СПбГУТ)))

всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей

ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ В МАГИСТРАТУРЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

ПКМ 2024

СБОРНИК ЛУЧШИХ ДОКЛАДОВ

Том 1

Санкт-Петербург
2025

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)
ИНСТИТУТ МАГИСТРАТУРЫ

**V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МАГИСТРАНТОВ И ИХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ**

ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ В МАГИСТРАТУРЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ (ПКМ-2024)

3 декабря – 5 декабря 2024 года

Сборник лучших докладов

Том 1

Инфокоммуникационные сети и системы

Радиоэлектронные системы и робототехника

Санкт-Петербург

2025

УДК 621.39:004
ББК 32.74

Рецензент – доцент, доктор технических наук Н. С. Пщелко

Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в эпоху цифровой трансформации (ПКМ-2024). V Всероссийская научно-техническая и научно методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2 т. / Под ред. А. Н. Бучатского; сост. И. Е. Скалецкая. СПб.: СПбГУТ., 2025.

ISBN 978-5-89160-359-2

Том 1. СПб.: СПбГУТ., 2025. 739 с.

ISBN 978-5-89160-360-8

Сборник содержит научные статьи, подготовленные к 5-летию конференции магистрантов и их руководителей, статьи пленарного заседания, а также доклады, признанные лучшими по результатам работы научных направлений конференции ПКМ-2024. Тематика работ охватывает актуальные вопросы по направлениям: инфокоммуникационные сети и системы; радиоэлектронные системы и робототехника; информационные технологии и программная инженерия; кибербезопасность; гуманитарные, экономические и экологические проблемы цифрового общества.

Доклады, не вошедшие в число лучших и не представленные в настоящем сборнике, размещены в материалах конференции ПКМ-2024 на сайте PKM.SUT.RU.

Издание рассчитано на студентов специалитета и бакалавриата, магистрантов, их руководителей, аспирантов, молодых ученых и преподавателей.

ISBN 978-5-89160-360-8 (Т. 1)
ISBN 978-5-89160-359-2

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ 10

Козодаев Д. А., Пщелко Н. С., Цыганов А. Б. Использование оптических изоляторов в устройствах фотоники на основе лазерных диодов 10

Пищугина А. Д., Рощинский Р. С. Учет параметров электромагнитных полей при проведении оценки качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи 15

Фадеев И. И., Штеренберг С. И. Актуальные вопросы обеспечения безопасности критической информационно инфраструктуры Российской Федерации. Системы безопасности значимых объектов. Управление процессом исключения повторяемости нарушений 22

ИЗБРАННОЕ 27

Акимов С. В., Верхова Г. В. Перспективы развития магистерской подготовки на кафедре систем автоматизации и робототехники 27

Астафьева-Румянцева И. Е., Добычина Я. Г. Педагогический потенциал Лаборатории новых медиа 38

Былина М. С., Котов Т. А., Минин Е. С., Резников Б. К. Теоретическое и экспериментальное исследование интегрального оптического мультиплексора CWDM 48

Дунайцев Р. А., Козлова О. Н., Светова А. В., Силуянова К. Ю. Анализ связей между автономными системами в сети интернет: IP-транзит или пиринг? 56

Еникеева Е. М. Конфликтные коммуникации между представителями государственных структур и гражданами 65

Землякова К. В. Содержательно-концептуальные основы создания курса «Digital-продвижение и медиатекст в цифровой среде» для студентов магистратуры 72

Кривец А. С. Анализ самоорганизующихся карт нейронных сетей для решения задач информационной безопасности 80

Парамонов А. И., Хоанг Ф. Н. Метод балансировки потребления энергии и задержки в гетерогенных сетях Интернета вещей 87

Рыбаков А. И. Повышение эффективности адаптивной работы декаметровой линии связи 96

Стариков В. В. Программный комплекс планирования и оптимизации сетей мобильной связи как часть ERP-системы оператора 103

Татаренков Д. А., Федотов Д. Д. Инерционные системы отслеживания перемещений (трекинга): анализ доступных технологий и областей применения 110

Терентьева Е. А. Заря глобализации на полотнах Яна Вермеера: взгляд синолога на эпоху Великих географических открытий (размышления о книге Т. Брука «Шляпа Вермеера») 119

Фокин Г. А., Шеремет Н. В. Постановка задачи экспериментальной апробации многоантенных систем на основе программно-конфигурируемого радио 125

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ 132

1.1. Беспроводные коммуникации 132

Арефьев А. С. Применение методов спектральной корреляционной функции при обучении нейронной сети для идентификации сигналов сотовой связи 132
Нарышкин П. М. Искусственный интеллект для повышения точности позиционирования 137
Орехова В. О., Павлюк И. Ф. Генерация LTE, 5G NR спектрограмм для обучения сети семантической сегментации 142

1.2. Инновации для Арктики 148

Васильев А. Э., Жуков И. С., Руденко Н. В. Использование микросетей для развития систем телекоммуникаций Крайнего Севера 148
Ипатов Н. Г., Трапезникова Е. А. Особенности видеопроизводства в арктическом регионе: влияние погодных условий на съемочный процесс 154
Качнов А. В., Кропанина А. А. Формирование требований к системе беспроводной передачи данных и электроэнергии сейсмических донных станций комплекса «КРАБ» 159
Пищугина А. Д. Экологическое картографирование электромагнитных полей радиочастотного диапазона в урбанизированной среде арктических регионов 164
Пономарев Ю. А. Видеоаналитика: точность работы дополнительных модулей 169
Рощинский Р. С. Оценка качества покрытия сетей сотовой связи в городе Якутск в рамках Третьей Арктической технологической экспедиции 176
Рощинский Р. С. Оценка качества покрытия сетей сотовой связи в поселке городского типа Тикси в рамках Третьей Арктической технологической экспедиции 181

1.3. Интернет вещей и гетерогенные сети 185

Абитов И. Д. Анализ и сравнение трафика сервисов облачного гейминга 185
Авакян С. А., Кукунин Д. С., Песков В. А. Интеграция VTK для визуализации проведения стереотаксической операции на разработанном нейрохирургическом фантоме 191
Бабанов З. Д., Кукунин Д. С., Максименко С. О. Использование корреляции кодовых последовательностей для синхронизации кадров и определения сверточных кодов CCSDS 196
Бабанов З. Д., Кукунин Д. С., Максименко С. О. Межпакетное кодирование Рида-Соломона для защиты потока медиаданных реального времени 202
Баталин Н. С., Кукунин Д. С., Переверзева Г. А., Подайко С. В. Эволюция методов коррекции ошибок в сетях OTN/DWDM 208
Бобровский В. И., Кукунин Д. С., Сусликов Н. В. Организация сети LORAWAN для решения задач Интернета вещей 213
Буданов Е. В., Коротин В. Е. Исследование технологий связи плотных сетей датчиков 218
Ветлугаев А. С., Захаров М. В., Киркум Г. К., Сиргазинов Т. М. Разработка ПО для управления и взаимодействия с мессенджерами СКУД 223

Владимиров С. А., Тишкин Т. А. Моделирование решетчатого кодирования в каналах систем передачи данных 228
Владимиров С. С., Остапчук Р. Л. Обзор методов декодирования укороченных кодов Рида–Соломона 233
Книгиницкий Е. И., Кукунин Д. С. Мотивы поиска алгоритмов формирования кодовых последовательностей для CDMA 237
Левшун Д. С., Легкодымов Д. М. Формирование требований к экспериментальному стенду для профилирования устройств Интернета вещей 243
Миронов К. Б. Система передачи данных на основе протокола ESP-NOW 248
Часовских Е. И. Анализ и исследование методов передачи обонятельной информации для иммерсивных сетей 253

1.4. Медиатехнологии и телерадиовещание 259

Баскова А. Ю. Исследование и классификация устройств эффектов нелинейных искажений 259
Басырева Е. О., Бучатский А. Н., Козырева Е. С. Исследование эффективности компрессии медиаконтента кодеками AV1, H.265, H.264 при помощи метрик оценки качества изображения 264
Бачагов И. С., Федоров С. Л. Методы распознавания лиц в системах видеонаблюдения 269
Бучатский А. Н. Особенности выбора правильной стратегии для успешного поступления в магистратуру на примере образовательной программы «Медиатехнологии и телерадиовещание» 274
Бучатский А. Н., Лосев А. П. Адаптация преподавания дисциплины «Технологии компрессии и оценка качества видеоконтента» при обучении в магистратуре выпускников непрофильного бакалавриата 278
Елагин В. С., Шалимов И. С. Модели прогнозирования наступления отказов в работе вещательного оборудования 282
Елкин С. Д. Оценка качества изображений 287
Жиряков В. П. Проектирование системы звукового сопровождения Думской башни 293
Катыкин Д. А. Исследование возможностей искусственного интеллекта при работе с аудиоданными для обеспечения безопасности 299
Козлов Д. В., Татаренков Д. А. Применение оснастки в анимации трехмерных объектов 303
Креков В. Н., Татаренков Д. А. Сохранение размеров объектов при сканировании с помощью LiDAR в iPhone 308
Ларионова В. С. Использование источников при исследовании уменьшенных моделей 314
Матвеев А. О., Штыков Ф. А. Анализ видеокодеков с точки зрения компрессии и используемых технологий 319
Минаев Н. В. Расширенная реальность 324
Мочалов А. А. Исследование методов шумоподавления с использованием нейросетевых моделей 329
Петрова Н. А. Особенности применения цифровых реверберaторов в аналоговых трактах воспроизведения 335
Посметьев А. А. Исследование эффективности передачи цифровых видеоданных в современных интерфейсах обмена данными в мультимедийных системах 340
Прокопьева Е. С. Системы аудиовизуального оснащения конференц-зала 345

Ридигер Н. А., Татаренков Д. А. Сравнение методов распознавания объектов в компьютерном зрении 350
Симонова В. С. Применение искусственного интеллекта в радиовещании 354
Татаренков Д. А., Трапезникова Е. А. Исследование возможности интеграции LiDAR и GPT для интеллектуального пространственного анализа 358
Татаренков Д. А., Туроватов Р. А. Проблемы 3D-сканирования объектов 362
Татаренков Д. А., Фомин П. В. Особенности рендера 3D объектов в задаче комбинированных съемок 366
Татаренков Д. А., Хрипунов М. Д. Использование технологии захвата движений лица для анимации трехмерных моделей в реальном времени 371
Тафинцев К. Е. Мембранные акустические системы: обзор технологии на примере TEFRA AUDIO 374
Терентьева С. А. Исследование перцепционных методов оценки качества аудиоконтента 378
Федоров С. Л., Хафизов Р. Т. Технологии создания иммерсивного звука для медиасреды 383

1.5. Мультисервисные телекоммуникационные системы и технологии 388

Болотов Т. В., Кисляков С. В., Лейкин А. В. Анализ средств нагрузочного тестирования систем WFM 388
Владыко А. Г., Тамбовцев Г. И. Программное обеспечение для моделирования V2X-систем 393
Елагин В. С., Жаворонкова В. В. Использование технологии блокчейн в биллинговых системах с поддержкой стандарта BCE 398
Елагин В. С., Кузичкин А. А. Распределение ресурса пропускной способности сети передачи данных системы видеонаблюдения с пространственно-разнесенными постами видеонаблюдения 403
Елагин В. С., Поляков С. А. Исследование моделей прогнозирования состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств 408
Лейкин А. В., Хайдаров А. В. Анализ моделей контакт-центров как системы массового обслуживания в разрезе современных реалий применения 412
Пантюхин О. И., Понамарев О. В. Моделирование процесса ультразвуковой сварки (УЗС) в операционных усилителях 417
Пупцев Р. И., Царев П. Д. Внедрение CI/CD процессов с применением TeamCity и GitLab 422

1.6. Оптоэлектронные технологии (фотоника) в инфокоммуникациях 427

Акимова И. Д. Одномодовые перестраиваемые лазерные источники для систем DWDM 427
Андреев Д. П., Глаголев С. Ф. Применение полупроводникового оптического усилителя в оптической связи 432
Андреева Е. И., Бурдин А. В., Орлов М. А., Хаджаев М. С. Исследование режимов функционирования кварцевых микроструктурированных оптических волокон с семью полыми кольцевыми сердцевинами 437
Антонцев М. В. Современные протоколы квантового распределения ключей 443
Бессонова Е. Д., Лукиных С. Н., Пономарев С. В. Организация служебных каналов в DWDM-системах на физическом и логическом уровне 448

Бразовский Г. Р., Былина М. С. Виртуальная лабораторная работа по исследованию поведения одиночных фотонов в оптических схемах с поляризационным светоделителем и ячейкой Фарадея 451
Былина М. С., Корицкая А. В., Романов И. Р., Шишкина В. Ю. Методика расчета спектра отражения аподизированной волоконной брэгговской решетки 454
Васильев Н. С., Глаголев С. Ф., Лыков Г. Р. Сравнение однопролетных ВОСС с эрбиевыми и рамановскими оптическими усилителями 459
Васильев Н. С., Клименко В. П., Наумова В. В. Разработка системы стабилизации длины волны лазерного излучения для высокоточных измерений в интерферометрии 465
Геллерт М. Е., Егоров В. И., Наседкин Б. А., Чистяков В. В. Исследование атаки с временным сдвигом зондирующих импульсов на систему квантового распределения ключей на боковых частотах 471
Гончаров Р. К., Гончаров Ф. М., Киселев Ф. Д. Исследование влияния 90-градусного оптического гибрида на избыточный шум системы квантового распределения ключа на непрерывных переменных 476
Данилькевич И. А. Перестраиваемый интерференционный оптический фильтр для системы CWDM 481
Исмагилов А. О., Козубов А. В., Наседкин Б. А., Соломатин О. А. Влияние отрицательных температур на возможность реализации атаки «Троянский конь» 486
Рогов С. А., Ходукин П. А. Разрешающая способность когерентных оптических анализаторов спектра с жидкокристаллической матрицей для ввода сигналов 489
Толмачев М. А. Активный интеллектуальный маркер с увеличенной глубиной обнаружения для фиксации и обнаружения подземных трасс оптических кабелей связи 494

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И РОБОТОТЕХНИКА 500

2.1. Микроволновая техника: материалы, компоненты, устройства 500

Беляев В. М., Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Шеламова Т. В. Металлизированный композит полипиррола и полиимида как термостойкий материал для микроволнового электромагнитного экранирования 500
Седышев Э. Ю., Федоров С. И. Технологическая практика магистрантов как этап в написании выпускной квалификационной работы 505
Федоров С. И. Принципиальные особенности использования и тенденции модификации плоских спиральных антенн 509

2.2. Проектирование и технология радиоэлектронных средств 513

Баженов Д. Д., Коробейников А. Н., Марончук Ю. Е., Никитин Ю. А. Разработка электроизмерительного комплекса для анализа и тестирования электронных устройств 513
Котенева Е. В. Сухотерина А. Д. Исследование возможности применения 19-дюймового юнитового конструктива в жестких условиях эксплуатации 516
Котенева Е. В., Сухотерина А. Д. Разработка блока сопряжения средств для пусковой установки 520
Маленков Д. А. Разработка методики расчета КПД стационарных несимметричных вибраторов нижней части ВЧ диапазона 524

2.3. Промышленная электроника 528

Безгодов Д. С., Шамсиев Б. Г. Разработка цифровой схемы управления ключевыми формирователями гармонических колебаний 528
Березикова С. А., Шушпанов Д. В. Способы измерения характеристики вносимого затухания фильтра радиопомех при проектировании фильтра радиопомех 533
Гришин В. В. Разработка лабораторного стенда по исследованию временных характеристик ключевого преобразователя понижающего типа 539
Муравьев Г. Д. Разработка электронной системы управления пневмороторным двигателем 543

2.4. Радиосвязь и радиодоступ 546

Алленов А. А., Литвинов А. С. Разработка опытного образца системы дистанционного управления климатом с передачей данных через систему Bluetooth 546
Егоров В. А., Копылов Д. А., Мендельсон М. А. Цифровая линеаризация характеристик усилителей мощности радиопередатчиков беспилотных авиационных систем 550
Изместьева Е. А. Оценка подавления радиоканала GPS 555
Карташов В. Разработка модели для исследования низкоорбитальной космической среды 560
Литвинов А. С. Исследование экранирующих свойств Cu- и Al- экранов в ПО ELCUT 6.6 564
Нестурчук П. А. Разработка системы контроля и управления доступом за животными сиспользованием технологии RFID 568
Хечуев М. И. Разработка планировщика сетей Wi-Fi на основе Telegram чат-бота 573
Шестаков Н. О. Анализ методов обнаружения ложных базовых станций при подключении к радиоканалам систем мобильной связи 578

2.5. Радиотехнические системы и антенны 582

Агаян Д. А., Ликонцев А. Н. Разработка алгоритмов распознавания и локализации основных типов неоднородностей импеданса электрических кабельных линий по рефлектограммам временной области 582
Барышникова А. Н., Ликонцев А. Н. Разработка модели расчета гибридной системы спутниковой связи 588
Батенев М. К., Глушанков Е. И. Исследование совместного алгоритма адаптивной пространственно-временной обработки и разнесенного приема 593
Бикбулатов В. Р., Чуднов А. М. Оптимизация параметров адаптивного алгоритма переключения рабочих частот линий радиосвязи в условиях случайных и преднамеренных помех 597
Борисов М. Г., Коровин К. О. Анализ вариантов построения антенн систем наземной навигации 603
Воищев О. С., Межевов П. А. Анализ решений по улучшению характеристик направленности патч-антенн для БПЛА 609
Глушанков Е. И., Кондрашов З. К. Анализ качества алгоритмов обработки сигналов в радионавигационных системах 615
Гордеев М. А., Ликонцев А. Н. Разработка устройства для анализа и тестирования сетей 802.11. Общая концепция 618

Деркач А. Е., Чуднов А. М. Методика структурирования сети обмена данными роя беспилотных летательных аппаратов для обеспечения устойчивого их взаимодействия 622
Коровин К. О., Межевов П. А. Кольцевая антенная решетка с переключаемой диаграммой направленности 630
Коровин К. О., Шидловский Д. В. Миниатюризация традиционных антенн типа Яги-Уда 634
Кузнецова Е. А., Тимченко В. И. Разработка специализированного вычислителя на базе ПЛИС для систем определения предаварийных ситуаций на промышленных объектах 639
Курашев З. В., Парфенов М. С., Чуднов А. М. Модель алгоритма управления доступом пользователей к сети широкополосной спутниковой связи на основе перераспределения ресурса в процессе функционирования 644
Ликонцев А. Н., Межевов П. А., Урум В. А. Распространение радиоволн внутри помещений 650
Ликонцев А. Н., Попов Д. С. Разработка и методическое обеспечение лабораторной работы по расчету радиорелейной линии в программном обеспечении ONEPLAN RPLS-DB LINK 655
Максимова А. В. Пространственная обработка сигналов в ГНСС при погрешностях эталонного сигнала 660
Тон Куок Фонг, Штрунова Е. С. Исследование погрешности оценивания направления прихода радиоизлучения на основе алгоритма MUSIC 665
Хренов А. А. Связь показателей точности определения параметров положения источника радиоизлучения и энергетической эффективности в разностно-дальномерной системе при применении пространственно-временной обработки сигналов 670

2.6. Робототехника и интеллектуальные технологии в автоматизации 674

Агафонов Н. Р. Перспективы применения машинного обучения для анализа спутниковых снимков в развитии телекоммуникационной инфраструктуры 674
Груздев А. А., Курносов В. И. Синтез системы мониторинга информационно-телекоммуникационной сети на основе технологии обработки больших данных 679
Крахмалев Д. С. Определение частотного портрета музыкальных жанров с помощью векторного представления 684
Пархачева О. С. Современное состояние и перспективы развития моделирования регионов и административно-территориальных единиц 689
Петров Д. Ю. UX/UI дизайн системы управления рабочими учебными планами 693
Попов И. Ю. Обзор технологий в геоинформационных системах 699
Попугаев Д. Г., Шабанов А. П. Анализ моделей машинного обучения в задаче классификации оценки знаний студентов 704
Харитонов И. С. Создание синтетических данных для задач промышленного мониторинга в условиях ограниченного доступа к оборудованию 709
Щербаков Н. Р. Программно-алгоритмическое обеспечение для управления корпоративной информацией на основе технологии блокчейн 714

Авторы статей 718

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 535.015
ГРНТИ 29.33.17

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ В УСТРОЙСТВАХ ФОТОНИКИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

Д. А. Козодаев[1], Н. С. Пщелко[1,2,3], А. Б. Цыганов[2]

[1]ООО «Активная фотоника», г. Москва, Зеленоград
[2]Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
[3]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Стабильная работа лазерных оптических систем не всегда оказывается возможной из-за нежелательного эффекта, связанного с отражениями и обратным возвращением лазерного излучения от элементов оптической схемы. Разработанная конструкция оптического изолятора на эффекте Фарадея, позволяющего избежать указанного эффекта, сравнительно технологична в изготовлении и, в отличие от известных решений, обеспечивает точную настройку системы за счет плавной регулировки индукции магнитного поля с помощью дополнительных подвижных регулировочных магнитов. Изменение расстояния между магнитами позволяет подобрать необходимую величину и пространственное распределение магнитного поля, которое поворачивает плоскость поляризации света при прохождении через оптический изолятор точно на 45°. Кроме того, предлагаемое устройство обеспечивает регулировку угла между поляризационными осями поляризаторов. Юстировка разработанного оптического изолятора сводится к изменению напряженности магнитного поля в его чувствительном к магнитному полю элементе и подбору такого угла между осями поляризаторов, при котором прямое пропускание оптического изолятора будет наибольшим, а обратное – наименьшим.

оптический изолятор, эффект Фарадея, отражение света, лазеры, магнитное поле, юстировка

Лазерные технологии продолжают развиваться в направлении повышения точности работы оптического тракта и стабильности параметров источника излучения. В этой связи весьма актуальной становится защита активной

среды лазера от эффектов обратной связи и неконтролируемого возбуждения [1]. Если не принять специальные меры, то возврат части исходного лазерного импульса после неизбежных отражений от внешних выходных оптических поверхностей в активную среду приводит к либо к нежелательному уменьшению выходной энергии оптических усилителей, либо к генерации дополнительных паразитных лазерных импульсов, нарушающих рабочую диаграмму всей оптической системы. Эта проблема должна быть решена, в первую очередь, для волоконных линий связи, т. к. генерация паразитных лазерных импульсов после отражения первичных информационных импульсов от приемника на конце линии и возврата в активную среду лазера может приводить к множественным ошибкам в передаче данных. Похожие проблемы могут возникнуть также в лазерных интерферометрах, предназначенных для контроля приводов сканирующих атомно-силовых микроскопов и другого подобного прецизионного оборудования.

Для решения этой задачи предложены так называемые оптические изоляторы (ОИ) различных конструкций [1]. По ряду технологических и экономических соображений причин считается, что в настоящее время наиболее эффективными в этом отношении являются ОИ Фарадея [1–4]. Функция этих оптических элементов заключается в том, что они почти полностью пропускают свет, распространяющийся в прямом направлении, и многократно подавляют ту часть этого света, которая отражена от какой-нибудь поверхности оптической системы и распространяется в обратном направлении. Эксперименты показывают, что использование ОИ существенно снижает шумы, повышает стабильность источника лазерного излучения, а также практически полностью устраняет другие вредные эффекты оптической обратной связи. Наиболее чувствительными к указанному эффекту являются лазерные источники с малой длиной и большим коэффициентом усиления активной среды, т. е. лазерные диоды. Толщина активной среды – p-n перехода в них – составляет обычно не более одного микрона. Поэтому в составе лазерного источника указанных оптических систем рекомендуется использовать ОИ. В частности, наши эксперименты показали, что если использование диодных лазеров с длиной волны 633 нм и менее в ряде случаев допустимо без ОИ, то применение диодных лазеров на 785 нм без ОИ приводит к неудовлетворительной работе устройств, в которых они используются. Существующие конструкции ОИ имеют ряд недостатков, к которым относятся сложная технология сборки, высокая стоимость, сложность создания точной величины напряженности магнитного поля, обеспечивающего поворот плоскости поляризации света ровно на 45°, а также отсутствие возможности регулировки поля. Целью настоящей работы было создание конструкции ОИ, свободной от указанных недостатков.

Выполненные в настоящей работе разработки были реализованы благодаря участию компании «Активная фотоника» (г. Москва), которая является резидентом инновационного центра «Сколково». Компания является ведущим разработчиком и производителем оборудования для микроскопии и спектроскопии, научных инструментов высокого класса для экспериментальных исследований в области нанотехнологий, а также контрольно-измерительных комплексов для оценки качества изготовления микро- и нано-масштабных структур. Продукция компании идеально сочетается с решениями для сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), имеющими различные опции и настройки для проведения исследований в сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на воздухе, в жидких и газовых средах, с нагреванием образца, в поперечном и продольном магнитном поле. Это обеспечивает совмещение возможностей СТМ, АСМ и спектроскопии комбинационного рассеяния света, а также комбинацию магнитной СЗМ с магнитнооптическим микроскопом и поляриметром. В большинстве указанных применений в качестве источников излучения используются лазерные диоды, для правильной и стабильной работы которых использование ОИ является необходимым. Это обусловливает актуальность рассматриваемых в настоящей работе разработок.

В предлагаемой конструкции ОИ магнитные поля, проходящие вдоль оптического канала, можно регулировать для точной настройки коэффициента обратного пропускания. ОИ, показанный на рис.1, содержит: входной поляризатор 1, который для упрощения конструкции можно совместить с кольцевым регулировочным магнитом 2, при этом излучение проходит через поляризатор, а затем через отверстие по оси магнита 2. Далее установлен основной магнит 3, также с отверстием по оси для пропускания излучения и создания в отверстии основного магнитного поля. Затем установлен еще один регулировочный магнит 4 и выходной поляризатор 5. В отверстии основного магнита 3 размещается магниточувствительный стержень 7 из тербий-галлиевого граната, а в отверстиях регулировочных магнитов – оптические окна 6, 8. Расстояния d_1 и d_2 между основным магнитом 3 и регулировочными магнитами 2, 4 можно настраивать, поворачивая их, т. к. регулировочные магниты расположены во втулках с тонкой резьбой (на рисунке не показано), при этом полюса магнитов ориентированы, как показано на рис. 1. Изменяя расстояния d_1 и d_2, мы изменяем суммарное магнитное поле в магниточувствительном стержне 7 и соответствующую величину эффекта Фарадея, влияющую на угол поворота плоскости поляризации света.

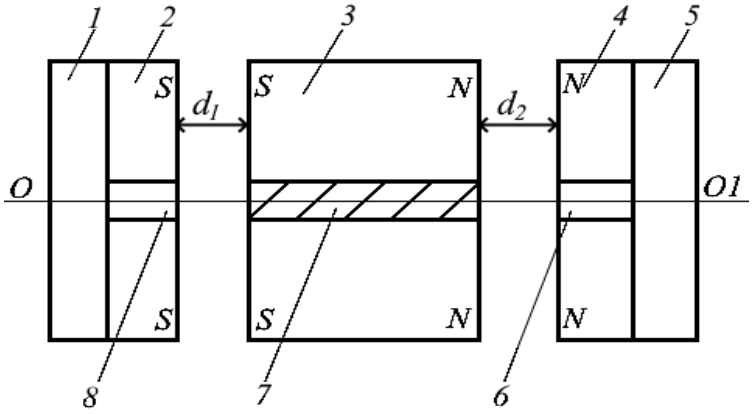


Рис. 1. Оптический изолятор Фарадея с регулируемой индукцией магнитного поля

Приближая юстировочные магниты 2 и 4 к основному магниту 3 одноименными полюсами, можно изменить магнитное поле в отверстии, где расположен магниточувствительный стержень 7, и добиться требуемого угла поворота плоскости поляризации 45° при относительно небольшой длине стержня. Поскольку направление поворота плоскости поляризации в эффекте Фарадея не зависит от направления распространения света [1], то для света после отражения и повторного прохождения через стержень 7 в обратном направлении, плоскость поляризации повернется еще на дополнительные 45° в том же направлении. Таким образом, отраженный свет попадет в поляризатор 1, имея поворот плоскости поляризации уже на 90° и поэтому, в соответствии с законом Малюса, не будет распространяться дальше, и не попадет назад в активную область лазерного диода. Более подробно конструкция разработанного ОИ описана в наших работах [2–4].

Измерения для длин волны света 785 нм и 633 нм показали, что можно достичь высокой степени оптической изоляции (более 40 дБ) при коэффициенте прямого пропускания до 97 %. Немаловажно и то, что оптические изоляторы для разных длин волн могут быть изготовлены в одном корпусе за счет объединения разных наборов магнитов и возможности плавной регулировки индукции магнитного поля. Также в нашей конструкции отсутствуют труднодоступные радиально намагниченные магниты, используемые в традиционных ОИ Фарадея. В предлагаемом устройстве дополнительно предусмотрена регулировка угла между поляризационными осями поляризаторов.

В настоящей работе, на основе доступных программ для расчета магнитных полей коаксиально намагниченных колец, были выполнены расчеты, позволяющие ориентировочно спрогнозировать необходимую геометрию ОИ и требования к магнитам в зависимости от предъявляемых к нему условий работы. Использование конструкции разработанного ОИ позволит, в частности, повысить качество волоконно-оптических систем связи и различных оптических измерительных систем.

Список используемых источников

1. Юрчук Ю. Оптические изоляторы / Ю. Юрчук // Фотоника. 2016. №5/59. С. 34–41.
2. Козодаев Д. А., Погонышев А. О., Пщелко Н. С., Пщелко О. С., Трусов М. А. Особенности конструкции и юстировки регулируемого оптического изолятора. Енисейская Фотоника-2024 // Всероссийская научная конференция с международным участием. Тезисы докладов. 16–20 сентября 2024 года, Красноярск. Т.2. Изд-во ИФ СО РАН, 2024. С. 223–224.
3. Козодаев Д. А., Погонышев А. О., Пщелко Н. С., Пщелко О. С., Трусов М. А. Регулируемый оптический изолятор на основе эффекта Фарадея // В книге: ХОЛОЭКСПО 2024. тезисы докладов XXI Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям. Москва, 2024. С. 66–68.
4. Козодаев Д. А., Погонышев А. О., Пщелко О. С., Пщелко Н. С. Изолятор Фарадея с кристаллическим магнитооптическим ротатором для лазеров. - Патент на изобретение RU 2822210 C1, 03.07.2024. Заявка от 15.02.2024.

Kozodaev D.[1], Pshchelko N.[1,2,3], Tsyganov A.[2] **USING OPTICAL ISOLATORS IN LASER DIODE-BASED PHOTONICS DEVICES.**

[1]Active Photonics LLC, Moscow, Zelenograd
[2]Military Academy of Telecommunications named after S. M. Budyonny
[3]Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI"

Stable operation of laser optical systems is not always possible due to the undesirable effect associated with reflections and the return of laser radiation from the elements of the optical scheme. The developed design of the optical isolator based on the Faraday effect, which allows avoiding the said effect, is comparatively technologically easy to manufacture and, unlike known solutions, ensures precise adjustment of the system due to smooth adjustment of the magnetic field induction using additional movable adjustment magnets. Changing the distance between the magnets allows selecting the required value and spatial distribution of the magnetic field, which rotates the plane of polarization of light when passing through the optical isolator by exactly 45°. In addition, the proposed device ensures adjustment of the angle between the polarization axes of the polarizers. The adjustment of the developed optical isolator consists of changing the magnetic field strength in its magnetic field-sensitive element and selecting such an angle between the axes of the polarizers at which the forward transmission of the optical isolator will be the greatest and the reverse transmission the least.

Key words: Optical isolator, Faraday effect, light reflection, lasers, magnetic field, alignment.

УДК 621.391.13
ГРНТИ 49.43.29

УЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ АБОНЕНТСКИМИ ТЕРМИНАЛАМИ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

А. Д. Пищугина, Р. С. Рощинский
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье обсуждаются результаты исследования взаимосвязи параметров электромагнитных полей и качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи. Исследования проводились в городской среде с использованием разработанного анализатора сетей связи, способного одновременно обрабатывать несколько модемов и измерителя уровня электромагнитных полей. По полученным результатам была выявлена связь между мощностью принимаемого сигнала стандарта GSM и плотностью потока энергии, а также установлена слабая зависимость между радиопараметрами стандарта LTE. Полученные результаты подтверждают необходимость учитывать особенности разных стандартов связи при анализе качества сигнала и мониторинге электромагнитных полей.

качество сигнала, сети сотовой связи, электромагнитные поля, плотность потока энергии, GSM, LTE

В современной высокоурбанизированной среде мы окружены всевозможными источниками электромагнитного излучения радиочастотного диапазона, без которых невозможны такие технологии как телевидение, сотовая связь, радиосвязь, Wi-Fi, GPS-навигация, сигнализация и пр. Но, к сожалению, в большинстве случаев отмечено негативное воздействие электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на окружающую среду и здоровье человека [1, 2]. Большое количество технических средств и повышение их нагрузки способствуют формированию электромагнитного загрязнения. Особенно это актуально для пригородов мегаполисов, потому что, как правило, для них характерна плотная высотная застройка с интенсивным покрытием сотовой сети связи, снабжением территории большим количеством передающих радиотехнических устройств. Несмотря на то, что для обеспечения экологической безопасности населения от негативного воздействия электромагнитных полей устанавливаются пределы значений [3, 4] и разрабатываются соответствующие защитные мероприятия, не всегда они соблюдаются.

Пункт 2.5 проекта [5] посвящен мобильной связи, которая, по приведенным оценкам, формирует 59 % выручки отрасли связи. Также указано, что объем передачи данных растет в среднем на 30 % ежегодно, при этом операторы мобильной связи работают в условиях дефицита доступного радиочастотного спектра. Кроме того, в условиях активного проведения исследований в области создания технологий пятого и шестого поколения, активного развертывания частных сетей связи, постепенного отключения некоторых существующих стандартов (в частности третьего поколения мобильной связи), весьма остро встает вопрос радиочастотного обеспечения, радиочастотного регулирования и, как следствие, проведения радиоизмерений систем радиосвязи, качества их покрытия и предоставления услуг абонентам.

С увеличением численности населения и развитием технологий, потребность в качественной мобильной связи растет, что ставит перед операторами новые вызовы. Одной из основных проблем является высокая плотность застройки. В городах с многоэтажными зданиями сигнал сотовой связи может ослабевать или блокироваться, что приводит к ухудшению качества связи. Стены и перекрытия зданий, особенно выполненные из бетона и металла, создают препятствия для распространения радиоволн. Это может вызывать не только проблемы со связью, но и негативно сказываться на качестве предоставляемых услуг. Другой важный аспект – это необходимость установки новых базовых станций и антенн. В условиях ограниченного пространства и жестких требований к градостроительству это может быть сложной задачей. Установить новые элементы инфраструктуры можно не везде.

Как показывают проведенные раннее исследования экологической оценки электромагнитного фона [6, 7], распределение ЭМП РЧ в пространстве и времени неоднородное, кроме этого, не всегда значения параметров находятся в пределах допустимых уровней. К активным мероприятиям по защите от воздействия ЭМП РЧ относится изменение характеристик, режимов работы источников излучения.

Однако с изменениями режимов работы базовых станций и излучаемых антенн могут ухудшаться параметры сотовой связи. Снижение мощности излучения базовых станций может привести к ухудшению качества сигнала. В результате абоненты могут столкнуться с зонами низкого уровня сигнала, что приведет к прерываниям или вовсе не установки голосового соединения, или снижения и потери интернет-соединения. Помимо этого, снижение мощности источников излучения может привести к неравномерному покрытию сети. В некоторых районах сигнал может быть слишком слабым, в то время как в дру-

гих – достаточно сильным. В свою очередь, данный фактор будет влиять на сети других операторов связи.

В связи с упомянутыми выше фактами возникает актуальный вопрос о проведении комплексной оценки параметров ЭМП и качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи. Данное решение поможет найти компромисс для операторов связи, для целей обеспечения качественного и стабильного предоставления услуг, а также для обеспечения экологической безопасности населения.

Данное исследование берет свое начало в третьей 3 Арктической технологической экспедиции СПбГУТ, где в задачи входило проведение оценки качества сетей сотовой связи, с помощью разработанного макета анализатора сетей и проведение экологических исследований. В ходе проведения двух исследований, предварительно, была зафиксирована зависимость между мощностью принимаемого сигнала на входе приемника и показателями мониторинга плотности потока энергии.

В поселке городского типа (далее п.г.т.) Тикси, были развернуты исключительно базовые станции, работающие на стандарте DCS 1800, что способствовало качественной оценке, так как нет влияния от других систем.

По возвращению в г. Санкт-Петербург, было принято решение продолжить данное исследование, но в условиях плотной городской застройки.

Оценка тесноты связи параметров электромагнитных полей и качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи выполнялась по результатам проведенного мониторинга показателей плотности потока энергии (ППЭ) и параметров сетей сотовой связи. Была выбрана трасса измерений, расположенная в г. Мурино, замеры проводились 07.10.2024 г.-28.10.2024 г. на частоте 1800 МГц в 121 точке согласно методикам [8, 9].

Проведение измерений параметров сетей сотовой связи, согласно методике [9], можно проводить двумя способами: с использованием автомобиля (Drive Test); измерения в пешеходных условиях, в частности, внутри помещений (Walk Test). В соответствии с проектом «Концепции управления качеством связи в Российской Федерации», Drive Test являются наиболее объективным методом оценки качества связи, однако, методика [8] не включает в себя измерения с использованием автомобиля, поэтому измерения проводились в пешеходных условиях.

На территории РФ в данный момент для частоты 1800 МГц определены следующие стандарты: GSM и LTE. По решению ГКРЧ от 01 июля 2016 года № 16-37-03 [10] были определены тактико-технические характеристики РЭС стандарта GSM для полос радиочастот 890-915 МГц, 935-960 МГц, 1710-1785

МГц, 1805-1880 МГц. По решению ГКРЧ от 23 декабря 2022 г. № 22-65-02 [11] были определены тактико-технические характеристики РЭС стандарта LTE для полос радиочастот 880-915 МГц и 925-960 МГц, 1920-1980 МГц и 2110-2170 МГц.

Для проведения радиоизмерений сетей сотовой связи использовался разработанный анализатор сетей связи, описанный в работе [12]. Особенностью данного макета является возможность использовать несколько модемов сотовой связи одновременно. Так, для проведения измерений были выбраны режимы работы для GSM1800 и LTE1800. Для стандарта сети GSM ключевым параметром, с помощью которого можно провести оценку сети является rxlevel. Данный параметр представляет собой уровень принимаемого сигнала. Для стандарта LTE результатами измерений являются RSSI, RSRP, RSRQ и SNR. RSSI – мощности принимаемого сигнала в широком диапазоне в пределах полосы пропускания соответствующего канала [13, 14]. RSRP – линейное среднее значение уровня принимаемого опорного сигнала. Эти опорные сигналы, специфичные для каждой соты, передаются с помощью исходных элементов. Благодаря RSRP можно сравнивать уровни сигналов от отдельных сот в сетях LTE. RSRQ используется в сетях LTE для определения качества радиоканала. SNR- отношение уровня принимаемого сигнала к шумам.

Для мониторинга электромагнитных полей использовался измеритель уровня электромагнитного излучения МЕГЕОН 07300 (ООО «МЕГЕОН», Россия).

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Microsoft Excel, была проведена оценка нормальности распределения данных с помощью критерия хи-квадрат Пирсона, оценка тесноты связи параметров методом ранговой корреляции Спирмена. Полученные результаты оценивались на достоверность по табличному критическому значению коэффициента корреляции при уровне значимости p = 0,05 ($r_{t\ 0,005}$ = 0,179, при n=121). Также, были вычислены значения ошибки и достоверности коэффициентов, проведена оценка значимости корреляции по критерию Стьюдента (tst 0,005 = 1,98, при n=121). Оценка тесноты связи достоверных значений проводилась с использованием шкалы М. Л. Дворецкого [15].

В результате между показателем плотности потока энергии и некоторыми параметрами качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи была доказана корреляция на высоком уровне значимости p = 0,05, данные представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты оценки тесноты связи показателей ЭМП и качества принимаемых сигналов абонентскими терминалами сетей сотовой связи

Исследуемые показатели	RSPR и ППЭ	RSRQ и ППЭ	SNR и ППЭ	rxlevel (GSM) и ППЭ	RSSI (LTE) и ППЭ
r_s	-0.050	0.058	0.201	0.359	-0.182
N	121				
$r_{t\ 0,05}$	0.179				
m_r	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09
t_r	-0.55	0.64	2.30	4.53	-2.07
$t_{факт.}$	-0.55	0.64	2.24	4.20	-2.02
$t_{st\ 0,05}$	1.98				
Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные значения при 5 % уровне значимости					

Между показателями ППЭ и параметров rxlevel стандарта GSM была обнаружена достоверная прямая связь (оцененная по шкале Дворецкого как умеренная). Следовательно, при увеличении плотности потока энергии увеличивается показатель мощности сигнала на входе приемника.

Между показателями плотности потока энергии и параметром RSSI стандарта LTE связь оценивается как обратная, слабая. Это говорит об уменьшении параметра мощности сигнала на входе приемника при увеличении показателя электромагнитного поля.

Также была обнаружена достоверная слабая прямая взаимосвязь между показателями ППЭ и SNR. То есть при повышении показателя уровня сигнал отношение шум, наблюдается повышение плотности потока энергии электромагнитных полей.

При проведении измерений с параметром RSRP стандарта LTE не было обнаружено взаимосвязи с значениями ППЭ. Скорее всего, рост показателя ЭМП связан с повышением побочных сигналов и помех, а, также, интерференцией волн.

RSSI отражает общую мощность сигнала, включая все компоненты, такие как полезный сигнал, шум и помехи. Он более чувствителен к общим изменениям в окружающей среде, включая ППЭ. RSRP, напротив, представляет собой мощность только сигнала пилотных поднесущих (Reference Signals). Это делает его менее чувствительным к общей плотности потока энергии, поскольку он фокусируется только на мощности полезного сигнала, выделенного для оценки уровня связи. При наличии помех или повышения общего

уровня шума, RSRP может оставаться стабильным, поскольку его расчет не включает шумы и побочные сигналы в такой же степени, как RSSI.

$$RSRP\ (dBm) = RSSI\ (dBm) - 10*\log(12*N) \quad (1)$$

Уравнение 1 включает логарифмическое уменьшение, зависящее от количества поднесущих N. Это приводит к тому, что изменения в RSSI не так линейно передаются в изменения RSRP. Если в условиях изменяющейся ППЭ RSSI увеличивается, преобразование его в RSRP через логарифм может привести к значительному снижению корреляции между этими параметрами и ППЭ.

Слабая прямая связь между ППЭ и SNR объясняется тем, что с увеличением ППЭ растет мощность полезного сигнала, что способствует улучшению SNR. Однако данный эффект ограничен из-за повышения уровня шума и интерференции, а также из-за сложных адаптивных механизмов LTE, которые сглаживают изменения сигнала. Отсутствие значимой связи с RSRP подтверждает, что показатель ППЭ взаимосвязан с общим фоном сигнала (RSSI).

Таким образом, при снижении показателя плотности потока энергии будет снижаться параметр rxlevel стандарта GSM, соответственно, при проведении защитных мероприятий по снижению показателя плотности потока энергии мощность принимаемого сигнала GSM будет падать, что может привести к ухудшению качества связи, обрывам, ухудшению зоны покрытия и обслуживания соответственно.

Сеть GSM имеет более выраженную и прямую связь между ППЭ и параметрами сигнала, тогда как сеть LTE демонстрирует более сложные и адаптивные реакции, обусловленные особенностями архитектуры и управления мощностью, а также влиянием интерференции и шума. Эти различия необходимо учитывать при оценке качества связи и при разработке систем защитных мероприятий от негативного воздействия ЭМП. Для исследования качественной зависимости сетей LTE необходимо провести больше измерений в различных условиях.

Список используемых источников

1. Panagopoulos D. J., Chavdoula E. D., Margaritis L. H. Bioeffects of mobile telephony radiation in relation to its intensity or distance from the antenna. Int J Radiat Biol. 2010, 86:345–357.
2. NationalToxicologyProgram. Toxicology and carcinogenesis studies in Sprague Dawley (Hsd: Sprague Dawley SD) rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. Natl Toxicol Program Tech Rep Ser: NTP-TR-595. 2018.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19 декабря 2007 г. № 91 / URL: https://docs.cntd.ru/document/902081974 (дата обращения 29.10.2024).

4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2. URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения 29.10.2024).
5. Проект стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года. URL: https://digital.gov.ru/ru/documents/9120 (дата обращения 20.04.2024).
6. Pichugina A., Sturman V., Yatsenko M. Application of GIS technology for electromagnetic field assessment // Вестник факультета цифровых технологий, сборник научно-теоретических статей. СПб.: СПбГУТ, 2023. Стр.438-442.
7. Пищугина А. Д. Картографирование электромагнитных полей радиочастотного диапазона в урбанизированной среде (на примере г. Мурино) // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023): Региональная научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов конференции. СПб.: СПбГУТ, 2023. Том 1. Стр. 133–137.
8. МУК 4.3.1167-02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц». URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030406 (дата обращения 29.10.2024).
9. Методика оценки качества услуг подвижной радиотелефонной связи. URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/04.12.2014_NN-P1921799.pdf?utm_referrer=https %3a %2f %2f www.google.com %2f
10. Решение ГКРЧ № 22-65-02 от 23 декабря 2022 г.
11. Решение ГКРЧ № 22-65-02 от 23 декабря 2022 г.
12. Качнов А. В., Прасолов А. А., Рощинский Р. С., Сопов С. П. Разработка анализатора сетей сотовой связи // International Journal of Professional Science. 2024. № 10-2. С. 49–55.
13. ETSI TS 136 133 V13.3.0 (2016-05) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management.
14. 3GPP 25.133 Release 99 V17.0.0 “Requirements for support of radio resource management (FDD)”.
15. Статистические методы обработки экологической информации: методические указания для практических занятий по дисциплине «Основы научных исследований» / Сост. А. С. Новоселов, Т. К. Карандашева. Вологда: ВоГТУ, 2012. 42 с.

Pischugina A., Roshchinsky R. **ACCOUNTING FOR ELECTROMAGNETIC FIELDS PARAMETERS WHEN ASSESSING THE QUALITY OF RECEIVED SIGNALS BY CELLULAR NETWORK SUBSCRIBER TERMINALS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the results of a study of the relationship between electromagnetic field parameters and the quality of signals received by subscriber terminals of cellular networks. The studies were conducted in an urban environment using a developed network analyzer capable of simultaneously processing several modems and an electromagnetic field level meter. Based on the results obtained, a relationship was found between the power of the received GSM signal and the energy flux density, and a weak relationship was established between the radio parameters of the LTE standard. The obtained results confirm the necessity to take into account the peculiarities of different communication standards when analyzing signal quality and monitoring electromagnetic fields.

Key words: signal quality, cellular networks, electromagnetic fields, energy flux density, GSM, LTE.

УДК 004.056
ГРНТИ 81.93.29

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ НАРУШЕНИЙ

И. И. Фадеев, С. И. Штеренберг
Управление ФСТЭК России по Северо-Западному федеральному округу

Одновременно с появлением первых мануфактур, фабрик, заводов, возникла потребность в защите данных производств от воздействий нарушителей безопасности, которая уже тогда обуславливалась, как и техногенными, так и экономическими последствиями в масштабах государства. С течением времени и прогресса, безопасность предприятий тяжелой промышленности, в частности оборонно-промышленного комплекса (ОПК), вышла на передний план, таким образом став стратегической задачей любого государства.

ФСТЭК, ОПК, ОКИИ, информационная безопасность, федеральный закон РФ

В связи с преобладанием вышеописанных документов над приказом ФСТЭК №31дсп – не учитывается специфика систем в сфере ОПК, содержащих ОКИИ, характеризующейся повсеместным использованием PLM-, ERP-, BPM-, OPAL-, MES-, а также SCADA-систем, обеспечивающих контроль и управление технологическим и производственным оборудованием и реализованными на нем технологическими и производственными процессами, а также конвейерных лент со станками на числовом программном управлении [1]. Так особенностью вышеперечисленного оборудования является невозможность повсеместного использования СЗИ, в силу допотопности оборудования или невозможности его модернизации связанной с непрерывностью его работы.

В связи с чем, в рамках усиления внутреннего контроля и усиления состояния защищенности от внутреннего нарушителя безопасности информации, предлагается ввести Методику оценки эффективности принятых организационных и технических мер ОКИИ [2], функционирующего в области оборонной промышленности. Данная методика, в отличие от Приказа ФСТЭК от 25 декабря 2017 г. N 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры российской федерации, и приказа ФСТЭК от 21 декабря 2017 г. N 235

«Об утверждении требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования, впервые уточняет и формирует меры защиты информации безопасности применительно к ОКИИ в сфере ОПК, тем самым оптимизируя и ускоряя процесс разработки документов [3], а также применяет методы стеганографии, позволяя внедрить меры аутентификации на промышленном оборудовании, тем самым усиливая внутренний контроль предприятия, что в свою очередь позволит уменьшить шанс диверсии на предприятии, позволяя снизить риски потенциального влияния на экономические показатели и инфраструктуру государства в целом [4].

Обеспечение защиты информации требует создания специальной службы, осуществляющей реализацию мер (организационных, технических, организационно-технических) по обеспечению информационной безопасности. Так Базовая модель угроз ОКИИ, функционирующего в области оборонной промышленности предлагает новые меры по обеспечению безопасности информации на ОКИИ в сфере ОПК, а также использует методы стеганографии для аутентификации пользователей, тем самым усиливая подсистему безопасности от внутренних нарушителей, благодаря чему можно удастся сократить время внутреннего аудита на предмет несанкционированного доступа на 11–14 %. В рамках работы [5] по исследованию на 3 предприятиях оборонно-промышленного комплекса экспериментально были введены инновации, предложенные авторской методикой. В результате чего удалось сравнить характерные для внутреннего контроля организационные меры с предложенными автором организационно-техническими: была проведена оценка применимости и возможности внедрения новшеств в системах после чего в результате предложенная автором методика позволила внедрить процессы по оценке защищенности предприятия от внутреннего нарушителя, оптимизировав разработку документов на 3,9 %, а методы стеганографии позволили отслеживать движение носителей, тем самым усилив внутренний контроль в среднем на 3,7 %.

Таким образом, предложенная методика не только укрепляет информационную безопасность на критически важных объектах, позволяя увеличить скорость внутреннего контроля [6], снижая ошибки, глубже анализируя события журналов аудита, тем самым реализуя оптимизацию теоретических и практических аспектов обеспечения защиты информации на 4,7 %, а также позволяя реализовать все требования по 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», вместе с тем учитывая новейшие походы к организации компьютерных атаки.

При рассмотрении опыта разработки по актуальной методике моделей угроз безопасности информации применительно к АСУ ТП в ней выделяет не-

хватка оценки защищенности информации, циркулирующей на АСУ ТП КВО и критериев оценки качества функционирования подсистемы защиты информации, из-за чего не рассматривается фактор слабого внутреннего контроля деятельности отдела информационной безопасности и способов реализации социальной инженерии применительно к внутреннему нарушителю [7].

В связи с этим предлагается ввести методику оценки защищенности информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, которая, в отличие от существующей, подробнее раскрывает сущность внутреннего нарушителя информационной безопасности [8]. Так, при анализе недостатков системы защиты информации в актуальном алгоритме рассмотрения типа нарушителя безопасности, внутренний нарушитель полностью игнорируется, посредством отсутствия применительно к нему как-либо мер, и внутреннего контроля, в то время как предложенная методика напротив определяет его паттерны поведения и мотивы, и вместе с этим учитывая присутствие социального фактора при работе персонала по обеспечению информационной безопасности, тем самым [9], устанавливая внутренний контроль за деятельностью отделов информационной безопасности, и помимо этого предусматривает использование нетрадиционных каналов взаимодействия в деятельности внутренних злоумышленников. Так, исследование проблем методологии и векторизации угроз безопасности информации ведут деятели ФАУ ГНИИИ ПТЗИ, а именно А. П. Лапсаря, А. Тевикян, В. Б. Кадыков, М. А. Лымарь, В. Ф. Лысиков, В. В. Мамута, В. А. Васильев, Н. В. Василевская, В. П. Дунец, А. Г. Дураченко, В. Ф. Лысиков, П. Д. Гзежда, А. Ф. Петигин, С. М. Огреб.

Методика оценки защищенности информации, функционирующей в автоматизированных системах управления технологическими процессами критически важных объектов (АСУ ТП КВО), конкретизирует требования по контролю внутреннего контроля Отличительной чертой данной методики является внедрение стеганографии для выявления внутренних нарушителей, а также введение специфических критериев для оценки качества работы подсистемы защиты информации, что является новшеством по сравнению с уже существующими подходами. Данная инновация позволяет сократить временные и трудовые затраты при выполнении внутреннего контроля на 10-15 %, тем самым повышая эффективность процессов аудита и обеспечения информационной безопасности [10]. Так была проведена оценка применимости и возможности внедрения предложенной автором методики в рамках функционирования Координационного методического совета при Управлении ФСТЭК России по Северо-Западному федеральному округу по вопросам подготовки специалистов в области информационной безопасности (более 20 организаций, осуществляющих под-

готовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов в области информационной безопасности), Координационной рабочей группы с должностными лицами, ответственными за обеспечение безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в области оборонной промышленности (более 210 организаций) и Координационного совета по проблемам противодействия иностранным техническим разведкам в организациях оборонно-промышленного комплекса [11]. После чего в рамках работы по госконтролю, были апробированы 28 значимых объектов 1 категории где были экспериментально опробованы инновации, вышеизложенные в настоящей статье, в результате, предложенная методика позволила внедрить процессы по оценке защищенности предприятия от внутреннего нарушителя, ускорив внутренний аудит в среднем на 6,392 %, а методы стеганографии позволили отслеживать движение контейнеров, тем самым усилив внутренний контроль в среднем на 4,107 % [12].

Теоретическая значимость этой методики заключается в применении принципов теории квалиметрии в контексте защиты информации, что позволяет более точно и объективно оценивать качество функционирования защитных механизмов в рамках отражения угроз, исходящих от внутренних нарушителей [13]. Это открывает новые перспективы для теоретического обоснования и усовершенствования методов оценки критериев защищенности.

С практической точки зрения, внедрение разработанной методики обеспечивает значительное улучшение качества внутреннего контроля безопасности информации. Это, в свою очередь, способствует повышению защищенности информационных систем от возможных угроз и уязвимостей, обеспечивая надежное функционирование и устойчивость важнейших технологических процессов.

Список используемых источников

1. Шакин Д. Н. Этапы развития безопасности средств информационных коммуникаций / Д. Н. Шакин // Национальная безопасность и стратегическое планирование, 2013. № 2 (2). С. 11–22. EDN RAUOAX.

2. Модели и методы комплексной оценки рисков безопасности объектов критической информационной инфраструктуры на основе интеллектуального анализа данных: автореферат дис.... доктора технических наук: 2.3.6. / Вульфин Алексей Михайлович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»]. Уфа, 2022. 37 с.

3. Автоматизированная система анализа киберугроз в критической информационной инфраструктуре: автореферат дис.... кандидата технических наук: 05.13.19 / Крундышев Василий Михайлович; [Место защиты: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого]. СПб., 2021. 19 с.

4. Построение центров управления сетевой безопасностью в информационно-телекоммуникационных сетях: автореферат дис.... доктора технических наук: 05.13.19 / Милославская

Наталья Георгиевна; [Место защиты: Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»]. М., 2020. 40 с.
5. Метод и алгоритмы управления рисками информационной безопасности АСУ ТП критических инфраструктур: автореферат дис.... кандидата технических наук: 2.3.6. / Римша Андрей Сергеевич; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»]. СПб., 2022. 20 с.
6. Зябкин В. С., Бабенко А. А., Модель оценки защищенности автоматизированной системы управления технологическими процессами в организации коммунального хозяйства. URL.: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/68375/1/fti_2018_02.pdf (дата обращения 30.10.2024).
7. Вус М. А. Методологические проблемы обеспечения информационной безопасности критически важных объектов топливно-энергетического комплекса Российской Федерации / М. А. Вус, М. М. Кучерявый, Д. Н. Шакин // Информатизация и связь, 2012. № 7. С. 42–47. EDN TFIIAT.
8. Крылов А. В. Создание сегмента телекоммуникационной инфраструктуры АПК «Безопасный город» / А. В. Крылов, А. В. Красов, И. А. Ушаков // Инновации молодежной науки: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 20–24 апреля 2020 года. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2020. С. 50–51. EDN XBZXBI.
9. Вус М. А., Кучерявый М. М., Шакин Д. Н., Юсупов Р. М. Эскиз системного подхода к формированию понятийного аппарата информационной безопасности // Информатизация и связь, 2012. № 9. С. 7–15. EDN PUQQQL.
10. Методический документ ФСТЭК России от 5 февраля 2021 г. Методика оценки угроз безопасности информации.
11. Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 Требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации.
12. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2018 г. № 127 «Об утверждении правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений».
13. Федеральный закон от 26 июля 2017 года № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

Fadeev I., Shterenberg S. **CURRENT ISSUES OF ENSURING THE SECURITY OF THE CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION. SECURITY SYSTEMS FOR SIGNIFICANT OBJECTS. MANAGING THE PROCESS OF ELIMINATING THE RECURRENCE OF VIOLATIONS.**

Simultaneously with the appearance of the first manufactories, factories, factories, there was a need to protect these industries from the effects of security violators, which was already caused by both man-made and economic consequences on a national scale. Over time and progress, the security of heavy industry enterprises, in particular the military-industrial complex (MIC), has come to the fore, thus becoming a strategic task of any state.

Key words: FSTEC, Defense Industry, OKII, information security, federal law of the Russian Federation.

ИЗБРАННОЕ

УДК 004.946
ГРНТИ 28.23.29

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ПОДГОТОВКИ НА КАФЕДРЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКИ

С. В. Акимов, Г. В. Верхова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие цифровой экономики Российской Федерации требует высококвалифицированных специалистов, владеющих компетенциями в области сквозных цифровых технологий, подготовка которых возможна в рамках соответствующих магистерских программ. Повышение качества подготовки магистров требует совершенствования учебного процесса, внедрения инновационных форм обучения, модернизации учебных планов с учетом изменений в области науки и техники, а также в структуре рынка труда. Учитывая тенденции развития цифровой экономики, образовательных технологий и кадрового потенциала кафедры САР, основными направлениями развития магистерской подготовки являются внедрение системы электронного обучения на базе интерактивных учебно-методических комплексов, внедрение дополнительных электронных курсов для магистрантов, поступивших с других направлений, усиление роли проектного обучения, открытие новой магистерской программы. Реализация плана развития существенно повысит качество подготовки магистров, владеющих сквозными цифровыми технологиями, и обеспечит рост показателей, по которым осуществляется принятие решений о распределении контрольных цифр приема.

сквозные цифровые компетенции, цифровая экономика, магистерская программа, интерактивные учебно-методические комплексы, адаптивное обучение, проектное обучение, искусственный интеллект, программирование, многоаспектное геоинформационное моделирование

Введение

В рамках программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] выделены сквозные цифровые технологии [2], развитие которых необходимо для достижения технологического суверенитета и занятия Россией лидерских позиций в наукоемких отраслях [3–6]. Сквозные цифровые технологии используются во всех направлениях и отраслях современной экономики, вклю-

чая радиоэлектронную промышленность, создание «умных городов», здравоохранение, государственное управление и образование. В современных условиях наиболее актуальными цифровыми технологиями являются [2]:

– искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии;

– технологии распределенных реестров;

– нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей;

– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение;

– геоданные и геоинформационные технологии.

Специалисты, владеющие данными технологиями, востребованы на предприятиях, занятых производством беспилотных летательных аппаратов, интеллектуальных робототехнических комплексов, навигационных и управляющих систем. Программы бакалавриата обеспечивают лишь базовую подготовку, не позволяя сформировать высококвалифицированных специалистов, что определяет актуальность развития магистерских программ, на которых студенты осваивают компетенции по сквозным цифровым технологиям цифровой экономики.

Цели и задачи развития магистерской подготовки

Проблема невозможности подготовки высококвалифицированных специалистов для решения задач цифровой экономики требует актуализации и создания новых магистерских программ, нацеленных на приобретение магистрантами компетенции в области сквозных технологий. Целью развития магистерской подготовки на кафедре систем автоматизации и робототехники является повышение качества подготовки специалистов, способных осуществлять свою профессиональную деятельность по разработке и внедрению сквозных технологий в различных отраслях цифровой экономики.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

– исследование рынка труда в сферах, связанных с совершенствованием и созданием новых технологий искусственного интеллекта, распределенных реестров, геоинформатики и разработки системного и программного обеспечения;

– актуализация существующей основной образовательной программы «Интеллектуальные технологии в автоматизации», реализуемой в рамках направления подготовки 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств, с учетом проведенных исследований рынка труда;

– разработка и внедрение новой основной образовательной программы «Программирование искусственного интеллекта», в которой будут в максимальном объеме реализованы дисциплины, в рамках которых магистранты осваивают компетенции в области сквозных цифровых технологий.

Основные направления развития магистерской подготовки

Учитывая тенденции развития рынка труда, образовательных технологий и кадрового потенциала кафедры САР, основными направлениями развития магистерской подготовки являются:

– внедрение системы электронного обучения на базе интерактивных учебно-методических комплексов;

– разработка и внедрение дополнительных курсов для магистрантов, поступивших на программу магистерской подготовки с других направлений;

– усиление роли проектного обучения;

– модернизация образовательной программы «Интеллектуальные технологии в автоматизации» с целью внедрения дисциплин, направленных на формирование компетенций в области сквозных цифровых технологий;

– открытие новой магистерской программы «Программирование искусственного интеллекта».

Данные направления развития полностью соответствуют концепции национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Проведенная модернизация образовательных программ обеспечит повышение качества подготовки магистров, повысит уровень их конкурентоспособности на рынке труда за счет освоения компетенций в области сквозных цифровых технологий, востребованных в условиях цифровой экономики.

Кадровый и научный потенциал кафедры систем автоматизации и робототехники

Кафедра систем автоматизации и робототехники (САР) на протяжении многих лет успешно проводит подготовку бакалавров и магистров по направлениям подготовки, включающих формирование компетенций по сквозным цифровым технологиям. Профессорско-преподавательский состав кафедры включает 6 профессоров, 11 доцентов, 2 старших преподавателя и 2 ассистента. На кафедре работают ведущие специалисты предприятий, занятых разработкой наукоемкой продукции (геоинформационные системы, беспилотные транспортные средства и безэкипажные суда, тренажерные системы, автоматизированные системы управления спецсвязью). Преподаватели кафедры являются высококвалифицированными специалистами в области цифровых технологий, активно занимаются научно-исследовательской работой, публикуются в ведущих научных журналах.

Большое внимание уделяется магистерской подготовке. Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор Галина Викторовна Верхова является двухкратным победителем конкурса на предоставление грантов преподавателям магистратуры благотворительной программы «Стипендиальная программа Владимира Потанина» (проекты по созданию онлайн-курсов «Языки программирования

для автоматизированных производств» и «Многоаспектное геоинформационное моделирование»).

При поддержке благотворительного Фонда Владимира Потанина была разработана концепция системы электронного обучения [7], построенной по модульному принципу на базе интерактивных учебно-методических комплексов, реализующих адаптивную модель образовательного процесса (рис. 1).

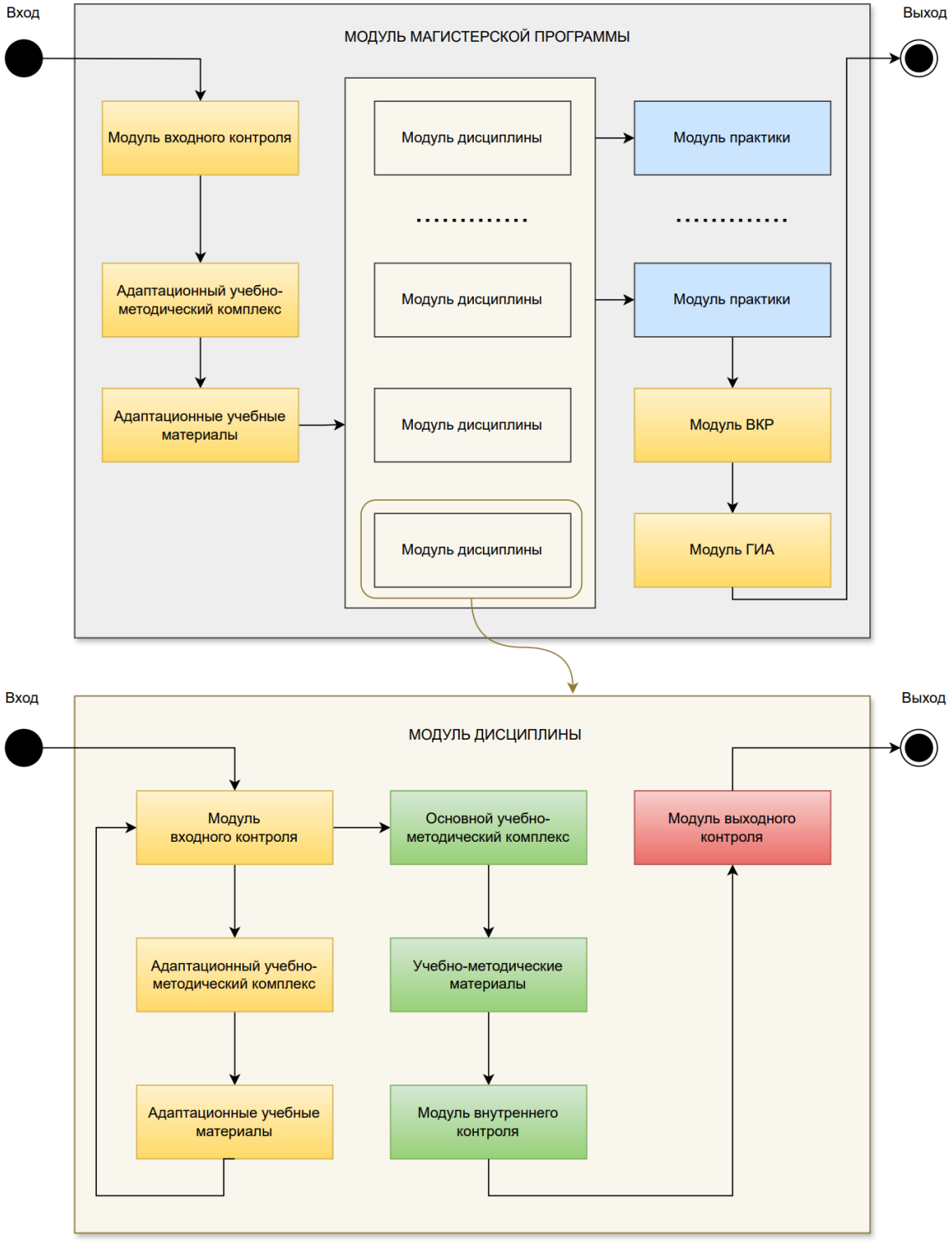


Рис. 1. Концепция адаптивного обучения на базе интерактивных учебно-методических комплексов

Кафедра САР располагает учебно-лабораторным потенциалом, необходимым для осуществления качественной подготовки магистров (рис. 2). Проводятся постоянные работы по модернизации и развитию учебно-лабораторного оборудования с привлечением преподавателей и инженеров кафедры (рис. 3-4). Учебно-лабораторный комплекс кафедры позволяет магистрантам выполнять лабораторные работы по дисциплинам в области программирования мобильных роботов и промышленных роботов манипуляторов, программируемых логических контроллеров, технической кибернетики, промышленного Интернета вещей.

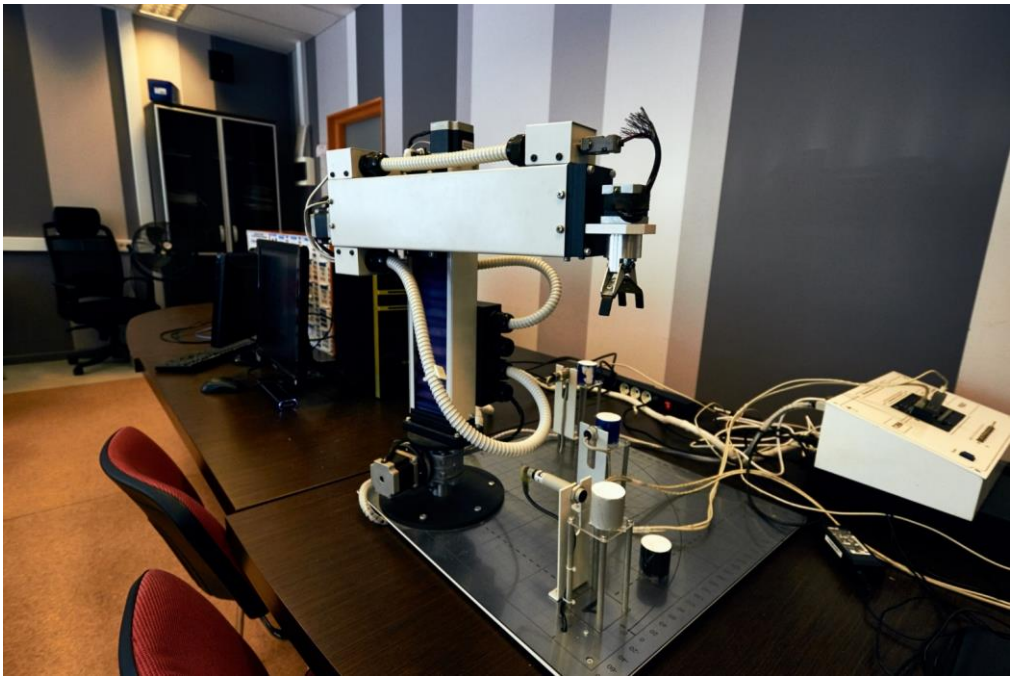


Рис. 2. Учебно-лабораторный стенд «САУ-Робот»

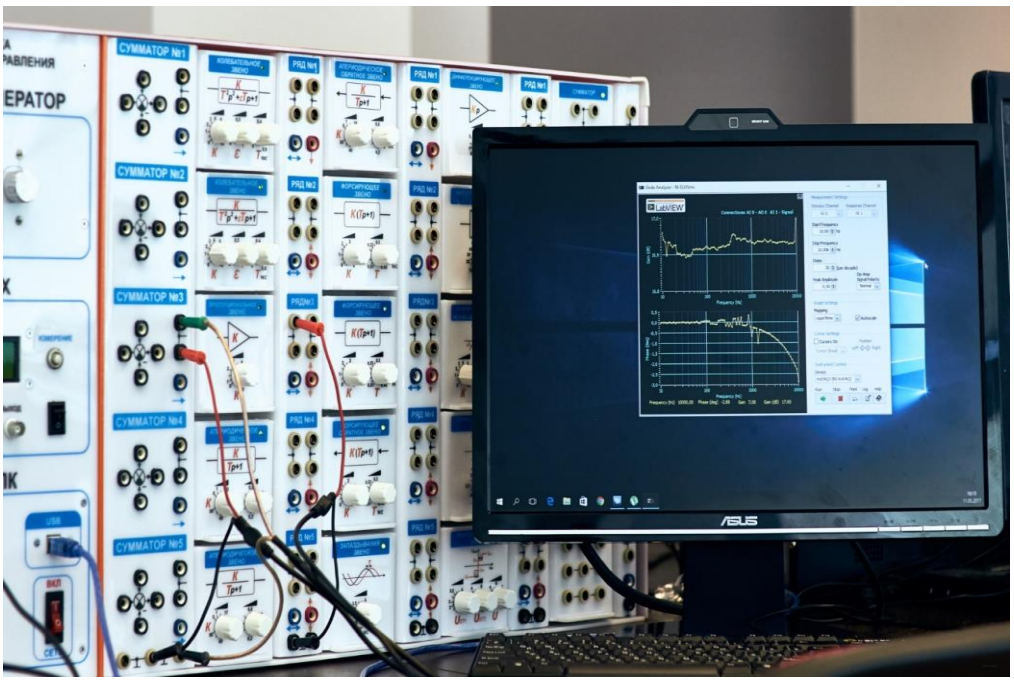


Рис. 3. Учебно-лабораторный стенд по изучению дисциплины «Теория автоматического управления»

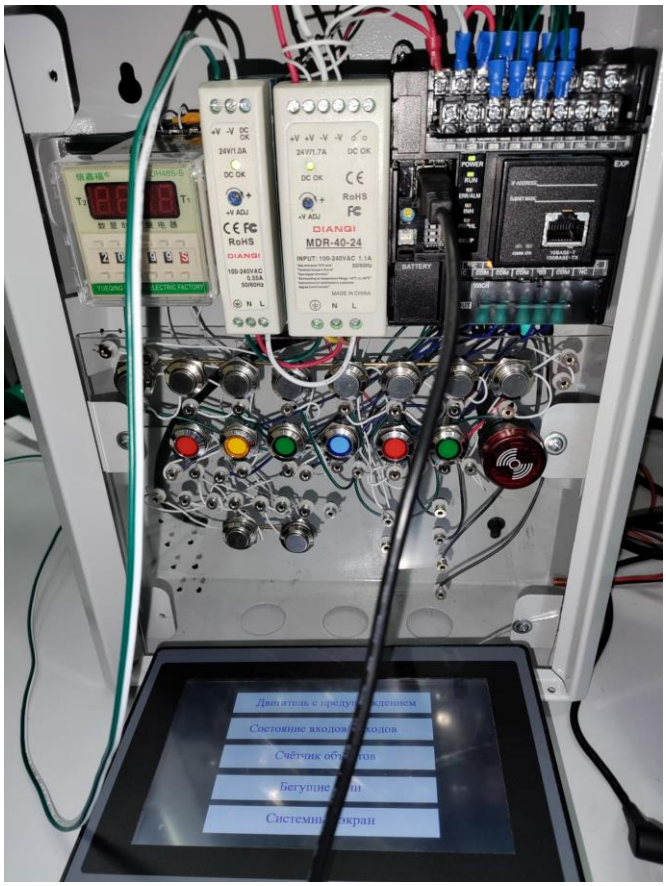


Рис. 4. Учебно-лабораторный стенд по изучение программирования промышленных контроллеров

Кадровый и учебно-лабораторный потенциал кафедры систем автоматизации и робототехники позволяет успешно выполнить актуализацию существующей и создание новой магистерской программы.

Модернизация магистерской основной образовательной программы «Интеллектуальные технологии в автоматизации»

В настоящий момент на кафедре САР ведется подготовка магистров по основной образовательной программе «Интеллектуальные технологии в автоматизации» в рамках направления подготовки 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств. На данной образовательной программе готовят высококвалифицированных специалистов в области цифровизации предприятий и производств. Особое внимание уделяется разработке интеллектуальных систем управления, допускающих глубокую интеграцию в единое информационное пространство предприятия. Основными дисциплинами, в рамках которых магистранты осваивают компетенции сквозных технологий, являются:

– методы и модели искусственного интеллекта в управлении техническими системами;

– интеллектуальные технологии в CALS;

– проектирование единого информационного пространства виртуальных производств;

– системное программное обеспечение интеллектуальных систем управления;

– проектирование PDM/PLM систем.

Обучаясь на данной образовательной программе, магистранты осваивают компетенции по следующим сквозным цифровым технологиям: «искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии» и «новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение». Уровень освоения данных технологий позволяет им решать задачи в области комплексной автоматизации предприятий и производств, включая разработку программного обеспечения для интеллектуальных систем управления.

С учетом содержания национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и результатов проведенного анализа рынка труда [8-11] принято решение выполнить модернизацию данной магистерской программы с целью внедрения дисциплины, направленной на формирование компетенций в области сквозной технологии «геоданные и геоинформационные технологии». Геоинформационные системы и технологии находят все большее применение в различных областях науки и техники, включая управление беспилотными транспортными средствами и беспилотными летательными аппаратами, формированием единого национального киберпространства, созданием «умных городов», управление логистикой и распределенными производствами.

Формирование компетенций в области данной технологии будет осуществляться в рамках дисциплины «Многоаспектное геоинформационное моделирование» [12], разработанной в рамках проекта-победителя грантового конкурса Владимира Потанина для преподавателей магистратуры. Дисциплина реализуется в виде интерактивного учебно-методического комплекса онлайн-курса и состоит из учебных модулей, соответствующих разделам дисциплины. Каждый модуль содержит все виды учебно-методических материалов: лекции в текстовом и видео формате, мультимедийные методические указания к выполнению лабораторных работ и практических занятий, входные и выходные тестовые задания. В рамках курса студенты изучают основы высшей геодезии, теоретико-методологические основы многоаспектного моделирования, многоаспектное геоинформационное моделирование географических районов, регионов и областей, технологию разработки плагинов для геоинформационных систем. В рамках курсового проектирования студенты разрабатывают многоаспектную геоинформационную модель региона.

Проект магистерской основной образовательной программы «Программирование искусственного интеллекта»

Учитывая острую нехватку высококвалифицированных кадров в области разработки систем искусственного интеллекта [13–15], представляется целесообразным открытие новой магистерской основной образовательной программы «Программирование искусственного интеллекта» в рамках направления подготовки 09.04.02 – Информационные системы и технологии. Данная образовательная программа обеспечит освоение студентами компетенций в области пяти сквозных цифровых технологий, перечисленных в первом разделе статьи. В условиях санкционного режима и импортозамещения актуальность открытия магистерской образовательной программы, направленной на подготовку специалистов, способных разрабатывать сложные программно-алгоритмические комплексы, включая системы искусственного интеллекта, не вызывает сомнений. Основные дисциплины образовательной программы представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Основные дисциплины магистерской образовательной программы «Программирование искусственного интеллекта»

Дисциплина	Краткое содержание	Осваиваемые цифровые технологии
Методы и модели искусственного интеллекта	Введение в философию искусственного интеллекта, актуальные проблемы искусственного интеллекта, классические модели искусственного интеллекта, инженерия знаний, морфологические методы, биоинспирированные методы, искусственная жизнь, машинное обучение, глубокое обучение, нейронные сети, генеративные нейронные сети, нейроэволюционные алгоритмы, эвристическое программирование	– искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии; – нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей
Эволюционные вычисления и генетические алгоритмы	Эволюционные вычисления, генетические алгоритмы, модели параллельных генетических алгоритмов, технология программирования генетических алгоритмов, эволюционная электроника, использование генетических алгоритмов в проблеме автоматического написания программ, эволюционная морфология	– искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии; – нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей
Теория языков программирования	Классификация и метрики языков программирования, языковые модели и структуры, синтаксис, формальная семантика, теория типов, обобщенное программирование и метапрограммирование, предметно-ориентированные язы-	– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение; – искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения

Дисциплина	Краткое содержание	Осваиваемые цифровые технологии
	ки, методы анализа и преобразования программ, построение компиляторов	и когнитивные технологии
Системное программирование	Принципы построения системного программного обеспечения, разработка компиляторов и интерпретаторов, технология программирования системных утилит, разработка драйверов интеллектуальных систем, перспективы применения искусственного интеллекта в системном программировании	– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение; – искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии
Методология программирования	Философия программирования, парадигмы программирования, базовые принципы программирования, модели разработки программного обеспечения, модели интероперабельных программ, перспективы применение искусственного интеллекта в программировании	– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение; – искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии
Нейрокомпьютеры	Классификация и архитектура нейрокомпьютеров, нейронный процессор, мероморфные и тензорные процессоры, процессоры машинного зрения, нейрокомпьютеры на базе ПЛИС, перспективы развития нейрокомпьютеров, интеграция нейрокомпьютеров в киберфизическую среду	– нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей; – искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии
Методы и технологии создания киберфизических сред	Распределенные и децентрализованные системы, обеспечение интероперабельности, блокчейн и распределенный реестр, киберфизические системы и среды, принципы агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости, децентрализованная идентификация, технология программирования киберфизических сред	– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение; – технологии распределенных реестров; – нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей; – геоданные и геоинформационные технологии
Многоаспектное геоинформационное моделирование	Основы высшей геодезии, геоинформационные системы и среды, теория многоаспектного моделирования, методы многоаспектного моделирования природно-техногенных геосистем, иммерсивные технологии в геоинформатике, принципы формирования единого геоинформационного киберпространства	– геоданные и геоинформационные технологии; – нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей; – технологии распределенных реестров

Дисциплина	Краткое содержание	Осваиваемые цифровые технологии
Методы и технологии DevOps	Назначение и цели DevOps, модели жизненного цикла программного обеспечения, управление программными проектами, методы и технологии управления окружением разработки, автоматизация сборки и выпуска версий программного продукта	– новое индустриальное и общесистемное программное обеспечение; – технологии распределенных реестров

Планируемый срок развития магистерской подготовки на кафедре систем автоматизации и робототехники составляет 3 года. Реализация плана развития существенно повысит качество подготовки магистров, владеющих сквозными цифровыми технологиями, и обеспечит рост показателей, по которым осуществляется принятие решений о распределении контрольных цифр приема.

Заключение

Актуализация существующей основной образовательной программы «Интеллектуальные технологии в автоматизации», реализуемой в рамках направления подготовки 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств, и разработка и внедрение новой основной образовательной программы «Программирование искусственного интеллекта» существенно повысит качество подготовки специалистов, способных осуществлять свою профессиональную деятельность в области разработки и внедрения сквозных технологий в различных отраслях цифровой экономики. Ресурсы кафедры полностью соответствуют достижению поставленной цели.

Список используемых источников

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).
2. Концепции технологического развития на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р.
3. Жаркова Е. А. Цифровая экономика России в контексте развития глобальной цифровой экономики // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения: Гуманитарные исследования. 2022. № 4 (15). С. 69–79.
4. Волынская Ю. В., Сатина А. В., Лошкова И. В., Козлов В. А., Кудбиев Д. Сквозные технологии в цифровой экономике // В сборнике: Инновации в управлении социально-экономическими системами. Весна 2022. сборник докладов. 2022. С. 122–128.
5. Козлов Н. В. Направления развития импортозамещения в наукоемких отраслях российского производства // Финансовые рынки и банки. 2023. № 2. С. 120–123.

6. Хрусталева С. П., Шендрикова О. О., Луценко М. С., Макаров Н. Н. Оценка стратегического потенциала развития наукоемких и высокотехнологичных отраслей промышленности российской федерации // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 12 (138). С. 116–119.
7. Верхова Г. В., Акимов С. В. Система электронного обучения с интероперабельной микросервисной архитектурой // Телекоммуникации. 2023. № 2. С. 32–40.
8. Салаватова Ю. А. Кадры для цифровой экономики // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 5 (131). С. 284–287.
9. Бойкова А. В., Конакова Л. В. Проблемы подготовки кадров для цифровой экономики // Экономика и предпринимательство. 2022. № 4 (141). С. 1236–1239.
10. Фатхутдинова Р. А., Бикметова З. М. Подготовка кадров для цифровой экономики: вызовы и тренды // Научный аспект. 2023. Т. 8. № 11. С. 928–935.
11. Юшманова В. А., Адаменко М. С., Рагозина М. А. Дефицит высококвалифицированных кадров в инновационных организациях // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 63–3. С. 187–189.
12. Верхова Г. В. Программа магистерского онлайн-курса «Многоаспектное геоинформационное моделирование» // В сборнике: Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2022). Сборник лучших докладов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей. Сост. Н. Н. Иванов. Санкт-Петербург, 2023. С. 363–366.
13. Аверьянов А. О., Степусь И. С., Гуртов В. А. Обеспечение потребности сферы искусственного интеллекта кадрами с высшим образованием // Университетское управление: практика и анализ. 2022. Т. 26. № 4. С. 22–36.
14. Рябко Т. В., Гуртов В. А., Степусь И. С. Анализ показателей подготовки кадров для сферы искусственного интеллекта по результатам мониторинга вузов // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 7. С. 9–24.
15. Долженкова Ю. В., Рязанцева М. В. Кадровое обеспечение IT-индустрии // Труд и социальные отношения. 2023. Т. 34. № 4. С. 5–18.

Akimov S., Verkhova G. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MASTER'S TRAINING AT THE DEPARTMENT OF SYSTEM AUTOMATION AND ROBOTICS.

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The development of the digital economy of the Russian Federation requires highly qualified specialists with competencies in the field of end-to-end digital technologies, the preparation of which is possible within the framework of relevant master's programs. Improving the quality of master's training requires improving the educational process, introducing innovative forms of training, modernizing curricula taking into account changes in the field of science and technology, as well as in the structure of the labor market. Taking into account the trends in the development of the digital economy, educational technologies and human resources potential of the SAR department, the main directions for the development of master's training are the introduction of an e-learning system based on interactive educational and methodological complexes, the introduction of additional electronic courses for master's students admitted from other directions, strengthening understanding the role of project-based learning, opening a new master's program. The implementation of the development plan will significantly improve the quality of training of masters who master end-to-end digital technologies and will ensure an increase in the indicators by which decisions are made on the distribution of admission quotas.

Key words: end-to-end digital competencies, digital economy, master's program, interactive educational and methodological complexes, adaptive learning, project-based learning, artificial intelligence, programming, multidimensional geographic information modeling.

УДК 130.2
ГРНТИ 02.41.01

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ «ЛАБОРАТОРИИ НОВЫХ МЕДИА»

И. Е. Астафьева-Румянцева[1], Я. Г. Добычина[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (СПб)

В статье анализируются особенности просветительской и педагогической деятельности «Лаборатории новых медиа». Обосновывается развитие лабораторного процесса за счет расширения целевой аудитории, посредством привлечения к проектной деятельности творческих Вузов (студенческая практика и стажировка) и школьных педагогов (образовательные проекты). Раскрывается представление о том какую «идейную» и практическую пользу могут сформулировать в организации лабораторного процесса кураторы проекта и возможные участники.

театральная педагогика, лабораторный подход, медиаарт, междисциплинарность, целевая аудитория, кураторство

Лабораторный подход в организации театральной деятельности имеет давние традиции [1] и связан с поисками новых форм и содержания как на уровне профессиональных коллективов, так и в организации творческого процесса любительских объединений [2]. Сегодня лабораторный формат является полноценным жанром театральной реальности. Одной из принципиальных его задач является преодоление эстетического разрыва между традиционным театром и активно развивающимися новейшими технологиями.

С другой стороны, лаборатория – это пространство, где ограничения минимизированы, а эксперимент является обязательным условием процесса, что создает порой неожиданные и эффектные результаты.

На «Новой сцене Александринского театра» с 2016 года реализуется проект «Лаборатория новых медиа» [3] для подготовки профессионалов в области современного медиаискусства, объединяющего широчайший спектр форматов и технологий: цифровое искусство, компьютерная графика, моушн-дизайн, лазерные шоу, иммерсивные инсталляции, устройства, функционирующие на основе искусственного интеллекта. За эти годы вокруг Лаборатории сформировалось непрерывно развивающееся сообщество специалистов, экспериментирующих во всех направлениях медиаискусства. Ими было разрабо-

тано более ста театральных и выставочных проектов. В том числе и те, что представлены в репертуаре Александринского театра.

Предтечей Лаборатории стал проект «Нейроинтегрум», экспериментальный научно-художественный проект, созданный под руководством медиахудожника Юрия Дидевича. «Нейроинтегрум» исследовал взаимодействие человека и машины и главной целью проекта было выстраивание культурного диалога между этими двумя разными мирами. Кроме того, «Нейроинтегрум» стал первым театральным проектом, реализованным на базе Медиацентра Новой Сцены и с использованием его технических возможностей.

Лаборатория новых медиа появилась практически одновременно с формированием концепта Новой сцены Александринского театра, которая, как экспериментальная площадка, стремилась к тому, чтобы создать как можно большее количество междисциплинарных проектов, аудиовизуальные концерты и прочее. Кураторы Лаборатории испытывали потребность в демонстрации возможностей «нового художника» как специалиста, обладающего не только мотивацией для погружения в смежные области искусства, но и определенным уровнем знаний в различных сферах искусства, науки, техники. Изначально не ставилась задача создания некого стратегического курса, работающего стабильно и выявляющего некую универсальную эффективность для всех его организаторов и участников. Специфика российской театральной среды заключается в ее закрытости, недоступности для молодых специалистов, особенно желающих работать с чем-то принципиально новым. Вне заинтересованности театра, привлекающего новое творческое поколение, стать частью этой системы практически невозможно. Сверхзадача Лаборатории заключалась, скорее, в создании в какой-то степени полезного курса, на который есть спрос. Однако отбор участников проекта был более чем тщательным. Каждый претендент проходил через собеседование, раскрывающее и его мотивацию, и творческие амбиции, и целевые установки. Выявлялись люди мотивированные, «горевшие» происходящим в рамках проекта, нацеленные создавать, готовые погрузиться в новые сферы знания.

Постепенно с развитием Лаборатории в структуре образовательных треков произошли принципиальные изменения, кураторы и авторы курсов все чаще ориентировались на аудиторию, изначально понимающую предмет на более глубоком уровне, на тех, кто приходит с определенным багажом знаний и творческим опытом. Объяснить такие перемены можно распространением всевозможных платных и бесплатных онлайн-курсов, подкастов, а также уроков на видеохостинге YouTube. Медиаискусство в России развивается и получает дополнительный импульс во многом благодаря Интернету и трудам энтузиастов, способных аккумулировать информационные потоки и преподно-

сить материал преимущественно в интерактивном формате, лишенном наукообразия и стереотипов. Импульсом для автономного развития будущих медиахудожников стала пандемия коронавируса, когда технологии в силу эпидемиологической ситуации стали одним из основных способов межличностной коммуникации, творческого самовыражения.

За годы существования Лаборатории было реализовано множество проектов, которые можно сгруппировать в рамках отдельных направлений. Выделим основные из них.

1. *Образовательные проекты:* детская медиа-лаборатория «От рисованного звука до Drawnsound»; междисциплинарный проект в области новой музыки, современного танца и драматического театра «Поверх барьеров»; самостоятельные образовательные потоки Лаборатории (NML-2016, NML-2017, NML-2018, NML-2019, NML-2020, Curse of knowledge 21, Video Studies 22 and A&S Studies 23, AVLAB 24).

2. *Проекты в области искусственного интеллекта:* «Добрая сказка» – аудиоспектакль-сказка для детей от 6 лет и их родителей, сгенерированный искусственным интеллектом на основе множества сюжетов известных сказок, а центральный сюжет создан самими слушателями (2021 г.).

3. *Медиаисследования:* коммуникационная платформа «Curse of knowledge» («Проклятие знания») в формате серии еженедельных бесед с ведущими современными художниками, представляющими свои проекты, сочетающие в себе VR, AR, пространственный звук, био-арт, дейта-арт и т.д. (2021 г.), «Биомеханика VR» (проект в рамках фестиваля памяти В.Э. Мейерхольда, где впервые было проведено исследование метода биомеханики при помощи VR и AR-технологий).

4. *Коллаборации:* Международный фестиваль технологического искусства «101» (2015 г.); «Самая длинная ночь во Французском Институте в Санкт-Петербурге» – серия интерактивных световых инсталляций (2018 г.); Международная летняя школа «Experimental Interaction Design: Designing wearable technologies for performative arts» («Экспериментальный интерактивный дизайн: проектирование носимых устройств для перформативного искусства», 2018 г.); «Перформанс-лаборатория: танец и цифровые технологии» (2019 г.); акустическое гастрономическое путешествие в партнерстве с рестораном HITCH, где навигатором оказывается сочетание вкуса и музыки (с 2021 г. по настоящее время); «Повтори мое имя» – 80-часовая инсталляция в традиции искусства выносливости (2021 г.); «Стравинский. Весна» – мультимедийный проект, объединивший живую оркестровую музыку, промышленных роботов, лазерное оборудование, саунд-дизайн (2021 г.); робототехническая конференция «Манипулируй то» к премьере «Стравинский. Весна» (2021 г.); «Город,

театр, звук: креативная лаборатория» (2022 г.); «Голос завода» – музыкальный спектакль-променад на двух предприятиях компании СИБУР (2023 г.); междисциплинарный проект на стыке звукового, визуального и перформативного искусства для Челябинского трубопрокатного завода ТМК (2023 г.); научно-художественная лаборатория «Подземные реки» в рамках 5-го Кураторского форума Северо-Западного филиала ГМИИ им. А. С. Пушкина реализована в Центре Art & Science Университета ИТМО в формате летней арт-резиденции (2024 г.).

5. *Фестивали*: фестиваль медиаискусства «MEDIA IN» (2017 г.); многоканальный фестиваль электронной музыки «ACUSMONIUM» (с 2018 г.); фестиваль «Формы танца» (2019 г.).

Однако, несмотря на масштабность и междисциплинарность реализованных проектов, перед Лабораторией до сих пор стоит проблема нахождения своей целевой аудитории. Кураторы проекта заинтересованы в выстраивании стратегических связей со студенческими объединениями, что связано с очевидным запросом студентов творческих и технических вузов, стремящихся связать свою жизнь с миром медиа. Успешный кейс взаимодействия с Университетом ИТМО подтверждает эту мысль. Совместный лекторий Центра Art & Science Университета ИТМО и Лаборатории новых медиа – «Искусство, наука и тело» стартовал в конце сентября 2023 г. Цикл встреч на «Новой сцене» посвящен связи искусства и медицины [4]. В рамках лекционной программы художники, искусствоведы и антропологи обратились к прошлому и настоящему отношений медицинских и гуманитарных наук. Слушатели узнали, как эти области преобразуют друг друга и создают новые дискурсы и этические нормы. В центре внимания оказалось человеческое тело и основные режимы его существования: здоровое и больное, нормативное и странное, деятельное и пассивное. Спикеры попробовали определить статус телесности в условиях современного состояния медицинских технологий и развития фармакологии.

Заинтересованные в создании творческих проектов в рамках Лаборатории студенты уже имеют некоторые навыки и серьезную теоретическую базу. Такой подход значительно облегчает задачу в выстраивании профессиональных коммуникаций, ведь кураторам более не нужно тратить время на преподавание «азов».

В качестве разрешения проблемы нахождения целевой аудитории, работать с которой можно без потери эффективности, предлагается формирование внутри Лаборатории *площадки для производственной практики*, где будущие специалисты смогут не только получить ценный опыт, но и создать стартап, предложить его кураторам и защитить свой личный проект в качестве выпускной работы – в настоящее время защита выпускных квалификационных работ

именно в таком формате стремительно набирает популярность, ведь процесс создания своего проекта, а не исследование уже чего-то существующего, имеет ярко выраженный практикоориентированный профиль. А медиахудожнику, в первую очередь, необходима именно практика для закрепления навыков и демонстрации своих творческих потенций будущему работодателю.

Тем не менее при формировании набора студентов на практику следует учесть, что далеко не все студенты желают заниматься только практической стороной вопроса. Речь идет об еще одном виде оттачивания полученных в стенах учебных заведений навыков – исследовательской практике. Не секрет, что мир медиаискусства, существенно изменившийся в условиях цифровизации, нуждается в современном и серьезном научном осмыслении. Феномен Лаборатории как сообщества, способного объединить под своим началом профессионалов разного уровня и сфер деятельности, служит тому доказательством. Иными словами, практику в рамках Лаборатории может пройти не только студент-художник, но и студент-продюсер или студент-театровед, в чьих научных интересах присутствует медиаарт, его исторические предпосылки, перспективы развития, форматы и инструменты. Данная рекомендация базируется на объективном прецеденте – к сожалению, в настоящее время для студентов-театроведов организован довольно лимитированный круг активностей. Как правило, студенты принимают участие в экскурсионном туре по театрам и выполняют мелкие поручения, не всегда напрямую относящиеся к их компетенциям. Необходима принципиальная перестройка взаимоотношений театров (как баз для практики) и студенческого коммьюнити (как аудитории, заинтересованной в оттачивании мастерства). Кураторы Лаборатории могут помочь студентам-театроведам не только «влиться» в творческий коллектив на период практики, но и предоставить им материал для написания серьезного курсового или даже дипломного исследования. Специфика работы театроведа неотделима от углубления зрительского опыта, где профильное образование придает объем и профессионализм выдвинутым умозаключениям. Наблюдая за работой медиахудожников, практикант сможет приобрести значимый опыт, который станет фундаментом для будущей научной карьеры.

Студентам-продюсерам же практика внутри Лаборатории поможет в отработке навыков организаторской работы – это может быть практика создания небольшого проекта с использованием материально-технической базы Новой сцены, в частности, Медиацентра. Кроме того, для продюсеров важно понимание сути технической работы Лаборатории: как функционируют те или иные девайсы, световое и звуковое оборудование, в чем заключается специфика работы с роботизированными механизмами и т.д. Именно практика в сочетании с наблюдательностью и нетворкингом поможет повысить ценность

своего образования и в дальнейшем способна повлиять на формирование профессионального вектора. С другой стороны, самые эффективные практиканты могут усилить команду Лаборатории на определенный период времени, получив возможность вслед за практикой пройти стажировку на данной площадке.

В качестве иллюстрации значения практического оттачивания навыков на площадках Новой сцены следует выделить курсовой проект «CIBA. Creative Industries. Business and Arts», ежегодно организуемый студентами магистерской программы НИУ ВШЭ «Менеджмент в индустрии впечатлений». Основными площадками ежегодной конференции являются зрительный зал Новой сцены (главная сценическая площадка, где проводятся спектакли и крупные проекты-коллаборации), Медиацентр и фойе. Разрабатываемая в период с ноября по март концепция проекта с «нулевого» уровня позволяет студентам-арт-менеджерам погрузиться в специфику работы площадки: от глобальных вопросов до нюансов, которые могут повлиять на окончательную форму мероприятия. Проект существует уже четыре года и демонстрирует уникальную трансформацию, преемственность и жизнеспособность. Успех CIBA может стать своеобразным референсом для кураторов Лаборатории и вдохновением к созданию таких же ежегодных проектов, полностью реализованных усилиями студентов. Вокруг подобных мероприятий со временем образовывается особая аудитория, которая может влиться в основную целевую аудиторию Лаборатории – профессионалов или зрителей, которым небезразличная судьба медиаискусства в России.

Помимо студенческого сообщества, Лаборатория может выстроить *взаимодействие с педагогами школ и колледжей*, заинтересованных в развитии медиа-компетенций у своих учеников. Упомянутый выше проект «Добрая сказка» и другие просветительские концепты Лаборатории продемонстрировали живой интерес к медиаарту со стороны детей, подростков и их родителей. Однако в реализации этого направления стоит затронуть и интересы педагогов с ярко выраженными творческими способностями, профессионалами, желающими почерпнуть вдохновение из опыта медиапроектов Новой сцены.

В настоящее время развитие театральной педагогики и поощрения творческой инициативы школьников получает поддержку со стороны государства – в 2020-2021 гг. было разработано сразу несколько масштабных проектов по созданию театральной студии при каждой российской школе, где дети смогут проявить себя в разных ипостасях, сформировать интерес к возможной будущей профессии в сфере культуры и креативных индустрий. По состоянию на 2021 год, лишь 7 тысяч школ от более чем 40 тысяч имели свои театральные коллективы, эту ситуацию необходимо было исправить за счет внедрения в образовательные стандарты критериев эстетического воспитания детей и под-

ростков. Успешный старт проекта «Школьная классика» и появление лектория для школьных педагогов при поддержке Театрального института имени Б. Щукина показали актуальность и эффективность новой программы. В задачи проекта входит «системное развитие школьных театральных студий, реализация творческого потенциала школьников и педагогов» [5]. Для Лаборатории новых медиа как для площадки, желающей выстроить эффективное взаимодействие с новой аудиторией, пример данного успешного кейса может стать прекрасной возможностью выстроить целое направление проектов, ориентированных на школьных педагогов, где главными целями являются изучение основ медиарежиссуры, а также разработка методических материалов, с помощью которых педагоги смогут мотивировать учеников к погружению в мир театра и медиатехнологий, а также использовать методы театральной педагогики в преподавании самых разных дисциплин и не только гуманитарного спектра [6]. Практическим «венцом» такого проекта может стать создание серии небольших эскизов при помощи кураторов и технических служб Новой сцены. Педагоги получат ценный опыт и кейс в портфолио, а дети – мотивацию к учебе, удовольствие от процесса и возможность реализовать свой творческий потенциал на одной из лучших и высокотехнологичных площадок страны.

Подобный опыт был успешно реализован в рамках «Педагогической лаборатории БДТ». Данная программа была реализована БДТ имени Г. А. Товстоногова совместно с ГБУ «Информационно-методический центр» Центрального района Санкт-Петербурга в 2016 г. Большой драматический театр разработал для преподавателей программу курса повышения квалификации «Основы театральной педагогики в школе». Проект представлял из себя серию просветительских мероприятий, направленных на «становление профессиональных компетенций учителя в области театральной педагогики» [7]. Структура лаборатории включала в себя фундаментальные фазы разработки спектакля, его замысла, драматургического анализа и постепенного перехода от этюдных репетиций к большим сценическим опытам. Участники лаборатории исследовали методики обучения актерскому мастерству, познавали основы театральной режиссуры, а также тренировались писать совместные пьесы с учениками. Целью проекта являлось формирование «нового образа петербургского педагога», а также поиск наиболее удачного преломления и приложения организаторского таланта участников лаборатории. Особо следует отметить внимание к проекту со стороны государственных образовательных структур – в 2017 г. Лаборатория была усовершенствована в контексте федеральных образовательных стандартов и продолжила свою работу уже в качестве полноценного курса повышения и углубления квалификации. Гра-

фик лаборатории распределялся в рамках каникулярных периодов: осенних, зимних и весенних, что позволяло педагогам погрузиться в процесс не в рабочее время. Кураторами проекта выступили профессиональные режиссеры, театроведы и продюсеры, номинанты, лауреаты члены экспертных советов престижных театральных премий, что добавило процессу творческого взаимообмена весомость и ценность. Педагогами и спикерами проекта были Б. Павлович, Н. Боренко, Т. Джурова, М. Колосова, Я. Тумина, С. Казарновский, А. Демахин.

Используя этот уникальный опыт, Лаборатория новых медиа сможет не только обогатить свой проектный арсенал и расширить целевую аудиторию, но и обрести принципиальные конкурентные преимущества. Речь идет о преподавании основ медиарежиссуры для аудитории, которая относится к любительскому, а не профессиональному театру. Один из авторов настоящей статьи имеет опыт организации подобного проекта, а именно – коллаборации Александринского театра и театральных студий петербургского кампуса ВШЭ. Проект показал заинтересованность обеих сторон в продолжении сотрудничества, мотивацию студийцев и их неподдельный интерес к происходящему в театральном мире Петербурга и России в целом. Отметим, что данный проект не мог бы сложиться без влияния педагога-наставника, в чьи функции входит не только преподавание «азов», но и эстетическое воспитание подопечных посредством личного примера, мотивации и харизмы. Лаборатория новых медиа сможет использовать весь накопившийся за восемь лет опыт и материально-техническую базу, чтобы участники педагогической «секции» смогли на конкретных примерах увидеть благотворное влияние медиа на восприятие современного искусства.

Лабораторный процесс для педагогов условно можно разделить на два блока: теоретический и практический, где теория представляет собой серию лекций приглашенных спикеров и самих кураторов, круглые столы и совместные просмотры спектаклей и перфомансов с использованием мультимедийных технологий. Практическая же часть станет «погружением» в контекст в виде практикумов в студиях и презентацией получившихся проектов на учебную аудиторию. В ходе разработки совместных эскизов педагоги могут привлекать своих учеников для участия в их постановке и демонстрации. На стадии завершения проекта важно получать обратную связь от участников, например, в формате «проблемных» и «решенческих» интервью, целью которых представляется выявление практической значимости продукта, в данном случае образовательного курса для педагогической целевой аудитории. Результаты анализа обратной связи смогут помочь кураторам в определении дальнейших треков курса в ситуации, если проект будет иметь ежегодный

набор. Финансовой основой развития этого образовательного формата может послужить активная грантовая деятельность Лаборатории.

В опыте Новой сцены есть пример эффективного взаимодействия подростковой аудитории и профессионалов, выступивших в качестве педагогов-организаторов, руководителей репетиционного процесса. Речь идет о международных российско-немецких проектах «Цель визита» и «Облачный театр», [8] реализовавшихся на базе Медиацентра в 2017-2019 гг. В течение полугода кураторы М. Патласов, А. Шклярская и М. Карнаухов вместе с подростками сочиняли документальный спектакль-променад об адаптации современных подростков-мигрантов к жизни в другой стране и культуре. Половина участников творческого процесса – выходцы из Йемена, Омана и других стран Ближнего Востока, перебравшиеся в Германию ради более спокойной жизни. С немецкой стороны проект курировала социальный педагог и театральный продюсер Анна Юнышева, много лет прожившая в ФРГ и занимающаяся социальной адаптацией детей из семей беженцев. Результатом полугодового процесса стали два спектакля в жанре сайт-специфик, где каждый участник в атмосфере культовых петербургских дворов-«колодцев» и знаковых локаций (памятник писателю Сергею Довлатову на улице Рубинштейна, «Апраксин двор», мост Ломоносова и т.д.) читал монолог о жизни тех, кто по той или иной причине был выброшен из социального контекста. Процессия из артистов и порядка 30 зрителей после променада перемещалась в Медиацентр, где начиналась вторая часть спектакля – этюд о крушении космического корабля и адаптация пришельцев к жизни на новой планете. В 2019 году спектакль-променад был показан в рамках фестиваля детских театров «Арлекин». Этот пример доказывает не только эффективность проекта, но и четкий запрос аудитории, костяк которой составляли подростки, мечтавшие высвободить свою боль и негативные эмоции через форму монолога. Можно сказать, что и «Цель визита», и «Облачный театр» стали своего рода терапией для тех, кто нуждался в поддержке и сочувствии.

На конкретных примерах реализованных в разные годы проектов на базе площадок Новой сцены можно увидеть растущий интерес к междисциплинарности, открытости и расширению творческих горизонтов – как на профессиональном, так и личностном уровнях. Для Лаборатории новых медиа это может стать серьезной подпиткой в кадровом смысле, поскольку существенной проблемой платформы является привлечение активных и мотивированных специалистов под реализацию конкретных проектов.

Список используемых источников

1. Лидерман Ю. Г. Лаборатория как институциональная и художественная структура в театральном искусстве XX-XXI в. (советский и российский контексты). М.: Изд-во РАНХиГС, 2019. 34 с.
2. См. например: Карпеченко В. В. Лабораторный подход в самодеятельном театре как инструмент социокультурного развития подростков и молодежи // Общество. Среда. Развитие. 2020. № 3. С. 40-45.
3. Сайт Лаборатории Новых медиа. URL: https://www.newstagemedialab.com (дата обращения 06.12.2024).
4. Лекторий Центра Art & Science Университета ИТМО и «Лаборатории новых медиа» - «Искусство, наука и тело». URL: https://vk.com/club215398048 (дата обращения 16.12.2024).
5. Запущена программа создания школьных театров. URL: https://edu.gov.ru/press/4430/zapuschena-programma-sozdaniya-shkolnyh-teatrov (дата обращения 14.12.2024).
6. См. например: Фильченкова А. Д. Исторический аспект развития школьных театров / А. Д. Фильченкова, А. А. Толстенева. URL: https://www.minin-vestnik.ru/jour/article/view/1418/949 (дата обращения 16.12.2024); Стаина О. А. К вопросу об организации школьного театра: постановка педагогических целей и задач // Управление культурой. 2023. № 2(6). С. 11–17.
7. Педагогическая лаборатория БДТ. URL: https://bdt.spb.ru/proekty/pedagogicheskaya-laboratoriya-bdt/?ysclid=m5sw5jskly559099054 (дата обращения 08.12.2024).
8. «Облачный театр» Михаила Патласова. URL: https://alexandrinsky.ru/afisha-i-bilety/oblachnyy-teatr-spektakl-promenad-novyy-mir/?ysclid=m5sydb8njq799486048 (дата обращения 13.12.2024).

Astafjewa-Rumianzewa I., Dobychina Y. **PEDAGOGICAL POTENTIAL OF NEW MEDIA LABORATORY.**

The present article analyzes the features of educational and pedagogical activities of New Media Laboratory. The development process is justified by expanding the target audience through the involvement of creative universities (student practices and internships) and school teachers (educational projects) in project activities. The conception of practical benefits can be formulated inside the Laboratory organizational process by the project curators and possible participants.

Key words: theater pedagogy, laboratory approach, media art, interdisciplinarity, target audience, curation.

УДК 621.39, 681.7
ГРНТИ 49.44.31

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА CWDM

М. С. Былина, Т. А. Котов, Е. С. Минин, Б. К. Резников
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлены результаты экспериментального и теоретического исследования мультиплексора ввода/вывода для системы CWDM, построенного на основе двух интерференционных фильтров. Исследуемый мультиплексор позволяет ввести в групповой сигнал канал на длине волны 1330 нм и вывести из него канал на длине волны 1490 нм. По результатам измерений определена структурная схема мультиплексора и проведены измерения потерь сигналов, передаваемых между его портами. Синтезированы интерференционные фильтры для ввода и вывода каналов.

интерференционный фильтр, тонкопленочный фильтр, оптический мультиплексор ввода/вывода, CWDM

1. Введение

Современные технологии передачи данных предъявляют повышенные требования к пропускной способности волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Одним из ключевых подходов, позволяющих достичь этих целей, является использование технологий мультиплексирования с разделением по длине волны (Wavelength Division Multiplexing, WDM). Для относительно коротких расстояний применяется технология Coarse WDM (CWDM) с интервалом 20 нм между соседними длинами волн (спектральными каналами) [1, 2].

Для объединения и разделения спектральных каналов в системах CWDM используются мультиплексоры и демультиплексоры, которые могут быть построены на:

– интерференционных тонкопленочных фильтрах (Thin Film Filter, TFF), отличающихся высокой избирательностью, низкими потерями и устойчивостью к температурным изменениям [3, 4];

– полосовых фильтрах на основе волоконных решеток Брэгга (Fiber Bragg Gratings, FBG), достоинствами которых является компактность и устойчивость к внешним воздействиям [5].

2. Тонкопленочные интерференционные фильтры

В основе работы тонкопленочных интерференционных фильтров лежит явление интерференции. Свет, падающий на тонкопленочный фильтр, испытывает отражение и преломление на каждой границе между тонкими пленками, что влечет за собой образование большого количества отраженных и преломленных волн, которые интерферируют друг с другом.

Тонкие пленки обычно создаются с использованием таких методов, как испарение, химическое и ионное осаждение, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Среди них наиболее перспективным и удобным считается метод высокочастотного магнетронного распыления. Этот метод обладает рядом преимуществ, включая отсутствие необходимости использования ориентирующей подложки для роста пленок и ограниченность размеров подложки только размерами вакуумной камеры.

При моделировании TFF было учтено влияние различных параметров на спектр отражения, таких как количество слоев, угол падения света на фильтр, толщина периода тонкопленочной структуры и разница между показателями преломления двух слоев периода. Моделирование производилось для структуры с показателем преломления одного из слоев $n_1 = 1{,}75$.

Проведя анализ влияния количества слоев интерференционного фильтра на его спектральную характеристику коэффициента отражения, можно заключить, что при увеличении количества слоев увеличивается коэффициент отражения, а также уменьшается параметр FWHM (Full Width at Half Maximum, полная ширина на уровне половины от максимума) (рис. 1 и 2, $\Delta n = 0{,}001$, $\Delta = 440$ нм, $\theta = \pi/6$). Стоит также отметить, что в реальности произвести интерференционные фильтры с количеством слоев более пары десятков достаточно затруднительно [3].

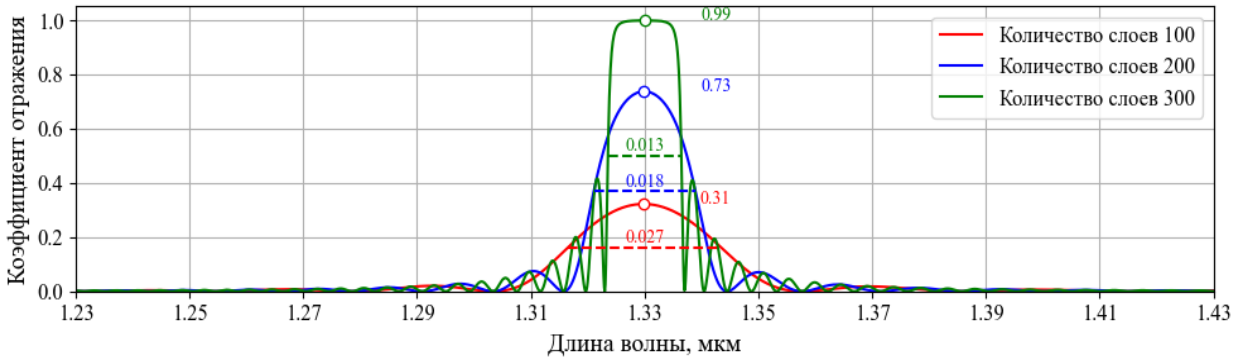


Рис. 1. Влияние количества слоев на спектр отражения

Рассматривая влияние различия показателей преломления двух соседних слоев на спектральную характеристику коэффициента отражения, можно отметить, что при уменьшении этой разницы уменьшается FWHM (рис. 3, $N = 300$, $\Delta = 440$ нм, $\theta = \pi/6$).

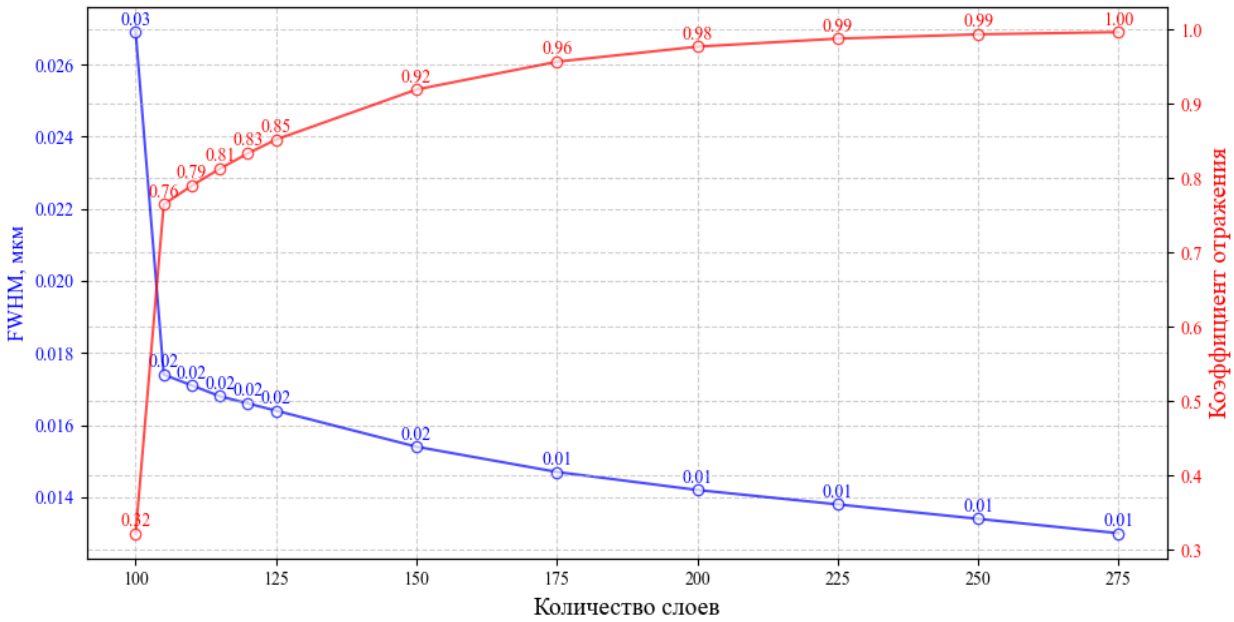


Рис. 2. Зависимости полной ширины спектральной характеристики отражения на уровне половины от максимального значения и коэффициента отражения от количества слоев фильтра

Рассматривая влияние толщины периода на спектральную характеристику коэффициента отражения, можно отметить, что коэффициент отражения не изменяется, не изменяется также FWHM, но с увеличением периода увеличивается центральная длина волны в спектре коэффициента отражения (рис. 4, $\Delta n = 0{,}001$, $N = 300$, $\theta = \pi/6$). Данная зависимость обусловлена условием Брэгга.

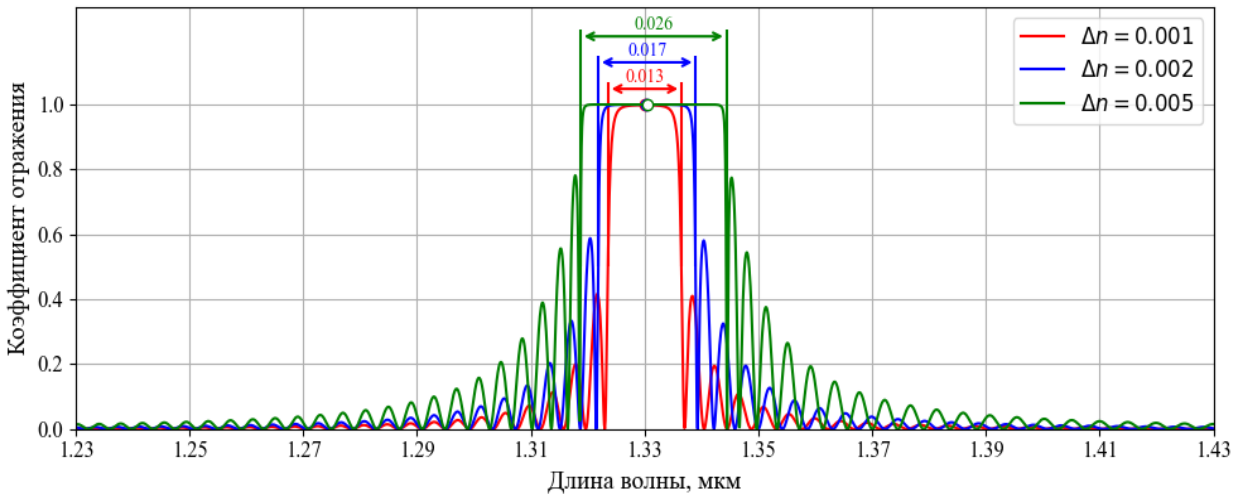


Рис. 3. Влияние разницы между показателями преломления двух слоев на спектр отражения

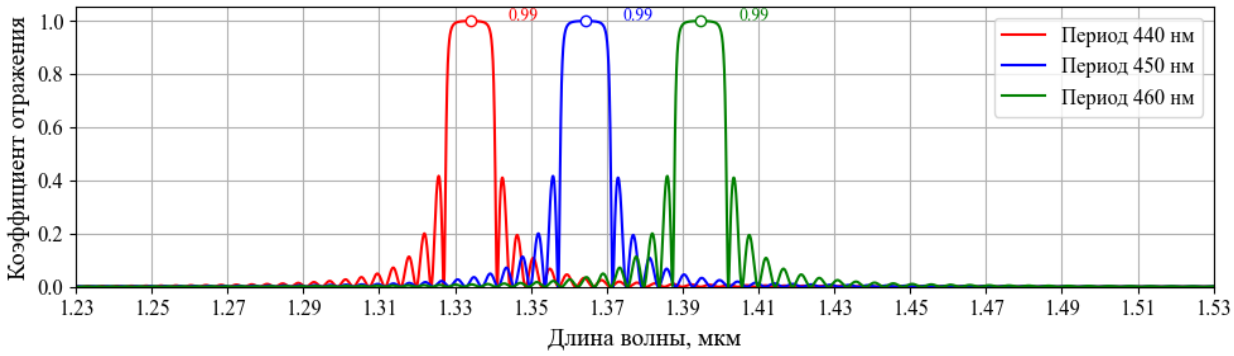


Рис. 4. Влияние толщины периода на спектр отражения

И, наконец, анализируя влияние угла падения света на интерференционный фильтр на спектральную характеристику коэффициента отражения, можно отметить существенное изменение только центральной длины волны в спектре отражения, что, как и в случае с влиянием толщины периода тонкопленочной структуры, обусловлено условием Брэгга (рис. 5, $\Delta n = 0{,}001$, $N = 300$, $\Delta = 440$ нм). Также видно, что FWHM увеличивается с увеличением угла падения.

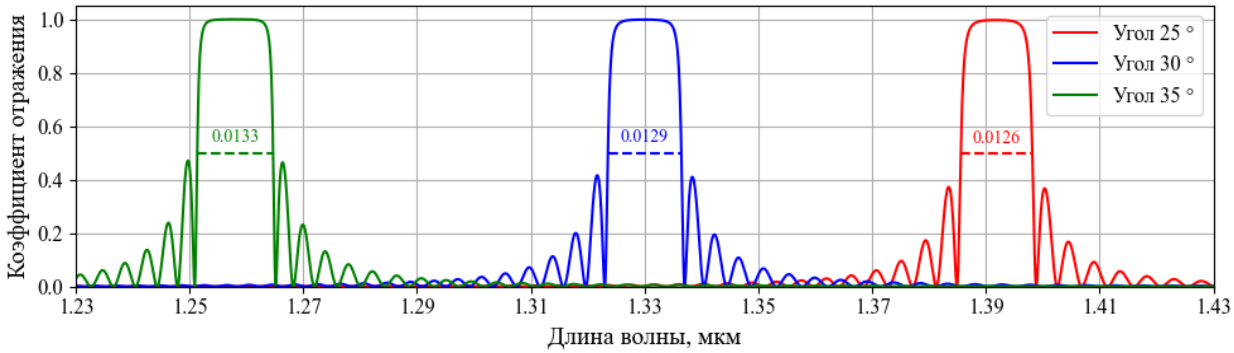
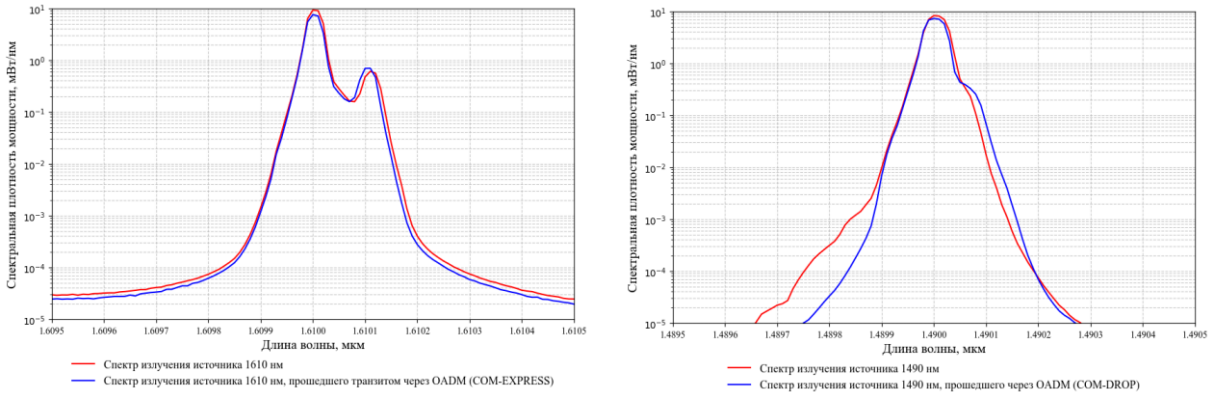


Рис. 5. Влияние значения угла падения света на спектр отражения

3. Экспериментальное исследование CWDM-мультиплексора

В работе проведено экспериментальное исследование мультиплексора ввода/вывода (Optical Add/Drop Multiplexer, OADM) для системы CWDM на основе двух фильтров TFF, настроенных на выделение длин волн 1330 и 1490 нм. Каждый фильтр TFF имеет три порта: общий порт COM, порт отраженного излучения REFL и порт прошедшего излучения PASS.

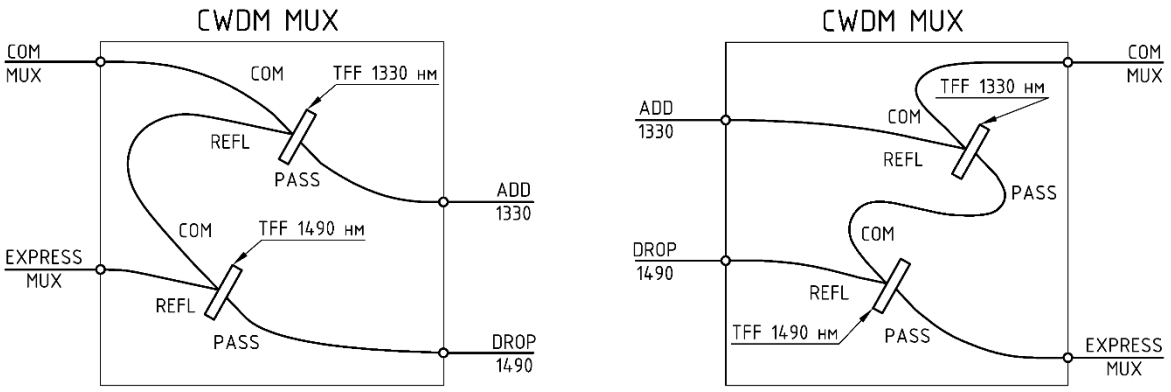
В лабораторной установке, где функционировал данный OADM, использовалось четыре спектральных канала с длинами волн 1330, 1450, 1490 и 1610 нм. Для исследования работы OADM сигналы от передатчиков, работающих на этих длинах волн, поочередно подавались в его порты и с помощью спектроанализатора регистрировались спектрограммы излучений, выходящих через другие порты. Примеры полученных спектрограмм представлены на рис. 6.



а) б)

Рис. 6. Зарегистрированные спектрограммы а) спектр излучения источника 1610 нм, спектр излучения источника 1610 нм, прошедшего транзитом через OADM (COM-EXPRESS); б) спектр излучения источника 1490 нм, спектр излучения 1490 нм, выведенного из OADM (COM-DROP)

Анализ зарегистрированных спектрограмм показал, что исследуемый OADM может быть построен из фильтров, пропускающих или отражающих один спектральный канал. Возможные структурные схемы исследуемого OADM представлены на рис. 7.



а) б)

Рис. 7. Структурная схема OADM с использованием TFF: а) пропускающих один спектральный канал, б) отражающих один спектральный канал

Из рис. 2 видно, что мультиплексор OADM имеет 4 порта. Групповой сигнал, содержащий *N* спектральных каналов, поступает на COM-порт OADM из сети CWDM, через порт ADD в него вводится канал на длине волны 1330 нм, а через порт DROP выводится канал на длине волны 1490 нм, через порт EXPRESS групповой сигнал передается дальше в сеть CWDM.

По зарегистрированным спектрограммам определялись уровни входных и выходных сигналов, что позволило определить потери, вносимые OADM при передаче сигналов между его портами. Результаты измерений и расчетов приведены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что вносимые OADM потери не превышают 0,57 дБ (COM-ADD λ = 1330 нм).

ТАБЛИЦА 1. Результаты исследования характеристик CWDM-мультиплексора

Длина волны, нм	Уровень, дБм	Входной порт	Выходные порты							
			COM		ADD 1330		DROP 1490		EXPRESS	
			Уровень, дБм	Потери, дБ	Уровень, дБм	Потери, дБ	Уровень, дБм	Потери, дБ	Уровень, дБм	Потери, дБ
1330	1,38	COM	X		0,81	0,57	–54.29	55,67	–17,54	18,92
1450	2,65		X		–50,46	53,11	– 25.9	28,55	2,33	0,32
1490	1,62		X		–53,36	54,98	1.27	0,35	–22,92	24,54
1610	– 0,3		X		–65,81	65,51	–48.75	48,45	– 0,65	0,35
1330	1,38	ADD 1330	1,2	0,18	X		X		– 37,3	38,68
1490	1,62	DROP 1490	1,22	0,40	X		X		– 37,8	39,42
1330	1,38	EXPRESS	–17,52	18,90	–46,43	47,81	X		X	
1450	2,65		2,22	0,43	X		–54,44	57,09	X	
1490	1,62		–22,10	23,72	X		–37,88	39,50	X	
1610	– 0,3		– 0,66	0,36	X		X		X	

4. Моделирование TFF для OADM

Во второй части работы было проведено моделирование спектральных характеристик двух TFF, входящих в состав исследуемого OADM, по методике, изложенной в [5]. Полагалось, что каждый TFF отражает один спектральный канал. В основе TFF лежит периодическая двухслойная структура толщиной Δ с показателями преломления слоев n_1 и n_2. Угол падения света на структуру был выбран равным θ = π/6. Период Δ рассчитывался по выражению:

$$\Delta = \frac{\pi}{k \cdot cos\theta},\ k = \frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{0.5(n_1^2 + n_2^2)}, \quad (1)$$

где k – волновое число структуры, λ – длина волны. Выбранные параметры для моделирования фильтров представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Исходные данные для моделирования спектральных характеристик TFF

Параметр	Фильтр	
	TFF-1330	TFF-1490
1. Центральная длина волны λ_0 в спектре отражения, мкм	1,33	1,49
2. Показатель преломления n_1	1,750	1,750
3. Показатель преломления n_2	1,751	1,751
4. Период структуры Δ, нм	440	490
5. Количество периодов N в структуре	300	300

Для расчета спектральной характеристики отражения TFF использовалось выражение:

$$R = \frac{|K|^2}{s^2 \cdot coth^2(s \cdot N \cdot \Delta) + \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}, \Delta\beta = 2k \cdot cos\theta - \frac{2\pi}{\lambda}, s = \sqrt{|K|^2 - \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}. \quad (2)$$

В (2) входит коэффициент связи мод K, который для поляризаций света перпендикулярно и параллельно плоскости падения рассчитывается по выражениям:

перпендикулярно $$K_s = \frac{i}{\lambda \cdot cos\theta} \cdot \sqrt{\frac{2(n_2^2 - n_1^2)}{n_1^2 + n_2^2}}. \quad (3)$$

параллельно $$K_p = \frac{i \cdot cos(2\theta)}{\lambda \cdot cos\theta} \cdot \sqrt{\frac{2(n_2^2 - n_1^2)}{n_1^2 + n_2^2}}. \quad (4)$$

Результаты расчета спектральных характеристик отражения по выражениям (2)–(4) показаны на рис. 8.

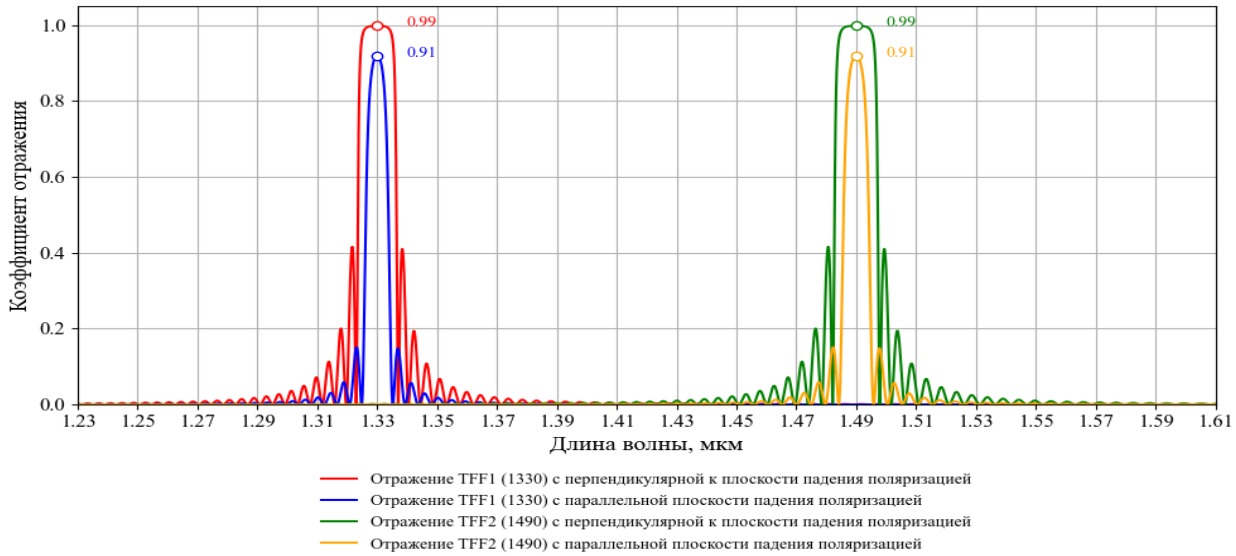


Рис. 8. Спектральные характеристики отражения двух фильтров для двух поляризаций

Коэффициенты отражения на центральных длинах волн составили $R_{s\,\lambda = 1330\text{ нм}} = 0{,}99$, $R_{p\,\lambda = 1330\text{ нм}} = 0{,}91$, $R_{s\,\lambda = 1490\text{ нм}} = 0{,}99$, $R_{p\,\lambda = 1490\text{ нм}} = 0{,}91$. Это соответствует потерям при добавлении/выведении спектрального канала не более 0,41 дБ. Сравнивая с измеренными данными, где аналогичные потери составляют 0,57 дБ, можно прийти к следующим выводам:

– построение аналогичного измеренному CWDM-мультиплексора возможно;

– увеличивая количество слоев TFF можно добиться уменьшения потерь на отражение;

– смоделированные TFF возможно применять в CWDM-системах с большими интервалами между спектральными несущими.

Список используемых источников

1. Трещиков В. Н., Листвин В. Н. DWDM-системы. 4-е издание. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. 420 с. ISBN 978-5-94836-634-0.
2. ITU-T. Recommendation G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid. Geneva: International Telecommunication Union, 2020.
3. Macleod H. A. Thin-Film Optical Filters. 3rd Edition. Tucson, Arizona: Thin Film Center Inc., and Professor Emeritus of Optical Sciences, University of Arizona.
4. Шарангович С. Н. Мультиплексорное и усилительное оборудование многоволновых оптических систем связи. Компьютерный лабораторный практикум: учеб. метод. пособие. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2010. 158 с.
5. Варжель С. В. Волоконные брэгговские решетки. СПб: Университет ИТМО, 2015. 65 с.

Bylina M., Kotov T., Minin E., Reznikov B. **THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF INTEGRATED CWDM OPTICAL MULTIPLEXER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper presents the results of an experimental and theoretical study of an input/output optical multiplexer for a CWDM system, implemented using two interference filters. The investigated multiplexer facilitates the addition of a 1330 nm wavelength channel to the composite signal and the extraction of a 1490 nm wavelength channel from it. Based on the experimental results, the structural configuration of the multiplexer was determined, and signal losses during transmission between its ports were evaluated. Interference filters for channel insertion and extraction were synthesized.

Key words: Interference filter, thin-film filter, optical input/output multiplexer, CWDM system.

УДК 004.725.7
ГРНТИ 49.34.06

АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АВТОНОМНЫМИ СИСТЕМАМИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ: IP-ТРАНЗИТ ИЛИ ПИРИНГ?

Р. А. Дунайцев, О. Н. Козлова, А. В. Светова, К. Ю. Силуянова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Глобальная сеть Интернет состоит из множества независимых сетей или автономных систем, которыми управляют различные организации: операторы связи и интернет-провайдеры, государственные и частные компании, научные и учебные заведения и т.д. Для передачи данных между автономными системами может применяться IP-транзит или пиринг. В статье с помощью трассировки маршрута до двух университетов, находящихся на разном удалении от Санкт-Петербурга, продемонстрировано определение цепочки автономных систем, через которые проходит передаваемый трафик, а также типа взаимодействия между ними.

IP-транзит, автономная система, пиринг, точка обмена трафиком

Глобальная сеть Интернет представляет собой «сеть сетей» и состоит из множества независимых автономных систем (Autonomous System, AS). Автономная система – это совокупность IP-сетей и маршрутизаторов под единым административным управлением, обеспечивающим общую политику маршрутизации для всех входящих в автономную систему маршрутизаторов [1]. Маршрутизаторы в пределах автономной системы используют тот или иной протокол внутреннего шлюза (Interior Gateway Protocol, IGP) и обладают информацией обо всех маршрутизаторах своей автономной системы. Обычно в качестве IGP применяется протокол маршрутной информации (Routing Information Protocol, RIP) или протокол выбора кратчайшего пути (Open Shortest Path First, OSPF). В свою очередь, для маршрутизации между автономными системами используется протокол внешнего шлюза (Exterior Gateway Protocol, EGP), в качестве которого традиционно применяется протокол пограничного шлюза (Border Gateway Protocol, BGP). Каждой автономной системе необходим свой уникальный номер. Такие идентификаторы называются номерами автономных систем (Autonomous System Number, ASN) и назначаются региональными интернет-регистраторами (Regional Internet Registry, RIR), которые получают их блоками по 1024 шт. от администрации адресного пространства Интернета (Internet Assigned Numbers Authority, IANA) [2]. В настоящее время функции IANA выполняет некоммерческая общественная интернет-корпорация по распределению имен и номеров (Internet Corporation for Assigned Names

and Numbers, ICANN) [3], а всего в мире насчитывается пять региональных интернет-регистраторов: AFRINIC, APNIC, ARIN, LACNIC и RIPE NCC [4].

Существуют три типа автономных систем: тупиковый или одноканальный (stub или single-homed), многоканальный без транзита (multi-homed non-transit) и транзитный (transit). Тупиковая автономная система имеет только одно соединение с другими автономными системами и маршрутизирует исключительно свой трафик. Автономная система считается многоканальной, если у нее имеется более одного соединения с другими автономными системами, однако транзита трафика через себя она не осуществляет. Транзитные автономные системы – это многоканальные автономные системы, которые, помимо маршрутизации локального трафика, осуществляют еще и транзит трафика через себя в интересах других автономных систем. Таким образом, транзитным считается трафик, отправитель и получатель которого находится вне данной автономной системы. Согласно [5], на момент написания статьи в мире насчитывается 76455 автономных систем, из которых транзитными являются лишь 10955 (чуть менее 15 %). Сети небольших интернет-провайдеров обычно состоят всего из одной автономной системы (как правило, тупиковой), тогда как инфраструктура крупного интернет-провайдера может включать в себя несколько автономных систем, где у каждой будет свой уникальный ASN.

Поскольку интернет-провайдеров в мире достаточно много [6], функционируют они в разных странах и на разных континентах, соединить их сети между собой по принципу «каждый с каждым» не представляется возможным. Вместо этого независимые сети объединяются в глобальную сеть Интернет в виде иерархической структуры, где локальные интернет-провайдеры подключаются к региональным, те, в свою очередь, – к национальным и т.д. В результате трафик, передаваемый между двумя сетями, не имеющими прямого соединения, вынужден проходить транзитом через одну или несколько других сетей. Подобный обмен трафиком (traffic exchange) может осуществляться либо на платной основе в виде IP-транзита (transit), либо на бесплатной в виде пиринга (peering) [7]. В зависимости от того, чем пользуется интернет-провайдер для обмена трафиком, их принято разделять на три уровня (tier):

– интернет-провайдеры первого уровня (tier 1 ISP) имеют доступ ко всем сетям в мире исключительно через пиринг. К ним относятся крупнейшие интернет-провайдеры национального и мирового масштаба (т.н. «The Tier 1 Club») [8];

– интернет-провайдеры второго уровня (tier 2 ISP) имеют доступ на бесплатной основе к некоторым сетям посредством пиринга, но вынуждены оплачивать IP-транзит для доступа к остальным сетям;

– интернет-провайдеры третьего уровня (tier 3 ISP) самые многочисленные и для доступа к остальным сетями полагаются исключительно на IP-транзит.

Легко видеть, что первый и второй уровни будут представлены транзитными автономными системами, а третий – тупиковыми (рис. 1).

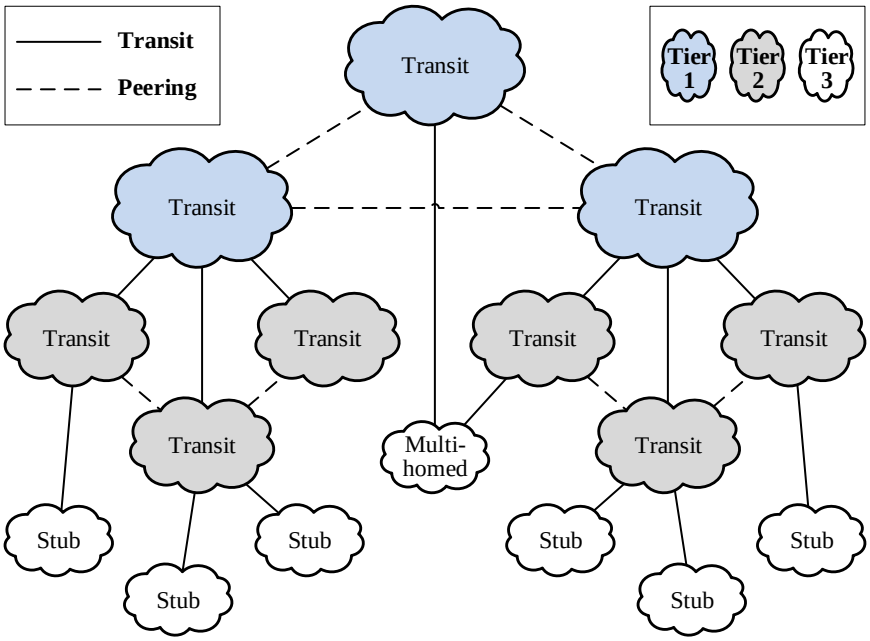


Рис. 1. Уровни интернет-провайдеров и типы автономных систем

Пиринг позволяет сократить расходы на оплату IP-транзита, улучшить доступность онлайн-сервисов и обеспечить резервирование сетевых маршрутов [9, 10]. Однако, хотя при пиринге пересылка трафика интернет-провайдерами друг другу осуществляется, как правило, бесплатно, его использование все-таки влечет определенные финансовые расходы. Для начала интернет-провайдер должен организовать линию связи к той или иной точке обмена трафиком (Internet eXchange Point, IXP) [11]. Далее ему потребуется оплатить счет за разовые услуги по размещению и подключению оборудования на технологической площадке IXP, а затем перечислять ежемесячную плату, размер которой зависит от выбранной скорости порта (например, см. [12, 13]). В результате пиринг становится экономически оправданным лишь для крупных интернет-провайдеров второго уровня с существенным информационным тяготением к другим подобным сетями. Определяющую роль при выборе пиринг-партнеров зачастую играет географическая близость сетей.

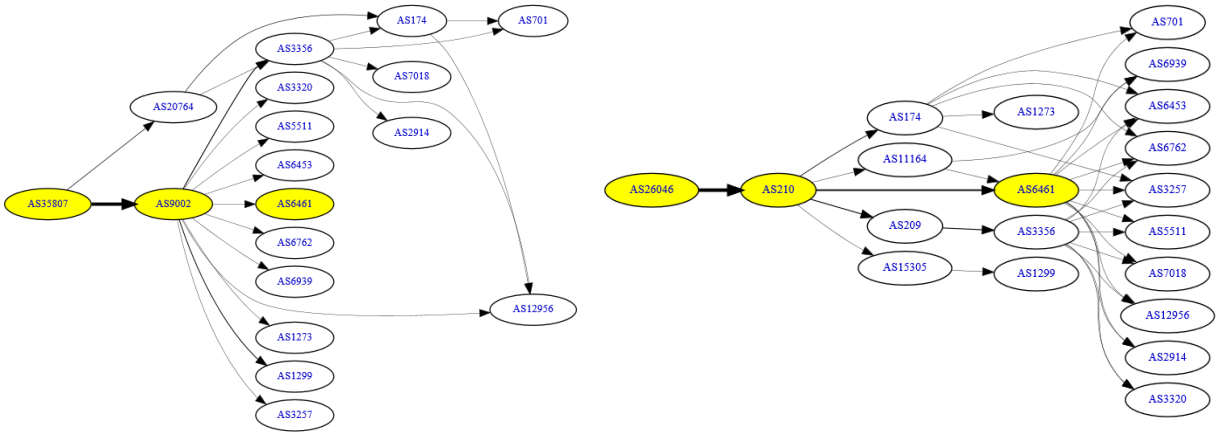
Чтобы продемонстрировать использование IP-транзита или пиринга между автономными системами, воспользуемся утилитой traceroute, поочередно выбрав в качестве удаленного сервера два зарубежных университета, находящиеся на разном расстоянии от Санкт-Петербурга: университет в США и университет в Норвегии. Для преобразования IP-адресов в ASN можно воспользоваться либо различными сайтами [14, 15], либо порталом интернет-провайдера Hurricane Electric, предлагающим специализированный функционал [16]. В целях сравнения трассировка выполнялась при подключении к разным интернет-провайдерам: SkyNet и t2 (ранее Tele2). Результаты представлены в табл. 1–4 и на рис. 2–5, где с помощью [17] отмечены цветом задействованные автономные системы.

ТАБЛИЦА 1. Трассировки маршрута от SkyNet до Университета штата Юта (США)

Tracing route to www.usu.edu [129.123.54.211]	Автономные системы и интернет-провайдеры
192.168.0.1	Домашний Wi-Fi роутер
94.19.112.1.pool.sknt.ru [94.19.112.1]	AS35807, SkyNet Ltd.
k12-core [93.100.0.110]	AS35807, SkyNet Ltd.
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
139.45.232.193	AS57304, JSC RetnNet
ae10-11.rt.thv.par.fr.retn.net [87.245.232.252]	AS9002, RETN Limited
zayo.ae17.mcs1.cdg11.fr.zip.zayo.com [208.184.12.152]	AS6461, Zayo Bandwidth
ae18.cr1.cdg12.fr.zip.zayo.com [64.125.26.68]	AS6461, Zayo Bandwidth
209.66.120.14.idia-249109-zyo.zip.zayo.com [209.66.120.14]	AS6461, Zayo Bandwidth
tdc-beibr-a-169-int.uen.net [140.197.249.80]	AS210, Utah Education Network
140.197.249.126	AS210, Utah Education Network
wsu-pep-a-218-int.uen.net [140.197.255.243]	AS210, Utah Education Network
usu-pep-b-239-int.uen.net [140.197.253.101]	AS210, Utah Education Network
205.121.125.10	AS210, Utah Education Network
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
web35.it.usu.edu [129.123.54.211]	AS26046, Utah State University

ТАБЛИЦА 2. Трассировки маршрута от t2 до Университета штата Юта (США)

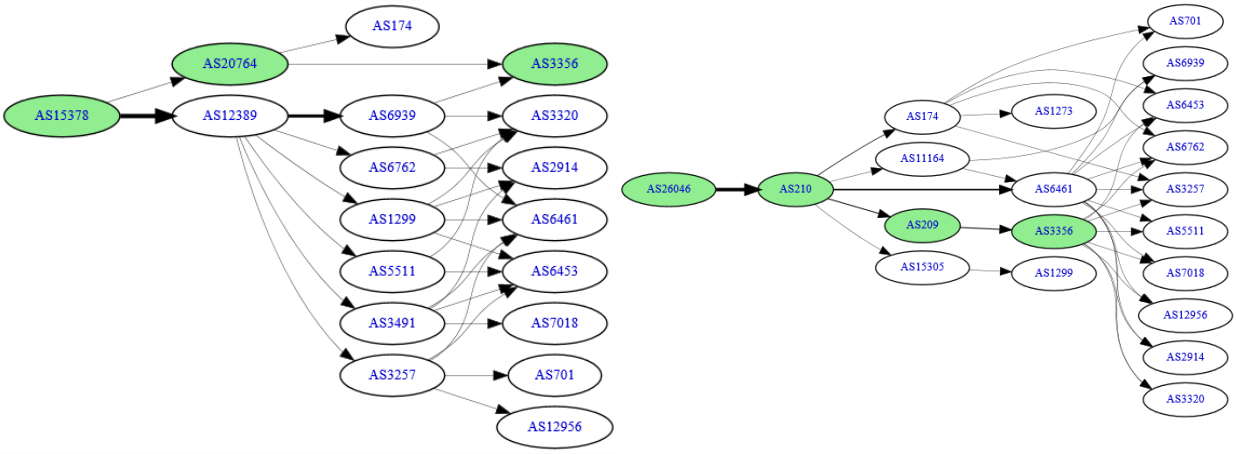
Tracing route to www.usu.edu [129.123.54.211]	Автономные системы и интернет-провайдеры
192.168.43.41	Домашний Wi-Fi роутер
10.255.128.0	Нет данных (частный IP-адрес)
10.3.246.81	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.8.37	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.8.46	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.7.90	Нет данных (частный IP-адрес)
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
spb-ivc-cr2.ae2544-0.rascom.as20764.net [80.64.108.138]	AS20764, CJSC RASCOM
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
et-3-0-21-402.edge4.Stockholm2.Level3.net [212.73.250.201]	AS3356, Level 3 Parent, LLC (входит в Lumen Technologies, Inc.)
ae1.3511.edge2.NewYork6.net.lumen.tech [4.69.209.78]	AS3356, Level 3 Parent, LLC (входит в Lumen Technologies, Inc.)
ae9.540.jfk2-edge-03.sp.lumen.tech [4.68.110.154]	AS3356, Level 3 Parent, LLC (входит в Lumen Technologies, Inc.)
slc2-edge-05.inet.qwest.net [67.14.134.70]	AS209, CenturyLink Communications, LLC
67.128.147.214	AS209, CenturyLink Communications, LLC
ddc-p-a-140-int.uen.net [140.197.251.34]	AS210, Utah Education Network
wsu-pep-a-218-int.uen.net [140.197.255.243]	AS210, Utah Education Network
usu-pep-b-239-int.uen.net [140.197.253.101]	AS210, Utah Education Network
205.121.125.10	AS210, Utah Education Network
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
web35.it.usu.edu [129.123.54.211]	AS26046, Utah State University



а) Подключение со стороны SkyNet (Россия, Санкт-Петербург)

б) Подключение со стороны www.usu.edu (США, Логан)

Рис. 2. Трассировки маршрута от SkyNet до Университета штата Юта: AS35807 (SkyNet Ltd.) → AS57304 (JSC RetnNet) → AS9002 (RETN Limited) → AS6461 (Zayo Bandwidth) → AS210 (Utah Education Network) → AS26046 (Utah State University)



а) Подключение со стороны t2 (Россия, Санкт-Петербург)

б) Подключение со стороны www.usu.edu (США, Логан)

Рис. 3. Трассировки маршрута от t2 до Университета штата Юта: AS15378 (T2 Mobile, LLC) → AS20764 (CJSC RASCOM) → AS3356 (Level 3 Parent, LLC) → AS209 (CenturyLink Communications, LLC) → AS210 (Utah Education Network) → AS26046 (Utah State University)

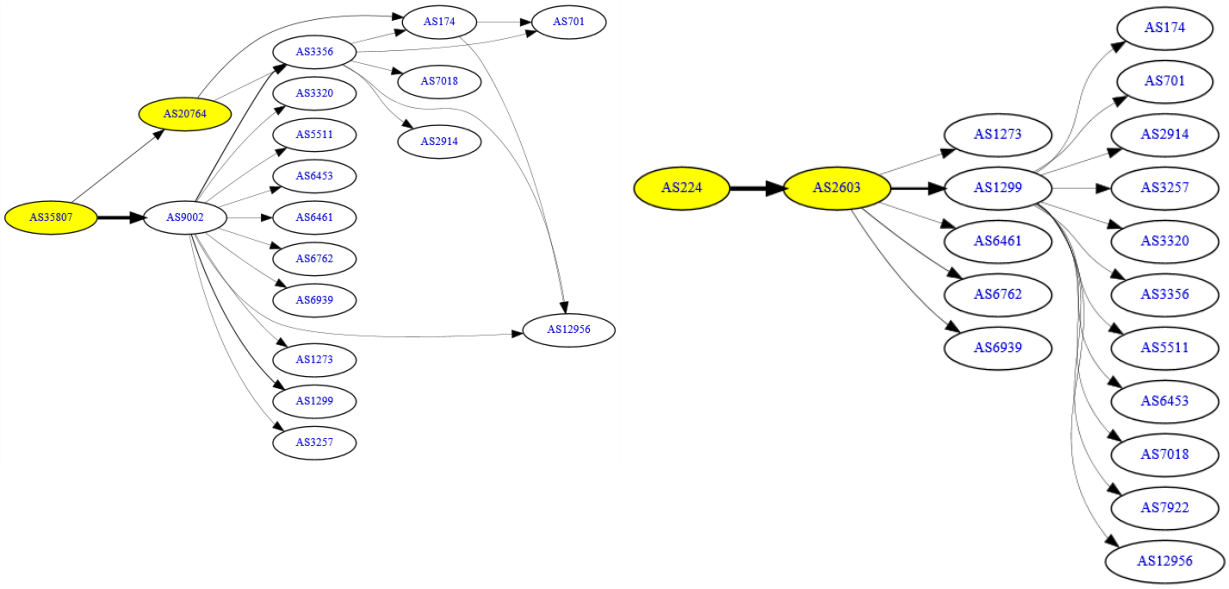
Как и следовало ожидать, при обращении к серверу, находящемуся на большом удалении от интернет-провайдера, работающего в Санкт-Петербурге, пиринга на втором уровне не происходит и маршрут проходит по всей длине цепочки: от российского оператора до интернет-провайдера первого уровня (Zayo Bandwidth в случае SkyNet и Level 3 Parent в случае t2) и далее через образовательную сеть штата до Университета штата Юта, представленного интернет-провайдером третьего уровня. При обращении к серверу в Осло, находящемуся не столь далеко, маршрут становится короче и на втором уровне наблюдается пиринг, который происходит в Стокгольме в одной из точек обмена трафиком компании Netnod AB [18].

ТАБЛИЦА 3. Трассировки маршрута от SkyNet до Университета Осло (Норвегия)

Tracing route to www.uio.no [129.240.118.130]	Автономные системы и интернет-провайдеры
192.168.0.1	Домашний Wi-Fi роутер
94.19.112.1.pool.sknt.ru [94.19.112.1]	AS35807, SkyNet Ltd.
k12-core [93.100.0.110]	AS35807, SkyNet Ltd.
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
grg.tbs-cl9-cr1.rascom.as20764.net [80.64.103.52]	AS20764, CJSC RASCOM
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
se-sthb.nordu.net [194.68.128.24]	IXP, Stockholm Interconnect FDDI
se-tug.nordu.net [109.105.97.245]	AS2603, NORDUnet
no-usi.nordu.net [109.105.102.108]	AS2603, NORDUnet
oslo-gw2.uninett.no [109.105.102.109]	AS2603, NORDUnet
oslo-gw5.uninett.no [128.39.254.143]	AS224, Sikt (Uninett)
uio-gw8.uio.no [128.39.65.18]	AS224, Sikt (Uninett)
knh-gw1.uio.no [129.240.100.69]	AS224, Sikt (Uninett)
ojd-gw1.uio.no [129.240.100.66]	AS224, Sikt (Uninett)
ojd-mrom-gw1.uio.no [129.240.25.162]	AS224, Sikt (Uninett)
lb-w3d-prod-vip-vortex-www.uio.no [129.240.118.130]	AS224, Sikt (Uninett) – Norwegian Agency for Shared Services in Education and Research

ТАБЛИЦА 4. Трассировки маршрута от t2 до Университета Осло (Норвегия)

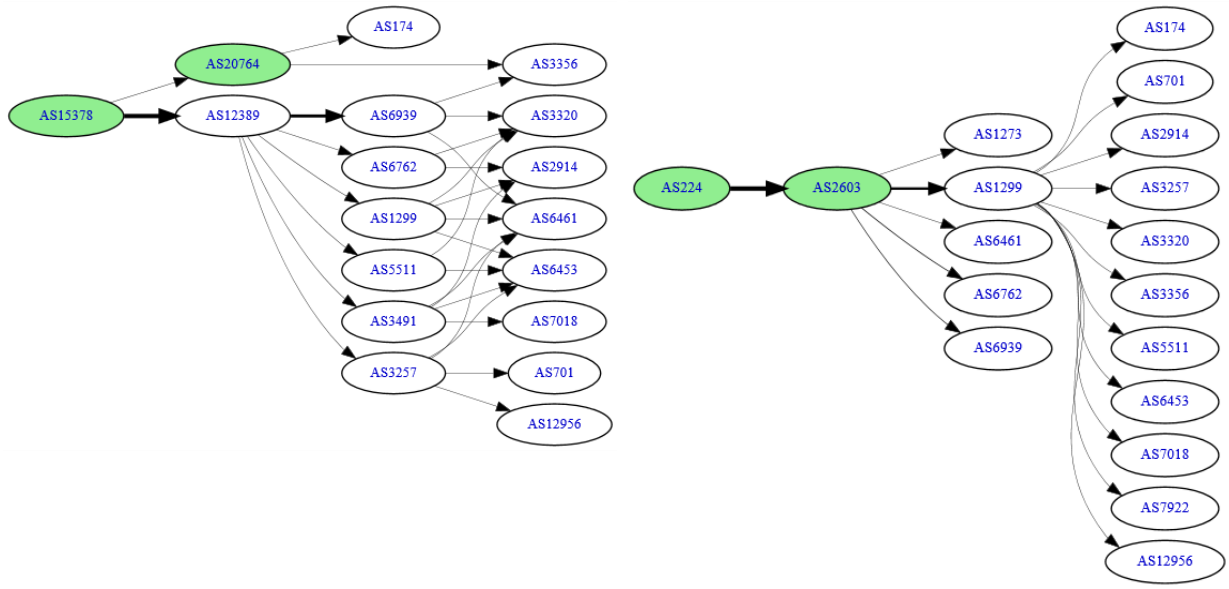
Tracing route to www.uio.no [129.240.118.130]	Автономные системы и интернет-провайдеры
192.168.43.41	Домашний Wi-Fi роутер
10.255.128.0	Нет данных (частный IP-адрес)
10.3.246.81	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.8.37	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.8.42	Нет данных (частный IP-адрес)
10.226.7.46	Нет данных (частный IP-адрес)
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
spb-ivc-cr2.ae2544-0.rascom.as20764.net [80.64.108.138]	AS20764, CJSC RASCOM
Request timed out.	Нет данных (нет ответа)
se-sthb.nordu.net [194.68.128.24]	IXP, Stockholm Interconnect FDDI
se-tug.nordu.net [109.105.97.245]	AS2603, NORDUnet
no-usi.nordu.net [109.105.102.108]	AS2603, NORDUnet
oslo-gw2.uninett.no [109.105.102.109]	AS2603, NORDUnet
oslo-gw5.uninett.no [128.39.254.143]	AS224, Sikt (Uninett)
uio-gw8.uio.no [128.39.65.18]	AS224, Sikt (Uninett)
knh-gw2.uio.no [129.240.25.178]	AS224, Sikt (Uninett)
ojd-gw2.uio.no [129.240.100.101]	AS224, Sikt (Uninett)
ojd-mrom-gw2.uio.no [129.240.25.142]	AS224, Sikt (Uninett)
lb-w3d-prod-vip-vortex-www.uio.no [129.240.118.130]	AS224, Sikt (Uninett) – Norwegian Agency for Shared Services in Education and Research



а) Подключение со стороны SkyNet (Россия, Санкт-Петербург)

б) Подключение со стороны www.uio.no (Норвегия, Осло)

Рис. 4. Трассировки маршрута от SkyNet до Университета Осло:
AS35807 (SkyNet Ltd.) → AS20764 (CJSC RASCOM) → Stockholm Interconnect FDDI (точка обмена трафиком не показана на схеме) → AS2603 (NORDUnet) → AS224 (Sikt/Uninett)



а) Подключение со стороны t2 (Россия, Санкт-Петербург)

б) Подключение со стороны www.uio.no (Норвегия, Осло)

Рис. 5. Трассировки маршрута от t2 до Университета Осло:
AS15378 (T2 Mobile, LLC) → AS20764 (CJSC RASCOM) → Stockholm Interconnect FDDI (точка обмена трафиком не показана на схеме) → AS2603 (NORDUnet) → AS224 (Sikt/Uninett)

Статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 124040300004-8 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. RFC 1930: Guidelines for Creation, Selection, and Registration of an Autonomous System (AS) // URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1930 (дата обращения 15.11.2024).
2. Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy for Allocation of ASN Blocks to Regional Internet Registries // URL: https://www.icann.org/resources/pages/global-policy-asn-blocks-2010-09-21-en (дата обращения 15.11.2024).
3. Функции IANA. Общие сведения о функциях администрации адресного пространства Интернета (IANA) // URL: https://www.icann.org/en/system/files/files/iana-functions-18dec15-ru.pdf (дата обращения 15.11.2024).
4. RIRs // URL: https://aso.icann.org/about/aso-and-nro/rirs/ (дата обращения 15.11.2024).
5. BGP Routing Table Analysis. Analysis Summary // URL: https://thyme.apnic.net/current/data-summary (дата обращения 15.11.2024).
6. Дунайцев Р. А., Корженевский О. В., Курбанов У. Б., Светова А. В. Исследование влияния периодичности замеров на расчетное значение скорости передачи, определяемой по методу 95-го процентиля // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 2. С. 224–228.
7. William B. Norton. The Internet Peering Playbook: Connecting to the Core of the Internet. DrPeering Press, 2014. 533 p.
8. Who are the Tier 1 ISPs? // URL: https://drpeering.net/FAQ/Who-are-the-Tier-1-ISPs.php (дата обращения 15.11.2024).
9. Эволюция пиринга. О прошлом, настоящем и будущем пиринга // URL: http://ii.org.ru/wp-content/uploads/2021/09/internetinside_n7.pdf (дата обращения 15.11.2024).
10. Оптимизация пиринга BGP. Как оптимизация может снизить затраты и повысить качество // URL: http://ii.org.ru/wp-content/uploads/2021/09/internetinside_n7.pdf (дата обращения 15.11.2024).
11. Internet Exchange Map // URL: https://www.internetexchangemap.com (дата обращения 15.11.2024).
12. Договор об оказании услуги Eurasia Peering // URL: https://www.eurasiapeering.com/wp-content/uploads/2020/04/Contract.pdf (дата обращения 15.11.2024).
13. IXP Report 2021. European Internet Exchange Association // URL: https://www.euro-ix.net/media/filer_public/35/73/3573f355-c90a-4b31-ae83-851b76cfa36b/ixp_report_2021.pdf (дата обращения 15.11.2024).
14. Узнать ASN по IP-адресу // URL: https://2ip.ru/asn-by-ip/ (дата обращения 15.11.2024).
15. Autonomous System Lookup (AS/ASN/IP) // URL: https://hackertarget.com/as-ip-lookup/ (дата обращения 15.11.2024).
16. BGP Toolkit Home // URL: https://bgp.he.net (дата обращения 15.11.2024).
17. Online SVG Code Editor // URL: https://editsvgcode.com (дата обращения 15.11.2024).
18. Netnod Stockholm // URL: https://www.peeringdb.com/ix/2846 (дата обращения 15.11.2024).

Dunaytsev R., Kozlova O., Svetova A., Siluyanova K. **A STUDY OF INTERCONNECTIONS BETWEEN AUTONOMOUS SYSTEMS ON THE INTERNET: TRANSIT OR PEERING?**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The Internet consists of many independent networks or autonomous systems operated by various organizations: telecom operators and Internet service providers, public and private companies, scientific and educational institutions, etc. To transfer data between autonomous systems, IP transit or peering can be used. In this paper, by tracing the route to two foreign universities located at different distances from St. Petersburg (Russia), we demonstrate the identification of the chain of autonomous systems through which the transmitted traffic passes, as well as the type of interaction between them.

Key words: IP transit, autonomous system, peering, internet exchange point.

УДК 316.485.6
ГРНТИ 11.01.62

КОНФЛИКТНЫЕ КОММУНИКАЦИИ МЕЖДУ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТРУКТУР И ГРАЖДАНАМИ

Е. М. Еникеева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
Санкт-Петербургский государственный университет

В статье рассматривается актуальность изучения конфликтных коммуникаций в контексте взаимодействия граждан и представителей государственных структур, особенно в условиях цифровизации и изменения социокультурного ландшафта. В статье делается акцент на то, что конфликты между этими двумя субъектами имеют серьезные последствия не только для отдельных граждан, но и для всего общества, и их своевременное выявление и урегулирование необходимо для поддержания социальной стабильности и доверия к власти.

конфликтные коммуникации, политические коммуникации, стратегии конфликторазрешения, конфликты

Проблематика конфликтов уже с древних времен интересовала ученых, еще в 5 веке до н.э. Гераклит [1] считал вражду и распри естественными для общества. Позже Ф. Бэкон [2] в своих работах писал о конкретных средствах предупреждения конфликтов, среди которых выделял искусство политического маневрирования. Сейчас же, предметом изучения являются конфликты разных уровней. Например, 5 декабря 2024 года состоялось заседание Научного совета ВЦИОМ на тему: «Интересы vs справедливость: что означают «болевые сигналы» городских конфликтов», где было отмечено, что несмотря на то, что глобальные проблемы на время затмили местные конфликты, это не значит, что они исчезли или не имеют веса в общественном развитии.

Конфликтные коммуникации представляют собой важный аспект взаимодействия между представителями государственных структур и гражданами, который в последние годы становится все более актуальным в условиях современного общества. Конфликты, возникающие в процессе этого взаимодействия, могут иметь серьезные последствия как для отдельных граждан, так и для общества в целом. Поэтому изучение конфликтных коммуникаций становится необходимым для понимания динамики общественных отношений и поиска путей их улучшения.

В условиях стремительного развития технологий и изменения социально-экономических условий, взаимодействие между государственными органами и населением обретает новые формы и содержание. Министерства, администрации, комитеты и другие государственные структуры не только активно освещают результаты своей деятельности в социальных сетях, но и используют функционал общения в комментариях как инструмент конфликтных коммуникаций [3].

Конфликтная коммуникация способна существенно влиять как на развитие конфликта, так и на его разрешение. В рамках классической конфликтологии выделяются следующие этапы развития конфликтной ситуации:

– латентный этап, характеризующийся возникновением проблемной ситуации и осознанием сторонами существования данного противоречия;

– инцидент – первое столкновение сторон;

– открытый этап, включающий эскалацию конфликтного противостояния, сбалансированное противодействие;

– постконфликтный этап, на котором происходит нормализация отношений между оппонентами (частично или полностью). Как итог, конфликт может завершится либо разрешением противоречий, урегулированием, затуханием, устранением или трансформацией в новый конфликт/кризис.

На каждом этапе развития конфликтной ситуации происходит определенное коммуникационное взаимодействие.

На латентной стадии происходит обозначение имеющегося противоречия, в коммуникации преобладают конфликтогены, способные вызвать негативную реакцию. Они могут проявляться как на вербальном, так и на невербальном уровне через жесты, мимику и пр., содержащих агрессивный смысл. Иногда отмечается обозначение возникших противоречий в мягкой форме, что может привести к угасанию развития конфликтной ситуации. Также на данной стадии могут использоваться различные речевые техники: формулировки вопросов, допускающие наличие другой позиции, синтаксически смягченные формы слов, деперсонализированность претензий, обозначение дискомфорта под видом выяснения намерений, преобладание нейтральных тактик и языковых средств с вкраплением отдельных конфликтных элементов и др. Черных З.В., на основе исследования композиционных элементов конфликтных эпизодов в коммуникации отмечает преобладание конфликтных фонетических и грамматических маркеров над лексическими на латентной стадии [4]. Кроме того, выделяются техники активного слушания (направлено на предотвращение недопонимания, укрепление доверия и создания благоприятной среды для конструктивного диалога), открытых вопросов (помогающих выявить потенциальные проблемы) и др. Однако, в цифровом пространстве

некоторые речевые техники трансформировались в новые формы: вместо невербальных техник – стикеры и эмодзи, имеющие свой подтекст, использование точек в конце предложений и Caps Lock как маркер агрессии и другие символы; удаление пользователей из чатов, блокировка доступа к контенту и пр.

Чуть более подробнее следует рассмотреть трансформации коммуникации, вызванные цифровизацией:

– отсроченная обратная связь. Интернет позволяет не только оперативно доставить сообщение, но и наоборот, предоставляет возможность для того, чтобы взять паузу, например, для поиска аргументов. Она может как повлиять на затухание конфликта, так и усилить недовольство, в зависимости от контекста и интерпретации;

– анонимность. Отсутствие социального контекста, порождаемое анонимностью, «развязывает руки», позволяя переступать через границы и нормы;

– мозаичное восприятие. Ограниченное восприятие оппонента, вызванное фрагментарностью онлайн-коммуникации, мешает увидеть полную картину и понять его мотивы;

– дипфейки и другие методы мошенничества и дезинформации. Распространение дезинформации способно свести на нет попытки конструктивного диалога.

В сфере отношений государства и граждан на латентной стадии стороны стремятся разрешить противоречие, не допустив развитие конфликтной ситуации. Для этого организуются живые и онлайн встречи представителей государственных структур и граждан для обсуждения возникших неудовлетворенностей и противоречий.

Кроме того, осуществляется коммуникация через социальные сети и интернет-порталы, где есть возможность осуществлять мониторинг общественных настроений и фиксировать потенциальные конфликтные темы, которые находятся на этапе зарождения. Уточняющие вопросы от государственных структур, создание опросов и голосований по наиболее важным темам, проведение прямых линий в соответствии с запросами населения могут способствовать урегулированию конфликтов на ранней стадии.

Так, Центр управления регионами (ЦУР) проводит голосование среди граждан на определение наиболее важных тем для обсуждения, на основе результатов которого формируется расписание прямых онлайн-линий с представителями профильных структур. Однако, следует отметить, что не всегда тема прямого эфира совпадает с результатами голосования. Так, например, по результатам ЦУР, на октябрь 2023 года, наиболее волнующими для жителей Санкт-Петербурга были темы, связанные с ЖКХ и здравоохранением, не-

смотря на это, была подготовлена прямая линия на тему уборки дворов, что вызвало ряд возмущений со стороны горожан. Итогом стало увеличение количества жалоб на тему ЖКХ, а сообщения начали носить более агрессивный характер [5].

Достижение эффективной коммуникации между представителями государственных структур и гражданами на латентной стадии требует сочетания различных форм и инструментов взаимодействия. Например, сначала система «Инцидент Менеджмент» фиксирует жалобу в социальной сети, направляет ее профильным службам, которые готовят вступают в коммуникацию с пользователем. Высокую эффективность в разрешении конфликтной ситуации показывают уточняющие вопросы, фиксация времени для подготовки ответа, привлечение нескольких профильных структур к решению, персонализация ответа и пр. «Инцидент Менеджмент» помогает с ранней диагностикой возникающих противоречий [6].

Поддержание открытого диалога, учет мнения общественности, информационная прозрачность и ответственность перед гражданами создают основу для предотвращения возможных конфликтов.

Если во время предконфликтного периода были допущены ошибки в коммуникационном взаимодействии, наступит следующая стадия конфликта.

На второй, открытой стадии конфликта, эмоциональный компонент может преобладать над когнитивным, что оказывает влияние на конструктивность взаимодействия. Стоит отметить, что эмоциональность наблюдается чаще всего у граждан, что обусловлено необходимостью представителей государственных структур действовать в рамках установленных правил.

В соответствии с моделью стилей поведения в конфликте Томаса-Килманна выделяется 5 стилей [7]:

– соперничество, подразумевающее борьбу оппонентов до полного удовлетворения своих интересов одного из них в ущерб другому;

– сотрудничество, наиболее эффективное взаимодействие, направленное на совместный поиск решения противоречий;

– компромисс, который, вопреки мифам, не всегда является наилучшем вариантом разрешения конфликтной ситуации, т. к. он не создает чувство полной удовлетворенности, из-за чего в дальнейшем может развиться повторный конфликт;

– избегание, характеризующееся прерыванием конфликтного взаимодействия;

– приспособление, которое обеспечивает ослабление позиций одного из участников конфликта, готового поступиться своими интересами для урегулирования конфликта.

Безусловно, нельзя сказать, что сотрудничество является универсальным стилем поведения в конфликте, однако, отмечается наибольший его положительный эффект по завершению конфликта и уменьшению возможности его рецидива.

В конфликтном взаимодействии власти и общества на этой стадии также нередко используются описанные выше стили поведения в конфликте: несмотря на большой потенциал к сотрудничеству, зачастую конфликтная коммуникация обрывается. В социальных сетях можно встретить незавершенные диалоги как с одной, так и, с другой стороны. Это чревато тем, что противоречие не разрешается, накапливается напряженность и в дальнейшем это может перерасти в кризис. Еще одним неэффективным методом разрешения конфликтного взаимодействия является использование непонятного для аудитории языка (чаще всего речь идет о языке права), что затрудняет понимание позиций и аргументов, вызывая все большее раздражение. При более острых противоречиях применяется соперничество, которое несет в себе разрушительный характер и содержит риски дестабилизации общественного порядка.

Одной из форм конфликта является протестная деятельность, которая может выражаться через массовые митинги, шествия, забастовки и другие формы организованных акций протеста.

Митинги и демонстрации часто становятся площадкой для выражения недовольства граждан в адрес действий власти. Граждане могут выходить на улицы, чтобы привлечь внимание к проблемам, требовать изменений в законодательстве или уход конкретных чиновников. Такие акции часто привлекают широкое внимание общественности и средств массовой информации, что может усилить давление на власть.

Забастовки и стачки также являются инструментом противостояния государственным структурам. Работники протестуют против низких заработков, плохих условий труда, а также против увольнений и других решений администрации предприятий. Забастовки могут существенно затруднить работу организаций и привести к серьезным экономическим потерям.

Помимо прямых форм протеста, граждане могут использовать средства массовой информации, социальные сети и другие каналы коммуникации для выражения своего недовольства властью. Публикация статей, видеоматериалов, обсуждение событий в онлайн-пространстве позволяют гражданам оказывать давление на государственные структуры и привлекать внимание общественности к проблемам.

Кроме того, существуют и более радикальные методы протеста, такие как акты гражданского неповиновения, уличные беспорядки, гражданские бунты и другие формы насильственного выражения недовольства. Эти методы могут

привести к нарушению общественного порядка, материальным убыткам и даже жертвам среди граждан и представителей власти.

Для предотвращения развития конфликта (недопущении эскалации или разрешение конфликтной ситуации) важным является готовность к корректировке коммуникативного поведения, в том числе, возможность высказывания оппонентом всех претензий (которая может быть ограничена, например, в социальных сетях, когда комментарии либо удаляются, либо сам функционал становится закрытым), осознание и публичное признание собственных ошибок в отдельных аспектах конфликтной ситуации, способное снизить напряженность, аргументированность позиции и обращение к фактам (например, прикрепление наглядной аргументации в виде фото с мест событий) позволяет избежать эмоциональность оценок. Также, способствует стабилизации конфликтного взаимодействия предложения совместного поиска проблемы, однако, это не всегда возможно реализовать на уровне гражданско-государственного взаимоотношения, т. к. для этого необходим правовой ресурс.

В целом, конфликтная коммуникация между государственными структурами и гражданами на стадии открытого противостояния может принимать разнообразные формы и использовать различные методы. Эффективное решение таких конфликтов требует диалога, взаимопонимания и уважения интересов обеих сторон, а также использования механизмов мирного урегулирования споров. При эскалации конфликтной ситуации может наступить расширение конфликта с привлечением большего количества участников.

Во время постконфликтного периода коммуникация направлена на сохранение стабильности достигнутых соглашений в результате конфликторазрешения. Кроме того, важно оставлять канал коммуникации открытым для возможности улавливания сигналов о неудовлетворенности результатами и вероятностью возникновения новых противоречий.

Таким образом, подводя итоги, следует отметить, что на разных стадиях конфликта реализуются различные формы коммуникативного взаимодействия. Специфика этого взаимодействия трансформируется в условиях цифровизации, заменяя маркеры противоречий и способы коммуникации, в том числе через организацию оперативного реагирования на возникшие разногласия. В сфере отношений между государством и гражданами важно иметь способность к корректировки коммуникационного поведения, т. к. иначе конфликт может перейти в форму открытого столкновения с разными последствиями. В зависимости от ситуации могут применяться разные практики урегулирования конфликтной ситуации, в том числе признание ошибок, приглашение к сотрудничеству, аргументация и пр. Неэффективные коммуникационные приемы ведут не только к эскалации конфликта, но также могут оказать влия-

ние на его перерастание в стадию кризиса. Важным также является сохранение коммуникационных каналов и после разрешения конфликтной ситуации, т. к. в дальнейшем будет осуществляться контроль выполнения всех обещаний и договоренностей, и при обнаружении каких-либо проблем, будет открыта возможность к корректировке тех или иных действий, а также для диагностики неудовлетворенностей, потенциально образующих новое конфликтное взаимодействие.

Список используемых источников

1. Любимов Г. П. Конфликт в контексте генезиса античной философии (античные модели) // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2003. №8. С. 17–26.
2. Бэкон Ф. Жизнь мировоззрения, мысли, максимы. Москва: «Современное Слово», 1998. 352 с.
3. Еникеева Е. М. Цифровой инструментарий политических коммуникаций // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2022): Сборник лучших докладов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 469–473.
4. Черных З. В. Композиционные элементы конфликтных эпизодов в студенческой коммуникации // Сибирский филологический журнал. 2016. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnye-elementy-konfliktnyh-epizodov-v-studencheskoy-kommunikatsii (дата обращения 21.09.2024).
5. Enikeeva E. M., Kulnazarova A. V., Rafikov A. I., Shutman D. V. The Impact of “Live Hotlines” on the Dynamics of Conflict Communications in the Digital Space // 2024 Communication Strategies in Digital Society Seminar (ComSDS). SPb., 2024. PP. 29–32.
6. Enikeeva E. M., Kulnazarova A. V., Rafikov A. I., Shutman D. V. The Impact of Digital Tools on Conflictive Communications in the “Government-Society System”: St. Petersburg Experience / E. M. Enikeeva, A. V. Kulnazarova, Rafikov A. I., Shutman D. V. // Proceedings of the 2023 Communication Strategies in Digital Society Seminar 2023, ComSDS 2023, St. Petersburg, 12 апреля 2023 года. SPb., 2023. PP. 147–150.
7. Thomas K. W. and Kilmann R. H. The Thomas-Kilmann Conflict Mode Instrument. Mountain View, CA: CPP, Inc., 2008. PP. 1–11.

Enikeeva E. **CONFLICT COMMUNICATIONS BETWEEN GOVERNMENT OFFICIALS AND CITIZENS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
Saint Petersburg State University

The article examines the relevance of studying conflict communications in the context of interaction between citizens and representatives of government agencies, especially in the context of digitalization and changes in the socio-cultural landscape. The article focuses on the fact that conflicts between these two entities have serious consequences not only for individual citizens, but also for the whole society, and their timely identification and settlement is necessary to maintain social stability and trust in the authorities.

Key words: conflict communications, political communications, conflict resolution strategies, conflicts.

УДК 378.1
ГРНТИ 14.35.07

СОДЕРЖАТЕЛЬНО-КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КУРСА «DIGITAL-ПРОДВИЖЕНИЕ И МЕДИАТЕКСТ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ МАГИСТРАТУРЫ

К. В. Землякова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья раскрывает предпосылки возникновения идеи о внедрении в программу магистратуры СПбГУТ нового курса – «Digital-продвижение и медиатекст в цифровой среде» – в результате трансформации существующей дисциплины «Медиатекст на иностранном языке». Приводятся факторы, повлиявшие на решение о редизайне имеющегося курса. Описываются преимущества проекта, его цель, этапы реализации, планируемые результаты и критерии успешности.

стипендиальная программа, деятельностный подход, модульно-проектный метод, профессиональная мобильность студентов, наставничество

Изменяющиеся требования к выпускникам вузов, продиктованные запросом работодателей, создают необходимость в постоянном обновлении образовательных программ, максимально адаптирующихся к потребностям рынка труда [1]. Публичные коммуникации, как коммерческие, так и государственные, претерпевают цифровую трансформацию [2] и диктуют соответствующие требования к содержанию образования. СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича позиционирует себя как флагман цифрового образования, осуществляя подготовку кадров для отраслей цифровой экономики. Вуз делает упор на инновационные технологии обучения и компетентностный подход. Логично, что реализуемые образовательные программы, в том числе нетехнических профилей, должны включать в себя дисциплины, имеющие своей целью формирование цифровых компетенций [3, с. 39]. Университет готовит специалистов, уверенно ориентирующихся в современных цифровых реалиях и способных реализовывать профессиональные задачи с использованием новейших технологий. Также вуз ориентирован на приоритетные направления в подготовки магистров, а именно – на формирование системы компетенций, необходимых для решения профессиональных задач [1; 4, с. 462]. На программе бакалавриата «Реклама и связи с общественностью» преподается ряд дисциплин, отвечающих университетским приоритетам: «Цифровые коммуникации»,

«Реклама и связи с общественностью в интернете», «Интернет-реклама», «Цифровые коммуникации в государственных органах и политике», «Управление онлайн-сообществом». Видится логичным соблюдать преемственность и последовательность направления и поэтому развивать и углублять курсы схожей тематики также на уровне магистратуры 42.04.01. В нашем случае ключевой компетенцией становится работа с медиатекстами и интернет-сервисами, используемыми для продвижения коммерческих продуктов.

Учебный курс «Медиатекст на иностранном языке» за 3 года его преподавания показал свою жизнеспособность, актуальность междисциплинарного подхода, востребованность у студентов и руководства вуза. Он является курсом из содержательного ядра PR-направления [5, с. 35–37], но потребовал обновления. Два раздела курса, посвященные работе с медиатекстами в зарубежных соцсетях, а также с текстами политической направленности, утратили актуальность и функциональность. Практика преподавания подтвердила, что политический медиадискурс не представляет интерес для студентов, т. к. их цель лежит в коммерческой сфере. В результате опроса выявлено, что студентам требуются навыки работы с медиатекстом и на русском языке, они хотят видеть больше практикоориентированности и уклона в PR, а не голое изучение «чужого» медиаконтента, произведенного кем-то до них.

Курс задумывался как адаптивный и требовал переформатирования под изменившиеся условия. Выявлены следующие проблемы: недостаточный фокус на практических навыках; переориентирование цифрового пространства на использование доступных в России онлайн-инструментов, в т. ч. замещенных; отсутствие блока заданий с текстами машинной генерации и работой с ИИ в целом.

В итоге на решение о редизайне курса повлияли следующие факторы:

– уход некоторых онлайн-платформ и инструментов с российского рынка, ограничение пользования соцсетями, переход на другие площадки и замещение зарубежных инструментов российскими;

– появление инструментов на базе искусственного интеллекта и их внедрение во все сферы деятельности и производства медиаконтента; умение использовать ИИ в продвижении дает специалисту преимущества работы с цифровыми инструментами;

– требование к преподавателям магистратуры повышать свою профессиональную квалификацию и развивать профессиональные компетенции [3], в том числе, цифровые, и мягкие навыки;

– при составлении заданий курса «Медиатекст на иностранном языке» не были учтены психологические особенности обучающихся – людей «цифрового» поколения, и их запросы к формату изучаемого материала;

– «моральное» устаревание заданий, разработанных в 2021 году, утрата новизны и современности.

Все это продиктовало необходимость взять из преподаваемой дисциплины только актуальные компоненты и «вшить» их в новый курс.

Проект затрагивает следующие целевые аудитории: студенты магистратуры, преподаватели двух кафедр и факультет в целом. Положительный эффект для факультета состоит в том, что он может получить больше эффективности от преподавания «медиа-ориентированной» дисциплины и за пределами непосредственно учебного занятия. Посредством внедрения в курс проектной работы итоги его изучения могут стать более показательными, видимыми, осязаемыми: студенты применяют формируемые навыки для выполнения проектов как одной из частей своей магистерской диссертации, а также передают полученные знания младшим курсам бакалавриата в ходе педагогической практики и в ходе организации мероприятия «Балтийский Форум». Обученность магистрантов техникам онлайн-продвижения мероприятий позволит более эффективно распределить ресурсы оргкомитета и включить таких магистрантов в рабочую группу форума.

Отдельно стоит сказать о роли курса в формировании медиапространства вуза и его вкладе в моделирование развивающей среды [6, с. 354]. Такая среда способствует развитию лидерских, коммуникативных, когнитивных компетенций студентов, формированию ценностно-мотивационных ориентиров и креативности [Там же]. Считаем расширение компетенций основой *профессиональной мобильности*, под которой понимается «способность быстро и качественно осваивать смежные виды профессиональной деятельности и готовность к эффективной адаптации на современном рынке труда» [цит. по: 7, с. 12]. Повышение адаптивности к меняющимся условиям обеспечивается набором «мягких навыков» (soft skills), формируемых у студентов при освоении курса, таких как «продвижение себя в плотной информационной среде, презентационные навыки, умение работать с медиаинструментами, развитие эмпатии, эмоционального интеллекта и критического мышления» [8, с. 118]. Все вышеперечисленное обеспечивает конкурентоспособность будущего специалиста.

Концепция проекта основана на модульном и проектном подходах к обучению. По нашим наблюдениям, в системе высшего образования практически не встречается курсов с подобным подходом к организации материала. Ана-

логичные курсы по интернет-продвижению включены в магистерские программы в СПбГУ и ВШЭ. Проектный метод и модульный подход – это прорывной формат представления знаний гуманитарного направления. Опишем основные определяющие характеристики проекта.

Цель проекта – подготовить полностью самостоятельный автономный образовательный продукт, который бы встроился в структуру магистратуры и отвечал бы современным требованиям к дисциплинам профиля, но нес бы отдельную методическую ценность.

Цель проекта достигается через выполнение следующих *задач*:

–выявить во ФГОС формируемую компетенцию;

–выделить из состава компетенции навыки, положить их в основу уроков и модулей курса;

–апробировать модульное обучение на группе магистрантов 2023 года набора;

–произвести аудиозаписи и записи скринкастов уроков;

–обеспечить техническое и информационное хранение модулей курса для последующего использования продукта;

–провести итоговое занятие с защитой индивидуальных проектов;

–провести мониторинг результатов обучения после освоения студентами дисциплины;

–актуализировать содержание курса с учетом результатов мониторинга.

Проекту предшествовала значительная подготовительная работа, в числе которой можно выделить следующие действия:

1) анализ ООП 42.04.01 «Реклама и связи с общественностью» СПбГУТ с целью определения содержания образовательной программы (включая анализ рабочих программ дисциплин) и выявления в ней компетентностных пробелов;

2) анализ рынка труда (изучение вакансий специалистов по рекламе и PR, выявление требований к навыкам);

3) соотнесение компетенций, востребованных рынком, и тех, что подлежат формированию в рамках ООП;

4) исследование магистерских программ вузов-конкурентов для определения слабых сторон собственной программы;

5) изучение методов построения курсов платформ Нетология и Skillbox;

6) повышение квалификации и развитие релевантных навыков у участников проекта.

Далее описаны *этапы* по его реализации.

Этап 1 – формально-документальный: подготовка документации для внедрения курса в образовательную программу. Ключевые события: представление курса на заседании выпускающей кафедры, утверждение вносимых изменений в ООП. Подготовка рабочей программы дисциплины. Срок: апрель-май 2024 г.

Этап 2 – содержательный: разработка методических материалов, банка заданий, инструкций и презентаций для наполнения курса в соответствии с разработанной структурой модулей. Срок: май-июль 2024 г.

Этап 3 – маркетинговый: продвижение курса, а именно публикации в соцсетях и на сайтах, презентация курса студентам бакалавриата, выступления на конференциях. Срок: апрель-июль 2024 г.

Этап 4 – вспомогательный: повышение квалификации, самообразование участников проекта. Срок: июль-август 2024 г.

Этап 5 – технический: реализация подготовленного курса, проведение занятий и конкурса проектов по его завершении. Срок: сентябрь-декабрь 2024 г.

Этап 6 – заключительный: подведение итогов работы, обнародование результатов в виде выступлений, научных статей, а также публикация PR-материалов о курсе. Срок: январь-март 2025 г.

Основные *ожидаемые результаты*: внедрение нового курса, повышение привлекательности магистерской программы вуза для потенциальных абитуриентов, получение студентами сформированных практических навыков, которые могут быть использованы в том числе для цифрового продвижения информации о мероприятиях вуза.

Ожидаемые *количественные изменения*: повышение удовлетворенности программой среди студентов (по данным анкетирования); возросшее количество студентов, задействованных в организации «Балтийского коммуникационного Форума»; увеличение количества научных публикаций коллектива по теме проекта и выступлений на заседаниях кафедры, конференциях, методических семинарах.

Ожидаемые *качественные изменения:* внедрение передовых методик и образовательных технологий в учебный процесс (деятельностный подход, модульно-проектный метод); повышение осведомленности коллег по факультету о новых форматах представления знаний, с целью демонстрации возможности пересматривать методики преподавания в уже существующих курсах с учетом современных тенденций; проявление интереса студентов к преподаванию и наставничеству в рамках подготовки мероприятий вуза совместно со студентами бакалавриата, как реализация института менторства.

Планируемые результаты и их измеримость представлены в Таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Ожидаемые результаты проекта

Результат	Показатель	Источник данных (способ проверки)
Индивидуальные проекты по онлайн-продвижению коммерческих предприятий	Количество проектов, представленных к защите	Мероприятие по публичной защите проекта
Освоение «цифровых» компетенций в соответствии с РПД	Количество пройденных уроков и модулей	Взаимодействие со студентами, обсуждение и проверка выполненных заданий
Модернизация образовательной программы	Наличие внедренных новых дисциплин	Утвержденные образовательные программы
Повышение вовлеченности студентов в образовательный процесс	% посещаемости, уровень активности на занятиях, % выполнения заданий	Взаимодействие со студентами, обсуждение и проверка выполненных заданий
Повышение конкурентоспособности выпускников на рынке труда	Трудоустройство выпускников	Опрос выпускников
Повышение привлекательности и престижа образовательной программы	Количество поступивших на 1 курс магистратуры	Статистическая информация о приеме на обучение
Улучшение имиджа и повышение узнаваемости факультета и университета	Количество публикаций по тематике грантового проекта с упоминанием факультета или вуза	Данные мониторинга СМИ и социальных сетей

Отследить результаты возможно по следующим *показателям*:

–индивидуальные проекты студентов по онлайн-продвижению коммерческих предприятий;

–освоение «цифровых» компетенций в соответствии с РПД (по посещаемости, уровню активности на занятиях, количеству пройденных уроков и модулей, количеству выполненных заданий);

–улучшение имиджа и повышение узнаваемости факультета и университета (по количеству публикаций по тематике грантового проекта с упоминанием факультета и вуза).

Критериями успешности проекта считаем: удовлетворенность студентов (по отзывам), высокий процент освоения дисциплины, высокую компетентность студентов курса в вопросах онлайн-продвижения.

Также проект затрагивает организационные структуры университета:

1) выпускающая кафедра – получает опыт реализации грантовых проектов;

2) департамент менеджмента качества – получает возможность изучить удовлетворенность студентов обучением в условиях внедрения инновационных образовательных проектов;

3) приемная комиссия и отдел профориентации – новый курс позволит вывести образовательную программу на более высокий уровень, соответствующий требованиям рынка труда, сделать ее более привлекательной для поступающих, в том числе для выпускников-бакалавров СПбГУТ;

4) управление маркетинга и Институт магистратуры – дополнительные имиджевые публикации об успехе университета.

Кроме вышеперечисленного, участники проектной группы развивают свои компетенции в области составления грантовой документации, в т. ч. финансовой, и продвижения образовательных продуктов. Также факультет планирует получить больше преимуществ от внедрения в инновационный курс проектной работы.

Проект реализуется победителем Грантового конкурса для преподавателей магистратуры–2024 «Стипендиальной программы Владимира Потанина» Благотворительного фонда Владимира Потанина. Проект «Трансформация курса “Медиатекст на иностранном языке” в курс “Digital-продвижение и медиатекст в цифровой среде”».

Список используемых источников

1. Кульназарова А. В., Шутман Д. В. Перспективы развития магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере» // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2, № 1.
2. Кульназарова А. В. Цифровая трансформация публичных коммуникаций: российский и европейский опыт. СПб.: СПбГУТ, 2021. 136 с.
3. Землякова К. В., Кульназарова А. В. Формирование компетенций работы с медиатекстом на иностранном языке у студентов коммуникативных направлений // Вестник Гуманитарного факультета Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч-Бруевича. 2020. № 12. С. 36–44.
4. Желтова Е. П., Маршева Н. В. Грантовый конкурс для преподавателей магистратуры: от идеи до реализации // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 460–465.
5. Землякова К. В., Кульназарова А. В. Учебный курс «Медиатекст на иностранном языке» (Разработка и реализация в условиях нового образовательного пространства) // Профильное и профессиональное образование в условиях современного поликультурного пространства. Челябинск: Челябинский филиал «Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», 2022. С. 33–39.
6. Андриянова-Качеишвили Л. Т., Белова Е. В. Медиапространство вуза как среда формирования лидерских компетенций студентов // Актуальные проблемы инфотелекоммуника-

ций в науке и образовании: Сборник научных статей: в 3-х томах, Санкт-Петербург, 10–11 марта 2016 года. СПб.: СПбГУТ, 2016. Том 3. С. 350–354.
7. Гревцева Г. Я. Основные направления исследований проблемы профессиональной мобильности студентов // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2021. Т. 13, № 4 (54). С. 10–18. DOI 10.7442/2071-9620-2021-13-4-10-18.
8. Kapsargina S. A. & Shmeleva Zh. N. The substantiation of the necessity to include disciplines in a foreign language in the curricula of managerial training directions // Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology. 2023. Vol. 12, № 2 (43). PP. 118–120. DOI 10.57145/27128474_2023_12_02_25.

Zemlyakova K. **CONTENT AND CONCEPTUAL BASIS FOR CREATING THE COURSE "DIGITAL PROMOTION AND MEDIA TEXT IN THE DIGITAL ENVIRONMENT" FOR MASTER'S STUDENTS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper reveals the conditions to birth of the idea of introducing a new course – "Digital Promotion and Media Text in the Digital Environment" – into SPbSUT's Master's program as a result of the transformation of the existing discipline "Media Text in a Foreign Language". The author describes the factors that influenced the decision to redesign the existing course. The paper also gives advantages of the project, its goal, stages of implementation, planned results and success criteria.

The project is being implemented by the winner of the Master's program faculty grant competition–2024 of the Vladimir Potanin fellowship program.

Key words: Fellowship program, activity-based approach, module-project method, students' professional mobility, mentorship.

УДК 004.852
ГРНТИ 28.23.20

АНАЛИЗ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. С. Кривец
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технологии современных информационных сетей постоянно становятся как более сложными, так и наиболее уязвимыми от тех же современных технологий. Развитие сетевой и информационной безопасности обязано быть регулярным и предоставлять защиту в опережение развитию сетевых угроз. Одним из направлений, в котором необходимо развивать безопасность сетевой инфраструктуры – это искусственный интеллект и, в частности, нейронные сети. В этой статье описаны способы реализации карт самоорганизующихся нейронных сетей в отношении к средствам защиты информации.

SOM, нейронные сети, РИС, IDPS

Самоорганизующиеся карты (SOM) – это разновидность нейронных сетей, предназначенных для выявления скрытых структур и закономерностей в данных. Они широко используются в таких областях, как статистика, обработка сигналов, теория управления, финансовый анализ, экспериментальная физика, химия, медицина, для решения сложных, многомерных, нелинейных задач, связанных с извлечением признаков, обработкой и классификацией изображений, адаптивным управлением и т. п. [1].

Уникальность метода самоорганизующихся карт состоит в преобразовании *n*-мерного пространства в двухмерное. И в их способности располагать данные на двумерной сетке так, чтобы схожие объекты располагались рядом. Каждый нейрон в сети является прототипом, который отражает определенную часть исходных данных.

Представить самоорганизующуюся нейронную сеть легко, потому что сама по себе она двумерная, а компьютерная визуализация делает ее еще более наглядной. На рисунке 1 можно увидеть исходные точки выборки (лево-верх), нейронную сеть, размещенную в пространстве исходных образов (право-верх), и нейронная сеть в своем плоском пространстве (лево-низ).

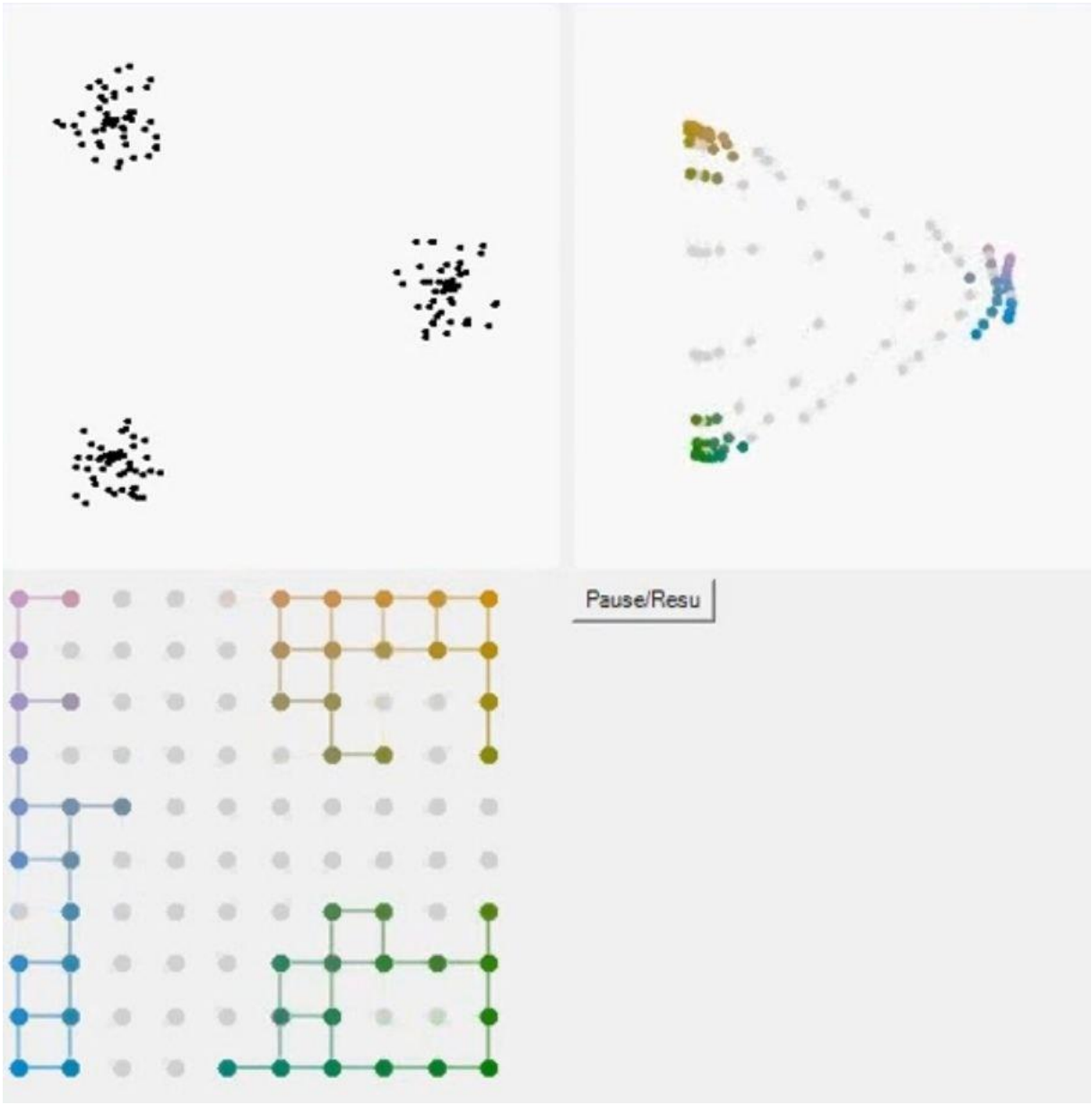


Рис. 1. Визуальное отображение карты самоорганизующейся нейронной сети

При начале обучения нейроны сети имеют случайные веса, и произвольным образом получается так, что веса одного из нейронов более остальных близки весам данных. Этот нейрон назначается нейроном-победителем и его веса корректируются, а так е корректируются веса нескольких его соседей. Такая корректировка весов формирует кластер данных, что далее при анализе будет позволять детектировать такой же кластер с высокой точностью.

То есть изначально нейроны были серой массой, потом их веса начали корректироваться и расползаться по кластерам. На рисунке 2 кластеры только начинают зарождаться.



Рис. 2. Первые этапы обучения нейронов

И вот постепенно они растягиваются к своим классам, как на рис. 1. Мы никак не изменяем данные и не подгоняем их под нужный класс, а именно накладываем сетку нейронов и доводим до того, чтобы она полноценно легла на данные и приняла их форму.

И ценность самоорганизующихся карт в том, что накладывать двумерную сетку нейронов можно на пространство большей размерности. То есть мы можем на рисунке 1 самостоятельно разделить исходную выборку на 3 класса, но если бы исходная выборка была не двумерной, а трехмерной, то это было бы сложнее, а если пятимерной, то мы бы и вовсе с этим не справились. А вот SOM способы решать такую задачу с большим количеством размерности данных.

И нейронов в сети может совсем немного, даже до одного нейрона на один класс данных. С помощью этого, например, можно вкладывать одномерное в пространство в двумерное и делить данные на сегменты, где каждый сегмент – определенный кластер (рис. 3).

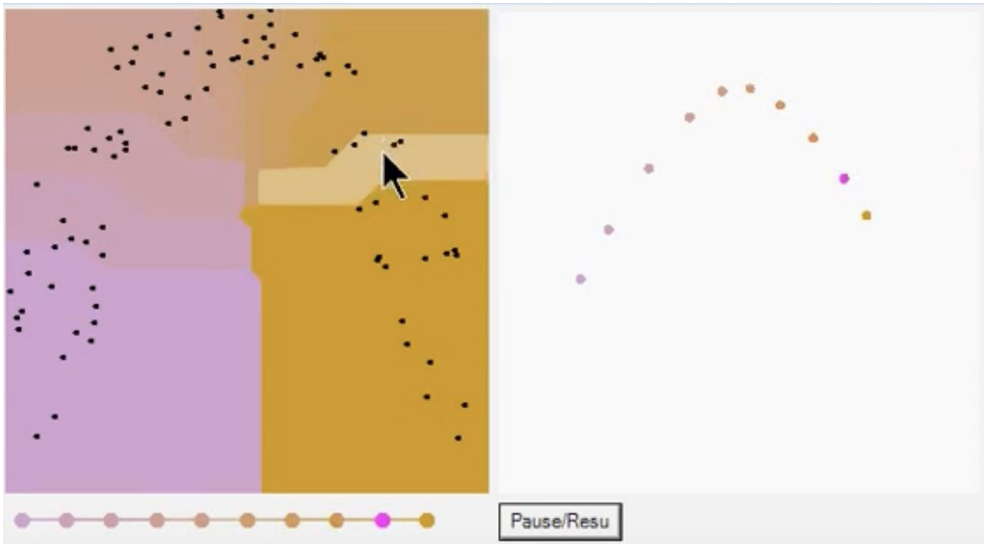


Рис. 3. Сеть нейронов, делящая параболу даанных на сегменты

На рисунке 3 можно видеть, что выделенный сегмент данных соответствует определенному нейрону в SOM (розового цвета). И так же видно, что на рисунке справа нейронная сеть растянулась в пространстве выборки данных.

Использование самоорганизующихся карт в сфере защиты информации является эффективным методом решения задач, связанных с обнаружением аномалий, кластеризацией данных и контролем за безопасностью систем.

SOM решают задачу кластеризации, и возможно подготовить такие данные, на основе которых сеть обучится и сможет решать задачу классификации.

Идея построения классификатора на основе кластерного анализа заключается в том, чтобы сначала поделить объекты обучающей выборки на кластеры и, изучив состав каждого кластера, сформировать стратегию классификации данных. Изучение состава кластеров необходимо для того, чтобы определить, как распределены метки классов по кластерам. Затем на основе изученных свойств кластеров предлагается классифицировать новые (ранее неизвестные) объекты. А при необходимости производить обучение на новой выборке данных и добавлять ранее несуществующие кластеры.

Такой классификатор позволит анализировать трафик распределенной информационной сети и явно определить целевое использование каждого из хостов и каналов связи. При детектировании в сети пакетов, принадлежащих вредоносным кластерам, их можно блокировать и сообщать об этом администратору сети, а при обнаружении подозрительных пакетов, не подходящих ни под один из определенных классов – производить дополнительное обучение нейронной сети с обновленным пакетом данных, что позволит увеличить количество валидных кластеров [2].

На основе обучающей выборки SOM создается карта, в которой каждый нейрон представляет собой определенный тип трафика. Когда происходит новый сетевой запрос, карта позволяет классифицировать его, определяя, к какому типу трафика он относится.

По итогу кластеризации, карту нейронной сети возможно представить в двумерном виде, что позволяет наглядно оценить полученную матрицу и состояния данных в ней.

Помимо кластерного анализа, при помощи SOM можно производить поведенческий анализ хостов. Для этого нужно записать трафик при нормальной работе сети, обучить на его основе карту нейронной сети и в дальнейшем, пакеты хостов, не соответствующие их нормальному поведению, могут быть переданы системе обнаружения и предотвращения вторжений (IDPS).

Подозрительным поведением хоста может являться (рис. 4): высокий трафик в нерабочее время, чрезмерное количество подключений, использование

нестандартных портов, необычные протоколы, необычные пики трафика, долгие или частые сессии, аномалии в типах запросов, попытки эскалации прав, связи с подозрительными IP-адресами, обмен данными с IP, связанными с вредоносными действиями, повторяющиеся последовательности запросов, изменение паттернов маршрутизации, увеличение частоты внутренних взаимодействий, коммуникации с командно-контрольными серверами, подозрительные файлы и процессы, использование шифрования или туннелирования, необычные попытки входа, изменения в профиле аутентификации. Все это может быть детектировано и в зависимости от степени угрозы принято решение системой предотвращения вторжений.



Рис. 4. Типы подозрительного поведения хостов

И для работы SOM нужно определить конечную размерность данных, что будет позволять делать вывод о валидности трафика, либо о наличии в нем признаков подозрительного поведения. Это могут быть: частота сетевых пакетов, размеры, используемые протоколы, количество соединений, количество пакетов в секунду, количество уникальных IP, загрузка процессора, задержки в сети, количество отказов в сети, частота аномальных запросов, попытки сканирования портов, интервалы между соединениями, загрузка сетевых каналов.

На основе этих метрик можно делать вывод по симптомам и при совпадении симптомов довольно однозначно детектировать проводимую атаку на сеть, так как паттерны поведения будут аналогичными.

Так же SOM могут быть полезны для обнаружения утечек данных, даже если они происходят не по явному пути (например, не через электронную почту или FTP, а через другие каналы) [3]. И производить анализ известных утечек на предмет наличия в них ваших данных (что скажет о необходимости сменить учетные данные).

Немаловажен и тот фактор, что самоорганизующиеся карты можно визуализировать. SOM позволяют отрисовать многомерные данные, что может быть полезно для экспертов по безопасности при анализе больших наборов информации. Они могут помочь выделить закономерности в данных и построить карту, на которой видно, как различные события или трафик соотносятся друг с другом.

Преимущества использования самоорганизующихся карт в информационной безопасности является то, что они позволяют:

– обнаружение неизвестных угроз: SOM не требуют наличия заранее подготовленных шаблонов атак или угроз, что делает их полезными для обнаружения новых и неизвестных типов атак;

– обработка больших объемов данных: SOM хорошо справляются с большими объемами данных, что важно для мониторинга сетевой активности или логов;

– топологическая структура: SOM сохраняет топологические отношения в данных, что позволяет эффективно отображать и анализировать взаимосвязи между различными типами событий или трафика.

А недостатки самоорганизующихся карт это:

– требование большой обучающей выборки: для того, чтобы SOM эффективно работали, нужно достаточно много данных для обучения модели;

– необходимость в ручной настройке: настройки параметров модели и интерпретация результатов могут быть сложными, особенно для начинающих пользователей;

– ограниченная способность к детектированию сложных атак: SOM лучше всего работают при обнаружении простых аномалий, но для более сложных и скрытых угроз может понадобиться использование других методов анализа.

По итогу проведенного анализа можно сделать вывод, что самоорганизующиеся карты могут быть полезным инструментом для обнаружения аномалий и классификации данных в информационной безопасности. Их способность обрабатывать большие объемы многомерных данных и выявлять откло-

нения от нормального поведения делает их особенно полезными для мониторинга сетевой активности, системных логов и обнаружения подозрительных действий в реальном времени. Однако для эффективного применения необходимо обеспечить качественное обучение и адаптацию модели под специфические нужды системы безопасности и важно их использование как вспомогательного инструмента, не доверяя им безопасность системы целиком.

Список используемых источников

1. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. М.: Бином. Лаб. знаний, 2008. 655 с.
2. Пальчунов Д. Е., Яхъяева Г. Э., Хамутская А. А. Программная система управления информационными рисками RiskPanel // Программная инженерия. 2011. № 7. С. 35–50.
3. Яхъяева Г. Э., Ясинская О. В. Применение методологии прецедентных моделей в системе риск менеджмента, направленного на раннюю диагностику компьютерного нападения // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2012. Т. 10. С. 106–115.

Krivets A. **ANALYSIS OF SELF-ORGANIZING NEURAL NETWORK MAPS FOR SOLVING INFORMATION SECURITY PROBLEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The technologies of modern information networks are constantly becoming both more complex and the most vulnerable from the same modern technologies. The development of network and information security must be regular and provide protection ahead of the development of network threats. One of the areas in which it is necessary to develop the security of network infrastructure is artificial intelligence and, in particular, neural networks. This article describes ways to implement maps of self-organizing neural networks in relation to information security tools.

Key words: SOM, neural networks, DIN, IDPS.

УДК 621.39
ГРНТИ 49.33.29

МЕТОД БАЛАНСИРОВКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ЗАДЕРЖКИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

А. И. Парамонов, Ф. Н. Хоанг
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе представлен подход к оптимизации баланса между потреблением энергии и задержкой в гетерогенной сети Интернета вещей на основе многоканальной архитектуры. Гетерогенные сети ИВ могут включать в себя различные типы подканалов связи, такие как радиочастотные, акустические и оптические подканалы, каждый из которых характеризуется уникальными параметрами энергопотребления и скоростными характеристиками. Основное внимание уделяется разработке метода оптимального распределения мощности между подканалами сети с учетом ограничения по минимально необходимой скорости передачи данных для обеспечения качества обслуживания. Для решения задачи используется алгоритм оптимизации роя частиц, который позволяет эффективно находить оптимальное соотношение между мощностью передачи и скоростью передачи данных. Результаты моделирования показывают, что предложенный подход позволяет значительно снизить общее потребление энергии, при этом поддерживая требуемую скорость передачи данных в сети.

Сеть Интернета вещей, канал связи, энергоэффективность сети, скорость передачи, гетерогенность

Введение

Интернет вещей (ИВ) представляет собой одно из наиболее перспективных направлений развития телекоммуникационных технологий, предлагая значительные возможности для автоматизации и повышения эффективности систем в различных областях, включая промышленное оборудование, телемеханику и системы управления производственными процессами [1–2]. В особенности ИВ играет ключевую роль в создании сетей для промышленных предприятий и инфраструктурных объектов, где необходимо поддерживать надежную связь между операторами, машинами и роботами, а также обеспечивать взаимодействие роботов между собой для координации работы в реальном времени [3]. С развитием робототехники такие сети становятся еще более востребованными, расширяя спектр возможных приложений и предъявляя высокие требования к качеству связи и скорости передачи данных [4].

Условия эксплуатации сетей ИВ и потребность в передаче данных могут значительно различаться в зависимости от конкретной области применения. Число устройств в таких сетях часто достигает значительных значений, а плотность их размещения в пространстве может быть крайне высокой, что приводит к появлению высокоплотных сетей и создает серьезные сложности в организации устойчивой и энергоэффективной связи [5–9]. Современные технологии связи предлагают множество возможностей для решения этих задач, включая использование различных методов и средств передачи данных.

Особую сложность представляет достижение баланса между энергопотреблением и задержкой в высокоплотных гетерогенных сетях ИВ, включающих в себя гетерогенные подканалы, такие как радиочастотные, акустические и оптические, каждый из которых обладает уникальными характеристиками энергопотребления и скорости передачи данных. Для оптимизации этого баланса в работе используется алгоритм интеллекта роя частиц, который показал свою эффективность в задачах подобного рода [10–11].

Целью данной работы является разработка подхода на основе алгоритма интеллекта роя частиц, позволяющего минимизировать энергозатраты и задержку при поддержании требуемого уровня качества обслуживания в сети ИВ.

Модель гетерогенной сети высокой плотности

Предположим, что в сети высокой (сверхвысокой) плотности устройства (узлы) состоят из несколько независимых подканалов. На рисунке 1 представлена модель многоканальной гетерогенной сети Интернета вещей. Эти подканалы работают на разных несущих частотах или используют различные среды распространения сигнала, такие как радио, акустика и оптические системы. Каждый подканал характеризуется своими специфическими параметрами, включая дальность связи, время доставки, скорость передачи данных, вероятность потери данных и энергопотребление.

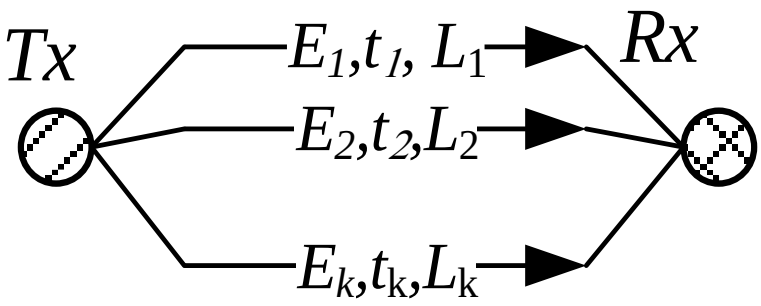


Рис. 1. Модель гетерогенной сети Интернета вещей

Пусть пакет данных объемом L передается от передатчика к приемнику через несколько подканалов. Пакет может быть разделен на части, каждая из которых передается по соответствующему подканалу. Обозначим объем данных (в битах), передаваемый через i-ый подканал как L_i, при этом:

$$L = \sum_{i=1}^{k} L_i, \quad (1)$$

где k – количество подканалов.

Время передачи данных через i-й подканал зависит от объема данных и скорости передачи на данном канале. Время передачи можно вычислить как:

$$t_i = \frac{L_i}{r_i}, \quad (2)$$

где r_i – скорость передачи данных по подканалу i.

Максимальное время передачи данных в системе будет определяться самым медленным подканалом, т. е. подканалом с наибольшим временем передачи:

$$t_{max} = max\{t_1, t_2, \dots, t_k\}, \quad (3)$$

это максимальное время передачи, определяющее общую задержку в системе.

Модель затрат на энергопотребление

В данной модели рассматриваются два состояния работы приемопередатчиков: состояние передачи данных и состояние ожидания. Передатчики переходят в режим ожидания, когда передача данных на их подканале завершена, но при этом продолжают потреблять энергию до тех пор, пока не завершится передача данных на всех остальных подканалах.

Поскольку время передачи данных через каждый подканал различается, предположим, что приемопередатчики остаются в режиме ожидания после завершения передачи данных по своим подканалам до тех пор, пока последний пакет данных, распределенный между другими подканалами, не будет передан. Таким образом, общее энергопотребление в режиме ожидания можно описать следующей формулой:

$$E_w = \sum_{i=1}^{k} \overline{p_i}(t_{max} - t_i), \quad (4)$$

где $\overline{p_i}$ – мощность, потребляемая i-ым приемопередатчиком в режиме ожидания.

Данная формула позволяет учесть энергозатраты на ожидание для каждого приемопередатчика, остающегося в режиме ожидания до момента завершения передачи данных через самый медленный подканал.

Общее энергопотребление при передаче данных через i-й подканал можно вычислить как:

$$E_t = \sum_{i=1}^{k} p_i t_i, \tag{5}$$

где p_i – мощность передачи данных по подканалу i.

Суммарное энергопотребление системы включает в себя как энергозатраты на передачу данных, так и энергозатраты в режиме ожидания.

Общее энергопотребление можно вычислить как сумму энергопотребления во всех подканалах:

$$E_{\sum} = E_t + E_w = \sum_{i=1}^{k} \left((p_i - \overline{p_i}) t_i + \overline{p_i} t_{max} \right) \tag{6}$$

Модель дает возможность более точно оценивать энергозатраты системы, что критически важно для разработки энергоэффективных решений.

Балансировка потребления энергии и задержки в гетерогенных сетях Интернета вещей

В гетерогенных сетях ИВ, для обеспечения производительности и качества обслуживания, скорость передачи данных каждого канала связи должна достигать минимального уровня. Этот минимальный уровень, обозначаемый как r_{min}, гарантирует передачу данных через сеть с соответствующей задержкой и удовлетворяет требованиям приложения. Это ограничение может быть выражено следующим образом:

$$r_i = f(p_i) \geq r_{min}, \tag{7}$$

где $f(p_i)$ является нелинейной функцией, описывающей зависимость между мощностью и скоростью передачи данных, такой как логарифмическая или экспоненциальная функция, для отражения реальных свойств передачи данных в сети.

Как правило, для повышения скорости передачи данных устройству требуется больше энергии, что приводит к увеличению энергопотребления. Однако, если скорость слишком низкая, устройству приходится дольше находиться в состоянии передачи или ожидания, что также увеличивает энергопотребление. Таким образом, балансирование между скоростью передачи данных и

энергопотреблением позволяет лучше моделировать задачу и обеспечивает эффективную работу системы при оптимальном энергопотреблении.

Для балансировки компромисса между потреблением энергии и задержкой системы в гетерогенной сети ИВ, целевая функция включает два ключевых компонента:

$$min\left(\eta_{\sum} = w_1 E_{\sum} + w_2 D_{\sum}\right), \tag{8}$$

при условии $p_i \geq p_{min}$, $r_i \geq r_{min}$

Средняя задержка в системе, которая обратно пропорциональна средней скорости передачи данных r_{avg}:

$$D_{\sum} = \frac{1}{r_{avg}} \tag{9}$$

Средняя скорость передачи рассчитывается как:

$$r_{avg} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} r_i, \tag{10}$$

коэффициенты w_1 и w_2 представляют собой условные единицы стоимости, которые позволяют регулировать приоритет между минимизацией энергопотребления и поддержанием скорости передачи данных. Эти коэффициенты помогают настроить баланс между затратами на энергию и задержкой в зависимости от требований конкретного применения.

В данной работе мы применяем алгоритм интеллекта роя частиц для решения поставленной задачи. В рамках алгоритма каждое возможное решение представлено в виде частицы, у которой есть позиция и скорость. Скорость частицы пересчитывается на каждом шаге с учетом ее собственного опыта, а также опыта других частиц в глобальном пространстве. Позиция частицы обновляется на основе текущей скорости. Этот процесс продолжается итеративно до тех пор, пока не будет найдено оптимальное или близкое к оптимальному решение, либо не будет достигнуто максимальное количество итераций. Поскольку задача минимизации энергопотребления включает два ключевых ограничения – мощность передачи данных и скорость передачи данных, начальные положения и скорости частиц могут быть инициализированы в двухмерном пространстве. В данном пространстве одна ось представляет мощность передачи данных, а другая – скорость передачи данных. Эти параметры ограничены допустимыми значениями, чтобы удовлетворять условиям задачи.

Таким образом, каждая частица представляет возможное решение, определяемое ее позицией, которая описывается величинами (p_i, r_i), и ее скоростью. Позиции и скорости частиц обновляются на каждом шаге с учетом как их собственного лучшего положения (локального оптимума), так и

глобального наилучшего решения, найденного среди всех частиц. Алгоритм продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто оптимальное или близкое к оптимальному решение, либо пока не будет выполнено максимальное количество итераций.

Затем скорость и положение каждой частицы обновляются в соответствии со следующей формулой:

$$v_i^{(t+1)} = \omega v_i^{(t)} + c_1 n_1 \left(P_i^{*(t)} - x_i^{(t)}\right) + c_2 n_2 \left(G_i^{*(t)} - x_i^{(t)}\right), \quad (11)$$

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)}, \quad (12)$$

где ω – вес инерции, c_1 – когнитивный коэффициент ускорения, c_2 – социальный коэффициент ускорения; n_1, n_2 – случайные значения в [0,1]; P_i^* – локальное наилучшее значение частицы; G_i^* – глобальное наилучшее значение частицы; ϵ – порог сходимости, очень маленькое значение, определяющее, когда алгоритм может остановиться. На рисунке 2 приведен алгоритм интеллекта роя частиц для решения задачи минимизации стоимости энергопотребления и задержки.

Начало
Ввод исходных данных: Количество частиц соответствует количеству подканалов k; параметры c_1, c_2, n_1, n_2*; вес инерции* ω*; максимальное число итерации T.*
Случайным образом сгенерировать популяцию начальных решений.
for *каждой частицы i* **do**:
Ввод исходных данных: случайное задание начальных позиций $x_i^{(0)}$ *и скоростей частиц* $v_i^{(0)}$ *и получаем локальное наилучшее решение* $P_i^{*(t)}$.
$G_i^{*(t)} = P_i^{*(t)}$, $i = \arg\min_i \left\{\eta(P_i^{*(t)})\right\}$
end for
while $t < T$ **do**:
for $i = 1$, $i \le k$, i++ **do**:
обновление скорости по формуле (11)
обновление позиции по формуле (12)
вычисление целевой функции $\eta(x_i^{(t+1)})$ *по формуле (8)*
обновление позиций P_i^* *и* G_i^*:
if $\eta(x_i^{(t+1)}) < \eta\left(P_i^{*(t)}\right)$ **do**:
$P_i^{*(t+1)} = x_i^{(t+1)}$
end
if $\eta\left(P_i^{*(t+1)}\right) < \eta\left(G_i^{*(t)}\right)$ **do**:
$G_i^{*(t+1)} = P_i^{*(t+1)}$
end
end
if $\left|\eta\left(G_i^{*(t+1)}\right) - \eta\left(G_i^{*(t)}\right)\right| < \epsilon$ **break**
end
end

Рис. 2. Минимизация стоимости энергопотребления и задержки на основе алгоритма интеллекта роя частиц

Наконец, мы получили оптимальное местоположение $G_i^* = \{p_i^*, r_i^*\}$ для каждой частицы, тем самым определяя общую минимальную затрату.

Оценка эффективности метода

В данном исследовании для оптимизации баланса между энергопотреблением и задержкой передачи данных в гетерогенной сети Интернета вещей был применен алгоритм роя частиц. Основные параметры алгоритма включают количество частиц, равное количеству каналов – 3, максимальное количество итераций 100, очень малый порог сходимости $\epsilon = 10^{-6}$, инерционный коэффициент $\omega = 0.4$ и коэффициенты ускорения $c_1 = c_2 = 2$. В целевой функции использованы весовые коэффициенты $w_1 = 0.6$, $w_2 = 0.4$, которые позволяют управлять приоритетом между минимизацией энергопотребления и задержкой системы.

Результаты моделирования на рисунке 3 показывают, что алгоритм интеллекта роя частиц достиг сходимости после 37 итераций, что подтверждается тремя графиками: средняя задержка системы, энергопотребление и значение целевой функции. На всех трех графиках видна стабилизация этих параметров после 37-й итерации, что свидетельствует о достижении алгоритмом оптимального значения. Конкретные показатели в точке сходимости следующие: средняя задержка – 0.523 (с), энергопотребление –105.093 (Дж), значение целевой стоимости – 63.265, значительно снизились по сравнению с начальными значениями. На графиках заметен резкий спад этих значений на начальных этапах, что указывает на быструю адаптацию и стремительное приближение алгоритма к оптимальному решению.

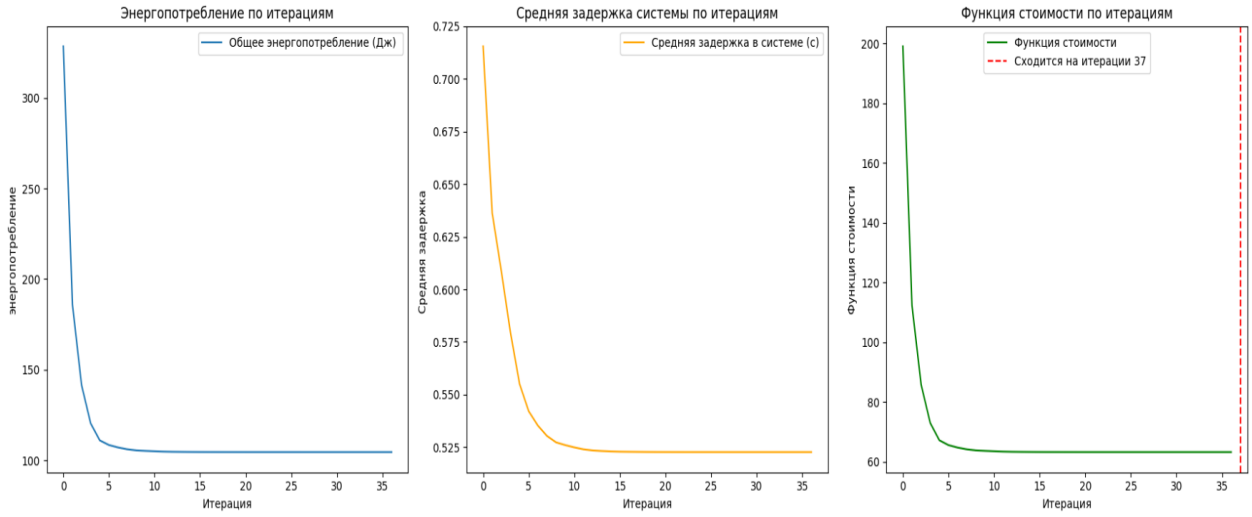


Рис. 3. Оценка изменений параметров в ходе итераций

Эти результаты подчеркивают эффективность применения метода интеллекта роя частиц для одновременной минимизации задержки и энергопотребления в гетерогенной сети ИВ. Задержка и энергозатраты сведены к минимальному возможному значению при минимальном значении целевой функции, что соответствует требованиям по энергоэффективности и качеству обслуживания системы.

Тот факт, что алгоритм достиг сходимости уже на 37-й итерации (намного меньше максимального количества итераций), демонстрирует стабильность и эффективность алгоритма интеллекта роя частиц в поиске оптимального значения. Это также подтверждает применимость алгоритма интеллекта роя частиц в реальных сетевых приложениях, где требуются высокая производительность вычислений и низкое энергопотребление.

Выводы

В данном исследовании была разработана и реализована модель оптимизации баланса между энергопотреблением и задержкой в гетерогенной сети Интернета вещей с использованием алгоритма роя частиц. Основной целью являлось минимизировать нелинейную целевую функцию, которая включает два ключевых параметра: суммарное энергопотребление и среднюю задержку сети.

Использование алгоритма интеллекта роя частиц продемонстрировало свою эффективность в решении задачи минимизации энергопотребления и задержки в гетерогенной сети ИВ. Быстрая и стабильная сходимость алгоритма позволила находить оптимальные значения параметров с небольшим количеством итераций, что особенно важно для устройств ИВ с ограниченными вычислительными ресурсами и энергоемкостью.

Этот метод позволяет добиться значительного повышения качества обслуживания, одновременно обеспечивая оптимальный баланс между энергозатратами и скоростью передачи данных. Результаты работы подтверждают возможность успешного применения алгоритма роя частиц для оптимизации сложных систем связи, что открывает перспективы для его использования в практических задачах проектирования и управления ресурсами сетей Интернета вещей.

Список используемых источников

1. Recommendation ITU-T Y.2060, Overview of the Internet of things.
2. Кучерявый А. Е. Триллионные сети // Телекоммуникации. 2013. № 7. С. 19–22.

3. Khayyat M., Multilevel service-provisioning-based autonomous vehicle applications. / Khayyat M., Alshahrani A., Alharbi S., Elgendy I., Paramonov A., Koucheryavy A. // Sustainability. 2020. Т. 12. № 6. С. 2497.
4. Koucheryavy A., Okuneva D., Paramonov A., Huang F. Methods of Traffic Distribution in a Heterogeneous High-Density Internet of Things Network. Proceedings of Telecommunication Universities, 2024. Vol. 10(2). PP. 67–74. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-2-67-74. EDN:RTNVEU.
5. Бушеленков С. Н., Парамонов А. И. Метод выбора маршрутов в беспроводной сети интернета вещей высокой плотности // Электросвязь. 2021. № 12. С. 14-20.
6. Paramonov A. High density internet of things network analysis / Paramonov A., Koucheryavy A., Tonkikh E., Tatarnikova T.M. // Lecture Notes in Computer Science? 2020. Т. 12525 LNCS. С. 307-316.
7. Noaman M. et al. Challenges in integration of heterogeneous internet of things // Scientific Programming, 2022.
8. Qiu Tie et al. How can heterogeneous internet of things build our future: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials 20.3, 2018. PP. 2011-2027.
9. Koucheryavy A., 3 dimension multilayer heterogenous ultra dense networks / Koucheryavy A., Paramonov A., Makolkina M., Muthanna A., Vybornova A., Dunaytscev R., Zaharov M., Gorbacheva L., Tran D., Marochkina A. // Telecom IT, 2022. Vol. 10. № 3. PP. 1–12.
10. Матренин П. В., Секаев В. Г. Системное описание алгоритмов роевого интеллекта // Программная инженерия, 2013. № 1. С. 39-45.
11. Gad A. G. Particle swarm optimization algorithm and its applications: a systematic review // Archives of computational methods in engineering, 2022. № 29.5. С. 2531-2561.

Paramonov A., Hoang N. **METHOD OF BALANCING ENERGY CONSUMPTION AND LATENCY IN HETEROGENEOUS INTERNET OF THINGS NETWORKS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents an approach to optimizing the balance between energy consumption and delay in a heterogeneous Internet of Things network based on a multichannel architecture. Heterogeneous Internet of Things networks can include various types of communication subchannels, such as radio frequency, acoustic, and optical subchannels, each characterized by unique energy consumption and speed parameters. The focus is on developing a method for optimal power allocation among the network's subchannels, considering the constraint of a minimum required data transmission rate to ensure quality of service. The problem is solved using the particle swarm optimization algorithm, which effectively finds the optimal trade-off between transmission power and data transmission speed. Simulation results show that the proposed approach significantly reduces overall energy consumption while maintaining the required data transmission rate in the network.
Key words: Internet of Things network, communication channel, network energy efficiency, transmission speed, heterogeneity.

УДК 654.164
ГРНТИ 49.43.29

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОЙ РАБОТЫ ДЕКАМЕТРОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

А. И. Рыбаков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Цель статьи представить обзор результатов по исследованию эффективности применения эквалайзеров в условиях ионосферного канала радиосвязи. Актуальность проведенной работы обусловлена необходимостью исследования методов повышения помехоустойчивости цифровой системы радиосвязи (декаметровой линии связи). Коротковолновая связь с помощью ионосферного канала широко используется в течение многих лет, и она обладает целым рядом несомненных достоинств. Но есть у нее и серьезные недостатки, такие как низкая скорость и помехоустойчивость передачи информации, в следствие проявления физических свойств канала связи – анизотропии ионосферы. Исследование подчеркивает значимость адаптивных технологий для обеспечения стабильной и надежной связи в условиях переменной и неоднородной среды распространения. Говоря о полученных результатах, следует отметить, что использование эквалайзеров значительно улучшает помехоустойчивость, снижая требуемое отношение сигнал/шум (ОСШ) для заданного уровня битовых ошибок (BER) 10^{-3}.

ионосферный канал, модуляция, помехоустойчивость, канальный эквалайзер, отношение сигнал/шум, уровень битовых ошибок

В контексте обеспечения качественной связи значимость данной технологии подтверждается снижением требуемого ОСШ для заданного уровня битовых ошибок (далее – BER) на уровне 10^{-3}. Эффективным средством для повышения помехоустойчивости стали эквалайзеры, что было продемонстрировано в результатах моделирования распространения радиоволн в ионосферном канале радиосвязи. Глубокий анализ является необходимым для решения конкретных проблем, таких как фазовые искажения и затухание сигналов, чтобы обеспечить надежную и стабильную связь. Особенно ощутимой становится необходимость исследования адаптивных технологий в условиях переменных и неоднородных факторов, влияющих на распространение радиоволн. В статье представлены результаты по определению степени эффективности применения эквалайзеров для адаптации работы декаметровой линии связи. При исследовании подходов решения задач по повышению пропускной способности, помехоустойчивости и скорости передачи информации по каналам радиосвязи были приняты для рассмотрения следующие варианты [1, 5]:

– параллельные каналы передачи информации;

– пространственно-временной и частотный разнос радиосигналов;

– широкополосные сигналы;

– современные виды модуляции радиоволн при передаче информации.

Все перечисленные направления не обеспечивают принципиально нового решения задачи создания ионосферных линий радиосвязи, поэтому поиск более совершенных решений в настоящее время необходим. Критически важным условием для каждого из этих вариантов является влияние доплеровского сдвига. В статье предложен способ снижения влияния доплеровского сдвига путем применения канального эквалайзера [2, 3].

Эквалайзер – это цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ), коэффициенты которого настраиваются субоптимальным алгоритмом с целью компенсации фазовых искажений принимаемого радиосигнала. Передаточная функция КИХ фильтра [4]:

$$H(z) = \sum_{i=0}^{P} b_i \, z^{-i}$$

Канальный эквалайзер представляет собой цифровой фильтр, весовые коэффициенты которого меняются в соответствии с определенным алгоритмом.

Структура эквалайзера может быть линейной и нелинейной.

Линейный эквалайзер способен снижать межсимвольную интерференцию, но только при ненулевом значении импульсной характеристики канала радиосвязи.

Нелинейный эквалайзер с обратной связью за счет обратной связи способен эффективно снижать уровень межсимвольной интерференции в частотно-селективных каналах радиосвязи, при нулевой импульсной характеристике радиоканала шум не усиливается [6].

Для линейной и нелинейной структур эквалайзеров применимы разные алгоритмы, в соответствии с которыми производится установка весовых коэффициентов. Устанавливаемые весовые коэффициенты зависят от: значения весовых коэффициентов на предыдущем периоде; сигнала на входе; сигнала на выходе; эталонного сигнала.

Алгоритм, основанный на рекурсивном алгоритме наименьших квадратов с обратной связью (RLS DFE), спроектирован для определения коэффициентов эквалайзера в декаметровом радиоканале ионосферной радиосвязи. Он позволяет минимизировать среднеквадратическую ошибку между ожидаемым выходом фильтра и фактическим выходом. Устанавливаются начальные значения коэффициентов эквалайзера, которые могут быть заданы случайным образом или инициализированы заранее, после чего на вход эквалайзера пода-

ется сигнал, требующий коррекции и компенсации. Вычисляется выходной сигнал с применением коэффициентов эквалайзера, и ошибка, которую необходимо минимизировать, определяется как разница между ожидаемым выходом фильтра (целевым сигналом) и фактическим выходом фильтра. Обновляются коэффициенты эквалайзера на каждой итерации путем умножения ошибки на входной сигнал и на шаг обучения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ошибка не будет минимизирована, и алгоритм завершает свою работу после достижения минимальной ошибки или по истечении заданного числа итераций. Таким образом, данный алгоритм позволяет адаптировать систему радиосвязи к динамичным условиям канала и минимизировать ошибки передачи. Численными показателями производительности эквалайзера является значения BER.

Сравнение обработанной принятой преамбулы с ожидаемой является ключевым этапом в процессе настройки эквалайзера. Если разница между этими двумя последовательностями превышает заданный порог, это сигнализирует о необходимости корректировки коэффициентов эквалайзера. Эта корректировка направлена на улучшение качества связи и уменьшение искажений в принимаемом сигнале. Процесс повторяется необходимое количество раз, что позволяет адаптировать и оптимизировать коэффициенты эквалайзера для достижения наилучших результатов.

Исследование производительности эквалайзера производилось на базе программной среды моделирования Matlab Simulink.

Исследование наиболее производительных настроек эквалайзера производились на основе цифровой системы связи в составе:

– сверточного кодирования (1/2);

– блочного кодирования (31, 23);

– перемежителя (20x20).

Значение информационной скорости в радиоканале – около 600 бит/с, модуляция BPSK для Релеевского двухлучевого радиоканала с разницей хода лучей $5*10^{-4}$ с. Длины преамбулы – 50, 70 и 100 бит.

Для первичного исследования производится поиск оптимальной длины линии задержки в прямом направлении (Forward Taps) [7], поскольку именно Forward Taps определяет возможность компенсации фазовых искажений. Значение длины линии задержки в обратной связи (Feedback Taps) влияет только на компенсацию межсимвольной интерференции, ее значение установили равным единице.

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета параметров эквалайзера.

№ Forward Taps	BER (преамб. 100 бит)	BER (преамб. 70 бит)	BER (преамб. 50 бит)
10	$1,78*10^{-3}$	$1,83*10^{-3}$	$3,41*10^{-3}$
11	$3,86*10^{-3}$	$1,94*10^{-3}$	$3,51*10^{-3}$
12	$2,29*10^{-3}$	$2,06*10^{-3}$	$3,42*10^{-3}$
13	$2,44*10^{-3}$	$2,32*10^{-3}$	$4,43*10^{-3}$
14	$2,36*10^{-3}$	$2,27*10^{-3}$	$4,28*10^{-3}$
15	$2,47*10^{-3}$	$2,33*10^{-3}$	$4,63*10^{-3}$
16	$2,52*10^{-3}$	$2,59*10^{-3}$	$4,78^{*10-3}$
17	$2,84*10^{-3}$	$3,3*10^{-3}$	$4,83*10^{-3}$
18	$2,87*10^{-3}$	$3,28*10^{-3}$	$5,8*10^{-3}$
19	$2,95*10^{-3}$	$3,12*10^{-3}$	$5,59*10^{-3}$
20	$2,87*10^{-3}$	$3,02*10^{-3}$	$5,67*10^{-3}$
21	$3,15*10^{-3}$	$3,07*10^{-3}$	$5,9*10^{-3}$
22	$2,98*10^{-3}$	$3,2*10^{-3}$	$5,81*10^{-3}$
23	$3,38*10^{-3}$	$3,57*10^{-3}$	$6,06*10^{-3}$
24	$3,48*10^{-3}$	$3,89*10^{-3}$	$6,05*10^{-3}$
25	$3,38*10^{-3}$	$3,66*10^{-3}$	$6,54*10^{-3}$
26	$3,08*10^{-3}$	$4,18*10^{-3}$	$6,7*10^{-3}$
27	$3,23*10^{-3}$	$4,16*10^{-3}$	$6,83*10^{-3}$

Результаты расчета показывают, что для всех длин преамбулы, при значении Forward Taps равным 10 достигается наименьшее количество ошибок. Изменение значения Feedback Taps на 11 не несет изменений на значении, а при значении 12 и более эквалайзер перестает корректно восстанавливать сигнал, в таком случае последующее декодирование невозможно [9, 11].

Эксперимент по проверке функционирования цифровой системы связи с используемым производительными настройками эквалайзера на трассовых испытаниях включал в себя две стационарных позиции в городах Санкт-Петербург и Иркутск. Протяженность линии связи между городами составила 4 450 км. На всей протяженности линии связи имеются две точки отражения радиоволны от ионосферы.

На рис. 1 показано оборудование у абонентов сверхпротяженной декаметровой линии связи, которое было применено в проведении трассовых испытаний.



Рис. 1. Комплект оборудования абонентов канала связи

При проведении трассовых испытаний был выбран сигнал с 4-х позиционной фазовой манипуляцией (QPSK) со скоростью 800 бит/с. Длительность сигнала составила 5 секунд, частота дискретизации – 8 000 Гц. В результате, в среде Matlab Simulink при помощи функции «pskmod» был сформирован вектор данных, содержащий 40 000 отсчетов. Полученный вектор вставлялся в заранее созданный, «чистый» файл – формата «WAV».

Передача файла производилась с комплекта оборудования абонентов при помощи стандартной функции воспроизведения WAV-файлов. На приемной стороне производилась запись сигнала встроенными средствами трансивера Icom IC-7300. Файл содержал демодулированную запись радиоэфира в полосе звуковых частот, с параметрами цифрового полосового фильтра – 0,3 … 3,1 кГц.

Представляется возможность анализа двух сигналов в векторной форме при помощи Matlab Simulink [12]. Записанный файл представлен с теми же параметрами, что и переданный файл. Для обнаружения сигнала в ранее записанном файле, применяется функция «Xcorr» – это функция в Matlab Simulink, которая возвращает взаимную корреляцию двух векторов. На рис. 2 показан результат работы коррелятора принятого и передаваемого сигнала.

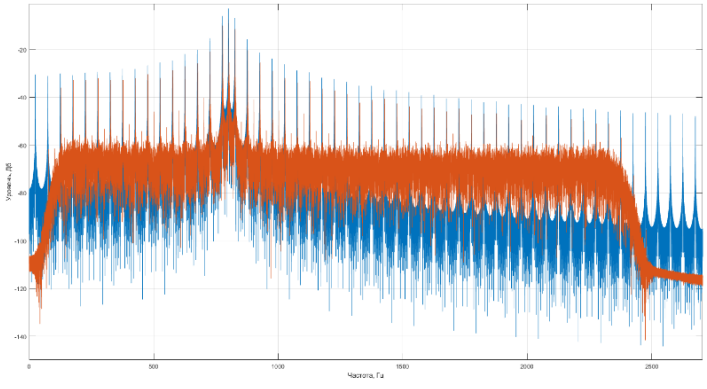


Рис. 2. Взаимная корреляция принятого и передаваемого сигнала

Проведя спектральный анализ составляющих, обнаружено несовпадение частот, связанный с доплеровским сдвигом частоты. Зависимость эффективности работы эквалайзера, выраженная в зафиксированном уровне битовых ошибок (BER) от длины преамбулы [4, 8], проанализирована из данных отсчетов файла и продемонстрирована на рисунке 4.

В составе общего пакета – 800 бит видно, что при длине преамбулы 40 символов (бит) и более (100, 400 бит) достигается допустимый уровень битовых ошибок – 10^{-3}, уже начиная с отношения сигнал/шум 20. Без применения канального эквалайзера (кривая синего цвета), количество битовых ошибок составляет 0,5.

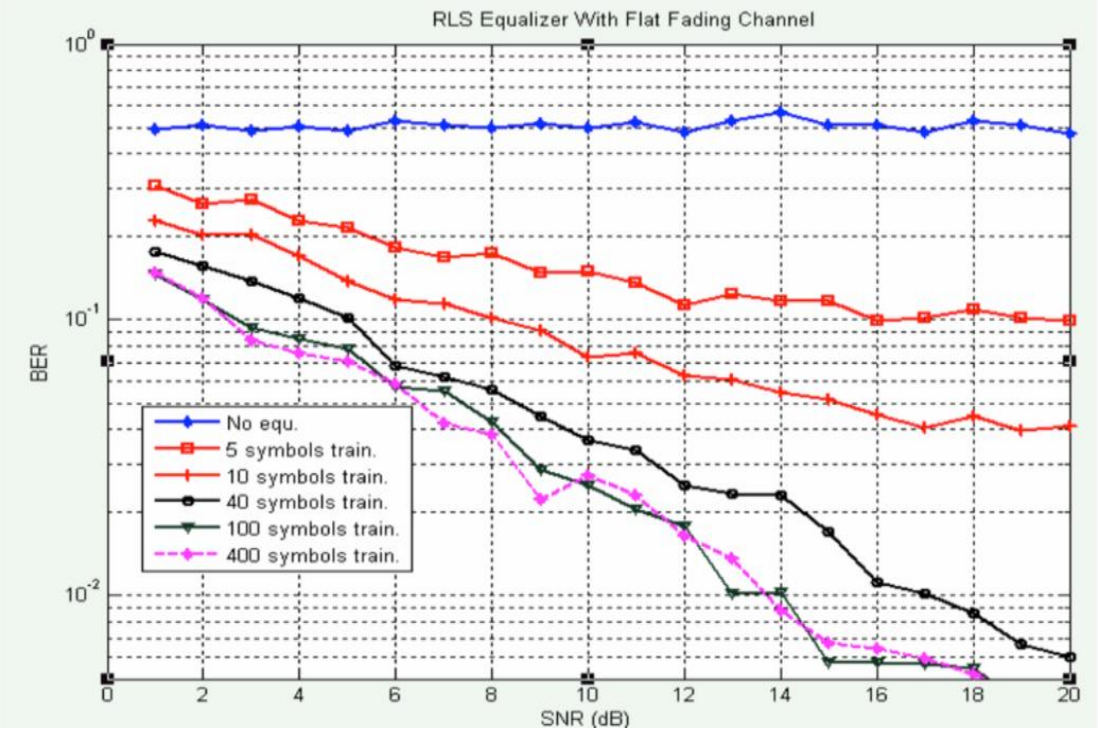


Рис. 3. Зависимость количества битовых ошибок от длины преамбулы [9]

Как видно из рисунка 3, увеличение длины преамбулы более 100 бит не приводит к существенному повышению помехоустойчивости канала связи.

В дополнение к варианту применения канальных эквалайзеров, помехоустойчивое кодирование позволит дополнительно снизить требование к уровню сигнала на 4 – 6 дБ, но при этом скорость передачи полезной информации снизится. Для лучших условий распространения радиосигнала и скорости передачи данных, наиболее производительными длинами преамбулы будет 50 бит (для модуляции BPSK) и 150 бит (для модуляции QPSK). Повышение длины линии задержки в обратной связи постепенно ухудшает производительность эквалайзера (уровень BER), вследствие чего оптимальную длину линии задержки в обратной связи целесообразно определить в условиях реального радиоканала.

Список используемых источников

1. Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Исследование и анализ основных качественных характеристик модели радиоканала с вариативной преамбулой // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 245–249.
2. Воробьев О. В., Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Моделирование двунаправленной структуры адаптивного эквалайзера на основе алгоритма Калмана // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 147–151.
3. Farhan M. M., Hameed A., Combination of LMS and RLS Adaptive Equalizer for Selective Fading Channel // Nakkash.European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X. 2010. Vol. 43, №1. PP. 127–137.
4. Вертоградов Г. Г., Урядов В. П., Вертоградов В. Г., Вертоградова Е. Г., Кубатко С. В., Валов В. А. Многофункциональный комплекс для наклонного зондирования на базе ионозонда – радиопеленгатора // Журнал радиоэлектроники. 2010. № 12. С. 1–18.
5. Farhan M. M., Hameed A., Combination of LMS and RLS Adaptive Equalizer for Selective Fading Channel // Nakkash.European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X. 2010. Vol. 43, № 1. PP. 127–137.
6. Ovchinnikov V. V., Ryabova N. V., Elsukov A. A. Adaptive HF Signal Detection Algorithm CFAR and Its Verification by Means of SDR Based Digital Ionosonde with USRP Platform // Proc. 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Minsk, 2018. PP. 1–5.
7. Ovchinnikov V. V., Ivanov D. V., Ivanov V. A., Ryabova N. V., Ryabova M. I., Laschevsky A. R. Modeling and studying ionograms of oblique sounding of HF radio channels for radio links of various length using a digital ionosonde with USRP platform // Proc. 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO), Kazan, 2017. PP. 1–5.
8. Sobaihi K., Hammoudeh A., Scammell D. Automatic Gain Control on FPGA for Software-Defined Radios. 2012. 1–4 c.
9. Sergeeva M. A., Gonzalez-Esparza J. A., Blagoveshchensky D. V., Maltseva O. A., Chernov A. G., Corona-Romero P., De la Luz V., Mejia-Ambriz J. C., Gonzalez L. X., Romero-Hernandez E., Rodriguez-Martinez M., Aguilar-Rodriguez E., Andrade E., Villanueva P., Gatica-Acevedo V. J. First observations of oblique ionospheric sounding chirp signal in Mexico // Results in Physics. 2019. Vol. 12. PP. 1002–1003.
10. Salous S., Shearman E.D.R. Wideband measurements of coherence over an HF skywave link and implication for spreadspectrum communication // Radio Science. 21 (3). PP. 463–472.
11. Вопросы прогнозирования состояния ионосферы и распространения радиоволн // Труды ИЗМИРАН, 1961, Вып. 19 (29), 151 с.
12. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.
13. Головин О. В. Декаметровая радиосвязь. М.: Радио и связь. 1990. 240 с.

Rybakov A. **IMPROVING THE EFFICIENCY OF ADAPTIVE OPERATION OF THE DECAMETER COMMUNICATION LINE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents the results of a study of the effectiveness of the use of equalizers in the conditions of an ionospheric radio communication channel. The relevance of the work carried out is due to the need to study methods to increase the noise immunity of a digital radio communication system (decameter communication line). Shortwave communication using the ionospheric channel has been widely used for many years and it has a number of undoubted advantages. But it also has serious drawbacks, such as low speed and noise immunity of information transmission, as a result of the manifestation of the physical properties of the communication channel – the anisotropy of the ionosphere. The study highlights the importance of adaptive technologies to ensure stable and reliable communication in a variable and heterogeneous distribution environment.

Key words: ionospheric channel, modulation, noise immunity, channel equalizer, signal-to-noise ratio, bit error rate.

УДК 621.396.49
ГРНТИ 49.43.00

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ КАК ЧАСТЬ ERP-СИСТЕМЫ ОПЕРАТОРА

В. В. Стариков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается вопрос интеграции программного комплекса планирования и оптимизации сетей мобильной связи в единую систему планирования ресурсов предприятия оператора. Представлена концепция новой информационной системы, объединяющей в себе функционал целого ряда систем поддержки операций. Основными целями такого нововведения являются: повышение операционной эффективности компании, улучшение клиентского опыта, а также создание гибкой платформы для внедрения новых услуг с минимальными затратами.

планирование сетей мобильной связи, бизнес-процессы оператора мобильной связи, ERP системы, OSS системы

На сегодняшний день ИТ-ландшафт операторов мобильной связи обладает сложной структурой. Бурное развитие телекоммуникационного рынка и специфика ключевых бизнес-процессов, характерных для этой отрасли, наложили свой отпечаток на перечень используемых операторами информационных систем (ИС). В первом приближении все прикладные ИС оператора можно разделить на 2 основные группы [1]:

– OSS (Operation Support System – система поддержки операций). Предназначены для взаимодействия с сетевой инфраструктурой. В качестве примера можно привести системы планирования сетей и мониторинга ресурсов;

– BSS (Business Support System – система поддержки бизнеса). ИС, участвующие в процессах взаимодействия с абонентом. Яркими представителями данной группы являются системы биллинга и CRM (Customer Relationship Management – система управления взаимоотношениями с клиентами).

Развитие концепции архитектурного подхода к построению предприятий обуславливает появление целого ряда фреймворков и отраслевых карт бизнес-процессов, описывающих взаимодействие различного ПО (программного обеспечения) в рамках ИТ-инфраструктуры компании. Для предприятий связи были предложены карты eTOM (Enhanced Telecom Operations Map – расши-

ренная карта процессов деятельности телекоммуникационной компании) и TAM (Telecom Application Map – карта приложений телекоммуникационной отрасли). Карта eTOM позволяет сформировать основные требования к системам OSS/BSS. TAM, в свою очередь, нацелена на подробное описание требований к ИС, включая их классификацию с полным перечнем требуемого функционала [2].

В последние годы отчетливо прослеживается тенденция к разработке отраслевых ERP (Enterprise Resource Planning - планирование ресурсов предприятия) систем, т. е. адаптированных под бизнес операторов мобильной связи. До появления первых комплексов такого типа для мобильных операторов отладка взаимодействия различных подразделений, каждое из которых могло использовать свое программное обеспечение, было нетривиальной задачей.

Внедрение ERP позволяет заменить отдельные ИС, направленные на выполнение конкретных прикладных задач, в единую систему. Основными задачами для такого агрегатора является повышение операционной эффективности компании, улучшение клиентского опыта, а также создание гибкой платформы для внедрения новых услуг с минимальными затратами [3]. В качестве альтернативы внедрению единой ERP системы следует отметить создание интеграционной шины, позволяющей наладить эффективный информационный обмен между различными ИС компании [4].

Ведущими разработчиками ERP систем для телекоммуникационных компаний (SAP и Oracle) были интегрированы следующие системы: биллинг, управление тарифами и услугами, цепочками поставок, проектами строительства/модернизации, CRM, а также часть функционала по мониторингу сетевой инфраструктуры [5].

Однако целый ряд бизнес-процессов операторов мобильной связи весьма сложен для интеграции в единую систему в виду специфики используемых в прикладных программных комплексах сущностей и связанными с ними атрибутами. Данный факт существенно осложняет возможность последующего информационного обмена с другими модулями системы. Ярким примером сложно интегрируемого ПО является САПР (система автоматизированного проектирования) или CAE (Computer-Aided Engineering – система автоматизации инженерных расчетов и анализа) по планированию и оптимизации сетей мобильной связи, а также ряд других программных продуктов класса OSS.

Возможным решением вышеизложенной проблемы является объединение OSS систем в единый программный комплекс (Integration OSS+), который, в свою очередь, будет включен в ERP систему оператора через интеграционную шину. Такой подход позволит произвести реинжиниринг целого ряда ключевых процессов, относящихся к построению и эксплуатации сетевой ин-

фраструктуры. Работа различных специалистов в таком комплексе может быть реализована за счет разделения интерфейсов и предоставления различных прав доступа для разных групп пользователей.

Следует отметить, что процессы строительства сетевой инфраструктуры следует включить в предлагаемую концепцию ИС в виду их тесной координации с процессами планирования и оптимизации.

На рис. 1. представлена сервисно-ориентированная модель ERP системы оператора мобильной связи с комплексом «Integration OSS+».

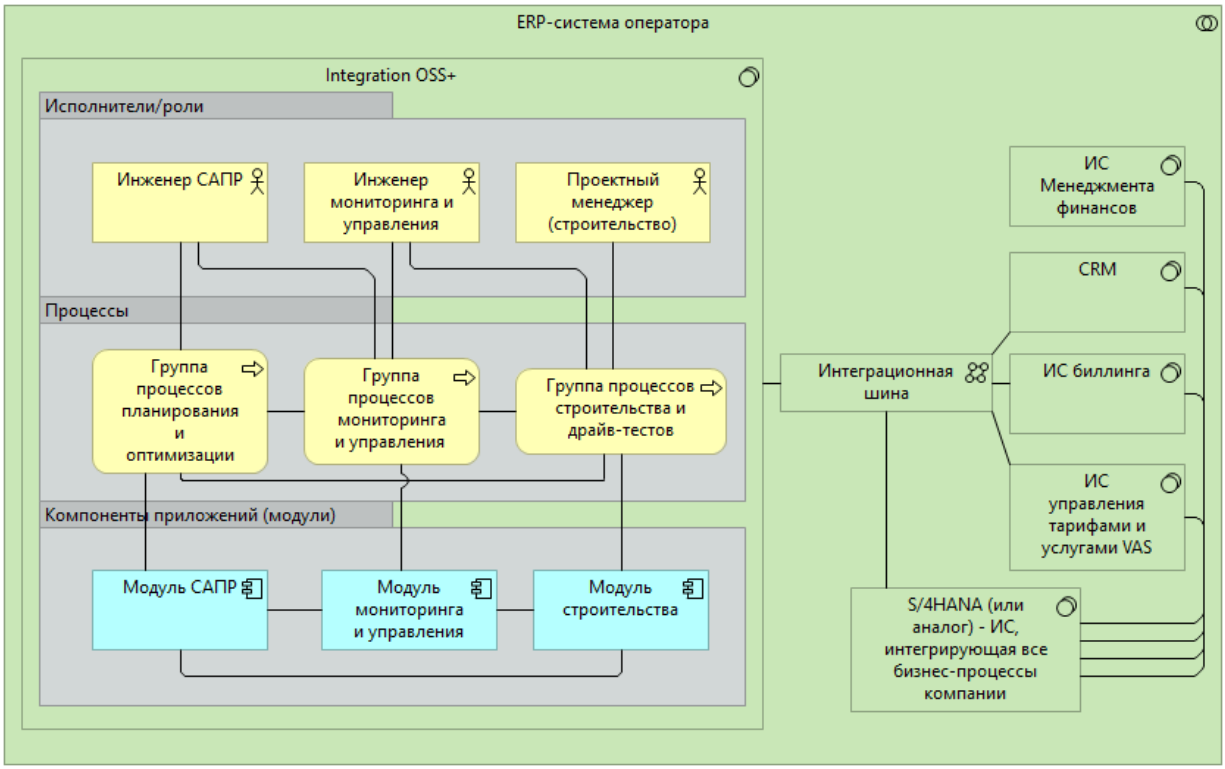


Рис. 1. Сервисно-ориентированная модель ERP системы оператора мобильной связи с комплексом «Integration OSS+»

Необходимый перечень модулей такой ИС можно представить следующим образом:

1. *Планирования и оптимизации сети*. Обладает полным функционалом отдельных САПР.

2. *Мониторинга и управления сетью*. Доступ к этому модулю со стороны инженера САПР позволит получать прогноз по трафику на основе накопленной статистики. Также этот модуль позволяет в режиме реального времени «подсвечивать» те места, которые на данный момент являются наиболее перегруженными.

3. Строительства и модернизации сетевой инфраструктуры. Позволяет осуществить координацию всех этапов проекта — от разработки технического задания до запуска и тестирования новых объектов сетевой инфраструктуры. Все ста-

дии проекта могут координироваться в рамках данного модуля. Инженеру САПР, благодаря выделенному интерфейсу, будет представлена возможность оценки доступности той или иной площадки (сайта) для установки выбранного типа оборудования. Данный инструментарий экспресс-анализа весьма важен, поскольку позволяет эффективно использовать существующие ресурсы и сократить перечень последующих правок в сетевой проект.

При дальнейшем знакомстве с сервисно-ориентированной моделью ERP системы оператора особое внимание следует уделить структуре модуля САПР (рис. 2). Характерными особенностями этой системы являются: совокупность взаимосвязанных подмодулей, сложная структура внутреннего информационного обмена и возможность дальнейшего расширения функционала за счет реализации новых блоков. Заметим, что часть элементов системы обладает неявными связями, опосредованными через другие подмодули.

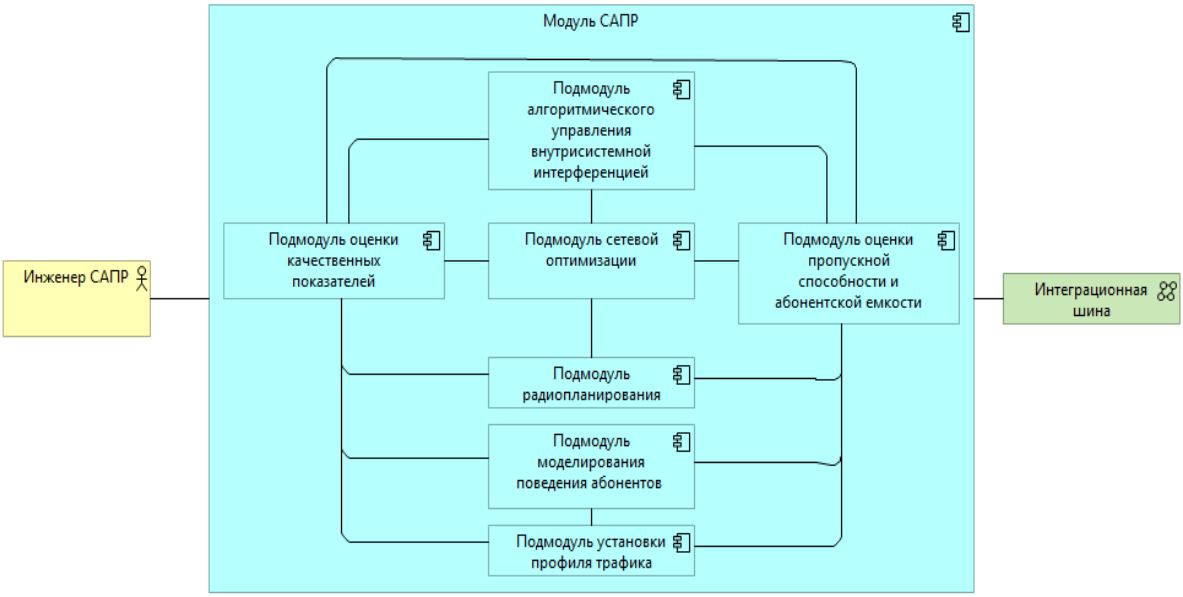


Рис. 2. Структура модуля САПР

Подмодуль сетевой оптимизации является ключевым элементом в архитектуре САПР. Посредством этой подсистемы решаются задачи структурной и параметрической оптимизаций. Этот подмодуль агрегирует поступающие в него данные от других элементов и в соответствии с заданными критериями выдает результат решения оптимизационных задач.

С помощью подмодуля алгоритмического управления внутрисистемной интерференции производится установка соответствующих алгоритмов, отвечающих за распределение частотно-временного ресурса в сети. Инженер САПР может выбирать как шаблонный сценарий управления, так и создавать новый.

Подмодуль оценки пропускной способности и абонентской емкости необходим для осуществления имитационного моделирования сети при задан-

ных параметрах выделенного частотного-временного ресурса, ожидаемого профиля трафика и поведенческих сценариев абонентов.

Проверку соблюдения критериев QoS (Quality of Service – качество предоставляемых услуг) при заданном профиле трафика выполняет подмодуль оценки качественных показателей сети.

Подмодуль радиопланирования необходим для выполнения расчета карт покрытия и уровня поля. Вычисления производятся на основе выбранной статистической модели расчета потерь на трассе распространения. Для наиболее сложных участков сети возможен расчет с использованием технологии трассировки лучей по методам IM (Image Method - метод отражений) и SBR (Shooting and Bouncing Rays – метод «стреляющих» и отражающихся лучей).

Для описания поведенческих особенностей абонентов служит одноименный подмодуль. С его помощью можно описать изменение профиля трафика в зависимости от времени суток и местонахождения пользователя. Также имеется возможность учесть особенности маятниковой миграции абонентов.

С помощью подмодуля установки профиля трафика можно исследовать работу сети при различных сценариях загрузки. Для повышения точности планирования следует принять за основу тот профиль трафика, который имеет место быть на данный момент в эксплуатирующихся сетях. Отметим, что в периоды стремительных изменений пользовательских предпочтений возможна ситуация, когда какой-либо из сервисов быстро набирает популярность. В такой случае наличие актуальных данных по динамике изменений профиля трафика (с разбивкой по услугам и сервисам) позволит точнее адаптировать планируемую сеть под новые реалии.

На рис. 3. представлена диаграмма классов для модуля САПР. Данная модель имеет ряд упрощений в части объединения смежных подмодулей и отображения связей с геоинформационными системами (ГИС). Однако предложенная диаграмма раскрывает взаимодействие с системой для 3 дополнительных пользовательских ролей: инженера по тестированию, аналитика и экономиста. Благодаря такому подходу можно определить и проработать все точки взаимодействия специалистов различного профиля как непосредственно с системой, так и между собой в рамках тех или иных общих бизнес-процессов.

Роль экономиста в представленной диаграмме заключается в оценке экономической эффективности проекта сети, получившегося в результате имитационного моделирования.

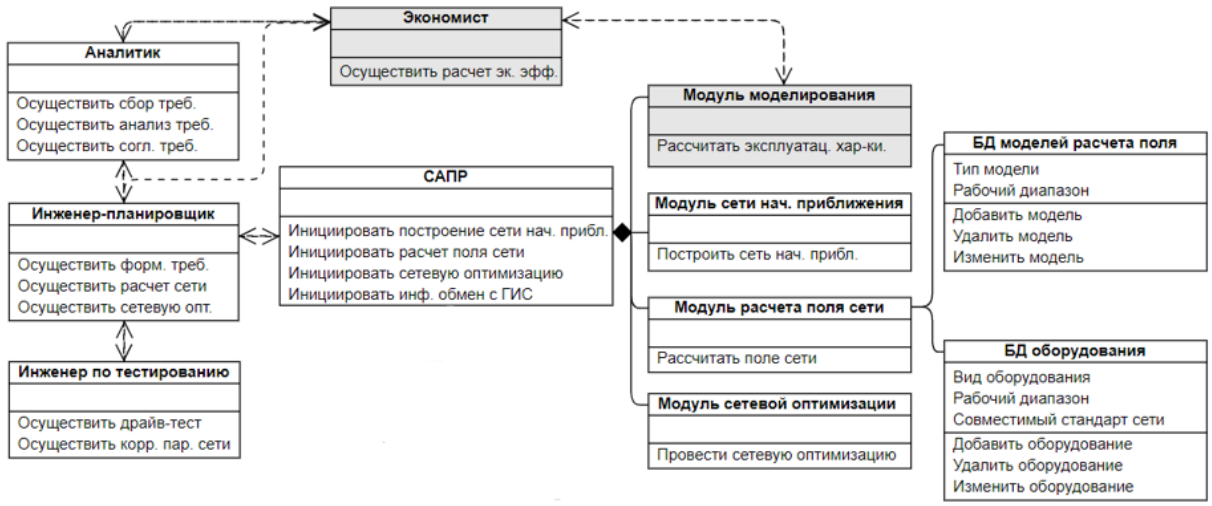


Рис. 3. Диаграмма классов модуля САПР

Особого внимания заслуживает тот факт, что успешное взаимодействие специалистов различного профиля зависит от формализации технико-экономических критериев оценки проекта сети. Вполне очевидно, что без таких критериев процесс определения итоговой сетевой конфигурации будет сопряжен с решением множества противоречий.

Углубившись в обозначенную выше проблематику, можно прийти к выводу о том, что возникновение таких ситуаций напрямую связано с этапом определения заинтересованных сторон. Напомним, что этот этап состоит из двух последовательных шагов. На первом производится определение перечня всех возможных пользователей системы. Второй шаг посвящен сбору и анализу требований к разрабатываемой ИС. Этот этап, в свою очередь, связан с выявлением и разрешением возможных противоречий на уровне бизнес-требований. Важно помнить, что без т. н. «сверки часов» со всеми заинтересованными сторонами не избежать внутренних конфликтов интересов, что непосредственным образом скажется на итоговом результате.

Результатом описанной выше аналитической работы может выступать диаграмма функциональной кооперации системы, где будет определен перечень действующих сторон и соответствующих им пользовательских сценариев.

Таким образом, Integration OSS+ можно представить в виде OSS-ядра, отвечающего за все технические аспекты жизненного цикла сети радиодоступа. Стоит отметить, что благодаря интеграционной шине доступ к данным системы возможен со стороны других модулей ERP системы. Например, специалист, ответственный за формирование тарифов и перечня VAS (Value Added Services – услуги, приносящие дополнительный доход) услуг, может получить данные о специфике поведения абонентов в определенном районе. Аналогичным образом руководители департаментов и менеджмент будут иметь воз-

можность сформировать актуальный отчет по росту абонентского трафика, его структуре и т. д.

Подводя итог, следует отметить, что интеграция программного обеспечения для планирования и оптимизации сетей в ERP систему мобильного оператора в рамках Integration OSS+ – это стратегический шаг, позволяющий оптимизировать внутренние бизнес-процессы и тем самым обеспечить высокое качество связи, которое является одним из ключевых факторов удовлетворенности абонентов.

Список используемых источников

1. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Высочин В. П. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2014. 384 с.
2. Теория и практика автоматизации бизнес-процессов современного оператора связи: учебное пособие / А. А. Атцик, А. Б. Гольдштейн, А. В. Никитин ; рец.: Н. А. Соколов, С. В. Кисляков ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". СПб.: СПбГУТ, 2016. 91 с.
3. Инновации, инвестиционная политика и управление качеством услуг компании мобильной связи: монография / В. В. Макаров, А. В. Горбатько; рец.: Н. В. Войтоловский, Ю. О. Колотов; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". СПб.: СПбГУТ, 2014. 287 с.
4. Компания «Аскон» – разработчик инженерного программного обеспечения и ИТ-интегратор. СПб., 2024. URL: https://www.ascon.ru (дата обращения 14.11.2024).
5. Компания «SAP SE» – производитель программного обеспечения для организаций. Вальдорф, 2024. URL: https://www.sap.com (дата обращения 14.11.2024).

Starikov V. **SOFTWARE PACKAGE FOR PLANNING AND OPTIMIZING MOBILE COMMUNICATION NETWORKS AS PART OF THE OPERATOR'S ERP SYSTEM.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the integration of a planning and optimization software suite for mobile network operations into a unified resource planning system for the operator's enterprise. The concept of a new information system is presented, which combines the functionality of several operational support systems. The main goals of this comprehensive system are to improve the company's operational efficiency, enhance the customer experience, and create a flexible platform for the introduction of new services with minimal costs.

Key words: mobile network planning, mobile operator business processes, ERP systems, OSS systems.

УДК 004.946
ГРНТИ 28.23.15

ИНЕРЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ (ТРЕКИНГА): АНАЛИЗ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

Д. А. Татаренков, Д. Д. Федотов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается технология инерционного отслеживания перемещения (IMU трекинг), ее принцип работы, преимущества и ограничения. На примере открытой системы SlimeVR проводится анализ характеристик IMU-устройств. Рассматриваются перспективы использования этих систем в виртуальной реальности и других прикладных областях. Данная работа является первым шагом на пути создания собственной системы трекинга.

инерционный трекинг, IMU, захват движения, виртуальная реальность, SlimeVR

Введение в системы трекинга

Системы позиционного отслеживания (трекинга) представляют собой набор технологий, обеспечивающих определение положения и ориентации объектов в пространстве в реальном времени. Эти системы находят широкое применение в самых различных областях, включая виртуальную и дополненную реальность, робототехнику, медицинскую диагностику и реабилитацию. Реализация отслеживания обычно обеспечивается целым комплексом устройств слежения, предназначенных для определения позиции, фиксирования изменений положения в пространстве и ориентации объекта в виртуальной среде с помощью нескольких степеней свободы [1].

Одной из наиболее доступных и универсальных технологий является инерционное отслеживание перемещения, основанное на применении акселерометров и гироскопов, входящих в инерциальный измерительный блок (Inertial measurement unit, IMU) [2]. IMU-системы не требуют сложной инфраструктуры, такой как камеры или метки, что делает их удобными для мобильных и персональных решений. В данной статье будет рассмотрен принцип работы IMU-систем, их преимущества и ограничения, а также представлен анализ открытой системы SlimeVR, которая демонстрирует потенциал использования IMU для бытовых и профессиональных задач.

Инерционные системы трекинга

Непосредственно инерциальный измерительный блок представляет собой устройство, способное измерять ускорения и угловую скорость (изменение ориентации) объекта за счет акселерометра и гироскопа соответственно. Некоторые продвинутые IMU также имеют магнетометры для определения положения относительно магнитного поля Земли, что повышает их стабильность.

Принцип работы IMU основывается на интеграции данных с сенсоров, что позволяет вычислять положение и ориентацию объекта. Такие IMU системы используют акселерометр и гироскоп, и называются системами с шестью степенями свободы (6DoF). Однако технология имеет свои ограничения: накопление ошибки (дрейф) в процессе интеграции и ограниченная точность в условиях низкой динамики.

IMU с магнитометром работают как компас и используют магнитное поле Земли в качестве точки отсчета для устранения дрейфа гироскопа, однако им требуется стабильная магнитная среда, иначе они будут работать неустойчиво. IMU без магнитометра не требуют стабильной магнитной среды, но склонны к дрейфу гироскопа с течением времени из-за невозможности отличить шум датчика от фактического движения, и поэтому будут медленно вращаться по оси рыскания с течением времени. Наличие магнитометра условно расширяет количество степеней свободы системы до 9 (9DoF).

На практике наличие магнитометра не является необходимостью. Так, например, BNO085, который является рекомендуемым IMU для использования в системе SlimeVR, используется в режиме 6DoF и, тем не менее, работает лучше всех поддерживаемых IMU [3].

Алгоритмы обработки данных в IMU-системах отслеживания

Согласно принципу анатомии человека, тело можно рассматривать как следующие отдельные части: таз и бедро, нога, стопа, позвоночник, голова, руки, локти и кисти. Каждая часть тела соединена суставами и по-своему уникальна, т. е. можно определить, что в данный момент отслеживается, например, левая рука. В качестве опорного узла отслеживания обычно выбирается тазовая область, на нее и другие отслеживаемые части тела устанавливаются специальные датчики, которые собирают информацию о движении человека. Далее дело остается за соответствующими алгоритмами, вычисляющими характерные параметры тела человека для отслеживания его движений [4].

Для повышения точности и устранения накопления ошибок в данных, собранных с IMU-сенсоров, используются алгоритмы фильтрации и слияния

данных. Эти алгоритмы позволяют эффективно интегрировать сигналы от акселерометров, гироскопов и, при наличии, магнетометров, минимизируя дрейф и улучшая стабильность трекинга.

Основным таким алгоритмом является фильтр Калмана – оптимальный рекурсивный алгоритм, предназначенный для оценки состояния системы, которая подвержена шуму. Его широко используют в IMU-системах благодаря способности эффективно обрабатывать данные с сенсоров с учетом их вероятностных характеристик. Основные этапы работы фильтра Калмана состоят из предсказания, основанного на предыдущих оценках состояния и модели системы, сравнения новых данных с предсказанными значениями и корректировки состояния.

Фильтр Калмана имеет ряд недостатков, основным из которых является сложность вычислений, из-за чего часто используется алгоритм комплементарной фильтрации, основанный на объединении данных акселерометра и гироскопа. В таком случае акселерометр обеспечивает статическую и динамическую стабильность, а гироскоп дает краткосрочные точные данные о вращении. Математическая модель комплементарного фильтра может быть представлена как:

$$\theta_{\text{угол}} = \alpha * \left(\theta_{\text{угол}} + \omega_{\text{гироскопа}} * dt\right) + (1 - \alpha_{\text{акс}}) \quad (1)$$

где $\theta_{\text{угол}}$ – угол наклона (тангаж или крен), α – взвешенный коэффициент фильтра, $\omega_{\text{гиро}}$ – угловая скорость, полученная от гироскопа и $\alpha_{\text{акс}}$ – данные акселерометра. Основная сложность проектирования данного фильтра заключается в определении его взвешенного коэффициента α, который обычно определяется уравнением (2), зависящим от постоянной времени фильтра (τ) [5].

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + dt} \quad (2)$$

Схема работы фильтра приведена на рис. 1, ФНЧ необходим для фильтрации краткосрочных колебаний акселерометра, благодаря чему оценка угла с помощью комплементарного фильтра при резких движениях изменяется плавно. ФВЧ же противодействует дрейфу гироскопа, отсеивая долгосрочные колебания. При использовании магнетометра его показания дополнительно совмещаются с данными акселерометра.

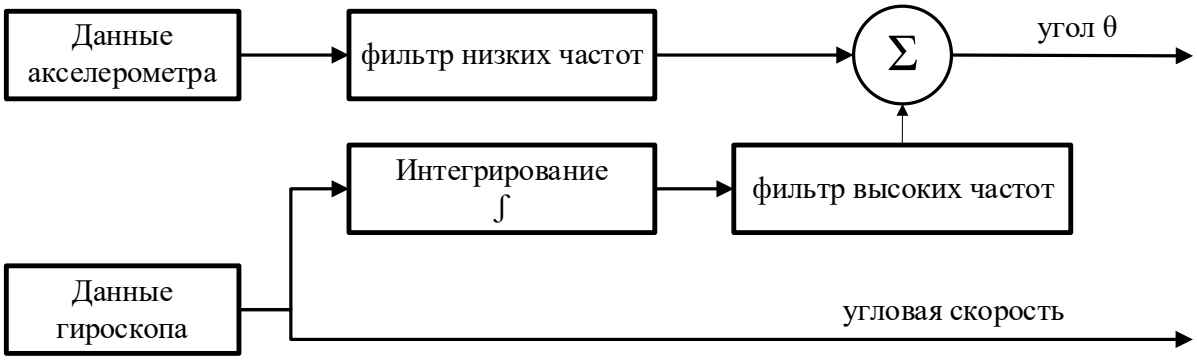


Рис. 1. Структурная схема системы цифрового комплементарного фильтра

Помимо вышеперечисленных фильтров, существуют также основанные на использовании кватернионов алгоритмы (фильтры Мэджвика и Махони), которые могут обеспечить высокое быстродействие [6]. Однако они не будут рассматриваться в данной статье, так как они не используются в рассмотренной ниже системе SlimeVR из-за повышенных требований к IMU модулям, в том числе необходимости присутствия в них магнитометра.

SlimeVR как пример доступного решения на основе IMU

SlimeVR – это набор открытых аппаратных датчиков и программного обеспечения с открытым исходным кодом, которые облегчают отслеживание всего тела (full body tracking, FBT) в виртуальной реальности. Целью проекта является создание системы, которая настраивается и дорабатывается конечным пользователем в соответствии с его потребностями [7]. Основана данная система на микроконтроллерах семейства ESP с интегрированными Wi-Fi и Bluetooth модулями.

SlimeVR ориентирован на использование исключительно инерциальных измерительных устройств (IMU) для определения положения и ориентации частей тела. Они размещаются на ключевых точках тела, таких как бедра, колени и ступни. Эти сенсоры передают данные о движении в ПО SlimeVR Server, в котором они обрабатываются с учетом физиологии человека. Кроме того, данные трекере рассчитаны на использование совместно с VR гарнитурами, которые обеспечивают глобальное позиционирование с помощью оптического трекинга. Сами же SlimeVR отвечают только за отслеживание всего тела (full body tracking, FBT). При этом степень отслеживания зависит от конфигурации системы трекеров, т. е. от их количества. Варианты рекомендуемых конфигураций предоставлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Вариация конфигураций трекеров SlimeVR

Количество трекеров	Возможности использования
5	Отслеживание нижней части тела – живота, коленей и ступней. Любое сгибание нижней части позвоночника будет иметь проблемы с отслеживанием, а ориентация ступней не будет отслеживаться
6 (рекомендуемый набор)	В дополнение к предыдущему набору, этот добавляет еще один трекер на позвоночнике. Это позволяет гораздо более точно и стабильно отслеживать положение лежа, сидя или даже просто наклонившись
8	Два дополнительных трекера предлагается использовать для более точного отслеживания движений ступней
10	В дополнение к предыдущему комплекту, этот позволяет вам двигать локтями независимо от контроллеров в VR

Конфигурация системы SlimeVR

Мозгом оригинальной системы является микропроцессор ESP8266, размещенный на плате Wemos D1 Mini. Единственными его функциями являются передача данных на ПК пользователя по Wi-Fi и запуск ПО (прошивки) для обеспечения этой передачи. По этой причине головой трекера могут выступать и другие микроконтроллеры, например используются так называемые nRF трекеры (основанные на платах Nordic Semiconductor nRF52x или nRF52840), которые используют для передачи данных радиопротокол Enhanced ShockBurst (ESB). Такие системы гораздо более энергоэффективные, по сравнению с традиционными ESP (Wi-Fi), однако также в несколько раз дороже и требуют подключения к ПК специального USB-ресивера, а также иной прошивки [8].

Наиболее важным компонентом трекера SlimeVR является непосредственно инерционный измерительный блок. Большинство трекеров изготавливаются на достаточно дорогом BNO085, но существует множество альтернатив, сравнение которых будет приведено ниже.

Разработчики SlimeVR предусмотрели вариант создания трекеров, при котором к ведущему мастер-трекеру с аккумуляторами и микроконтроллером ESP32 подключается ведомый трекер, отслеживающий другую часть тела. Длина провода до ведомого трекера не должна превышать 80 см. На рис. 2 приведена рекомендуемая схема сборки трекера SlimeVR с использованием двух IMU семейства BN008X и платой D1 mini для ESP микроконтроллера.

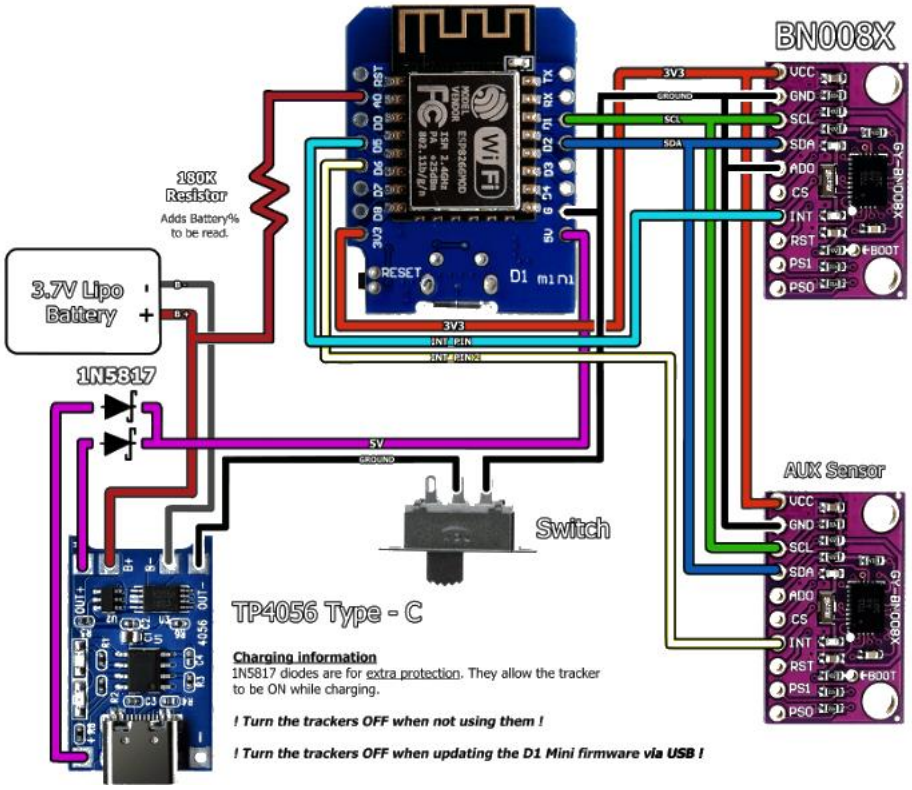


Рис. 2. Рекомендуемая схема сборки трекера SlimeVR

Помимо контроллера и IMU для создания инерционного трекера необходимы зарядный модуль и аккумулятор. В качестве контроллера заряда рекомендуется чрезвычайно дешевый TP4056. Аккумулятор следует выбирать исходя из того, что потребление системы составляет приблизительно 100 мАч за час использования, рекомендуемый объем – 1200 мАч. Для nRF систем потребление примерно в 10 раз ниже, в результате чего будет достаточно аккумулятора емкостью в 100-200 мАч.

Сравнение доступных инерционных измерительных блоков

В таблице 2 приведено сравнение IMU, выполненное сообществом пользователей SlimeVR. Основными критериями сравнения является время до сброса, надежность и цена, так как инерционный измерительный блок самый сложный и дорогой компонент трекера. Время до сброса напрямую характеризует скорость накопления дрейфа и показывает, через сколько времени необходимо сбрасывать IMU для корректной работы, что происходит автоматически. Поскольку в России многие IMU сложно найти, а их цена может сильно отличаться, она указана условно. Блоки с ценой ниже среднего можно легко приобрести дешевле 1000 руб., а выше среднего обычно стоят от 2000 руб.

ТАБЛИЦА 2. Сравнение доступных IMU

Наименование IMU	Время до сброса, мин	Комментарий	Достоинства	Недостатки	Общая оценка и цена
BNO085	30-45	Надежные и стабильные IMU, рекомендуются разработчиками SlimeVR	Точный Легкая установка Надежный Есть магнетометр	Дорогой Крупный	5; выше среднего
LSM6DSV	45-60	Работает так же хорошо, как и BNO085, но при меньшей стоимости	Точный Надежный	Дорогой Сложно найти в РФ	5; выше среднего
ICM-45686	45-60	Потенциально очень хороший IMU, продаваемый в виде отдельной микросхемы	Дешевый Надежный	Только отдельный модуль Недостаточно тестировался	5; средняя
LSM6DSO	25-35	Является хорошим IMU для трекера. Было показано, что он немного лучше, чем BMI270	Дешевый Надежный	Только отдельный модуль Плохая чувствительность	4; средняя
BMI270	20-30	Работает значительно лучше, чем BMI160, и при этом остается доступным	Дешевый Надежный Однократная калибровка	Только отдельный модуль в РФ	4; дешевый
BMI160	5-15	Не рекомендуется для трекеров, однако продается сразу на плате и по цене в 4 раза ниже BNO085	Дешевый Легкая установка Однократная калибровка	Требуется ручная калибровка в первый раз Короткое время до дрифта Высокий риск брака	3; очень дешевый
ICM20948	15-60	Существует множество исполнений данного чипа, с магнетометром и без, в виде отдельного модуля и размещенного на плате	Точный	Магнетометр чувствителен к магнитной среде В режиме с выключенным магнетометром (6DoF) очень быстро накапливается дрейф	3; зависит от исполнения
MPU9250	10-40		Доступный	Те же, что у ICM20948	2: ниже среднего

Наименование IMU	Время до сброса, мин	Комментарий	Достоинства	Недостатки	Общая оценка и цена
		Имеет магнетометр, не рекомендуется для использования		Высокий риск брака, часто встречается неисправный магнетометр	
				Требуется ручная калибровка в первый раз	
MPU6050 + QMC5883L	10-40	В отличие от других IMU, которые состоят из одной печатной платы, состоит из модуля магнитометра и MPU6050 или MPU6500	Доступный	Магнетометр чувствителен к магнитной среде	2; дешевый
				Требуется ручная калибровка в первый раз	
			Надежный	Сложный монтаж	
				Требует иное ПО	
BNO055	1-10	Более ранняя версия BNO085 без стабилизации на уровне встроенного ПО, не рекомендуется	Качество сборки	Дорогой	2; выше среднего
				Недостаточно тестировался	
			Есть магнетометр	Предположительно может потерять отслеживание при быстром движении	
MPU6500	5-10	Самые простые и дешевые IMU, не рекомендуются	Доступный	Быстрое накопление дрейфа	2; очень дешевый
				Калибровка при каждом запуске	
MPU6050	1-5			Очень высокий риск брака, особенно у 6050	1; очень дешевый

Некоторые IMU, такие как BNO085 или ICM20948, не требуют специальной ручной калибровки и могут использоваться сразу. Все остальные IMU должны быть откалиброваны для корректной работы. Эту калибровку необходимо выполнить только один раз (за исключением самых дешевых MPU). За раз можно откалибровать только один IMU, поэтому, если используются ведомые IMU, их необходимо калибровать отдельно. Данные калибровки при этом сохраняются на основном трекере. Калибровка выполняется через сервер SlimeVR, для чего трекер необходимо подключить к ПК по USB.

Заключение

Технология позиционного отслеживания с использованием инерциальных измерительных блоков применяется в большинстве систем трекинга, но практически всегда этот блок совмещен с основной, оптической системой отслеживания (как

например в VR гарнитурах и отдельных трекерах от компании HTC). SlimeVR же демонстрирует потенциал использования IMU модулей для отслеживания конкретных частей тела. Основным недостатком такой системы является то, что основная точность обеспечивается за счет физиологически адаптированных вычислений. То есть, если попытаться отслеживать таким устройством отдельный предмет или животное без доработок ПО результат будет неудовлетворительный.

Несмотря на описанное выше требование использования VR гарнитуры совместно с инерциальной системой, трекеры SlimeVR используются в отдельности для точного захвата движений, например для расчета протезов или экзоскелетов [9]. Однако для повсеместного использования полностью IMU систем отслеживания необходимо решить проблему дрифтинга и отсутствия глобального позиционирования.

Список используемых источников

1. Максимова Е. И., Туманова Е. И.. Исследование методов фиксации движений человека для отображения в трехмерной виртуальной среде // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4-х томах. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 398–402.
2. Киселев В. А., Клименко А. С., Клименко С. В., Михайлюк М. В., Пестриков В. И., Хламов М. А., Чувилин К. В., Фурса М. В., Хаким Н. Л., Ши Т. К. Современные устройства трекинга для систем виртуального окружения // Труды международной научной конференции cpt1617. 2017. С. 114–121.
3. Официальная документация SlimeVR, сравнение IMU систем. URL: docs.slimevr.dev/diy/imu-comparison.html (дата обращения 14.11.2024).
4. Chen P., Kuang Y., Li J. Human Motion Capture Algorithm Based on Inertial Sensors // Journal of Sensors, 2016, Vol. 2016. PP. 1–15.
5. Зо Мьо Наин, Щагин А. В., Ле Винь Тханг, Хтин Линн У. Комплементарный фильтр для оценки угла с использованием микроэлектромеханической системы гироскопа и акселерометра // ИВД. 2020. №3 (63).
6. Alexiev K. . Algorithms for IMU Navigation - A Review. Information Technologies and Control. 2019. P. 11.
7. Официальная документация SlimeVR, описание проекта. URL: docs.slimevr.dev/slimevr101.html (дата обращения 14.11.2024).
8. Репозиторий nRF-трекеров на GitHub. URL: github.com/SlimeVR/SlimeVR-Tracker-nRF (дата обращения 19.12.2024).
9. H. Guo, Rong Q., Wang H. and W. Sun, "Analysis of Human Motion Data Captured by SlimeVR and Validation of Its Reliability," 2022 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM), Guilin, China, 2022. PP. 314–318.

Tatarenkov D., Fedotov D. **INERTIAL MOTION TRACKING SYSTEMS: ANALYSIS OF TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article explores the technology of inertial motion tracking (IMU tracking), including its working principle, advantages, and limitations. Using the open-source system SlimeVR as an example, an analysis of the characteristics of IMU devices is presented. The prospects for using these systems in virtual reality and other applied fields are discussed. This work represents the first step towards the creation of a custom tracking system.

Key words: inertial tracking, IMU, motion capture, virtual reality, SlimeVR.

УДК 94.16
ГРНТИ 03.09.31

ЗАРЯ ГЛОБАЛИЗАЦИИ НА ПОЛОТНАХ ЯНА ВЕРМЕЕРА: ВЗГЛЯД СИНОЛОГА НА ЭПОХУ ВЕЛИКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ (РАЗМЫШЛЕНИЯ О КНИГЕ Т. БРУКА «ШЛЯПА ВЕРМЕЕРА»)

Е. А. Терентьева
Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В статье дается оценка и контекстуализация в современном историческом знании перевода на русский язык книги канадского исследователя Тимоти Брука «Шляпа Вермеера: XVII век и рассвет глобального мира» (М., 2024). Написанная на стыке социально-экономических, культурологических и идентитарных исследований, эта работа дает комплексный и оригинальный взгляд на эпоху раннего Нового времени, в которой берут начало многие процессы современности, включая глобализацию.

глобализация, Великие географические открытия, Китай, Америка, Европа, Вермеер, Ars vivendi

В начале 2024 года в издательстве «Слово» увидел свет перевод любопытной работы канадского синолога Тимоти Брука «Шляпа Вермеера: XVII век и рассвет глобального мира» [1]. С момента первой публикации этой монографии прошло шестнадцать лет [2]; в 2010 г. она была переведена также на французский и голландский языки [3, 4]. С одной стороны, в XXI в. перевод книги спустя без малого два десятилетия может показаться несколько запоздалым (хотя в последние годы в России наметилась тенденция перевода популярных сочинений западных исследователей прошедших десятилетий: яркий пример представляет собой издание в 2022 г. популярной работы Брайана Фейгана «Малый ледниковый период» (2001) [5]). С другой стороны, работа Т. Брука настолько оригинальна и самобытна, что знакомство с ней русскоязычного читателя и сегодня представляется вполне актуальным. Более того, хотя «Шляпа Вермеера» рассчитана на широкий круг читателей, она будет интересна и специалистам благодаря специфичности примененного в ней подхода.

Книга, которая начинается с падения автора с велосипеда ненастным вечером в окрестностях Делфта, представляет собой научно-популярное сочинение смешанного жанра, объединяющего в себе культурно-исторический подход, постмодернистскую эссеистику, а также кейс-исследование на стыке социально-экономических, культурологических и идентитарных исследований. Основной принцип метода, примененного Бруком, сформулирован им так: все связано со всем, и, с чего бы мы ни начинали изучение эпохи, мы увидим и все остальное:

«обзор всемирной истории требует точки отсчета, и Китай, как и любое другое место на земле, а возможно, даже и лучше других подходит для прослеживания глобальных перемен в XVII веке» [1. С. 257]. Брук уподобляет такой взгляд на историю отражению реальности в жемчужине и сети Индры1 [1. С. 36]. Такое подчеркнутое стремление выйти за рамки западноцентризма характерно для всей его работы – не только в используемых метафорах, но и в смысле выбора угла зрения на анализируемые явления и процессы.

Пять картин Яна Вермеера: «Вид Делфта» (1660 – 1661, Майрицхейс, Гаага); «Офицер и смеющаяся девушка» (1655 – 1660, коллекция Фрика, Нью-Йорк); «Девушка, читающая письмо у открытого окна» (1657, Галерея старых мастеров, Дрезден); «Географ» (1669 – 1669, Институт искусств Штедель, Франкфурт-на-Майне); «Женщина, держащая весы» (1662 – 1663, Коллекция Уайденера, Национальная галерея искусства, Вашингтон), – а также две работы его современников, Хендрика ван дер Бурха «Игра в карты» (1660, Институт искусств, Детройт) и Леонарта Брамера «Шествие трех волхвов в Вифлеем» (1638 – 1640, Нью-Йоркское историческое общество, Нью-Йорк), использованы Т. Бруком как окна в мир XVII в. и становятся теми «точками отсчета», о которых он говорит в рассуждении о собственном методе [1. С. 257]. Картины приводят автора, а вслед за ним и читателя к цепочке географических пунктов и пространств XVII в.: Делфт – Голландия – канадские территории Франции – Центральная и Южная Америка – разнообразие путей в Юго-Восточную Азию из Старого и Нового Света – Китай. Это многообразие образов и стран дополняется подробным описанием отдельных событий (особенно живописны описания приключений первопроходцев Канады, пиратов и каперов в Карибских морях, а также полиэтнической команды судна, потерпевшего крушение у берегов Китая) и, наконец, накладывается на жизненный путь Вермеера.

Книга Брука состоит из восьми глав, названия которых отсылают к картинам, которые он анализирует, но, к сожалению, не облегчают ориентирование в тексте, перенасыщенном темами, регионами, образами и конкретными ситуациями. Тексту предшествует иллюстративный раздел, где, помимо картин, о которых идет речь, присутствует один неживописный предмет – голландская фарфоровая тарелка XVII в. в китайском стиле (Музей Ламберта ван Мертена, Делфт). Конечно, выбор картин, которые становятся дверями в раннее Новое время, является вполне субъективным. В таком качестве вполне могли быть использованы и несколько менее «громкие» полотна Вермеера, где фоном для бытовых сцен также являются географические карты: «Молодая женщина с кувшином воды» (1660 – 1662, музей Метрополитен, Нью-Йорк), «Женщина с лютней» (1662 – 1663, музей Метрополитен, Нью-Йорк), «Женщина, читающая письмо» (1663 –

[1] Драгоценная сеть Индры – буддийская метафора, описывающая целостность бытия и взаимосвязанность всех явлений в мире. В ведических религиях времен Будды Индра – правитель всех богов.

1664, Рейксмюзеум, Амстердам); и «Астроном» (ок. 1668, Лувр, Париж). Впрочем, Брук и не отрицает такой субъективности (которая свойственна не только постмодернистской историографии, но и искусствоведению любой эпохи), утверждая, что при избранном им методе познания точки отсчета не имеют значения, любая из них лишь связывает «наше запутанное настоящее с непростым прошлым» [1. С. 23]. Подобный подход, опирающийся на метод конкретных ситуаций, характерен для Брука как исследователя и применяется им и в работах, посвященных основной его сфере интересов – Китаю. Такова, в частности, и единственная переведенная на русский язык его работа по истории Китая, «Великая держава Китай и весь мир» [5], где семь веков истории Китая с XIII по XX в. раскрываются через тринадцать отдельных «историй», так же, как и в «Шляпе Вермеера», наполненных материальными предметами, портретами людей, приключениями и обширными географическими пространствами.

Первая глава монографии Т. Брука «Шляпа Вермеера», «Взгляд из Делфта», через городской пейзаж Яна Вермеера «Вид Делфта» погружает читателя в будни жизни Делфта XVII в. и его экономического сердца – Голландской Ост-Индской компании (VOC), крыша здания которой вздымается в левой части картины. Отдельными штрихами Брук постепенн намечает перспективу громадного нового мира, открываемого современными художнику мореплавателями и торговцами.

Название второй главы повторяет название всей книги: «Шляпа Вермеера». Ее отправная точка – картина «Офицер и смеющаяся девушка», где появляется еще одно действующее лицо книги – предположительно, жена Вермеера, которую Брук считает моделью для этой и следующих двух картин, в которых есть женские образы. Дорогой бобровый фетр, из которого изготавливались дорогие клапмутсы2, переносит нас в Северную Америку, где в изобилии водились бобры, и большая часть этой главы посвящена истории французской миссии Самюэля Шамплена на реке Святого Лаврентия и безуспешным поискам северного пути в Китай через канадские территории.

Третья глава, «Блюдо с фруктами», начинаясь в комнате в голландском доме (здесь использована картина Вермеера «Девушка, читающая письмо у открытого окна»), продолжается в гуще морского сражения у острова Святой Елены и содержит историю появления в Европе китайского фарфора (то самое блюдо с картины), который, в свою очередь, положит начало истории знаменитого делфтского фарфора.

Полотном Я. Вермеера «Географ», наполненном «предметами большого мира, окружавшего Делфт и вторгшегося в его жизнь» [1. С. 103], вдохновлена четвертая глава, «Уроки географии». Она сообщает работе кросс-культурный характер, интенсифицируя близкую Бруку как исследователю тему Китая. Здесь

[2] Клапмутс - высокая мужская шляпа, обязательный элемент одежды обеспеченного голландского горожанина, и особенно офицера городского ополчения, которого мы и видим на картине

автор впервые выходит за пределы круга западноевропейских источников, обращаясь к китайским придворным хроникам и «меморандумам», составленным для императора кантонским знатным интеллектуалом Лу Чжаолуном. Событийную канву для повествования составляет крушение испанского судна «Носса-Сеньора-да-Гийа» у китайского побережья коварного Южно-Китайского моря. Отталкиваясь от истории злоключений полиэтничной команды «Носса-Сеньоры» в Китае, Брук обращается к теме восприятия китайцами XVII в. иноземцев: от голландцев до чернокожих выходцев из Африки. Он отмечает основные тезисы дискуссии, которая развернулась между Лу Чжаолуном, видевшим в голландцах прямую угрозу, и Павлом Сюем – крещеным китайцем, который придерживался прозападных взглядов. Здесь же содержатся любопытным размышления автора о причинах разницы в восприятии предметов чужой культуры китайцами и европейцами [1. С. 100-102]. Кроме того, в четвертой главе продолжает раскрываться сквозная для «Шляпы Вермеера» тема новых маршрутов, сеть которых в раннее Новое время начинала связывать рождающийся «глобальный» мир. К сожалению, в издание перевода 2024 г. была включена только одна из целой серии оригинальных географических карт, которыми снабжено оригинальное издание [2] и публикация которых сделало бы чтение работы Брука еще более интересным, а изложение материала – наглядным.

Дверью в мир XVII в. в пятой главе «Школа курения» становится большая фарфоровая тарелка, произведенная в Нидерландах XVII в. и расписанная сценами из жизни Китая, какой ее представляли себе голландцы того времени. Фигура курящего даосского Бессмертного[3] является маркером, позволяющим безошибочно определить некитайское происхождение тарелки. Эта глава – очерк глобальной истории курения, охватывающий несколько регионов мира: Америки, Европу и Китай.

Шестая глава, «На вес серебра», возвращает читателя к картинам Вермеера через очередной предполагаемый портрет жены Вермеера «Женщина, держащая весы». Изменение путей хождения по миру этого драгоценного металла, вызванное открытием новых месторождений, стало предметом изучения в этой части работы Брука: место японского и немецкого серебра в мировой торговле занимает серебро из Новой Испании и Перу.

«Дальние дороги» – седьмая глава сочинения Брука – продолжает тему «бесконечного движения» по миру [1. С. 210], но уже не товаров и серебра, а людей. Арапчонок-слуга с картины Х. ван дер Бурха «Игра в карты» использован в качестве очередного окна в мир XVII в. В этой небольшой главе Брук приводит малоизвестные факты о европейцах, раскиданных по миру в результате кораблекрушений и других чрезвычайных событий, которыми был наполнен мир той эпохи.

[3] Бессмертные, Восемь Бессмертных – святые даосского пантеона, которые обрели вечную жизнь. Относятся к ступени «Посленебесных» (хоу тянь), то есть тем, кто в земной жизни были людьми, в отличие от Прежденебесных (сянь тянь).

Последняя глава книги возвращает читателя в церковь Делфта, где нашел упокоение великий голландский художник; конец его земной жизни становится контекстом для завершения книги, заключение в которой отсутствует. Порталом в прошлое для главы «Конец пути: человек не остров» становится сочинение Джона Донна, а фабулой для обобщающих выводов об эпохе географических открытий – итоги судеб трех из множества персонажей книги: губернатора Манилы С. Коркуэры, автора китайского трактата «О ненужных вещах» Вэнь Чжэньхэна и делфтского художника Яна Вермеера.

Подчеркнутое стремление Брука отказаться от западноцентризма в гуманитарном знании действительно позволило ему открыть для читателя новые ракурсы географических открытий. Любовь к Китаю и китайской культуре сквозит в «восточных» пассажах его сочинения, и заметно сочувствие автора ко всем участникам исторической драмы XVII в. Проводя параллели между Делфтом и Шанхаем XVII в., он подчеркивает разницу в мастшабах этих городов, причем сравнение (к удивлению многих западных читателей) получается не в пользу голландского города, а также развитость китайской культуры того времени [1. С. 19-20 и др.]. Но и в отношении Китая, и в отношении Голландии Брук не вполне беспристрастен: например, очевидно его стремление реабилитировать голландцев и их колониальную политику, которые, с его точки зрения, выгодно и разительно отличались от аналогичных практик испанцев и португальцев [1. С. 216].

Идея о рождении глобализационных процессов в раннее Новое время, в XVI – XVII вв., по своей сути не нова; в частности, на ней зиждется ставшая классической концепция мир-системного анализа И. Валлерстайна [7, 8]. Однако работа Т. Брука делает эту идею по-настоящему наглядной, что особенно важно для студентов-регионоведов, экономистов и историков, а также читателей, интересующихся мировой историей с точки зрения процессов «большой временной длительности» (longue durée) в духе Школы Анналов [9]. Она может открыть любопытные перспективы и для любителей изобразительного искусства, предложив вместо искусствоведческого анализа полотен Вермеера их историческую контекстуализацию.

Символично, что публикация русского перевода книги Т. Брука совпала с организацией в Государственном Эрмитаже выставки Ars vivendi [10, 11], проходившей с 19 мая по 15 сентября 2024 г. Выставка была посвящена живописи Франса Снейдерса и фламандскому натюрморту XVII в. (художникам Паулю де Восу, Николасу ван Верендалю, Яну Фейту и некоторым другим) и сопровождалась элементами материальной культуры Фландрии рассматриваемой эпохи: китайским и делфтским фарфором, тканями, предметами интерьера, – причем в экспозиции были подчеркнуты многообразие торговых связей, которые открыли для европейских рынков прежде невиданные экзотические товары, а для ученых – новые горизонты развития наук. Внимание к предметам материального мира, свойственное мастерам натюрморта, актуализирует выбранный Бруком подход,

при котором изображенные на картинах вещи читаются как символы, открывающие целые цепочки значений и интерпретаций.

Наконец, особого комментария заслуживает оформление отечественного перевода книги Брука: увеличенный формат, плотная белоснежная бумага, широкие поля, живописные форзацы (редкость для нашего времени; на первом – фрагмент «Офицера и смеющейся девушки» с той самой шляпой, на втором – фрагмент «Географа»), суперобложка с фрагментом одного из центральных для исследователя полотен Вермеера – «Женщина, держащая весы» – все это превращает чтение произведения Т. Брука не только в интеллектуальное, но и в эстетическое удовольствие.

Список используемых источников

1. Брук Т. Шляпа Вермеера: XVII век и рассвет глобального мира / пер. с англ. И. Литвиновой. М.: Слово, 2024. 280 с.
2. Brook T. Vermeer's Hat: The Seventeenth Century and the Dawn of the Global World. London: Profile Books, 2008. 272 p.
3. Brook T. Le chapeau de Vermeer: Le XVIIe siècle à l'aube de la mondialisation / trad. par O. Demange. Paris: Payot, 2010. 310 p.
4. Brook T. De hoed van Vermeer. De Gouden Eeuw en het ontwaken van de wereldeconomie / vert. door E. Naaijkens. S.l.: BookSpot B.V. 320 p.
5. Фейган Б. Малый ледниковый период. Как климат изменил историю: 1300-1850. М.: Эксмо: Бомбора, 2022. 352 с.
6. Брук Т. Великая держава Китай и весь мир / пер. с англ. В. Фролова. М.: Слово, 280 с.
7. Валлерстайн И. Мир-система Модерна. Т. I. Капиталистическое сельское хозяйство и истоки европейского мира-экономики в XVI в. М.: Ун-т Дмитрия Пожарского, 2015. 552 с.
8. Валлерстайн И. Мир-система Модерна. Т. II. Меркантилизм и консолидация европейского мира-экономики, 1600–1750. М.: Ун-т Дмитрия Пожарского, 2016. 528 с.
9. Бродель Ф. Материальная цивилизация, экономика и капитализм, XV-XVIII вв. 3 т. / пер. с фр. Л. Е. Куббеля. М.: Прогресс, 1986–1992.
10. Ars vivendi. Франс Снейдерс и фламандский натюрморт XVII века. URL: https://arsvivendi.hermitagemuseum.org/ (дата обращения 11.11.2024).
11. Ars vivendi. Франс Снейдерс и фламандский натюрморт XVII века. Каталог выставки. СПб.: Издательство Государственного Эрмитажа, 2024. 420 с.

Terenteva E. **THE DAWN OF GLOBALIZATION IN VERMEER'S PAINTINGS: A SINOLOGIST'S VIEW OF THE AGE OF DISCOVERY (REFLECTIONS ON THE BOOK BY TIMOTHY BROOK "VERMEER'S HAT").**

Saint Petersburg State University
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article analyzes the role and place of the Russian translation of Timothy Brook's book "Vermees' hat: The Seventeenth Century and the Dawn of the Global World" (2024) in the modern historical scholarship. Brook's monograph is the result of an original and complex research of the processes that took place in the Age of discovery, i. e. in the early modern epoch, which gave rise to many modern phenomena including globalization.

Key words: globalization, Age of discovery, Vermeer, America, Europe, China.

УДК 621.396.677
ГРНТИ 47.45.29

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ МНОГОАНТЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО

Г. А. Фокин, Н. В. Шеремет
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технология множественных входов и множественных выходов является актуальной и перспективной для систем мобильной радиосвязи и позиционирования. Для исследования и разработки таких систем предлагается макет на основе программно-конфигурируемого радио. Основное внимание в статье уделено вопросам временной и частотной синхронизации, критически важным для корректной работы MIMO-алгоритмов.

MIMO, SDR, USRP, Matlab, синхронизация

Системы со множеством входов и выходов (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) играют ключевую роль в современных беспроводных коммуникациях. Они обеспечивают значительное улучшение пропускной способности, спектральной эффективности и надежности передачи данных. Благодаря возможности использования многолучевого распространения сигналов, MIMO преодолевает многие недостатки одноантенных систем, которые страдают от проблем, связанных с переотражениями и замираниями сигналов.

Основные применения MIMO включают в себя пространственное мультиплексирование и управление лучом, которые существенно улучшают качество беспроводной связи.

Пространственное мультиплексирование представляет собой метод передачи нескольких независимых потоков данных одновременно по одному и тому же частотному каналу с использованием нескольких передающих и приемных антенн. Каждый поток данных кодируется и отправляется с разных передающих антенн, а затем распознается и декодируется на приемной стороне с использованием информации о состоянии канала. Это позволяет значительно увеличить пропускную способность системы связи без необходимости расширения ширины канала или изменения частотного диапазона. В результате пользователи могут получать более высокие скорости передачи данных и более стабильные соединения.

Управление лучом представляет собой метод адаптивного формирования диаграммы направленности антенны для фокусировки сигнала в определенном

направлении. Благодаря этому методу возможно повышение дальности связи при сохранении прежней мощности передатчика, так как энергия сигнала сосредоточивается в направлении получателя, минимизируя рассеивание. Кроме того, управление лучом позволяет повысить помехозащищенность сети, подавляя шумы и помехи, которые приходят из других направлений. Это особенно важно в условиях высокой плотности пользователей и высокого уровня помех, характерных для современных городских областей. Кроме того, управление лучом способствует увеличению емкости сети за счет формирования индивидуальных абонентских сот, что позволяет значительно повысить количество одновременно обслуживаемых пользователей в одной и той же области.

Кроме того, MIMO-технологии часто используются в сочетании с другими методами улучшения качества связи, такими как ретрансляция, кодирование, адаптивная модуляция и управление энергопотреблением. Современные беспроводные стандарты активно используют MIMO для обеспечения высоких скоростей передачи данных, устойчивости к помехам и энергоэффективности. В будущем MIMO-технологии продолжат развиваться, что позволит еще больше улучшить качество беспроводных коммуникаций и открыть новые возможности для цифровых технологий.

Процесс разработки и тестирования MIMO-систем часто сопряжен с высокими затратами ресурсов, а моделирование, хотя и позволяет изучить потенциал системы [1], не может дать полного представления о работе системы в реальных условиях. Моделирование может предсказать некоторые аспекты поведения системы, такие как пропускная способность, эффективность использования спектра и уровень помехоустойчивости, но оно не может полностью воспроизвести все факторы, влияющие на работу системы в реальном времени, такие как внешние помехи, изменения состояния канала, влияние климатических условий на радиосвязь и другие.

Программно-конфигурируемое радио (SDR) представляет собой перспективный подход, который может существенно ускорить и удешевить разработку MIMO-систем. Благодаря использованию программных методов для настройки радиочастотных параметров, SDR обеспечивает гибкость и возможность адаптации к различным условиям эксплуатации. Это позволяет эффективно протестировать различные сценарии работы системы и более точно оценить ее поведение в реальных условиях.

В связи с тем, что полнота, эффективность и масштабируемость функций и возможностей MIMO-систем зависит от числа элементов антенных решеток, наблюдается тенденция к его росту. Рост количества антенных элементов позволяет увеличивать пропускную способность, эффективность использования спектра и уровень помехоустойчивости системы, но при этом увеличивает

сложность и стоимость разработки. Так как число радиочастотных цепей SDR плат сильно ограничено, для макетирования MIMO больших разрядностей требуются объединение нескольких устройств и их синхронизация.

В данной статье рассматривается макет MIMO-системы на основе SDR плат, предназначенный для апробации алгоритмов диаграммообразования, позиционирования и обработки сигналов при многолучевом распространении в сетях мобильной связи 4G, 5G. Схема макета представлена на рис. 1.

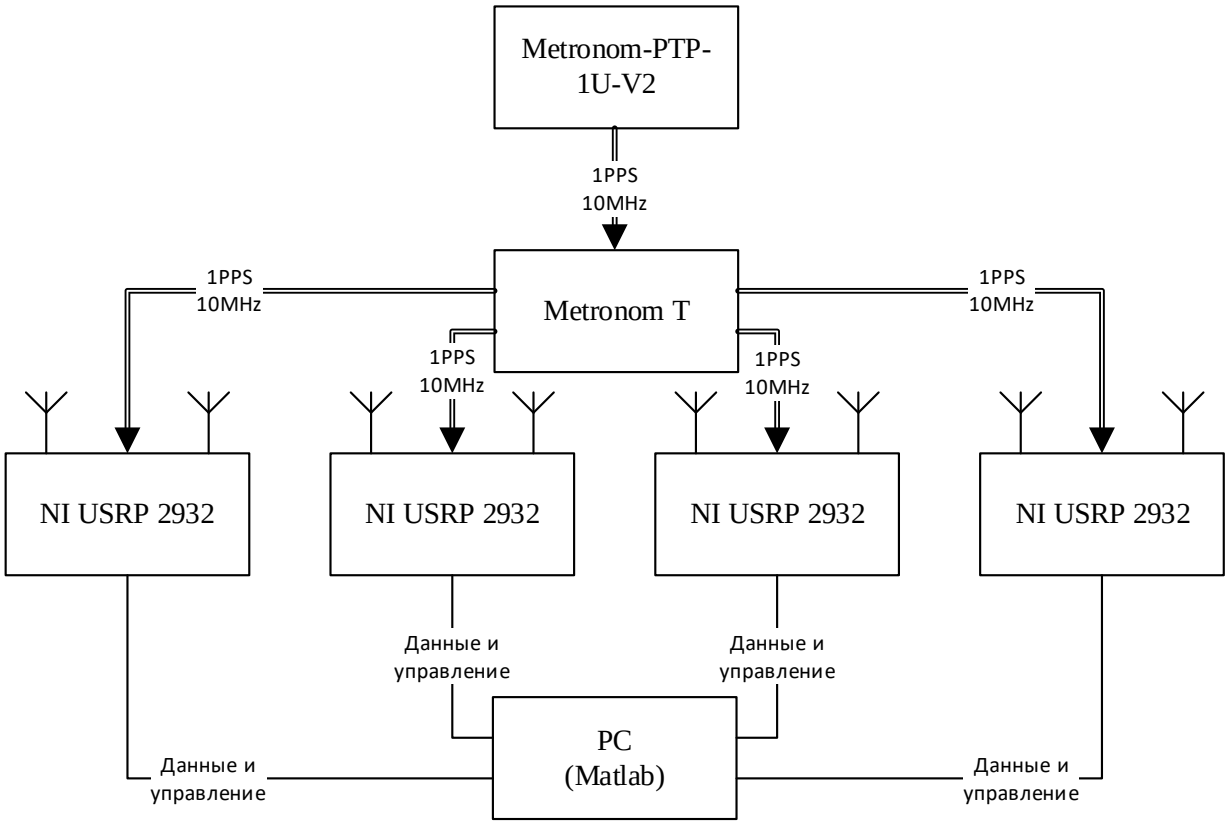


Рис. 1. Схема макета MIMO-системы

Основой макета являются четыре SDR платы NI USRP 2932, которые обеспечивают возможность одновременного приема и передачи сигналов в режиме полного дуплекса. Их тактовая частота фиксирована и составляет 100МГц, задание частоты дискретизации осуществляется введением коэффициента интерполяции на передаче или коэффициента децимации на приеме. Основные характеристики плат отображены в таблице 1. Эти устройства позволяют гибко настраивать параметры радиосистемы, что делает их идеальными для экспериментов с различными телекоммуникационными технологиями.

Макет оборудован восемью антеннами, попарно подключенными к платам: четыре из них используются для приема сигналов, а остальные четыре – для передачи. Такая конфигурация позволяет эффективно моделировать работу многоканальных систем связи.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики SDR NI USRP 2932

Параметр	Значение
Частотный диапазон	50 МГц до 2.2 ГГц
Разрешение АЦП	14 бит
Максимальная реальная мгновенная ширина полосы	20 МГц

Временная и частотная синхронизация являются критически важными аспектами в работе многоантенных телекоммуникационных систем, а также в системах позиционирования. Эти процессы обеспечивают корректную передачу и прием сигналов, минимизацию ошибок и оптимизацию использования спектра, а также необходимы для точного позиционирования и координации распределенных устройств сети [2].

Временная синхронизация позволяет обеспечить когерентный прием, то есть корректное совмещение во времени сигналов от различных антенн и снижает межсимвольную интерференцию из-за наложения несинхронных символов. В условиях MIMO-систем, где сигналы одновременно передаются и принимаются несколькими антеннами, точная временная синхронизация является ключевым фактором для правильной оценки состояния канала и эффективного пространственного мультиплексирования. SDR платы используют 1PPS (1 Pulse Per Second) временные метки для синхронизации собственных часов и команд.

Алгоритмы пространственного мультиплексирования исходят из предположения, что сигналы передаются одновременно. Нарушение синхронности передачи/приема приведет к некорректной оценке канала, что может существенно снизить эффективность работы системы. Управление лучом производится путем внесения фазового сдвига в копии сигнала, передаваемые с разных антенн. Если радиочастотные цепи не синхронизированы, то формируемый луч будет иметь неверные форму и направление, что также повлияет на качество работы системы. Приложения позиционирования полагаются на синхронность сигналов для определения расстояний через их задержки, что также требует синхронной передачи. В случае с нарушением синхронизации, ошибка определения положения может значительно увеличиться.

Частотная синхронизация в радиоустройствах необходима для исключения фазовых ошибок, обеспечения спектральной эффективности и исключения межканальной интерференции.

Фазовые ошибки возникают из-за различий в частотных характеристиках различных частей системы и могут привести к искажению сигнала и сниже-

нию качества передачи данных. Частотная синхронизация позволяет минимизировать такие ошибки, обеспечивая согласованность работы всех частотных каналов системы.

Спектральная эффективность – это отношение количества передаваемой информации к ширине используемого частотного спектра. Благодаря точной синхронизации частот, можно уменьшить необходимую ширину частотного спектра для передачи данных, и повысить спектральную эффективность системы, что особенно важно в условиях ограниченности доступных радиочастотных ресурсов.

Межканальная интерференция возникает из-за наложения сигналов из разных каналов, что может привести к снижению качества передачи данных. Частотная синхронизация помогает предотвратить межканальную интерференцию, обеспечивая точное соответствие частотных характеристик всех каналов системы.

В работе с SDR платами частотная синхронизация производится посредством подачи опорного сигнала тактовой частоты для генератора устройства. В макете используется сервер времени Метроном-PTP-1U-V2 как источник опорных сигналов 1PPS и 10 МГц в сочетании с транслятором Метроном-Т, передающим сигналы на платы. Эти устройства обеспечивают высокую точность временной и частотной синхронизации между SDR платами, – максимальная погрешность синхронизации времени без привязки к опорному сигналу ГЛОНАСС/GPS составляет ±22 мкс в день [3], что критически важно для корректной работы MIMO алгоритмов и достижения максимальной производительности системы. Важным условием корректной работы схемы является равная длинна соединительных кабелей во избежание различия задержки на распространение для обеспечения одновременного поступления сигналов от метронома/транслятора.

Управление оборудованием макета осуществляется с помощью персонального компьютера с четырьмя Ethernet разъемами и установленным ПО Matlab и пакета расширений Communications Toolbox Support Package for USRP Radio, позволяющим использовать Universal Hardware Driver API. Этот подход обеспечивает удобный интерфейс для настройки параметров системы и проведения различных экспериментов. Matlab с его мощными инструментами для анализа и визуализации данных является идеальным выбором для моделирования и анализа поведения системы в различных условиях. Собранный макет представлен на рис. 2.

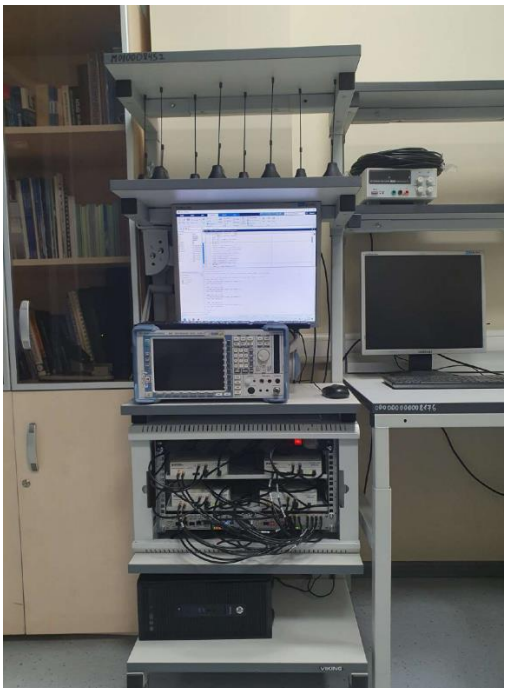


Рис. 2. Внешний вид макета MIMO-системы

Разъемам Ethernet компьютера задаются IPv4 адреса так, что каждые плата и соответствующий ей порт ПК находятся в отдельной подсети, определенной третьим октетом их адресов: плата 192.168.12.102 подключается к порту 192.168.12.112. Это необходимо для корректной работы схемы.

В ПО Matlab обращение к платам производится по их IPv4 адресам. SDR платы NI USRP 2932 поддерживают виртуальное объединение, поэтому четыре платы могут быть объединены одним объектом передатчика/приемника следующим кодом в соответствии с документацией [4] (пример для приемника):

```
radio = comm.SDRuReceiver();
radio.IPAddress = '192.168.11.101, 192.168.12.102, 192.168.13.103, 192.168.14.104';
radio.Platform = 'N200/N210/USRP2';
radio.ChannelMapping = 1:4;
```

Для синхронизации плат указываются внешние источники тактовой частоты и 1PPS сигналов:

```
radio.ClockSource = "External";
radio.PPSSource = "External";
```

За счет общего источника тактовой частоты платы будут выполнять передачу/прием на одинаковой частоте. Общий источник 1PPS используется для отложенных команд в функционале UHD и обеспечивает одновременное начало выполнение операций по фронту приходящего импульса синхронизации. Совокупно такая синхронизация позволяет минимизировать временные задержки между различными частями системы.

Предложенный подход с использованием макета четырехантенной MIMO-системы позволит эффективно моделировать и апробировать различные алгоритмы в области адаптивного диаграммообразования, обработки сигналов и позиционирования в сетях мобильной связи поколений 4G и 5G. Такая система с четырьмя антеннами может быть использована для демонстрации основных принципов работы MIMO-систем, а также для тестирования и оптимизации новых алгоритмов.

Список используемых источников

1. Фокин, Г. А. Использование алгоритмов адаптивного диаграммообразования в сетях 5G / Г. А. Фокин, Н. В. Шеремет // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024): Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4-х томахСПб.: СПбГУТ, 2024. С. 460–464. EDN LEENBN.
2. Sun S., Rappaport T. S., Heath R. W., Nix A. and Rangan S. Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both? in IEEE Communications Magazine, 2014. Vol. 52. № 12. PP. 110–121. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6979962.
3. Metrotek. URL: https://metrotek.ru/?p=4209
4. Communications Toolbox Support Package for USRP Radio. URL: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40406-communications-toolbox-support-package-for-usrp-radio (дата обращения 9.11.2024).

Исследование выполнено за счет средств гранта Фонда Потанина

Fokin G., Sheremet N. **PROBLEM STATEMENT FOR EXPERIMENTAL TESTING OF MULTI-ANTENNA SYSTEMS BASED ON SOFTWARE-DEFINED RADIO.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The technology of multiple inputs and multiple outputs is relevant and promising for mobile radio communication and positioning systems. A layout based on a software-configurable radio is proposed for research and development of such systems. The main attention in the paper is paid to the matters of time and frequency synchronisation, critical for the correct operation of MIMO-algorithms.

Key words: MIMO, SDR, USRP, Matlab, syncronisation.

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

1.1. Беспроводные коммуникации

УДК 621.396.62
ГРНТИ 47.47.31

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

А. С. Арефьев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

С быстрым развитием и увеличением плотности сетей широкополосного беспроводного доступа возникает необходимость в поиске способов повторного использования частот. Решением этой проблемы является концепция когнитивного радио. Применение в концепции когнитивного радио нейросетевых методов глубокого обучения для распознавания сигналов стандартов имеет значительный потенциал для практической реализации повторного использования частотных ресурсов. Цель данной работы заключается в анализе моделей и методов сверхточной нейронной сети, использующая спектральную корреляционную функцию для зондирования беспроводного спектра и идентификации сигнала. Предложенный метод основан в двух различных настройках Case1 и Case2. В отличие от классических методов, данный метод является производительным по сравнению с классическими методами классифицирующими сигналами сетями глубокого обучение.

параллельная корреляция, адаптивная корреляция, SCF, CNN, когнитивное радио

Поиск нового свободного спектра для удовлетворения возрастающих требований к обслуживанию все большего количества устройств становится все более сложным и дорогостоящим процессом. Проблема дефицита спектра может быть связана с традиционной политикой распределения фиксированного спектра, которая раздавала большую часть радиочастотного спектра лицензированным первичным пользователям и оставляла меньшую часть спектра нелицензированным вторичным пользователям.

Для решения данной проблемы используется когнитивное радио.

Когнитивное радио основано на концепции динамического управления спектром и обеспечивает эффективное использование спектра, позволяя вторичным пользователям своевременно получать доступ к незанятым частотным диапазонам первичных пользователей [0].

В когнитивном радио реализована функция спектрального зондирования для просмотра спектра.

Спектральное зондирование является одним из наиболее важных инструментов когнитивного радио, который предоставляет информацию о занятости полос частот, доступных для вторичных пользователей, в режиме реального времени, не вмешиваясь в работу первичных пользователей. Точное определение занятости полос спектра имеет решающее значение при работе когнитивного радио, поскольку на нем основаны все стратегии вторичной передачи [0].

Спектр первичных пользователей традиционно анализировался с помощью популярных методов СЗ, таких как определение энергии, согласованная фильтрация и др.

В этой статье предлагается модель сверточной нейронной сети (CNN), использующая спектральную корреляционную функцию (SCF), которая является эффективной характеристикой свойства циклостационарности, для зондирования беспроводного спектра и идентификации сигнала. Предложенный метод классифицирует беспроводные сигналы без априорной информации. В Case1 сигналы совместно распознаются и классифицируются. В Case2 сначала происходит распознавание, а затем уже классификация [0].

Оба Case1 и Case2 проиллюстрированы на рис.1.

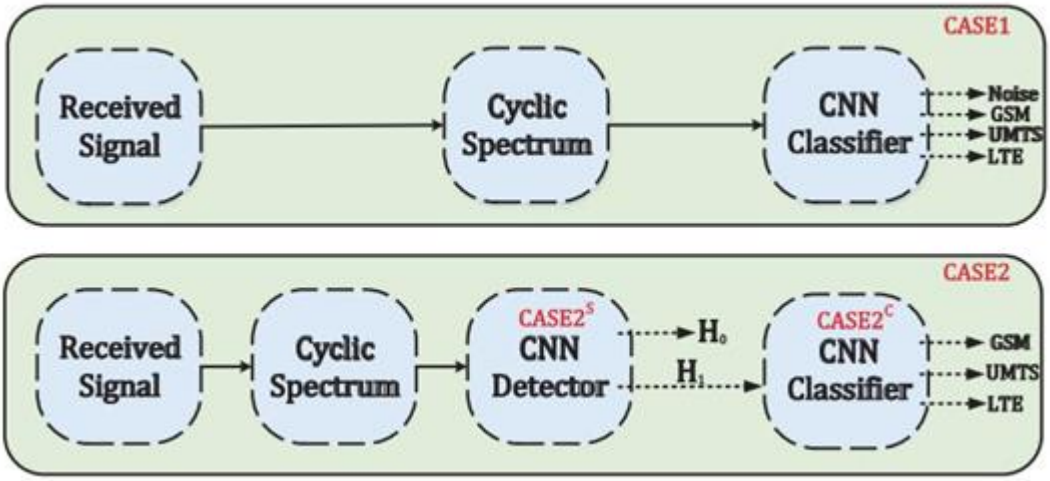


Рис. 1. Два разных подхода к распознаванию сигналов

Предлагаемый метод подходит к проблемам обнаружения и идентификации с точки зрения двух случаев:

Case 1: В этом случае разработанный классификатор CNN обучается со всеми возможными классами, в данном случае GSM, UMTS, LTE и пустым спектром, который можно назвать только AWGN. Преимуществами является простая реализация и быстрая обработка.

CASE2: В этом случае применяется двухэтапный подход; на первом этапе детектор CNN используется для принятия решения о том, существует ли сигнал в заданном диапазоне или нет, путем обучения CNN по двум классам, первый из которых состоит из сигналов GSM, UMTS и LTE, а вторая часть – только с AWGN. Таким образом, на первом этапе принимается решение о том, существует ли сигнал в спектре или нет, как в случае классического зондирования спектра. Если принято решение о том, что в заданном диапазоне есть несущий информацию сигнал, активируется второй этап с использованием классификатора CNN, который в нашем случае обучается по трем классам (то есть GSM, UMTS и LTE), и, наконец, принимается решение о классе сигнала, занимающего спектр.

В таблице 1 проиллюстрировано сравнение двух настроек идентификации.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение настроек идентификации Case1 и Case2

Параметр	Case1	Case2
Тип корреляции	Параллельная	Адаптивная
Метод обработки	Простой алгоритм	Нейросетевые подходы
Точность в условиях шума	Низкая	Высокая
Вычислительная сложность	Низкая	Высокая

Определение точности для Case1:

$$P_{Case1} = \sum_{k=0}^{3} P\left(\hat{X}_k \middle| X_к\right) P(X_к),$$

где $X_к$ обозначает массив меток переданных сигналов, а k представляется метку классов сигналов. $\hat{X}_k$ – массив для предсказанных классов полученных сигналов.

Для определения точности Case2 требуется определить две независимые функции точности: точности обнаружения и точности классификации:

$$P_{Case2}^{S} = P\left(\hat{X}_s = 1 \middle| H_1\right) + P\left(\hat{X}_s = 0 \middle| H_0\right),$$

$$P_{Case2}^{C} = \sum_{k=1}^{3} P\left(\hat{X}_k \middle| X_к, H_1\right) P(X_к),$$

где $\widehat{X}_s$ предсказание относительно X_s присутствия сигнала в спектре $X_к$. X_s определяется для переданного сигнала как:

$$X_s = \begin{cases} 0, k = 0 \\ 1, k = 1,2,3. \end{cases}$$

Общая точность для Case2 можно представить как:

$$P_{Case2} = P\left(\hat{X}_s = 1 \middle| H_1\right) + P^C_{Case2},$$

Графическим представлением математических вычислений является матрица неопределенности при разных уровнях шума представленной на рис. 2. для Case1 и рис.3. для Case2 [0].

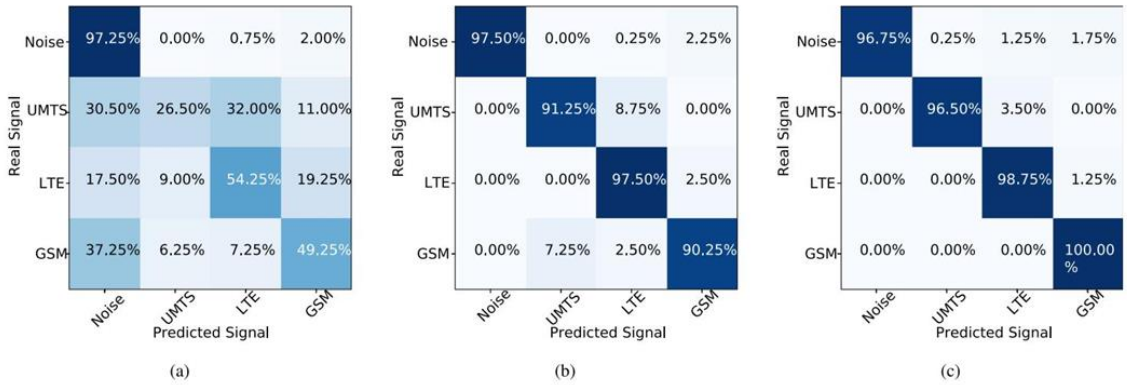


Рис. 2. Матрица неопределенности для Case1 при уровнях SNR (a) 1 дБ, (b) 5 дБ, (c) 10 дБ

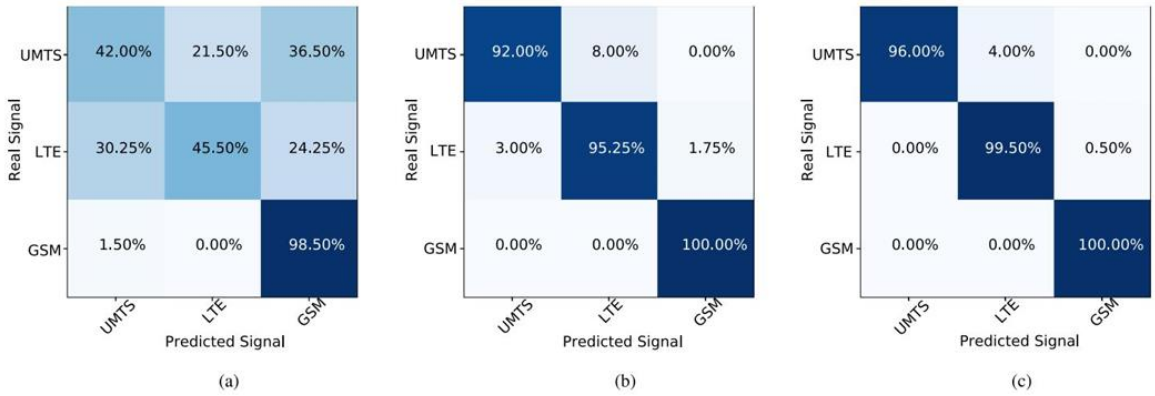


Рис. 3. Матрица неопределенности для Case2 при уровнях SNR (a) 1 дБ, (b) 5 дБ, (c) 10 дБ

Использование методов, основанных на спектральной корреляционной функции, в сочетании с нейронными сетями для определения сигналов, может значительно повысить точность идентификации. Такой подход позволяет эффективно извлекать необходимые характеристики сигналов и использовать их для обучения моделей, что открывает новые возможности для анализа и обработки радиосигналов.

Список используемых источников

1. Haykin S. Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005. Vol. 23. Iss. 2. PP. 201–220. DOI: 10.1109/JSAC.2004.839380
2. Арефьев А. С., Варыгин А. А., Фокин Г. А. Анализ структуры целевого сигнала NR и LTE на основе нейросетевого подхода и методов глубокого обучения // Информационные технологии и телекоммуникации, 2024. Т. 12. № 1. С. 16–28. DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-1-16-28. EDN: GEOTKR
3. Kür¸ sat Tekbıyık , Graduate Student Member, IEEE, Özkan Akbunar, Student Member, IEEE, Ali Rıza Ekti , Senior Member, IEEE, Ali Görçin Güne¸ s Karabulut Kurt , Senior Member, IEEE, Senior Member, IEEE, and Khalid A. Qaraqe «Spectrum Sensing and Signal Identification With Deep Learning Based on Spectral Correlation Function» in IEEE Access, 2021. Vol. 70. PP. 10514-10527, DOI: 10.1109/TVT.2021.3109236.
4. Spectrum Sensing with Deep Learning to Identify 5G and LTE Signals. URL: https://www.mathworks.com/help/comm/ug/spectrum-sensing-with-deep-learning-to-identify-5g-and-lte-signals.html (дата обращения 10.11.2024)

Arefev A. **APPLICATION OF SPECTRAL CORRELATION FUNCTION METHODS WHEN TRAINING A NEURAL NETWORK FOR IDENTIFYING CELLULAR COMMUNICATION SIGNALS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

With the rapid development and increase in the density of broadband wireless access networks, there is a need to find ways to reuse frequencies. The solution to this problem is the concept of cognitive radio. The application of deep learning neural network methods for recognizing standard signals in the concept of cognitive radio has significant potential for the practical implementation of frequency resource reuse. The purpose of this paper is to analyze the models and methods of an ultra-precise neural network using a spectral correlation function for wireless spectrum sensing and signal identification. The proposed method is based on two different settings Case1 and Case2. Unlike classical methods, this method is productive compared to classical methods of classifying signals by deep learning networks.

Key words: adaptive correlation, parallel correlation, SCF, CNN, cognitive radio.

УДК 621.396.99: 007.3
ГРНТИ 49.01.11

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

П. М. Нарышкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В нынешнее и будущее время, при использовании традиционных методов позиционирования, будет появляться все больше случаев, когда данные методы станут не соответствовать требованиям. Главной проблемой традиционных методов позиционирования является плохая работа, при отсутствии прямой видимости, вследствие чего возникают трудности с точностью позиционирования пользовательского оборудования. В статье представлен способ решения данной проблемы с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения.

AI/ML, 3GPP, позиционирование, NLoS, InF

Учитывая темпы развития стандартов связи в нынешнее, а тем более в будущее время, традиционные методы позиционирования со временем перестанут соответствовать поставленным требованиям. Традиционные методы позиционирования, такие как AoA (угол прибытия сигнала, Angle of Arrival) и TDoA (разность времени прибытия сигнала, Time Difference of Arrival) в основном полагаются на каналы прямой видимости (LoS, Line of Sight). При отсутствии прямой видимости (NLoS, Non-Line of Sight) данные методы теряют эффективность, в результате точность позиционирования местоположения пользовательского устройства (UE, User Equipment) падает и перестает соответствовать требованиям.

В [1] сказано, что в первую очередь для обучения и оценки эффективности нейронной сети необходимо создать dataset – структурированный набор данных, которые используются для машинного обучения. Существуют различные подходы для создания dataset. В данном исследовании применяется метод с использованием статических каналов. В этом случае параметры канала представляют собой случайные величины, статистика которых выбирается таким образом, чтобы показывать определенную категорию каналов. Основными преимуществами использования статических каналов является количество данных и адаптивность в их настройке. Также крайне важным преимуществом является количество сцен, которые можно создать. В исследовании

будет рассматриваться сценарий 3GPP InF (заводское помещение, Indoor Factory).

Сценарий InF делает акцент на производственные цеха, основными характеризующими которых являются плотность помех и высота антенн приемника/передатчика. В анализе будет использован сценарий InF-DH (Indoor Factory Dense Line of Sight), который является заводским помещением с высокой плотностью помех и прямой видимостью.

В рассматриваемом сценарии InF-DH будет использована концепция IIoT (Industrial Internet of Things), описывающая использование различных устройств, таких как датчики и сенсоры, соединенных в сеть для обмена данными и автоматизации процессов.

Оценка точности позиционирования зависит от синхронизации и оценки канала с использованием опорных сигналов зондирования (Sounding Reference Signals, SRS) на восходящей линии связи (Uplink, UL). Используем UL SRS для сбора данных и получения параметров канала. Впоследствии используем собранные данные для формирования dataset с 2D–координатами UE для машинного обучения. На рисунке 1 показана блок-схема процесса симуляции и позиционирования UE с выбранным сценарием.

В [2] пошагово расписаны шаги эталонной восходящей симуляции.

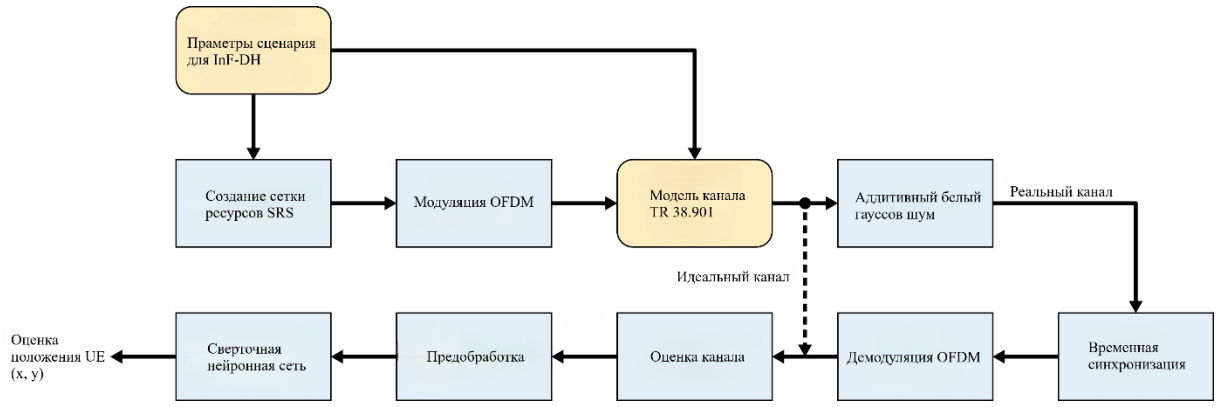


Рис. 1. Блок-схема процесса симуляции и позиционирования UE в сценарии InF-DH с использованием искусственного интеллекта (AI)

Далее переходим к обучению нейронной сети. Для этого необходимо выбрать режим обучение. После завершения обучения необходимо выбрать режим симуляция, чтобы увидеть получившейся результат на основе обученной нейронной сети. На рисунке 2 подробно показаны этапы обучения и симуляции.

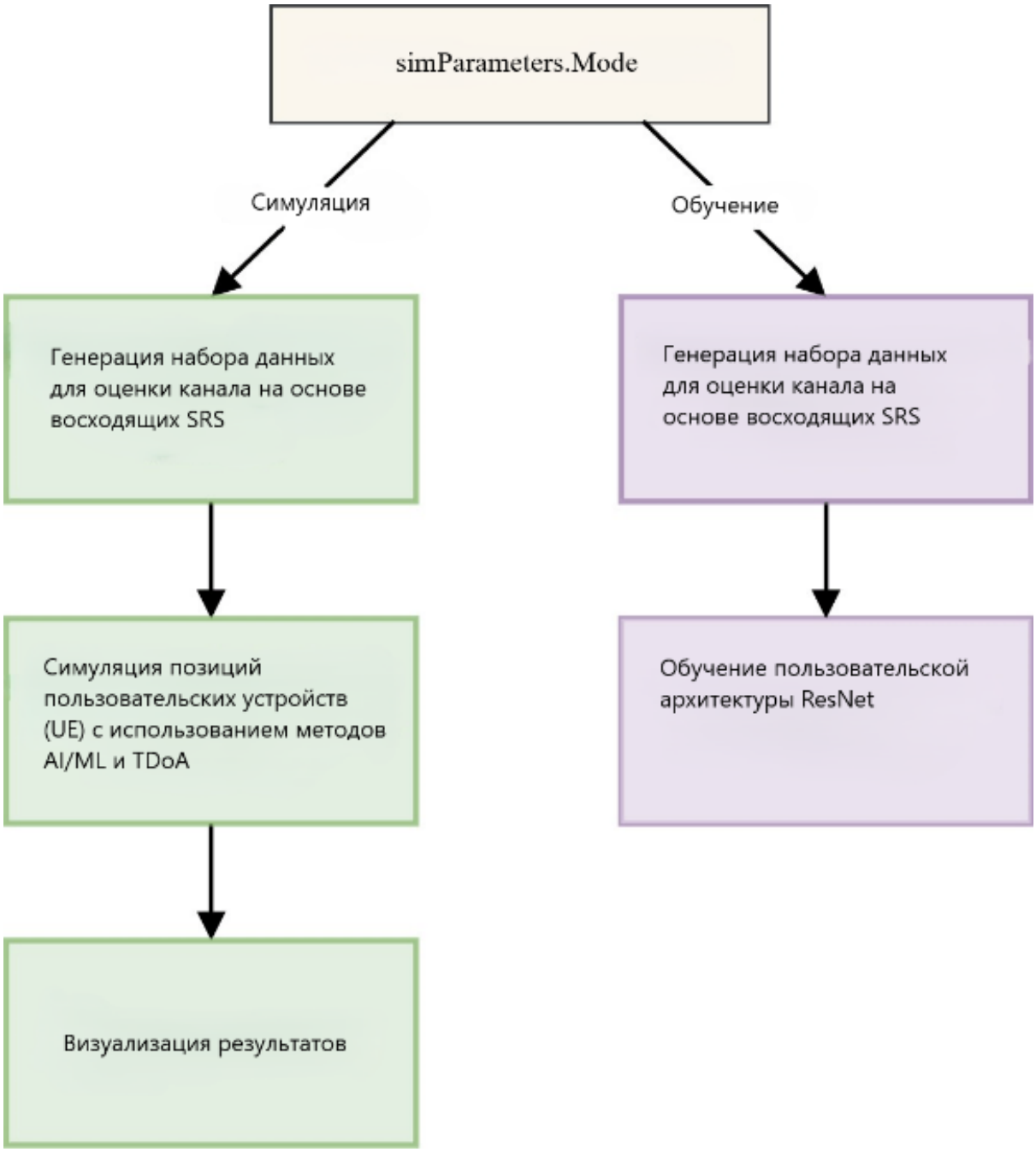


Рис. 2. Блок-схема выбора режима работы между симуляцией и обучением

Режим симуляции нужен для моделирования в различных условиях с использованием уже обученной модели. Режим обучения подразумевает процесс настройки и обучения модели, чтобы она могла делать точные расчеты.

Завод в модели 3GPP InF представляет собой прямоугольную область шириной $W = 60$ м, длиной $L = 120$ м и высотой $H = 10$ м. В данной области расположены 8 базовых станций (БС) с расстоянием между собой $D = 20$ м. Высота БС составляет 8 м, а высота пользовательского оборудования зафиксирована на уровне 1,5 м. Получившаяся визуализация модели завода представлена на рисунке 3.

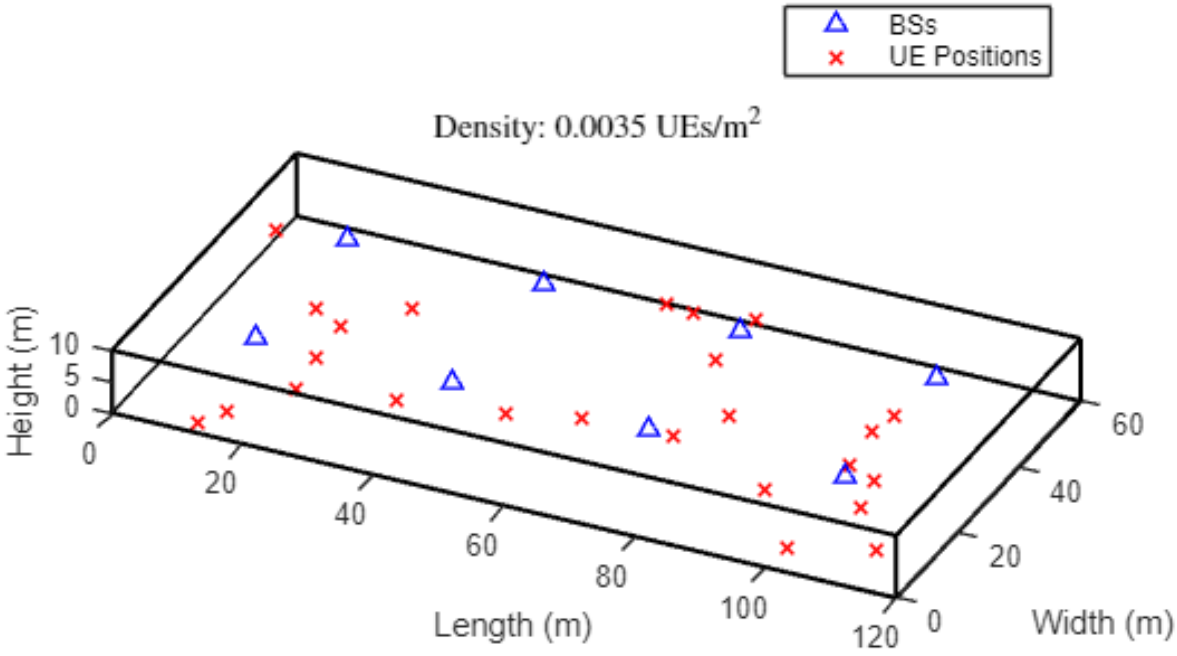


Рис. 3. Визуализация модели завода с учетом выборного сценария

В этом исследовании будет использована ResNet (остаточная сеть, Residual Network) которая является архитектурой CNN (сверточная нейронная сеть, Convolutional Neural Networks). Особенность ResNet заключается в использовании остаточных блоков, которые помогают решить проблему с затуханием градиента в глубоких сетях, подробно об это написано в [3].

Основным показателем оценки является *процентиль* – это статистическая мера, которая указывает значение, ниже которого находится определенный процент данных в выборке. В таблице 1 указаны получившееся результаты для AI с использованием ResNet и TDoA для 10, 50 и 90 процентиля. На рисунке 4 получившейся результат представлен на графике.

ТАБЛИЦА 1. Результаты с результатами для AI и TDoA

	AI (ResNet)	TDoA
10-й процентиль	5.3584	4.1831
50-й процентиль	11.027	27.667
90-й процентиль	14.509	57.805

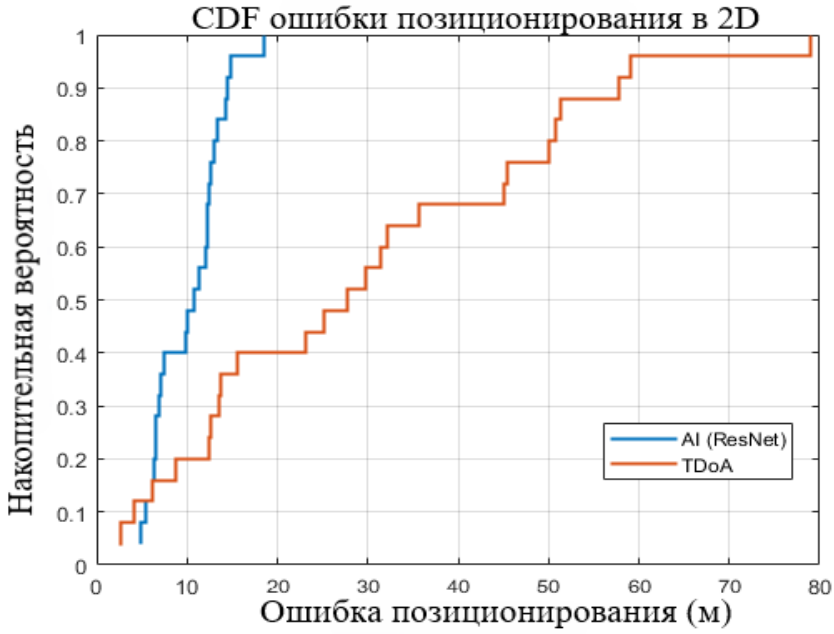


Рис. 4. Функция распределения накопительной вероятности ошибки позиционирования в 2D

Исходя из результатов, полученных в ходе проведенной работы, можно сделать вывод, что при использовании искусственного интеллекта ошибок позиционирования становится гораздо меньше, чем при использовании традиционных методов.

Данный метод позиционирования показывает себя крайне перспективным и учитывая скорость развития стандартов связи его использование будет только возрастать.

Список используемых источников

1. Chatelier B., Corlay V., Ciochina C., Coly F. and Guillet J. Influence of Dataset Parameters on the Performance of Direct UE Positioning via Deep Learning, 2023 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit), Gothenburg, Sweden, 2023. PP. 126–131. DOI: 10.1109/EuCNC/6GSummit58263.2023.10188249.
2. AI for Positioning Accuracy Enhancement URL: https://www.mathworks.com/help/5g/ug/ai-for-positioning-accuracy-enhancement.html (дата обращения 12.11.2024).
3. He K., Zhang X., Ren S. and Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016. PP. 770-778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.

Naryshkin P. **AI FOR POSITIONING ACCURACY ENHANCEMENT.**
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the present and future, traditional positioning methods will increasingly face situations where they fail to meet requirements. The main issue with traditional positioning methods is their poor performance in the absence of direct line-of-sight, leading to difficulties in accurately positioning user equipment. The article presents a solution to this problem using artificial intelligence and machine learning algorithms.

Key words: AI/ML, 3GPP, positioning, NLoS, InF.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.33.29

ГЕНЕРАЦИЯ LTE, 5G NR СПЕКТРОГРАММ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СЕТИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

В. О. Орехова, И. Ф. Павлюк
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время актуализируется вопрос оценки и управления качеством обслуживания (QoS) мобильных сетей, используя современные технологии. В статье описан процесс создания спектрограмм для обучения нейронной сети семантической сегментации, способной в дальнейшем идентифицировать сигналы из эфира базовой станции. Генерация спектрограмм является неотъемлемой частью обучения нейросети для распознавания LTE и 5G NR сигналов. В связи с этим была сделана работа по генерации сигналов LTE, NR в виде спектрограмм с использованием средств ПО MATLAB.

спектрограммы, генерация сигналов, LTE, 5G NR, SCS, BWP

В данной работе представлено создание спектрограмм для сигналов LTE и 5G NR (New Radio) с конфигурируемыми параметрами. Эти спектрограммы будут использоваться для формирования набора данных, необходимых для обучения нейросети семантической сегментации. Нейросеть будет обучаться выделять определенные сигналы на основе представленных спектрограмм, анализируя их по заданным параметрам. Таким образом, основная задача заключается в разработке спектрограмм для сигналов LTE и 5G NR, которые будут использованы для обучения нейросети.

Генерация сигналов LTE

Для генерации сигналов LTE необходимо знать конфигурацию сигнала. RMC (Reference Measurement Channel) конфигурации – это стандарты в спецификациях 3GPP (3rd Generation Partnership Project) для тестирования производительности сетей LTE и NR [1]. В данном случае использованы конфигурации опорного измерительного канала (RMC). С их помощью создаются 15 конфигураций. Также для создания реалистичных условий обучения нейросети используются случайные конфигурации, параметры которых отличаются от ранее созданных. Ширина полосы пропускания сигнала LTE составляет 10 МГц, частота дискретизации при этом 15,36 МГц, что позволяет представить сигнал и минимизировать искажения. Конфигурации lteRMCDL [1] приведены на табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Конфигурации LTERMCDL

Опорный канал	Конфигурация				
	Схема передачи	Количество блоков ресурсов	Модуляция	Количество портов антенны *CRS*	Скорость кодирования
'R.0'	'Port0'	1	16-QAM	1	1/2
'R.1'	'Port0'	1	16-QAM	1	1/2
'R.2'	'Port0'	50	QPSK	1	1/3
'R.3'	'Port0'	50	16-QAM	1	1/2
'R.4'	'Port0'	6	QPSK	1	1/3
'R.5'	'Port0'	15	64-QAM	1	3/4
'R.6'	'Port0'	25	64-QAM	1	3/4
'R.7'	'Port0'	50	64-QAM	1	3/4
'R.8'	'Port0'	75	64-QAM	1	3/4
'R.9'	'Port0'	100	64-QAM	1	3/4
'R.10'	'TxDiversity', 'SpatialMux'	50	QPSK	2	1/3
'R.11'	'TxDiversity"SpatialMux', 'CDD'	50	16-QAM	2	1/2
'R.12'	'TxDiversity'	6	QPSK	4	1/3
'R.13'	'SpatialMux'	50	QPSK	4	1/3
'R.14'	'SpatialMux', 'CDD'	50	16-QAM	4	1/2

Используя указанные конфигурации и средства разработки MATLAB, создается спектрограмма сигнала LTE (рис. 1) R.11 [1]. R.11 – это конфигурация из более позднего Release 11 [1], который включает обновления для увеличения пропускной способности, улучшения многопользовательского доступа и использования MIMO. Конфигурация подойдет для тестирования производительности LTE Advanced.

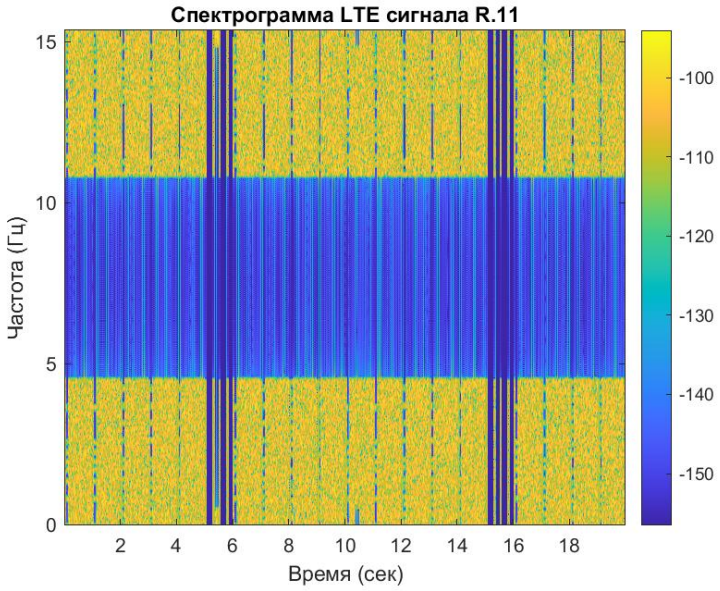


Рис. 1. Спектрограмма сигнала *LTE* с конфигурацией *R.11*

Конфигурация полученной спектрограммы приведена в скрипте 1.

Скрипт 1.

```
RC: 'R.11'
NDLRB: 50
CellRefP: 2
NCellID: 0
CyclicPrefix: 'Normal'
CFI: 2
PCFICHPower: 0
Ng: 'Sixth'
PHICHDuration: 'Normal'
HISet: [112×3 double]
PHICHPower: 0
NFrame: 0
NSubframe: 0
TotSubframes: 10
DuplexMode: 'FDD'
PDSCH: [1×1 struct]
OCNGPDCCHEnable: 'Off'
OCNGPDCCHPower: 0
OCNGPDSCHEnable: 'Off'
OCNGPDSCHPower: 0
OCNGPDSCH: [1×1 struct
```

Спектрограмма сигнала R.14 приведена на рисунке 2. R.14 (Release 14) фокусируется на поддержке интернета вещей (IoT), связях между транспорт-

ными средствами, а также на других технологиях, требующих высокой надежности и минимальной задержки, что в дальнейшем подводит к использованию технологии 5G.

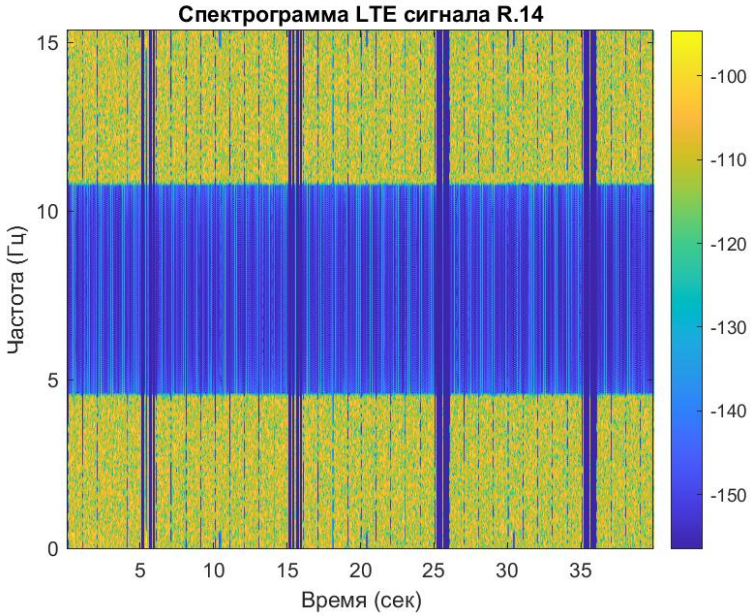


Рис. 2. Спектрограмма сигнала LTE с конфигурацией R.14

Генерация сигналов 5G NR

Для создания сигналов NR, в первую очередь, необходимо задать конфигурацию несущей нисходящего сигнала. Для этого нужно создать объект конфигурации с помощью функции nrDLCarrierConfig. Она позволяет задать параметры для несущей NR. К этим данным относятся дополнительные объекты конфигурации: идентификатор соты, пропускная способность канала, количество подкадров, частота дискретизации и несущая частота.

Далее нужно задать конфигурацию несущей разноса поднесущих радиочастот сигнала (SCS – Sub-Carrier Spacing). Ее создание возможно с использованием функции nrSCSCarrierConfig, которая реализует объект конфигурации. С помощью nrSCSCarrierConfig можно добавить дополнительные параметры для того, чтобы управлять расстоянием между поднесущими сигнала, а также количеством ресурсных блоков (RBS) в сетке ресурсов несущей и смещением начала сетки ресурсов относительно нулевого RB.

Для того, чтобы абонентское устройство (UE) смогло принимать сигналы синхронизации (SS) для выполнения поиска соты [2], необходимо создать объект конфигурации для пакета синхронизации сигналов (SS). Он задается с помощью функции nrWavegenSSBurstConfig. Один из дополнительных параметров для объекта конфигурации BlockPattern задается исходя из критериев выбора шаблона для блоков пакета SS («Case A», «Case B», «Case C», «Case D»,

«Case E», «Case F», «Case G») [3]. Задаваемый параметр TransmittedBlocks отвечает за то, чтобы передать битовую карту, определенную в блоки пакета SS в виде полукадра n-битного двоичного вектора. Этот вектор, в свою очередь, указывает на то, какие именно блоки активны, то есть будут передаваться в полукадре.

Также для генерации сигналов 5G создается структура конфигурации Bandwidth Part (BWP) с помощью nrWavegenBWPConfig. Использование конфигурации нужно для того, чтобы управлять полосой пропускания, разделяя ее на несколько частей или сегментов. Объект nrWavegenBWPConfig устанавливает параметры конфигурации части полосы пропускания (BWP) в определенной несущей с интервалом поднесущей (SCS).

Следующий шаг для генерации сигнала NR – конфигурация набора ресурсов управления CORESETS и инициализация параметров PDCCH и PDSCH. Здесь указываются параметры пространства CORESET, PDCCH и PDSCH. Пространства поиска PDCCH определяют возможное местоположение канала управления, используя функцию nrSearchSpaceConfig. Затем настраивается генерация символов опорного сигнала, передающих информацию о состоянии канала (CSI-RS – Channel state information reference signal) с помощью функции nrWavegenCSIRSConfig. Устанавливаются параметры: включенный/выключенный набор CSI-RS, метка для набора CSI-RS, указывается BWP и мощность для отдельного ресурса CSI-RS или для всех настроенных ресурсов CSI-RS.

На основании всех полученных параметров сигнала выполняется генерация спектрограммы 5G NR (рис. 3).

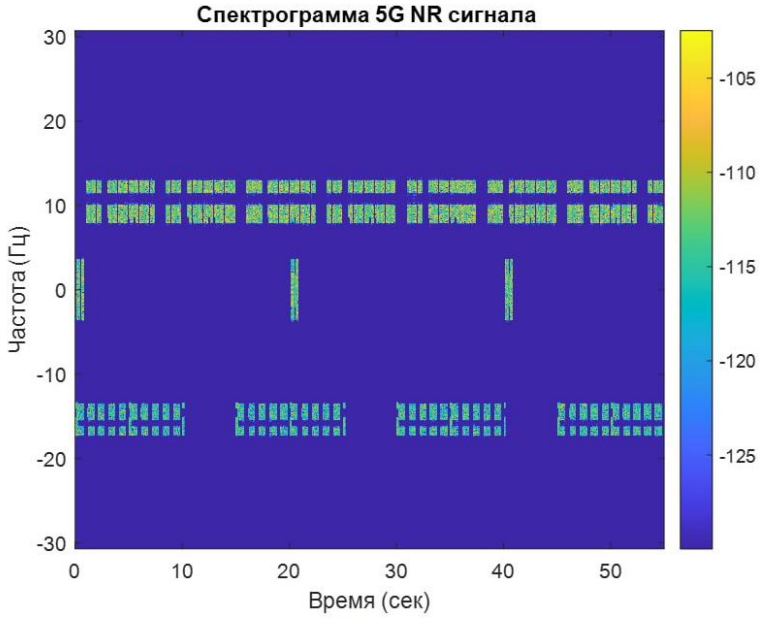


Рис. 3. Спектрограмма сигнала *5G NR*

Результатом работы является набор спектрограмм различных конфигураций сигналов LTE и 5G NR. На основе этого набора данных нейросеть научится идентифицировать сигналы из эфира базовой станции, что позволит оценивать качество обслуживания (QoS – Quality of Service), обнаруживать несанкционированные или посторонние сигналы.

Список используемых источников

1. 3GPP TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network V11.4.0 (2013-03) PP. 293–297 URL: https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T104v2_00/5_Appendix/Rel11/36/36101-b40.pdf (дата обращения 08.11.2024).
2. 3GPP TS 38.211. Technical Specification 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical channels and modulation P. 11. URL: https://panel.castle.cloud/view_spec/38211-f20/pdf/ (дата обращения 09.11.2024).
3. 3GPP TS 38.213. NR; Physical layer procedures for control. V16.3.0 (2020-11). PP. 9–11. URL https://clck.ru/3EZe4u (дата обращения 10.11.2024).

Orekhova V., Pavlyuk I. **GENERATION OF LTE, 5G NR SPECTROGRAMS FOR TRAINING A SEMANTIC SEGMENTATION NETWORK.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The issue of evaluating and managing Quality of Service (QoS) in mobile networks using modern technologies is increasingly relevant. This article describes the process of creating spectrograms to train a semantic segmentation neural network, enabling it to identify signals from the base station’s airspace. Spectrogram generation is an integral part of training the neural network to recognize LTE and 5G NR signals. Accordingly, work was conducted to generate LTE and NR signals in the form of spectrograms using MATLAB software tools.

Key words: spectrograms, signal generation, LTE, 5G NR, SCS, BWP

1.2. Инновации для Арктики

УДК 621.3.051.024
ГРНТИ 44.29.37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСЕТЕЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

А. Э. Васильев, И. С. Жуков, Н. В. Руденко
Донской государственный технический университет

В работе рассмотрены особенности использования микросетей для электроснабжения автономных объектов телекоммуникаций в труднодоступных районах Крайнего Севера и Арктики. Предложена структурная схема указанной микросети на основе возобновляемых источников энергии, а также схема модуля возобновляемых источников энергии. Микросеть позволит обеспечить надежное автономное электроснабжение указанных объектов.

системы телекоммуникаций, автономное электроснабжение, микросети, возобновляемые источники энергии

1. Постановка задачи

В условиях растущего интереса к освоению арктических территорий и обеспечению стратегически важного Северного морского пути (СМП) России необходимо решать ряд задач, связанных с поддержанием постоянного и надежного энергоснабжения и телекоммуникационной инфраструктуры. На данный момент энергоснабжение удаленных объектов Арктики сильно зависит от привозного дизельного топлива для дизельных электростанций (ДЭС). Ежегодно в регионы Арктики завозится более 350 тысяч тонн дизельного топлива, которое обеспечивает около 1160 МВт·ч электроэнергии. Несмотря на доступность природных ресурсов, таких как уголь и природный газ, их добыча и транспортировка часто ограничены климатическими условиями и удаленностью территорий. Это делает использование дизеля доминирующим, что приводит к значительным выбросам загрязняющих веществ: порядка 1 млн тонн CO_2 эквивалента, 80 тыс. тонн оксидов серы и 600 тыс. тонн оксидов азота [1].

Существующая инфраструктура телекоммуникаций в Арктике также значительно ограничена. Высокая стоимость электроэнергии в арктических регионах, достигающая 22–237 руб./кВт·ч (в 5–55 раз выше средних по России) [2], серьезно ограничивает возможности для развития надежной связи. Дефицит доступной энергии не позволяет обеспечить стабильное покрытие сотовых сетей и надежный интернет, что делает регион менее комфортным и привлекательным для населения, а также тормозит его экономическое развитие. В зонах, где связь доступна, она часто зависит от спутниковых каналов, однако спутниковая связь ограничена низкой пропускной способностью и высокой задержкой, что делает ее менее надежной и увеличивает расходы на поддержание [3]. Проблема доступности связи особенно актуальна для навигационной поддержки и обеспечения безопасности судоходства на СМП, что подчеркивает необходимость создания современных телекоммуникационных систем.

Таким образом, разработка надежных источников энергии для труднодоступных районов Крайнего Севера и Арктике является актуальной задачей. В последние годы крупные компании, такие как Норникель, инвестируют в использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), например, гидроэлектростанций и ветровых установок. Предполагается, что переход на возобновляемую энергетику и гибридные системы (например, ВИЭ–ДЭС) сможет сократить потребление привозного дизельного топлива и снизить выбросы парниковых газов, обеспечивая более экологически чистую и устойчивую энергетику для арктических поселений [1]. Таким образом настоящая статья посвящена обоснованию применения микросетей на базе ВИЭ для автономного электроснабжения объектов телекоммуникаций.

2. Обоснование возможности использования микросетей

Применение микросетей для обеспечения энергоснабжения объектов телекоммуникаций в арктической зоне становится оправданным в силу их высокой автономности, адаптивности и способности работать в удаленных районах с экстремальными климатическими условиями. Традиционные подходы к электроснабжению, основанные на дизельных генераторах и централизованных сетях, имеют ряд существенных недостатков, включая высокие расходы на транспортировку топлива, низкую экологическую устойчивость и значительные эксплуатационные затраты [4]. Эти факторы обусловлены как труднодоступностью территории, так и чувствительностью арктической экосистемы к выбросам углерода и загрязняющих веществ.

Микросети, основанные на возобновляемых источниках энергии (например, ветровая и солнечная энергия), способны минимизировать необходи-

мость в постоянных поставках топлива и снизить зависимость от традиционных источников энергии. Возможность комбинирования возобновляемых источников с резервными системами, такими как ДЭС, позволяет поддерживать стабильное энергоснабжение в условиях сезонных колебаний, когда доступность солнечной или ветровой энергии может быть ограничена. Использование микросетей дает значительное преимущество в снижении углеродного следа и повышении надежности работы оборудования, что особенно важно для обеспечения устойчивой работы телекоммуникационных систем в Арктике.

Кроме того, внедрение микросетей дает возможность снизить нагрузку на традиционные энергетические системы и повысить автономность объектов телекоммуникационной инфраструктуры, что облегчает их эксплуатацию в условиях сложной логистики.

3. Структура микросети для электроснабжения автономных объектов телекоммуникаций

Микросети, предназначенные для обеспечения энергоснабжения объектов телекоммуникационной инфраструктуры на Крайнем Севере, должны обладать гибридной структурой, включающей комбинацию возобновляемых и резервных источников энергии, а также накопительные системы для хранения и распределения энергии [5]. Предлагается структурная схема микросети имеющая шину постоянного тока, а также аккумуляторную батарею (АБ). Для передачи электроэнергии на большие расстояния может быть добавлена шина переменного тока. Схема приведена на рис. 1.

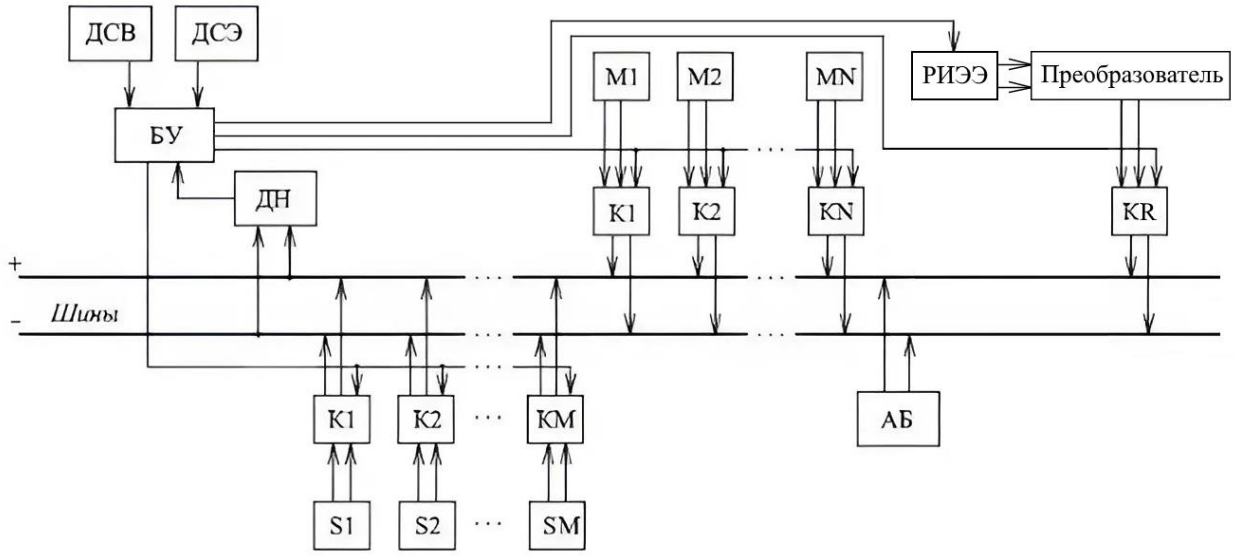


Рис. 1. Структурная схема микросети

Микросеть содержит следующие элементы управления, на которые поступают сигналы с блока управления (БУ):

– M1, M2, ..., MN – модули ВИЭ;

– РИЭЭ – резервный источник электроэнергии;

– S1, S2, ..., SM – распределенная нагрузка, например, нагрузка базовых станций сотовой связи;

– К1, К2, ..., KN, KR и К1, К2, ..., КМ – ключи для коммутации элементов с шинами питания.

Микросеть содержит следующие элементы обратной связи:

– ДСВ – датчик скорости ветра;

– ДСЭ – датчик солнечной энергии;

– ДН – датчик нагрузки.

Возможная структурная схема модуля ВИЭ представлена на рисунке 2. Она содержит следующие источники энергии:

– СБ – солнечная батарея;

– ВЭУ – ветроэнергетическая установка;

– В – выпрямитель;

– АБ – аккумуляторная батарея.

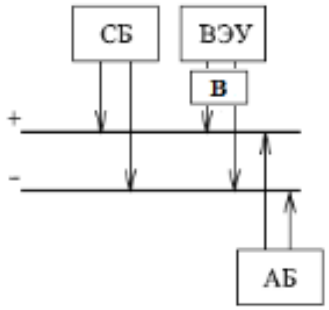


Рис. 2. Возможная структурная схема модуля ВИЭ

Основные элементы микросети:

– возобновляемые источники энергии – ветровые и солнечные установки. В совокупности они обеспечивают основу энергетического баланса. Ветровые установки оптимальны в зимний период, когда сила ветра в Арктике наиболее высока. Солнечные панели же особенно эффективны во время летних месяцев, когда в регионе длительный световой день;

– возможность использования резервных источников электрической энергии (РИЭЭ) – ДЭС или мини-ТЭЦ. Они являются резервом в периоды недостатка солнечной или ветровой активности. Этот элемент позволяет обеспечить надежное электроснабжение при любых климатических условиях и минимизирует риск отказа системы;

– системы накопления энергии – аккумуляторы. Они позволяют хранить избыток энергии, который производится возобновляемыми источниками и использовать ее в периоды пиковых нагрузок. Накопленная энергия помогает обеспечивать бесперебойное питание для критически важных объектов телекоммуникации;

– система управления. Она координирует работу различных источников энергии и накопителей, контролируя подачу энергии и поддерживая оптимальный баланс в зависимости от потребностей. Система управления микросетью эффективно распределяет ресурсы, контролирует заряд аккумуляторов и автоматически переключается между источниками для обеспечения надежного электроснабжения.

4. Выводы

4.1 Применение микросетей на базе возобновляемых источников энергии для обеспечения телекоммуникационной инфраструктуры на Крайнем Севере дает значительные преимущества по сравнению с традиционными методами энергоснабжения. Гибридная структура позволяет снизить зависимость от централизованных источников энергии и сократить затраты на транспортировку топлива, что особенно актуально в условиях труднодоступности арктических районов. Кроме того, экологические свойства микросетей позволяют минимизировать выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ, обеспечивая при этом надежное и автономное энергоснабжение для удаленных объектов.

4.2 Внедрение микросетей, которые способны интегрировать различные источники энергии, является перспективным для создания устойчивой и независимой энергетической инфраструктуры в Арктике, что является ключевым элементом для развития систем телекоммуникаций. Адаптивность и масштабируемость микросетей позволяют настраивать их под конкретные потребности различных объектов, таких как геолого- и метеорологические станции, радиостанции, автономные мобильные телекоммуникационные комплексы, станции заряда аккумуляторов БПЛА и других критически важных элементов инфраструктуры.

Список используемых источников

1. Елистратов В. В. Энергоснабжение в Арктике с использованием ВИЭ // Neftegaz.RU. 2023. № 1. С. 74–79. URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/766987-energosnabzhenie-v-arktike-s-ispolzovaniem-vie/ (дата обращения 05.11.2024).

2. Змиева К. А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов / К. А. Змиева // Российская Арктика, 2020. № 8. С. 5–14. URL: https://russian-arctic.info/info/articles/ elektroenergetika/ problemy-energosnabzheniya-arkticheskikh-regionov/ (дата обращения 05.11.2024).
3. Датьев И.О. Развитие инфотелекоммуникационных систем арктических территорий // труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5. С. 41–63. URL: https://cyberleninka.ru /article/n/razvitie-infotelekommunikatsionnyh-sistem-arkticheskih-territoriy/viewer (дата обращения 05.11.2024).
4. Чижиумов С. Д. Преобразование энергии морских волн / С. Д. Чижиумов, В. М. Козин. Комсомольск на Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. 173 с. URL: https://www. shipdesign.ru/ Chizhiumov/Waves_energy.pdf (дата обращения 05.11.2024).
5. Руденко Н. В. Локальная электроэнергетическая система с использованием возобновляемых источников для электроснабжения автономных объектов связи / Н. В. Руденко, В. В. Ершов, А. Э. Васильев // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. СКФ МТУСИ. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет», 2023. С. 42–46.

Vasilyev A., Zhukov I., Rudenko N. **USING MICROGRIDS TO DEVELOP TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS IN THE FAR NORTH.**

The paper examines the features of using microgrids to supply autonomous telecommunication facilities in hard-to-reach areas of the Far North and the Arctic. A structural diagram of the specified microgrids based on renewable energy sources is proposed, as well as a diagram of a module of renewable energy sources. The microgrids will ensure reliable autonomous power supply to the specified facilities.

Key words: telecommunication systems, autonomous power supply, microgrids, renewable energy sources.

УДК 778.535
ГРНТИ 18.67.15

ОСОБЕННОСТИ ВИДЕОПРОИЗВОДСТВА В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ: ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СЪЕМОЧНЫЙ ПРОЦЕСС

Н. Г. Ипатов, Е. А. Трапезникова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная работа посвящена анализу особенностей съемочного процесса в рамках Второй арктической экспедиции СПбГУТ по побережью Белого моря, состоявшейся в сентябре 2023 года. Описаны основные трудности съемки в Арктической зоне Российской Федерации. Выделены технические аспекты работы с профессиональным оборудованием.

видеопроизводство, Арктическая зона Российской Федерации, Онежский полуостров, Архангельская область

В сентябре 2023 года состоялась II Арктическая технологическая экспедиция Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций по побережью Белого моря. В рамках экспедиции, помимо научных исследований, производилась видеосъемка документального фильма гражданско-патриотической направленности.

Целью документального фильма было запечатлеть жизнь местных жителей Архангельской области, их насущные проблемы и продемонстрировать оказание поддержки региону со стороны университета, включая проведение связи в удаленных населенных пунктах. Отсутствие полноценной связи стало проблемой не только местных жителей, но и экспедиционной группы.

Видеопроизводство в арктических регионах требует адаптации как технических средств, так и методологии съемок из-за суровых погодных условий [1, 2, 3]. Сложности, связанные с работой оборудования в холоде, воздействием ветра и осадков, а также с низкой доступностью связи, влияют на результат съемок и диктуют необходимость поиска специализированных решений.

Для видеопроизводства в условиях Арктики были выбраны камеры Sony α7III [4], которые сочетают в себе высокое качество изображения и достаточную компактность для полевых условий. Эти камеры способны фиксировать детали на высоком уровне, что было важно при записи интервью (рис. 1) и захвате широких природных пейзажей.

Однако съемка в условиях низкой температуры и высокого уровня влажности потребовала особого подхода к подготовке оборудования, включая ис-

пользование защитных кейсов и дополнительных аккумуляторов, так как заряды батарей быстрее истощались на холоде.



Рис. 1. Запись интервью с помощью Sony α7III

Особенностью арктических регионов является возникновение северного сияния, съемка которого потребовала адаптации техники и использования устройств, способных фиксировать слабые источники света. Работа с камерами в таких условиях оказалась затруднительной: камеры не смогли захватить яркость и динамику света из-за ограничений в настройках чувствительности ISO и выдержки. С помощью iPhone в ночном режиме удалось зафиксировать световые переливы, поскольку встроенные алгоритмы автоматически адаптировали параметры съемки к слабому освещению. Такой опыт подчеркнул необходимость специализированного оборудования для съемок в экстремальных условиях, где диапазон светочувствительности имеет решающее значение.

Для съемок с высоты экспедиционная группа использовала квадрокоптер DJI Mavic Air 2, который обеспечивал качественную аэровидеосъемку арктических пейзажей и позволял фиксировать панорамные виды, недоступные наземным камерам. Однако использование квадрокоптера в условиях удаленных регионов Архангельской области сопровождалось рядом трудностей, обусловленных отсутствием стабильного сигнала связи. Из-за отсутствия сотовых вышек и ограниченного покрытия GPS-сигнала в некоторых районах квадрокоптер периодически терял связь с пультом управления, зависая в воздухе на месте.

Ситуация осложнялась порывистым ветром, характерным для региона, который мог значительно сдвигать дрон с заданной траектории. В таких условиях оператору приходилось вручную стабилизировать управление квадрокоптером и возвращать его в зону устойчивого сигнала, чтобы предотвратить потерю устройства. Потеря связи требовала оперативного принятия решения: в ряде случаев было необходимо либо дать квадрокоптеру автоматически вернуться в точку взлета, либо маневрировать вручную, чтобы восстановить контакт. Эти

трудности увеличивали общее время полета и расход заряда батареи, что также добавляло необходимость в планировании дополнительных циклов заряда.

Дополнительно, в условиях сильного ветра квадрокоптеру требовались более частые маневры для поддержания устойчивости, что увеличивало нагрузку на систему стабилизации. Это требовало от оператора использования более высоких уровней стабилизации и повышенной бдительности, так как порывы ветра могли дестабилизировать позицию квадрокоптера, снижая качество записываемого видео.

Документальный фильм подразумевает запись интервью, что делает наличие качественного микрофона обязательным условием для создания ясной и разборчивой звуковой дорожки. Для этих целей использовался профессиональный направленный микрофон RØDE VideoMic [5], разработанный специально для цифровых видеокамер. Он имеет кардиоидную диаграмму направленности (рис. 2), что минимизирует фоновые шумы и позволяет сосредоточиться на голосе собеседника, находящегося перед камерой.

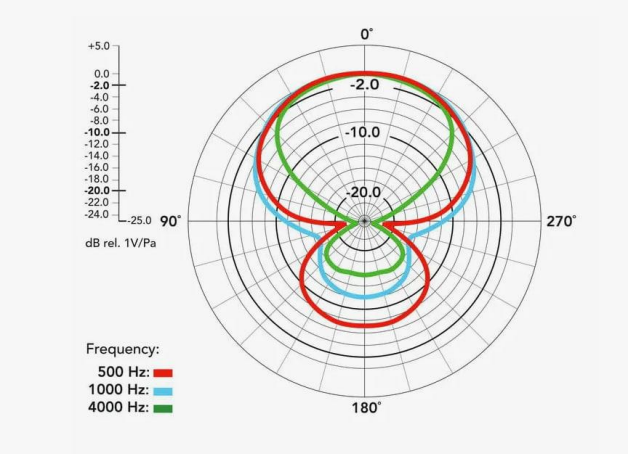


Рис. 2. Диаграмма направленности микрофона RØDE VideoMic

Среди технических особенностей RØDE VideoMic, которые оказались полезными в условиях арктической экспедиции, можно выделить низкий уровень собственного шума и широкий частотный диапазон, что особенно важно для записи естественного звука в сложных условиях. Встроенное антивибрационное крепление помогало минимизировать механические шумы, возникающие при перемещении оборудования. Микрофон также оснащен двухпозиционным фильтром обреза НЧ на 80 Гц, который использовался для снижения шумов от ветра, и трехпозиционным аттенюатором (-10 дБ, -20 дБ, 0 дБ), что позволяло гибко регулировать чувствительность в зависимости от уровня фонового шума и громкости голоса интервьюируемых [5].

В условиях Арктики сильные порывы ветра нередко создавали дополнительные шумы, которые могли нарушить чистоту звука [3]. Для решения этой проблемы применялась ветрозащита, входящая в комплект микрофона, что

позволило снизить уровень нежелательных шумов, не влияя на разборчивость записанного материала. Однако, в случаях усиления ветра даже использование ветрозащиты и фильтра обреза НЧ не всегда оказывалось достаточным для полной изоляции шумов, что добавляло сложности при обработке звука на этапе постпродакшена.

Постобработка звука в документальном фильме, снятом в арктических условиях, требует особого внимания к очистке записей от фона и повышению разборчивости голоса. Несмотря на меры по снижению шумов во время записи, интервальные порывы ветра и другие атмосферные звуки (например, шум воды или ветра) все же попадали в звуковой канал, что делало дополнительную обработку неизбежной. Одним из основных инструментов, использованных для обработки, был шумоподавляющий фильтр, который применялся к каждому аудиофайлу с целью минимизировать постоянные низкочастотные шумы, вызванные ветром. Фильтры обреза НЧ и динамическая компрессия позволяли сгладить резкие перепады в уровне громкости, которые возникали из-за внезапных порывов ветра. Важно было не только удалить шум, но и сохранить естественность голоса, поэтому дополнительные коррекции проводились вручную.

Для повышения разборчивости речи использовались эквалайзеры, с помощью которых выделялись частоты, соответствующие основному диапазону голоса собеседника. В ситуациях, где шумы накладывались на голос, применялось спектральное редактирование – метод, который позволял изолировать и подавлять фоновые шумы, не затрагивая сами голосовые частоты.

Также, учитывая, что часть интервью была записана в различных условиях и местах, нормализация звука помогала выравнивать общий уровень громкости всех записей, что значительно улучшило восприятие фильма. Особое внимание уделялось созданию плавных переходов между аудиофрагментами из разных сцен, чтобы поддерживать аудиоконсистентность и не отвлекать зрителя на различия в звучании.

Для обеспечения высокого качества звука в документальном фильме использовались инструменты Adobe Premiere Pro, в частности панель «Основной звук» (Essential Sound), специально адаптированная для речевых записей, что позволило сделать сигнал более разборчивым и чистым, сглаживая частотный диапазон голоса, выравнивая громкость и минимизировать фоновые шумы. Дополнительно применялись стандартные фильтры шумоподавления и компрессии, что усилило эффект подавления нежелательных шумов, вызванных ветром.

Погодные условия Арктики и особенности естественного освещения создавали уникальные задачи для цветокоррекции. Из-за переменчивого освещения и разной температуры света от солнечного света и серого неба кадры нередко требовали выравнивания цветового баланса, чтобы сцены выглядели гармонично.

Также особое внимание уделялось работе с тенями и светом. Поскольку часть съемок проходила на фоне светлого неба, тени и световые детали могли затруднять восприятие изображений. Применение масок и локальной цветокоррекции позволило сбалансировать цвета и детализацию, выделяя важные элементы кадра и придавая всему фильму единообразный вид.

Документальное видеопроизводство в арктическом регионе представляет собой уникальный вызов для оператора и всей экспедиционной группы. Экстремальные погодные условия, такие как сильный ветер, низкие температуры и переменное освещение, существенно влияют на работу оборудования и требуют адаптации как технических средств, так и методологии съемок.

Использование профессионального оборудования, а также применения технологий постобработки позволило значительно улучшить качество как изображения, так и звука, несмотря на сложные условия съемки. Тем не менее, даже при высококлассной технике, работа в таких экстремальных условиях требует дальнейших исследований и усовершенствования методов съемки и обработки.

Список используемых источников

1. Лычкина, Л. Н. Анализ подходов к созданию документального кино в контексте создания современных документальных фильмов // Молодой ученый. 2024. № 5 (504). С. 376–379.
2. Ермишева М. Н. Звук как пластически-смысловое выражение идеи телевизионного документального фильма: автореф. дис. ... канд. искусствоведения: 17.00.03 / Ермишева Маргарита Николаевна. Москва, 2010. 29 с.
3. Как проходит съемка в экстремальных условиях // Rental239. URL: https://rental239.com/blog/kak-prohodit-semka-v-ekstremalnyh-usloviyah/ (дата обращения 10.11.2024).
4. Sony ILCE-7M3: Технические характеристики. URL: https://www.sony.ru/ electronics/support/e-mount-body-ilce-7-series/ilce-7m3/specifications (дата обращения 10.11.2024).
5. RØDE VideoMic // Официальный сайт RØDE. URL: https://rode.ru/videomic/ (дата обращения 10.11.2024).

Ipatov N., Trapeznikova E. **PECULIARITIES OF VIDEO PRODUCTION IN THE ARCTIC REGION: THE IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON THE FILMING PROCESS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper analyzes the unique aspects of the filming process conducted during the Second Arctic Expedition of SPbSUT along the White Sea coast in September 2023. The primary challenges of video production in the Arctic zone of the Russian Federation are described, with a focus on the technical aspects of working with professional equipment under extreme conditions.

Key words: video production, Arctic zone of the Russian Federation, Onega Peninsula, Arkhangelsk Region.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.37.33

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДОННЫХ СТАНЦИЙ КОМПЛЕКСА «КРАБ»

А. В. Качнов, А. А. Кропанина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

По оценке министерства энергетики РФ, запасы углеводородного сырья, в первую очередь нефти, в Арктике составляют порядка 17 млрд. тонн нефти и порядка 85 трлн. куб. м. газа. Морская сейсморазведка с использованием донных станций является основным средством поиска нефтеносных пластов на Арктическом шельфе. В статье представлены предложения по модернизации донных станций в части, касающейся формирования технических требований к системе беспроводной передачи информации и энергии.

Арктика, сейсморазведка, донные станции, передача энергии, беспроводная зарядка

Арктика является уникальной зоной, скрывающей в своих недрах запасы различного сырья, в том числе углеводородов. Морская сейсморазведка является одним из наиболее эффективных средств поиска и оценки запасов нефти и газа в транзитных зонах и на шельфе. Применение буксируемых кабельных систем не всегда бывает возможно, поскольку небольшая глубина моря (порядка 20 м) и условия работы (узкости, течения, подводные препятствия, подводные трубопроводы) вызывают зацепы и обрывы буксируемого оборудования. Станции сейсмической разведки, размещаемые на дне моря лишены подобных недостатков. При этом получаемые данные могут дать больше полезной информации о геологической структуре изучаемого района.

Для проведения работ в транзитных зонах и на шельфе компании осуществляющие услуги геологоразведки используют как станции иностранных компаний (Geospace, Fairfield, GEOPRO, MagSeis, inApril), так и отечественные CRAB, FLOUNDER, CORAL компании ООО «МТЦ», «Абалон» концерна «Калашников» и другие.

Необходимо отметить, что отечественный комплекс сейсморазведки «КРАБ» прошел цикл натурных испытаний на базе Южного отделения Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова [1–3]. Результаты испытаний показали, что отечественные станции по своим техническим характеристикам соответствуют зарубежным аналогам.

Для снятия информации и заряда аккумуляторных батарей (АКБ) используется ручное кабельное подключение каждой станции в составе контейнера лаборатории. При этом процедура переподготовки для станций заключается в том, что оператор откручивает заглушку технологического разъема, подключает кабель контейнера-лаборатории, происходит снятие информации и заряд АКБ, отключение кабеля контейнера-лаборатории, закручивание заглушки технологического разъема. Очевидно, что при таком подходе повышается риск человеческой ошибки в процессе эксплуатации. В случае ошибки установки заглушки в разъем может попадать морская вода, что приводит к коррозии контактов и в следствии полному разрушению разъема и внутренней электроники станции.

В целях исключения человеческого фактора, связанного с технологическими операциями подключения и отключения станций к оборудованию контейнера-лаборатории, было принято решение исследовать возможность использовать беспроводные методы передачи информации и энергии в составе комплекса КРАБ.

На первом этапе были формализованы технические характеристики одной донной станции и требования к параметрам системы беспроводной передачи:

- автономность работы не менее 40 суток;
- объем записываемой информации 512 Гб;
- потребляемая мощность системы заряда аккумуляторов 60 Вт;
- время переподготовки к работе в море не более 24 часов.

Наиболее критичным из представленных параметров является время переподготовки к работе в море. Поскольку затраты на работу судна-обеспечения могут варьироваться в диапазоне от 10 до 30 тысяч долларов в сутки каждый час простоя, связанный с техническим обслуживаем станций, будет генерировать убытки. В связи с этим время необходимо минимизировать время передачи информации и заряда АКБ.

В качестве целевого показателя максимального времени передачи уставим интервал в 16 часов. Это связано с тем фактом, что во время переподготовки станций к работе входит время их подъема, установки на штатные места в контейнере лаборатории, подключении, первичной обработки данных и другие технологические операции, необходимые для поддержания работоспособности комплекса в целом.

Для оценки необходимой скорости информационного обмена построим график зависимости скорости передачи от времени передачи, представленный на рис. 1.

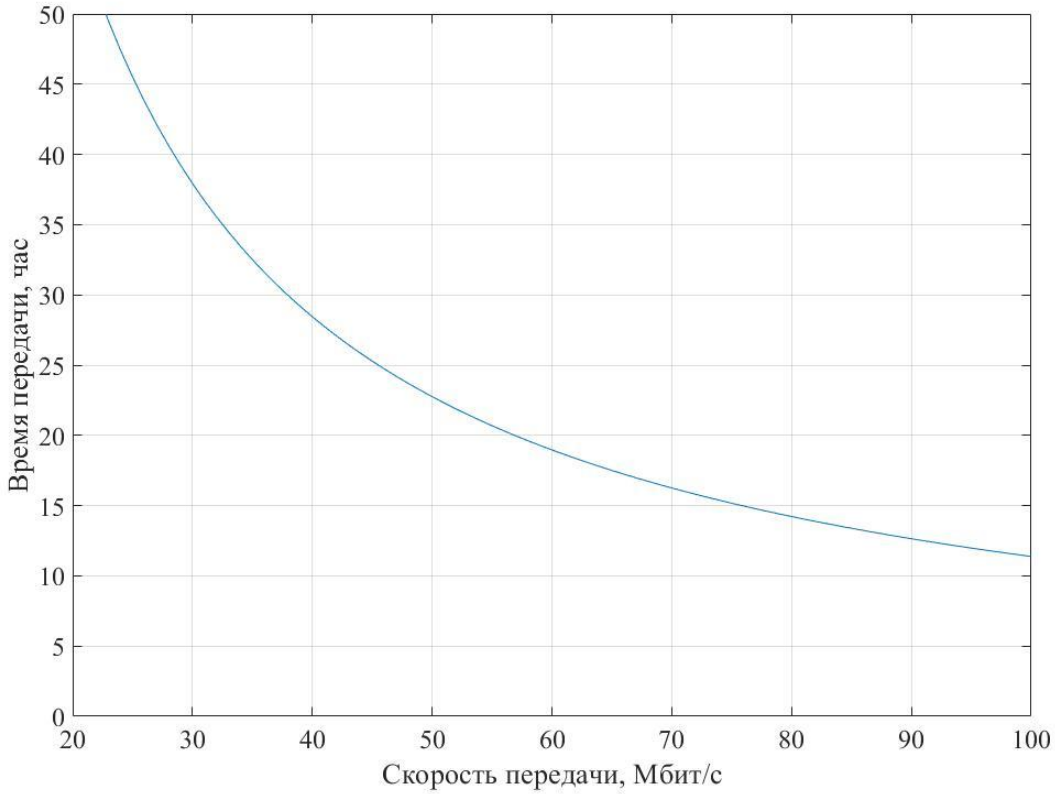


Рис. 1. Зависимость скорости передачи от времени

Как видно из рис. 1, для того чтобы обеспечить передачу 512 Гб в течение 16 часов, скорость передачи должна составлять не менее 70 Мбит/с.

Использование классических технологий беспроводной передачи данных и беспроводной зарядки, основанных на передаче электромагнитного излучения, оказывается невозможно. Это связано с тем фактом, что корпус станции выполнен из алюминиево-магниевого сплава АМГ6. Толщина корпуса в месте предполагаемого расположения приемо-передатчика составляет не менее 30 мм.

Ранее была доказана принципиальная возможность обеспечения информационного обмена и передачи электрической энергии через металлические барьеры с использованием технологии акустического трансформатора, основанной на применении пьезоэлектрических преобразователей [4–6]. Кроме того, использование высокочастотных (с резонансными часто татами порядка 6 МГц) пьезопреобразователей, использование технологии MIMO, а также применение сложных методов модуляции (OFDM с адаптивной модуляцией поднесущих) позволяет достичь теоретической скорости передачи порядка 700 Мбит/с. Однако, представленные результаты экспериментальной апробации такой системы не дают однозначного ответа о реально достигнутой скорости передачи и полученном коэффициенте ошибок в канале [7].

Из литературных источников [8] известно, что эффективность преобразования электрической энергии в механическую с использованием пьезокерамических преобразователей составляет порядка 80 %. Для передачи потока электроэнергии через металлический корпус таких преобразований потребуется два, одно на передающем конце, а на приемном – обратное. При этом общий КПД системы будет являться произведением двух преобразований и общий (сквозной) КПД будет составлять порядка 64 %. Из этого следует, что для передачи 60 Вт внутрь корпуса передатчик должен подавать на вход преобразователя мощность не менее 100 Вт, с учетом различных дополнительных потерь (потери на коммутацию, потери на несогласованность нагрузки и др.).

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать требования к системе беспроводной передачи данных и энергии для модернизации донных станций комплекса «КРАБ». Система должна обеспечивать скорость передачи не менее 70 Мбит/с и иметь выходную мощность не менее 100 Вт.

Вопрос реализации такой системы, а также ее конструктивные особенности выходят за рамки настоящей статьи и будут рассмотрены в рамках продолжения исследований. Также отдельными вопросами исследований является построение приемо-передающих трактов и вопросы согласования излучателей в широком диапазоне частот.

Список используемых источников

1. Ильинский Д. А. Сейсморазведка в транзитной зоне. Натурные испытания системы «КРАБ» (этап 1) / Д. А. Ильинский, К. А. Рогинский, О. Ю. Ганжа // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2020. Т. 12. № 2. С. 289–301. DOI: 10.21821/2309-5180- 2020-12-2-289-301.
2. Ильинский Д. А. Сейсморазведка в транзитной зоне. Натурные испытания системы КРАБ (этап 2) / Д. А. Ильинский, К. А. Рогинский, О.Ю. Ганжа // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2020. Т. 12. № 3. С. 551–566. DOI: 10.21821/2309-5180- 2020-12-3-551-566.
3. Рогинский К. А. Сейсморазведка в транзитной зоне. Опытно-промышленные испытания системы "КРАБ-400" (этап 3) / К. А. Рогинский, Д. А. Ильинский, О. Ю. Ганжа // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. Т. 13, № 5. С. 611–624. DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-5-611-624. EDN URZHUE.
4. Воробьев О. В. Исследования применения пьезоэлектрических преобразователей для одновременной передачи данных и заряда аккумулятора донной станции / О. В. Воробьев, А. В. Качнов, Е. А. Пышкин // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024). Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4-х томах. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 117-121. EDN LTWDIJ.
5. Воробьев О. В. Обеспечение информационного обмена между подводным аппаратом и донной доковой станцией / О. В. Воробьев, А. В. Качнов, Д. Р. Сидоркович // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024). Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4-х томах. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 122–126. EDN LERGUM.

6. Бабичева И. И. Оценка методов беспроводной передачи энергии и информации через металлический корпус / И. И. Бабичева, О. В. Воробьев, А. В. Качнов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024). Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4-х томах СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 40–45. EDN EEWVUU.
7. Ashdown J. D et al. High-rate ultrasonic communication through metallic barriers using MIMO-OFDM techniques // MILCOM 2012 - 2012 IEEE Military Communications Conference. 2012.
8. Kluge M. et al. Wireless Sensing of Physical Parameters Inside Hermetically Enclosed Conductive Envelopes // Volume 4: ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications and the 19th Reliability, Stress Analysis, and Failure Prevention conference. Las Vegas, Nevada, USA: ASMEDC, 2007. PP. 353–359.

Kachnov A., Kropanina A. **FORMATION OF REQUIREMENTS TO THE SYSTEM OF WIRELESS DATA AND POWER TRANSMISSION OF SEISMIC BOTTOM STATIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The Ministry of Energy of the Russian Federation estimates hydrocarbon reserves, primarily oil, in the Arctic at about 17 billion tons of oil and about 85 trillion cubic meters of gas. Marine seismic survey with the use of bottom stations is the main means of searching for oil-bearing strata on the Arctic shelf. The article presents proposals on modernization of bottom stations in the part concerning the formation of technical requirements for the system of wireless transmission of information and energy

Key words: Arctic, seismic exploration, bottom stations, power transmission, wireless charging.

УДК 504.055 (470.23)
ГРНТИ 87.55.33

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ

А. Д. Пищугина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлены результаты измерений уровня плотности потока энергии электромагнитных полей радиочастотного диапазона в урбанизированной среде Арктики. Полученные результаты были обработаны с помощью ГИС-технологий, составлена карта интерполированных значений. В результате сравнения эмпирических данных с предельно-допустимым уровнем были обнаружены превышения на частоте 1800 МГц, а на частоте 433 МГц значения находятся в пределах допустимого. Формирование областей повышенных значений на разных частотах отличается, ввиду различия источников излучения. Хотя, формирование значений на Первомайской улице схоже, причиной может быть интерференция волн, вызванная наложением секторов базовых станций, особенностями наземного покрытия и установленными металлических конструкциями на участке.

электромагнитные поля, плотность потока энергии, базовые станции сотовой связи, ГИС-технологии, Арктические регионы

Арктические регионы сейчас более активно переживают процесс урбанизации, что сопровождается увеличением использования технологий, работающих в радиочастотном диапазоне. Местные жители используют мобильные сети связи, телевидение, радиопередатчики и другие устройства для общения, что улучшает доступ к информации и услугам. Однако это также вызывает необходимость в мониторинге электромагнитного фона для обеспечения безопасности и здоровья населения, так как во многих исследованиях быдл отмечено негативное воздействие электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на окружающую среду и здоровье человека [1, 2].

В Российской Федерации, в целях обеспечения экологической безопасности населения от вредного влияния передающих радиотехнических объектов, установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитного излучения в соответствии с нормативными документами [3, 4]. Для частотного диапазона 0,3–330 ГГц нормирование осуществляется на основе показателя плотности потока энергии (ППЭ), при этом ПДУ составляет 10 мкВт/см² для жилых и общественных помещений, а также для селитебных территорий.

Оценка электромагнитного фона в Арктическом регионе проводилась в рамках 3 Арктической технологической экспедиции СПбГУТ, в п.г.т. Тикси, расположенном на севере Республики Саха (Якутия). Для исследования ЭМП РЧ был выбран участок селитебной территории площадью 0,749 км^2 с малоэтажной неплотной застройкой. Из открытого источника для мониторинга мобильных сетей CellMapper [5] известно об одной базовой станции сотовой связи (БССС), расположенной на улице академика Федорова. Также, в результате рекогносцировки была отмечена вторая БССС, расположенная на крыше дома ул. Гагарина 1.

Для измерения электромагнитного излучения в радиочастотном диапазоне использовался измеритель уровня ЭМП МЕГЕОН 07300 (производство ООО «МЕГЕОН», Россия), рассчитанный на работу в диапазоне частот от 50 МГц до 3,5 ГГц. Измерения проводились в соответствии с методикой [6] в период с 24 июля по 2 августа 2024 года. В рамках исследования было выполнено 696 замеров в 116 точках на частотах 1800 МГц и 433 МГц.

Обработка данных выполнялась с использованием программы QGIS версии 3.16.11. В качестве географической системы координат была выбрана WGS 84, а базовой картой служила Open StreetMap (OSM). Каждой точке были присвоены координаты, импортированы значения параметров ЭМП, обозначены границы исследуемого участка и нанесены передающие радиотехнические объекты. Затем, с помощью встроенных инструментов программы, была выполнена интерполяция методом TIN и визуализация полученных значений. Помимо этого, в программе проводился статистический анализ данных с использованием ее встроенных возможностей. В результате были построены карты интерполированных усредненных значений разовых замеров плотности потока энергии (рис.1, 2).

На исследуемой территории были обнаружены превышения предельно допустимого уровня ЭМП РЧ на частоте 1800 МГц. Максимальное зафиксированное значение составило 11,980 мкВт/см^2. Формированию данной области повышенных значений, скорее всего, способствует интерференция волн, возникающая в результате наложения зон секторов БССС. Кроме этого, в пределах области находятся школьные учреждения и поликлиника, на территории которых имеется детская площадка с резиновым покрытием, что также может быть причиной взаимного усиления волн. Также, формированию повышенных значений может способствовать работа установленного на крыше ретранслятора.

Еще одна область повышенных значений на этой частоте с показателем до 10,23 мкВт/см^2 была выявлена около дома 11 улицы Гагарина. Скорее всего, эта область повышенных значений формируется за счет работы уста-

новленных репитеров для усиления GSM-сигнала, также, возможно наложение зон секторов БССС.

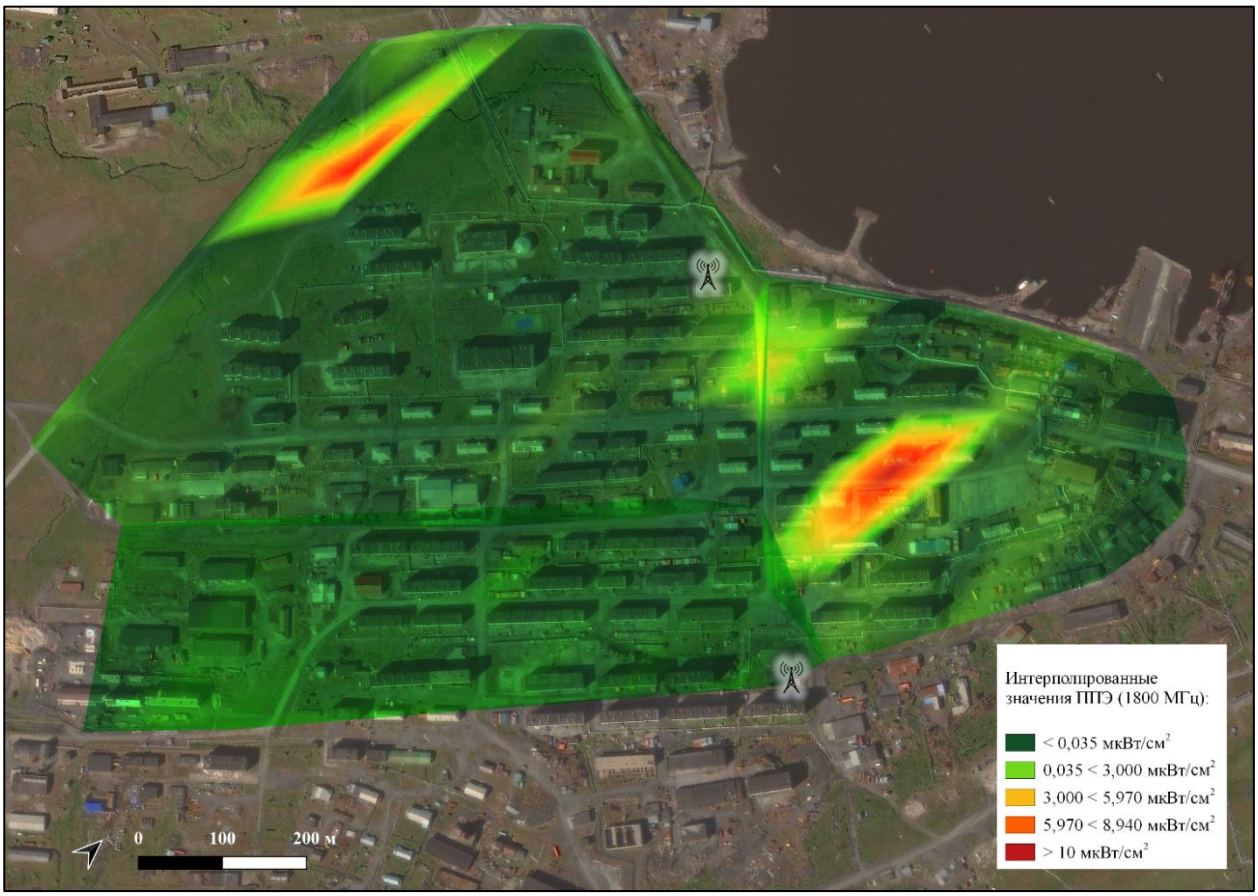


Рис. 1. Интерполированные значения ППЭ на частоте 1800 МГц

Что касается частоты 433 МГц, здесь максимальное зафиксированное значение 9,018 мкВт/см^2, что не превышает установленный ПДУ. Среднее значение показателя по всей территории 1,13 мкВт/см^2, что выше, чем на частоте 1800 МГц, где значение составляет 0,769 мкВт/см^2. Пространственное распределение здесь отличается от 1800 МГц ввиду различия источников излучения. Так как частота 433МГц используется технологиями для маломощных приемопередатчиков, радиосигнализации, радиопультов, в отличие от технологий 1800 МГц, используемых в целях покрытия сети сотовой связи. Стоит отметить, что области на Первомайской улице схожи, причиной может быть особенности наземного покрытия и установленных конструкций на детских площадках, устройства охранной сигнализации в зоне школьных учреждений и поликлиники. Вытянутая достаточно крупная область на юге, скорее всего, формируется из-за работы передающих радиотехнических устройств, которые находятся в зоне размещения военных объектов.

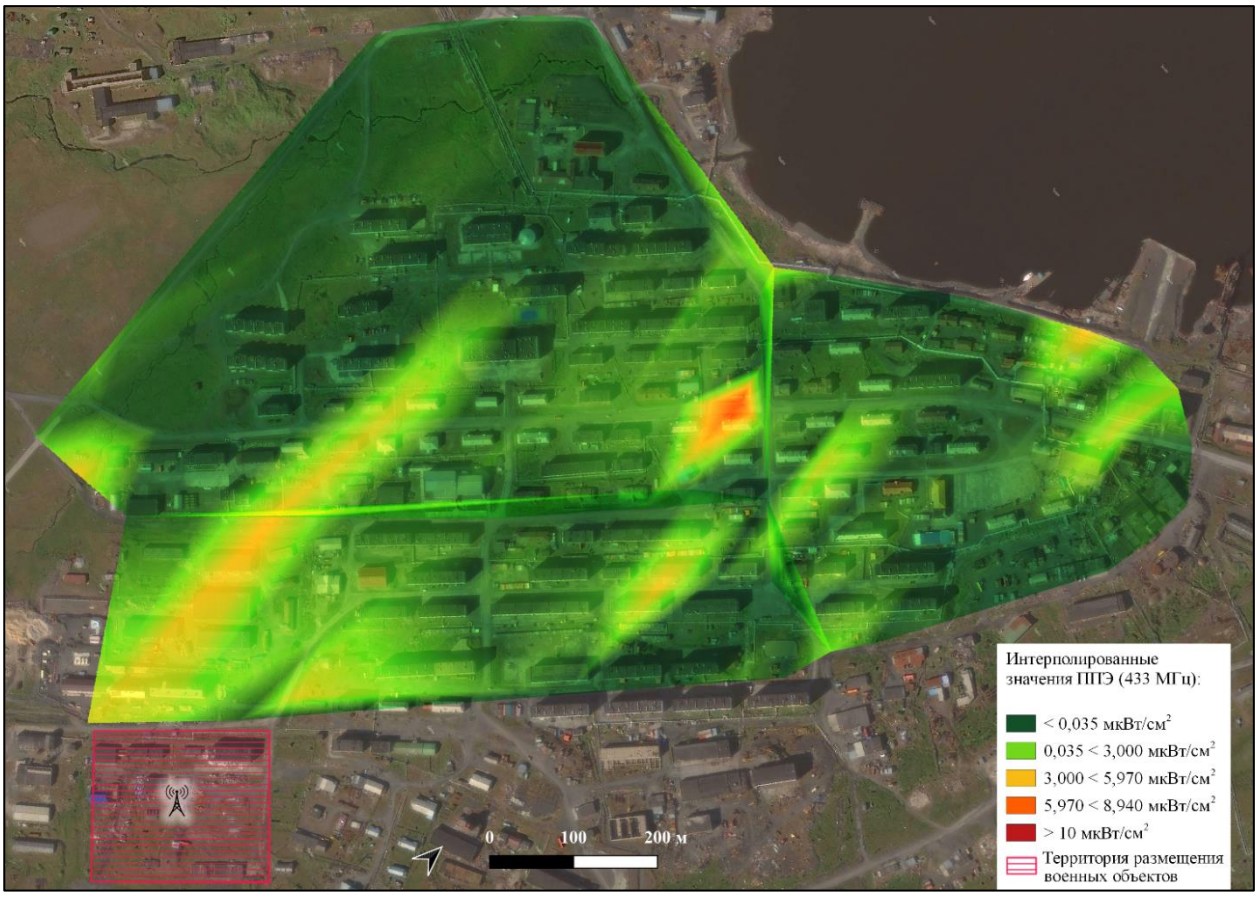


Рис. 2 Интерполированные значения ППЭ на частоте 433 МГц

Таким образом, в результате экологического мониторинга электромагнитного фона на частотах 1800 и 433 МГц в п.г.т. Тикси были выявлены локальные превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) плотности потока энергии несмотря на то, что средний уровень по району составляет не более 12 % от максимально допустимого значения. Использование ГИС-технологий для картографирования позволило визуализировать пространственное распределение значений, что помогает более точно определить расположение источников излучения.

Наибольшие значения, вероятно, связаны с репитерами для усиления GSM-сигнала, установленными на крышах зданий. Дополнительным фактором формирования зон с повышенными уровнями излучения может быть наложение зон секторов базовых станций сотовой связи. Для снижения воздействия ЭМП в данных условиях возможно применение мер по изменению характеристик излучения технических средств или использование пространственно-временной защиты, например, ограничение времени пребывания в зонах с повышенными значениями. Контроль электромагнитных полей в Арктических регионах способствует предотвращению возможных негативных последствий здоровью населения и окружающей среде, а также защищает традиционный образ жизни коренных народов. Обеспечение безопасной среды способствует устойчивому развитию этих территорий.

Список используемых источников

1. Суворов И. М. Клинический мониторинг в зонах воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона // Медицина труда и промышленная экология, №. 2, 2013, С. 14–17.
2. Yan J. G., Agresti M., Bruce T., Yan Y. H., Granlund A., Matloub H. S. Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. Fertil Steril. 2007. Vol. 88. PP. 957–69.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19 декабря 2007 г. № 91 / URL: https://docs.cntd.ru/document/902081974 (дата обращения 15.10.2023).
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28января 2021 г. № 2. URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения 15.10.2023).
5. Сервис картирования вышек сотовой связи и покрытия CellMapper. URL: https://www.cellmapper.net/ (дата обращения 29.10.2024).
6. МУК 4.3.1167-02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030406 (дата обращения 15.10.2023).

Pischugina A. **ENVIRONMENTAL MAPPING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF THE RADIO FREQUENCY RANGE IN THE URBAN ENVIRONMENT OF ARCTIC REGIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents the results of measurements of the energy flux density of electromagnetic fields of the radio frequency range in the urbanized environment of the Arctic. The obtained results were processed using GIS technologies, and a map of interpolated values was compiled. As a result of comparing empirical data with the maximum permissible level, exceedances were found at a frequency of 1800 MHz, and at a frequency of 433 MHz, the values are within acceptable limits. The formation of regions of elevated values at different frequencies differs due to the difference in radiation sources. Although the formation of values on Pervomaiskaya Street is similar, the reason may be wave interference caused by overlapping sectors of base stations, features of the ground surface and installed metal structures on the site.

Key words: electromagnetic fields, energy flux density, cellular base stations, GIS technologies, Arctic regions.

УДК 004.052.42
ГРНТИ 81.93.29

ВИДЕОАНАЛИТИКА: ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Ю. А. Пономарев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникация им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Каждый год появляются новые устройства, идеи, обновления, а также угроза безопасности информации, жизни человека. В последнее время видеоаналитика стала одной из актуальных и перспективных областей исследования в сфере информационных технологий. Развитие технологий видеонаблюдения и распознавания образов привело к появлению новых возможностей в анализе видеоданных и принятии обоснованных решений на основе полученной информации.

видеоаналитика, Арктика, модуль «Забытые и оставленные предметы», безопасность

Введение

В современном мире применение видеоаналитики охватывает широкий спектр областей и промышленных секторов. В частности, она нашла свое применение в обеспечении безопасности общественных мест, транспортных сетей, производственных площадок, а также в коммерческих и маркетинговых целях. Рынок стремительно растет и предлагается большой выбор для каждого покупателя.

В каждом регионе есть свои уникальные условия, от которых зависит технология создания и какие качества будут иметь данные устройства. Теперь, в зависимости от места использования камер, можно найти подходящие характеристики, что будут выдавать наилучшие показатели в данной среде: качество картинки, цветокоррекция, передача информации и сигнала. По мере увеличения доступности Арктического региона появляются инновации, направленные на решение задач этой суровой среды.

Благодаря применению алгоритмов распознавания образов, системы видеоаналитики способны оперативно обрабатывать огромные объемы видеоданных и автоматически выделять объекты или события, которые требуют особого внимания. Однако, несмотря на многообещающие перспективы, видеоаналитика также имеет некоторые недостатки и ограничения [1].

Актуальность темы

Рост рынка видеоаналитики обусловлен несколькими ключевыми факторами, которые в совокупности способствуют его динамичному развитию. Во-первых, наблюдается значительное увеличение объемов данных, что требует более эффективных решений для их обработки и анализа. Во-вторых, активная разработка машинного интеллекта и искусственного интеллекта делает видеоаналитику более доступной и точной, позволяя организациям получать ценные результаты из видеопотоков.

Кроме того, повышение уровня безопасности становится важным аспектом, способствующим росту этого рынка. Адаптация видеоаналитики в различных отраслях, таких как розничная торговля, транспорт и здравоохранение, также играет значительную роль в расширении ее применения.

Не менее важным фактором является растущий интерес к концепции умных городов, где технологии используются для повышения качества жизни и безопасности граждан. Это создает дополнительный спрос на решения, основанные на видеоаналитике.

В свете вышеперечисленных факторов, необходимость исследования видеоаналитики, поиск новых подходов и решений становятся все более актуальными. Подобные исследования могут открыть новые горизонты применения видеоаналитики и помочь преодолеть существующие ограничения, тем самым способствуя развитию этой технологии и ее применению в самых различных сферах деятельности. Создав благополучные систему и алгоритмы можно повысить безопасность объекта, жизни человека, защиты информации.

Тема ложных срабатываний в видеоаналитике является крайне актуальной, так как ложные тревоги могут привести к потере времени и ресурсов на проверку ложных срабатываний, а также могут уменьшить доверие к видеоаналитической системе. Поэтому решение проблемы ложных срабатываний является важной задачей для разработчиков видеоаналитики [2].

Арктические применения

Видеоаналитика нужна в различных арктических приложениях, от экологического мониторинга за изменениями в экосистемах до координации поисково-спасательных операций и безопасности критической инфраструктуры. Суровые условия Арктики требуют особого внимания. Многие устройства просто не выдержат местные вызовы, такие как экстремальные температуры, низкая освещенность и ограниченная связь. Поэтому необходимо разработать системы видеоаналитики, которые могут адаптироваться к этим условиям и обеспечивать точные результаты.

Как один пример из многих можно привести первую цифровую систему видеоаналитики для снежно-ледовых трасс к месторождениям. Специалисты «Газпромнефти» разработали первую в России цифровую систему видеоаналитики

для онлайн-контроля состояния зимников – временных дорог из снега и льда для доставки грузов к труднодоступным месторождениям. Алгоритмы машинного обучения анализируют данные, сравнивают их с цифровой моделью дороги и сигнализируют специалистам, если есть расхождения – например, колея или яма [3].

Проблемы и ограничения

Несмотря на перспективы, видеоаналитика в Арктике сталкивается с рядом проблем и ограничений. К ним относятся:

1. Адаптация алгоритмов к изменяющимся условиям окружающей среды, таким как снежные бури, туман или экстремальные температуры.
2. Обеспечение приватности и безопасности информации при сборе и обработке персональных данных.
3. Минимизация ложных срабатываний из-за различных факторов, таких как движения диких животных или погодных условий.
4. Увеличение точности распознавания объектов в условиях низкой освещенности.
5. Необходимость постоянного обновления алгоритмов для поддержания эффективности системы.

Кейс: Модуль «Забытые и оставленные предметы»

В этом исследовании проанализирована работа над внутренней безопасностью объекта. Установили на видеокамеры модуль «Забытые и оставленные предметы» в здании в Арктике. Модуль использует различные алгоритмы и технологии для повышения точности и минимизации ложных тревог. После установки модуля в течении месяца был сбор данных.

Вот некоторые примеры правильных и ложных срабатываний модуля из большого количества.

1. Мужчина зашел в кафе и оставил куртку на стуле (рис. 1).

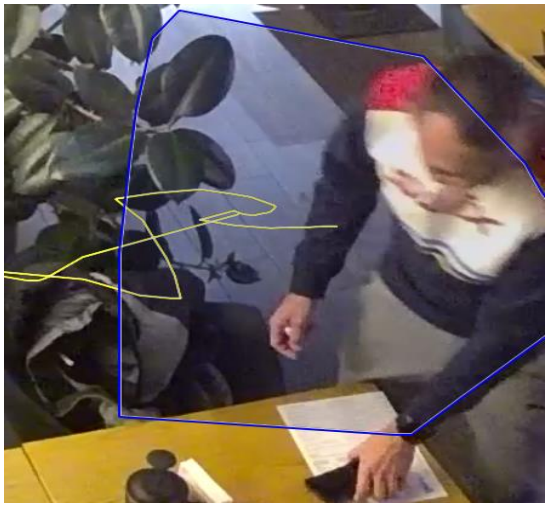


Рис. 1. Обнаружение движения

Спустя 30 секунд камера выделила новый объект и вывела в журнал событий обнаружение оставленной вещи (рис. 2).



Рис. 2. Обнаружение нового объекта

2. Охранник после обхода вернулся на пост и повесил на стул свою куртку (рис. 3).



Рис. 3. Появление в кадре нового объекта

Спустя 40 секунд модуль оповещает о новом объекте на камере (рис. 4).



Рисунок 4. Обнаружение нового объекта

3. Сотрудник передвинул один стул и прошел под камерой (рис. 5).



Рис. 5. Движение в кадре

Модуль видеоаналитики сработал на изменение положения стула в кадре (рис. 6).



Рис. 6. Сработка модуля

4. Мужчина перед входом в помещение долго стоял и с кем-то разговаривал.



Рис. 7. Движение в кадре

После пары минут мужчина сделал шаг вперед. Модуль среагировал на движение (рис. 8).



Рис. 8. Сработка модуля

Результат

Для более качественной оценки перед подведением итогов, были изучены подходящие для этой научной работы госты и стандарты. Основываясь на ГОСТ Р 51558-2000, ГОСТ Р 51558-2014, Федеральный закон РФ № 152-ФЗ «О персональных данных» и технический регламент создателей модуля мы получили такие результаты:

Модуль не идеален и периодически выдает ложные срабатывания. Чтобы легче было понимать, насколько много происходит ошибок переведем в проценты. Сравним отношение правильных и ложных срабатываний за месяц:

ТАБЛИЦА 1. Подсчет результатов правильных и ложных событий

События	Ложные срабатывания	Правильные срабатывания
98	30	68

Если перевести в проценты, то 70,6 % всех срабатываний были верными.

Вывод

В заключение, видеоаналитика представляет собой мощный инструмент, который находит все более широкое применение в различных сферах, включая экологический мониторинг, поисково-спасательные операции и безопасность инфраструктуры, особенно в таких сложных условиях, как Арктика. Несмотря на значительные достижения в области технологий и алгоритмов, существует ряд проблем и ограничений, которые необходимо преодолеть для повышения

эффективности этих систем. В частности, ложные срабатывания остаются актуальной проблемой, требующей дальнейших исследований и улучшений.

Это исследование демонстрирует потенциал видеоаналитики в Арктическом регионе. Хотя модуль «Забытые и оставленные предметы» показывает многообещающие результаты, важно решать существующие проблемы для улучшения его работы. Разработка более точных и надежных систем видеоаналитики поможет поддерживать исследовательские, охранные и природоохранные усилия в Арктике.

Список используемых источников

1. Журнал IEEE Transactions on Multimedia посвященный видеоаналитике: проблемы, алгоритмы и приложения. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8340143/citations?tabFilter=papers#citations
2. Video Analytics: Opportunity or Spoof Story? The State of the Art of Intelligent Video Surveillance. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/6061220
3. Газпром нефть. Официальный сайт. URL: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-zapatentovala-pervuyu-rossiyskuyu-tekhnologiyu-tsifrovogo-monitoringa-zimnikov/

***Ponomarev Y.* VIDEO ANALYTICS: SAFETY AND ACCURACY IN HARSH ENVIRONMENTS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Every year new devices, ideas, updates appear, as well as threats to the security of information and human life. Recently, video analytics has become one of the most relevant and promising areas of research in the field of information technology. The development of video surveillance and image recognition technologies has led to the emergence of new opportunities in the analysis of video data and making informed decisions based on the information received.

Keys words: video analytics, arctic, Module "Forgotten and abandoned objects", security.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ В ГОРОДЕ ЯКУТСК В РАМКАХ ТРЕТЬЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Р. С. Рощинский
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлена оценка качества покрытия сетей сотовой связи стандарта LTE на примере измерений, проведенных в городе Якутск. Исследование было выполнено с использованием разработанного анализатора сетей радиосвязи, основанного на Raspberry Pi и модемах SIMCOM. Основное внимание уделено анализу параметров RSRP, RSRQ, RSSI и SNR. На основе полученных результатов были построены карты покрытия для каждого исследуемого параметра, а также рассчитаны доли покрытия для определения оценочного критерия.

радиоизмерения, мобильная связь, уровень сигнала, качество покрытия

В июле 2024 года студенты и преподаватели СПбГУТ приняли участие в Третьей Арктической технологической экспедиции к морю Лаптевых [1–2]. В рамках данной экспедиции одной из задач была апробация анализатора сетей радиосвязи. Во Второй Арктической технологической экспедиции СПбГУТ по побережью Белого моря были проведены испытания первой версии данной разработки, реализованной на абонентских терминалах под управлением операционной системы Android. В работе [3] приведены результаты исследования.

В Третьей Арктической экспедиции был апробирован новых макет анализатора сетей радиосвязи, реализованный на базе однопалатного компьютера Raspberry Pi 3 model B и использовались модемы SIMCOM SIM7600E. Особенностью данной разработки, в отличие от предыдущей версии, является возможность подключения нескольких модемов одновременно, что дает возможность вести измерения при различных настройках модемов одновременно, или произвести измерений нескольких операторов сразу.

На момент проведения радиоизмерений, макет анализатора сетей радиосвязи способен собирать информацию о сети, без учета ее качества (звонки, SMS, передача данных). Это первая апробация данного макета.

Измерения параметров сетей сотовой связи проводились на проспекте Ленина, улицах Ярославского и Орджоникидзе города Якутск. Измерения проводились без использования транспортного средства вдоль пешеходных зон. Общая длина измеряемого маршрута составила примерно 6 км. На рисунке 1 представлен маршрут измерений.

На территории города Якутск развернуто несколько операторов сетей сотовой, однако для стабильной работы макета было принято решение произвести замеры одного оператора. Измерения проводились для стандарта LTE.



Рис. 1. Маршрут измерений параметров сотовой связи в городе Якутск

Для оценки качество покрытия данного стандарта проводились измерения параметров RSRP (Reference Signal Received Power), карта покрытия которого представлена на рисунке 2. Помимо этого, были зафиксированы значения параметров RSRQ (Reference Signal Received Quality), RSSI (Received Signal Strength Indicator) и SNR (Signal to Interference + Noise Ratio), результаты которых представлены на рисунках 3, 4 и 5 соответственно. В таблицах 1–4 представлены данные о качестве покрытия сетей сотовой связи стандарта LTE.

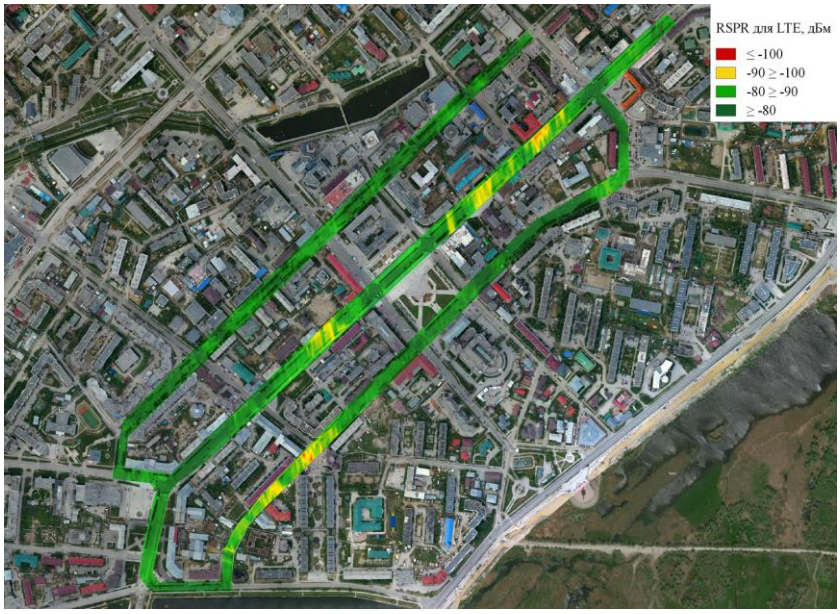


Рис. 2. Карта покрытия по параметру RSRP

ТАБЛИЦА 1. Доля покрытия исследуемой территории по параметру RSRP

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSRP, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %
1	«Отлично»	-80 и более	74,61
2	«Хорошо»	-80; -90	23,28
3	«Норма»	-90; -100	2,11
4	«Неудовлетворительно»	менее -100	0



Рис. 3. Карта покрытия по параметру RSRQ

ТАБЛИЦА 2. Доля покрытия исследуемой территории по параметру RSRQ

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSRQ, дБ	Доля в покрытии оператора по территории, %
1	«Отлично»	минус 20 и более	0,29
2	«Хорошо»	[20; -15)	6,41
3	«Норма»	[-15; -10)	61,59
4	«Неудовлетворительно»	менее -10	31,71



Рис. 4. Карта покрытия по параметру RSSI

ТАБЛИЦА 3. Доля покрытия исследуемой территории по параметру RSSI

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSSI, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %
1	«Отлично»	-65 и более	100,00
2	«Хорошо»	[-65; -75)	0,00
3	«Норма»	[-75; -85)	0,00
4	«Неудовлетворительно»	[-85; -95)	0,00
5	«Нет сигнала»	менее -100	0,00



Рис. 5. Карта покрытия по параметру SNR

ТАБЛИЦА 1. Доля покрытия исследуемой территории по параметру SNR

№ п/п	Оценочная категория	Уровень SNR, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %
1	«Отлично»	20 и более	2,66
2	«Хорошо»	[20; 13)	44,64
3	«Норма»	[13; 0)	52,06
4	«Неудовлетворительно»	менее 0	0,64

В результате проведенных измерений установлено, что практически весь исследованный маршрут характеризуется «отличным» уровнем сигнала RSRP, что подтверждает высокое качество покрытия на данной территории. Лишь незначительная часть маршрута (2,11 %) демонстрирует значительное снижение уровня сигнала. Однако значительная часть территории (62 %) характеризуется низкими значениями RSRQ, что может свидетельствовать о потенциальной нестабильности скорости передачи данных на этих участках. Полученные данные могут быть полезны как пользователям, так и операторам связи для выявления и устранения источников ухудшения качества связи.

Список используемых источников

1. СПбГУТ вновь отправил ученых в Арктику // СПбГУТ. URL: https://www.sut.ru/bonchnews/science/22-07-2024-SPbGUT-vnov-otpravil-uchonykh-v-Arktiku (дата обращения 28.10.2024).
2. Арктическая команда СПбГУТ сформирована! Впереди – море Лаптевых // СПбГУТ. URL: https://www.sut.ru/bonchnews/science/06-06-2024-arkticheskaya-komanda-spbgut-sformirovana-vperedi-more-laptevih (дата обращения 28.10.2024).
3. Рощинский Р. С. Оценка качества покрытия мобильной сети Архангельской области / Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов в 2 томах. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 26–30. EDN IPGMDT.

Roschinsky R. **ASSESSMENT OF CELLULAR NETWORK COVERAGE QUALITY IN THE CITY OF YAKUTSK WITHIN THE FRAMEWORK OF THE THIRD ARCTIC TECHNOLOGICAL EXPEDITION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents an assessment of the quality of coverage quality of LTE cellular networks on the example of measurements conducted in the city of Yakutsk. The study was performed using the developed analyzer of radio communication networks based on Raspberry Pi and SIMCOM modems. The main attention was paid to the analysis of RSRP, RSRQ, RSSI and SNR parameters. Based on the results obtained, coverage maps were constructed for each investigated parameter and coverage fractions were calculated to determine the evaluation criterion.

Key words: radio measurements, mobile communications, signal strength, coverage quality.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ В ПОСЕЛКЕ ГОРОДСКОГО ТИПА ТИКСИ В РАМКАХ ТРЕТЬЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Р. С. Рощинский
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматривается оценка качества покрытия сотовой связи на территории поселка городского типа Тикси республики Саха (Якутия) в рамках третьей арктической технологической экспедиции. Карты покрытия в данной работе, построены по измеряемой мощности сигнала на входе приемника с использованием разработанного анализатора сетей сотовой связи.

радиоизмерения, мобильная связь, уровень сигнала, качество покрытия

В рамках Третьей Арктической технологической экспедиции, организованной СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, был протестирован макет анализатора сетей радиосвязи, предназначенный для проведения радиоизмерений параметров сотовой связи и последующей оценки качества покрытия сети [1].

В поселке городского типа Тикси (далее – п.г.т. Тикси), по предварительным данным, операторами связи были развернуты исключительно базовые станции стандарта GSM. Измерения сети сотовой связи выполнялись в соответствии с утвержденной методикой Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, предусматривающей два способа проведения радиоизмерений: с использованием автомобиля (Drive Test) и в пешеходных условиях (Walk Test) [2].

По прибытии в п.г.т. Тикси первым этапом было проведение исследования для подтверждения отсутствия таких стандартов связи, как UMTS и LTE. Первоначальные результаты показали, что на исследуемой территории функционирует только один стандарт связи – DCS 1800.

Разработанный макет анализатора связи был настроен на работу исключительно с данным стандартом, и для проведения измерений были выбраны два оператора связи. Особое внимание уделялось проверке функции макета, заключающейся в синхронной фиксации параметров связи с использованием двух модемов сотовой связи, оснащенных различными SIM-картами.

Маршрут измерений был спланирован таким образом, чтобы охватить территории с наибольшей плотностью населения, включая грунтовую дорогу, ведущую к аэропорту. Схема маршрута представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Маршрут проведения измерений

Ключевым параметром для оценки качества покрытия в стандарте GSM является rxlevel, который представляет собой показатель уровня принимаемого сигнала на стороне абонентского устройства. Этот параметр применяется для оценки качества соединения и принятия решений по управлению ресурсами сети, включая выбор наиболее подходящей базовой станции для обеспечения обслуживания. RxLevel измеряет мощность принимаемого сигнала и выражается в децибелах относительно одного милливатта (дБм). Диапазон значений может варьироваться примерно от минус 110 дБм (очень слабый сигнал) до минус 50 дБм (очень сильный сигнал). Для проведения качества покрытия в п.г.т. Тикси, по результатам измерений, предел измерений был установлен от минус 50 дБм до минус 70 дБм.

На рисунке 2 приведена карта покрытия для первого исследуемого оператора связи. Как видно из рисунка, большая часть исследуемой территории, обеспечивается стабильным уровнем сигнала в пределах от минус 50 дБм до минус 60 дБм. Существует несколько зон, где параметр RxLevel опускается ниже минус 70 дБм. Для данного оператора связи не было обнаружено зон радиомолчания.

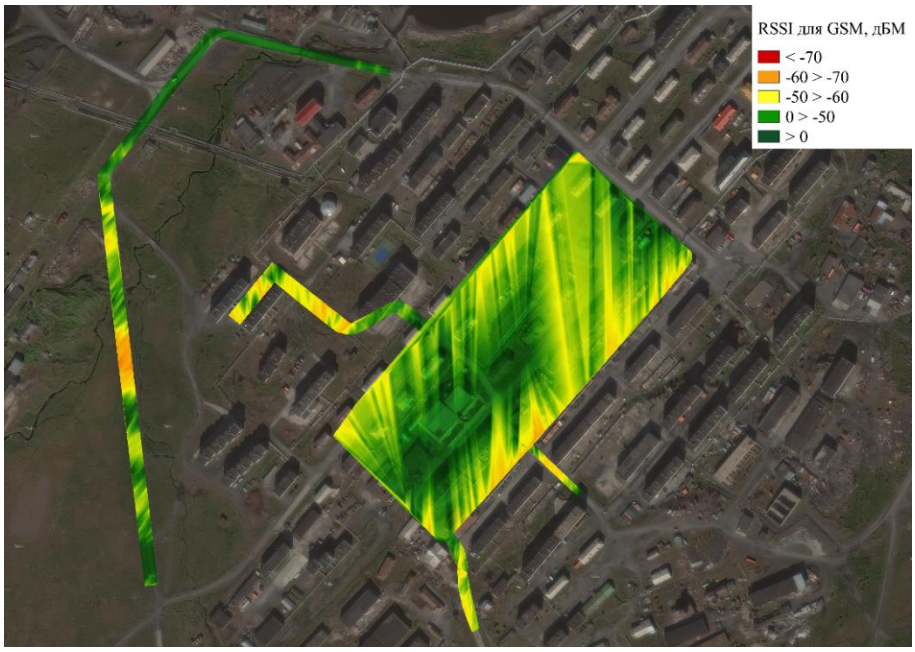


Рис. 2. Карта покрытия Тикси первым оператором

На рисунке 3 представлена карта покрытия второго исследуемого оператора связи. Из анализа рисунка следует, что качество покрытия данного оператора хуже по сравнению с первым. Практически вдоль всей дороги за пределами п.г.т. Тикси зафиксирован уровень сигнала ниже минус 70 дБм, что указывает на низкое качество покрытия на этом участке. В пределах самого поселка стабильный уровень сигнала (около минус 50 дБм) наблюдается преимущественно в юго-восточной части территории. Также были выявлены зоны радиомолчания и утраты связи, что свидетельствует о наличии проблем с обеспечением стабильного покрытия.

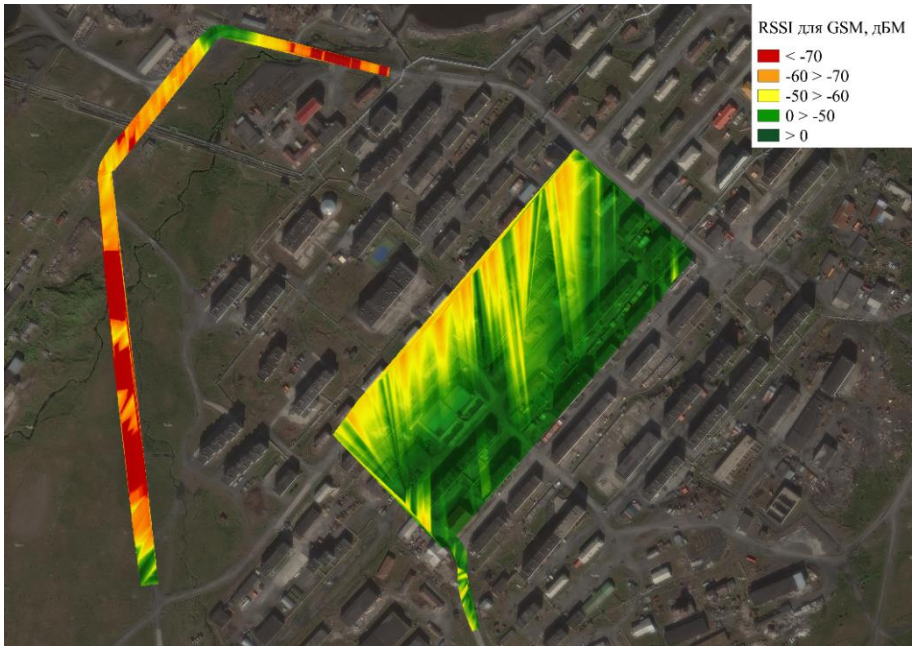


Рис. 3. Карта покрытия Тикси вторым оператором

В результате апробации макета анализатора сетей радиосвязи в Третьей Арктической технологической экспедиции были получены данные, для оценки качества покрытия п.г.т. Тикси. Несмотря на то, что в данном населенном пункте развернут один стандарт GSM, вся исследуемая территория, за редким исключением, не имеет зон радиомолчания. В местах проведения измерений уровень принимаемого сигнала составлял не менее минус 70 дБм. Также, по полученным результатом, в дальнейшем, будет отладка и совершенствование разрабатываемого макета для оценки не только качества покрытия, но и оценки качества предоставляемых услуг.

Список используемых источников

1. Качнов А. В., Прасолов А. А., Рощинский Р. С., Сопов С. П. Разработка анализатора сетей сотовой связи // International Journal of Professional Science, 2024. № 10-2. С. 49–55.
2. Методика оценки качества услуг подвижной радиотелефонной связи. URL: https:// digital.gov.ru/uploaded/files/04.12.2014_NN-P1921799.pdf?utm_referrer=https %3a %2f %2f www.google.com %2f

Roschinsky R. **ASSESSMENT OF CELLULAR NETWORK COVERAGE QUALITY IN TIKSI URBAN-TYPE SETTLEMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF THE THIRD ARCTIC TECHNOLOGICAL EXPEDITION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper deals with the assessment of cellular coverage quality in the territory of the urban-type settlement Tiksi of the Republic of Sakha (Yakutia) within the framework of the third Arctic technological expedition. Coverage maps in this paper are constructed by measured signal power at the receiver input using the developed cellular network analyzer.

Key words: radio measurements, mobile communications, signal strength, coverage quality.

1.3. Интернет вещей и гетерогенные сети

УДК 004.771
ГРНТИ 49.34.06

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ТРАФИКА СЕРВИСОВ ОБЛАЧНОГО ГЕЙМИНГА

И. Д. Абитов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Облачный гейминг – это сервис, предоставляющий услуги удаленного доступа к игровому контенту при помощи стриминга потокового видео с удаленных серверов. В статье рассмотрен и проанализирован трафик сервисов облачного гейминга с целью изучить готовые решения для оказания данной услуги.

анализ трафика, облачный гейминг, сеть, удаленный доступ

В настоящее время набирает популярность услуга облачного гейминга, которая позволяет с помощью удаленного доступа и передачи потокового видео участвовать в требовательных к системным требованиям играх через сеть Интернет. Например, онлайн-сервис цифрового распространения компьютерных игр и программ Steam имеет функцию облачного гейминга [1], которая реализована через системы пользователя. Первым сервисом облачного гейминга считается OnLive [2], который был запущен в 2010 году. Самыми крупными поставщиками услуги облачного гейминга в России являются компании ВКонтакте и Яндекс. Популяции услуги облачного гейминга в России поспособствовало расширение пропускной способности сети, программа правительства по сокращению цифрового неравенства и развитию IT индустрии, а также повышение цен на комплектующие на компьютеры.

В этой статье проанализирован трафик четырех сервисов облачного гейминга и сравнены его характеристики. В качестве поставщиков услуг облачного гейминга были выбраны сервисы Drova [3], Loudplay [4], VK Cloud [5] и Plusgaming [6]. Структурная схема стенда представлена на рисунке 1. Трафик захватывался по очереди с помощью бесплатной программы Wireshark [7] в течении 10 минут. Захват проводился на PC с установленной Windows 10, доступ к сети интернет широколистный, скорость соединения по Speedtest [8]

Download 78,34 Мбит/с и Upload 82,56 Мбит/с. Для всех четырех сервисов предварительно установлено специализированное ПО.

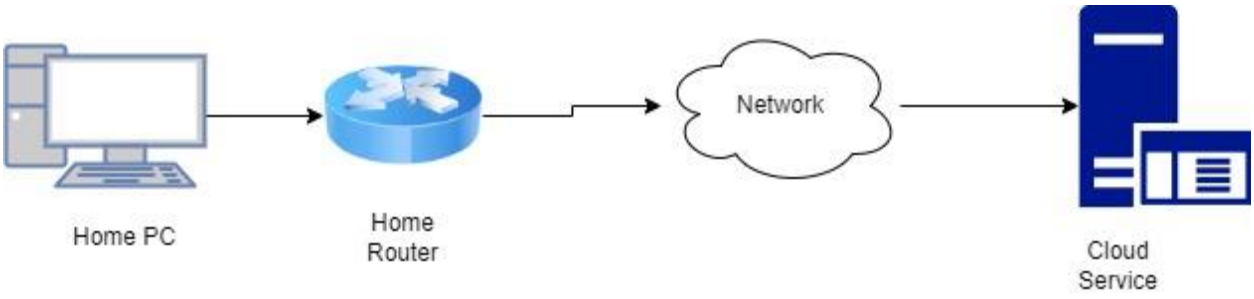


Рисунок 1 Структурная схема измерительного стенда

ТАБЛИЦА 1. Сравнение характеристик захваченного трафика

Характеристика	Drova	Loudplay	VK Cloud	Plusgaming
Расположение сервера	Москва, 614 км	Москва, 617 км	Москва, 607 км	Москва, 615 км
Транспортный протокол	TCP	RDT (UDP)	UDP	UDP, TCP
Объем трафика, Мбайт	940,17	769,7	1 833,48	2112,26
Средний размер пакета, байт	Down: 995 Up: 203	Down: 1200 Up 77	Down: 1352 Up: 203	Down: 1118 Up: 288
Средняя скорость, Мбит/с	Down: 11 Up: 1,96	Down: 10 Up: 0,15	Down: 25 Up: 0,28	Down: 27 Up: 2,37
Интенсивность пакетов, пакетов/с	Down: 1398,9 Up: 1239,4	Down: 1105,8 Up: 242,4	Down: 2342,9 Up: 182,5	Down: 3029,7 Up: 1055,4

Согласно таблице 1, сервера сервисов облачного гейминга располагаются в Москве, расстояние между клиентом и сервером 613 км, что не очень хорошо для качественного оказания услуги. Сервера необходимо располагать ближе клиенту, чтобы сократить время задержки доставления контента. Если сервера сервисов располагаются только в Москве, то сервисы облачного гейминга не смогут оказать качественные услуги клиентам, которые живут слишком далеко от Москвы, например, клиенты из Дальнего Востока, так как будет слишком большая задержка из-за физического ограничения.

Сервисы облачного гейминга используют разные протоколы транспортного уровня, чтобы доставлять контент клиенту. Сервис Drova использует протокол Transmission Control Protocol (TCP). Это гарантирует доставку данных без потерь и в правильном порядке, но будет вызвать негативный опыт

использования сервиса из-за дерганной передачи изображения клиенту, что наблюдалось во время использования сервиса.

Сервис облачного гейминга Loudplay использует в качестве протокола транспортного уровня User Datagram Protocol (UDP), дополненный протоколом для передачи аудио и видео Real Data Transport (RDT), который был разработан компанией RealNetworks в 1990-х годах. Данное решение имело самый негативный опыт использования сервиса облачного гейминга, так как было ужасное качество и плавность передачи изображения. Протокол RDT поверх UDP не подходит для сервисов облачного гейминга.

Сервис VK Cloud использует протокол UDP, который эффективен для снижения задержки, но не гарантирует доставку данных.

Сервис Plusgaming использует протокол транспортного уровня UDP в нисходящем направлении для передачи потокового видео и протокол TCP в восходящем направлении для передачи команд от клиента.

Согласно рисункам 2-7 интенсивность трафика в нисходящем направлении равномерна для всех 4-х сервисов, а в нисходящем трафик неравномерен.

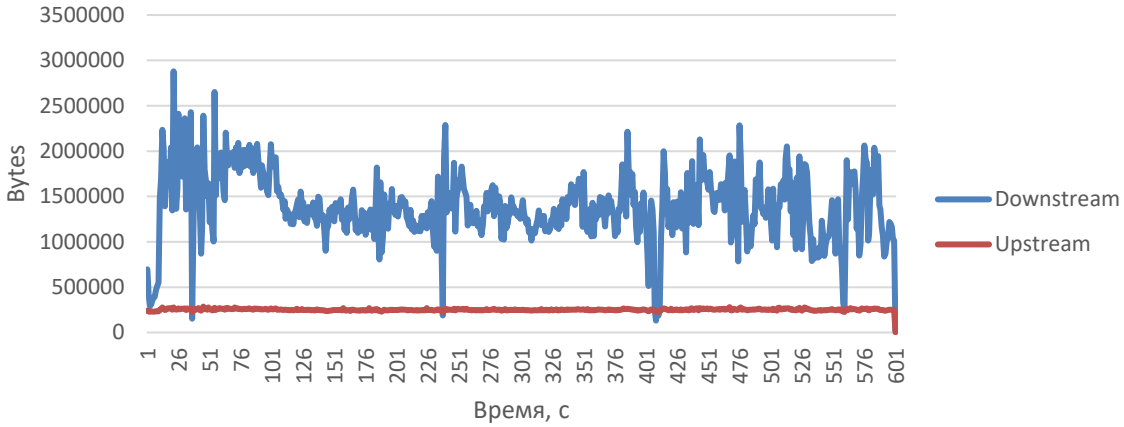


Рис. 2. Нисходящий и восходящий поток трафика для сервиса Drova

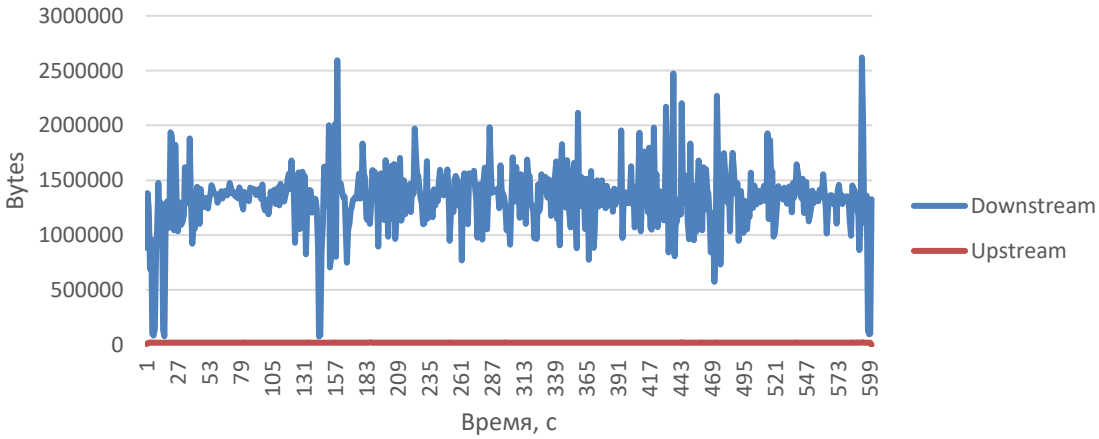


Рис. 3. Нисходящий и восходящий поток трафика для сервиса Loudplay

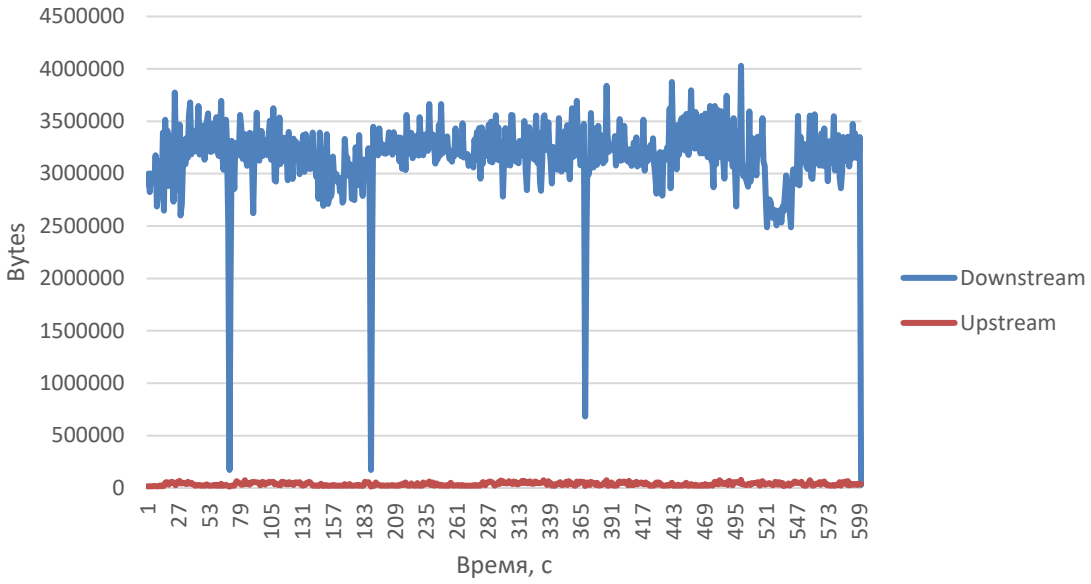


Рис. 4. Нисходящий и восходящий поток трафика для сервиса VK Cloud

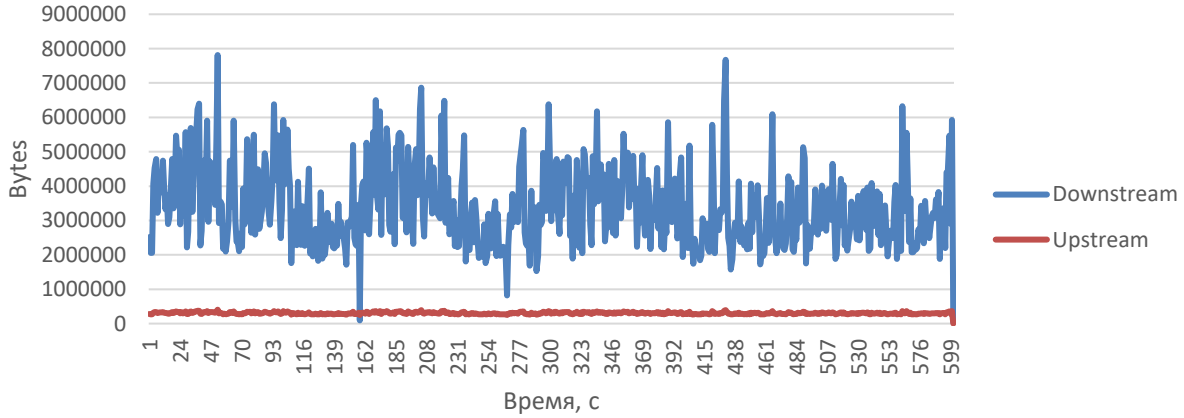


Рис. 5. Нисходящий и восходящий поток трафика для сервиса Plusgaming

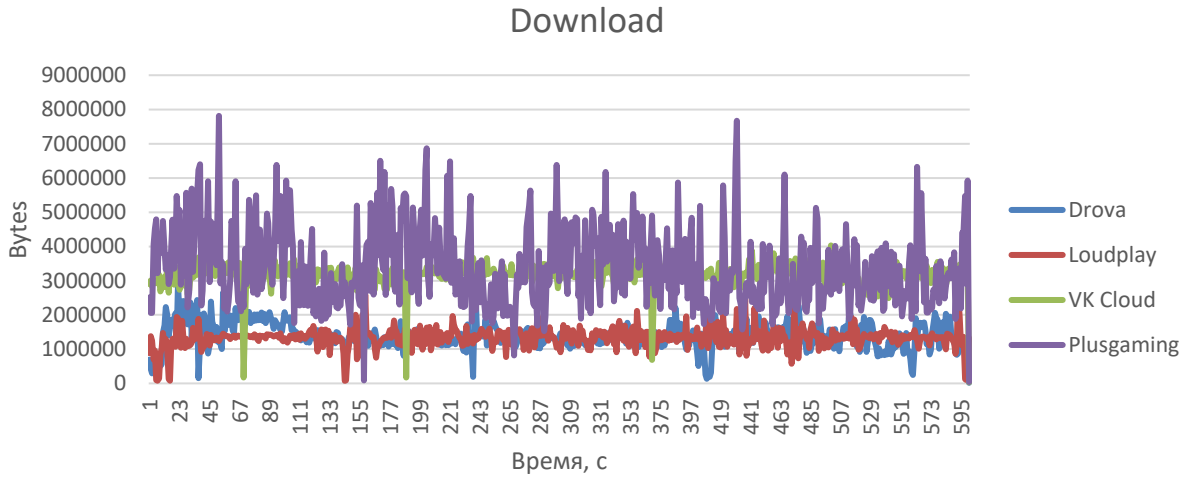


Рис. 6. Сравнение нисходящего потока облачных сервисов

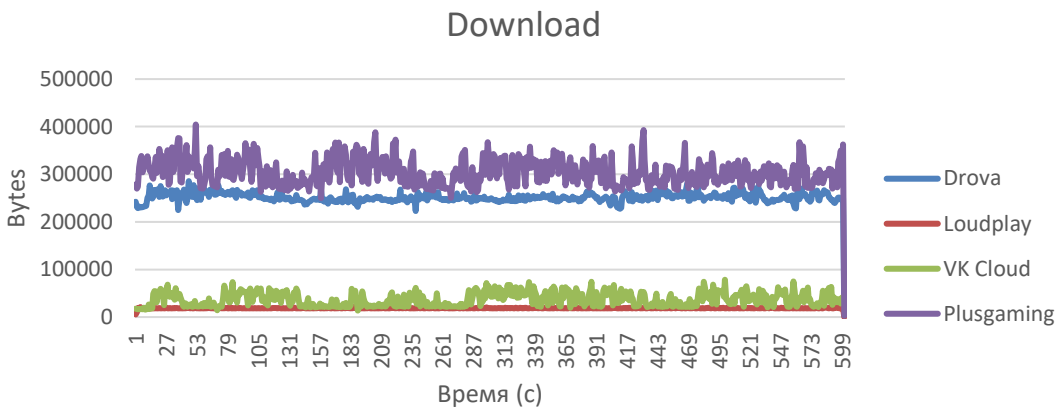


Рис. 7. Сравнение восходящего потока облачных сервисов

Больше всего объем захваченного трафика у сервиса Plusgaming и наименьший у Loudplay. Это можно объяснить качеством изображения, которое было во время использования сервисов. У Plusgaming оно было хорошим, а у Loudplay размытым.

У сервиса Drova наименьший средний размера пакетов в нисходящем направлении, это связано с тем, что сервис применял протокол транспортного уровня TCP, который использует ответные сообщения, что приводит к меньшему среднему размеру.

Средний размер пакетов в восходящем направлении приблизительно совпадает у трех сервисов, кроме Loudplay, это связанно с тем, что восходящий трафик представляет из себя набор команд пользователя. А такое низкое значение у Loudplay может быть объяснено спецификой обработки данных.

Сервисы VK Cloud и Plusgaming – наиболее требовательные к нисходящей скорости. Это связано с тем, что они используют протокол транспортного уровня UDP, что обеспечивает более низкую задержку, но требует большей пропускной способности. Сервис Drova использует TCP, а Loudplay для обеспечения гарантии получения данных RDT поверх UDP.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 24 ноября 2023 г. №339-р Об утверждении Стратегии развитии отрасли связи РФ на период до 2035 [9] средняя скорость фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет в Российской Федерации по состоянию на март 2023 г. – 78 Мбит/с, что означает, что клиенты из РФ могут получить качественное оказания услуги облачного гейминга, максимальное требование которого к пропускной способности согласно данным 27 Мбит/с.

Таким образом, был рассмотрен и проанализирован трафик четверых сервисов облачного гейминга. Технически, пользователи могут воспользоваться услугами данных сервисов, но они должны находится как можно ближе к серве-

рам. Наилучшими сервисами для оказания услуги облачного гейминга оказались Plusgaming и VK Cloud. Данные сервисы вызвали положительный опыт у клиента, качество изображения и плавность, отклик на команды были удовлетворительные. Также неплохое решение использует сервис Drova, но во время его использования наблюдались звуковые неисправности и отсутствие отклика от команд, которые, вероятно, произошли из-за использования протокола TCP. Сервис Loudplay вызвал отрицательный опыт использования сервиса облачного гейминга. Было низкое качество изображения, не было отклика на команды, а также присутствовали звуковые сбои. Данный сервис лучше всего использовать для рабочих задач, которые требуют большие вычислительные мощности, например проектирование в AutoCad, разработка в Unity или Unreal Engine, но не для облачного гейминга.

Список используемых источников

1. Quadrio G., Bujari A., Ronzani D. Maggiorini D., Ripamonti L. Network Traffic Analysis of the Steam Game System. 2017. 10.1109/CCNC.2017.7983221.
2. Manzano M., Urueña M., Suznjevic M., Calle E., Hernández J., Matijasevic M. Dissecting the protocol and network traffic of the OnLive cloud gaming platform. Multimedia Systems. 2014. Vol. 20. PP. 1–20. 10.1007/s00530-014-0370-4.
3. Облачный гейминг. Лучшие игры // DROVA. URL: https://drova.io/ (дата обращения 14.11.2024).
4. Облачный гейминг. Loud play // Loudplay. URL: https://www.loudplay.ru/ (дата обращения 14.11.2024).
5. Облачный гейминг. VK Play // VK Play. URL: https://cloud.vkplay.ru/ (дата обращения 14.11.2024).
6. Облачный гейминг от Яндекс. Плюс Гейминг // Плюс Гейминг. URL: https://plusgaming.yandex.ru/ (дата обращения 14.11.2024).
7. Wireshark – Go Deep // Wireshark.org. URL: https://www.wireshark.org/ (дата обращения 13.11.2024).
8. Speedtest by Ookla – The Global Broadband Speed Test // SPEEDTEST. URL: https://www.speedtest.net/ (дата обращения 14.11.2024).
9. Стратегия развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 24.11.2023 № 3339-р // Официальный интернет-портал правовой информации.

Abitov I. **ANALYSIS AND COMPARISON OF CLOUD GAMING SERVICES TRAFFIC.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Cloud gaming is a service that provides remote access to gaming content by streaming video streaming from servers. The article examines and analyzes the traffic of cloud gaming services in order to explore ready-made solutions for the provision of this service.

Key words: Traffic analysis, cloud gaming, network, remote access.

УДК 004.728.8
ГРНТИ 49.33.29

ИНТЕГРАЦИЯ VTK ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ НА РАЗРАБОТАННОМ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОМ ФАНТОМЕ

С. А. Авакян, Д. С. Кукунин, В. А. Песков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Основная идея работы заключается в интеграции VTK в систему стереотаксического медицинского фантома для визуализации проводимой нейрохирургической операции. Вместе с этим в статье представлено изменение системы визуализации после изменения архитектуры разработанного аппаратно-программного комплекса.

нейрохирургический фантом, фантом головы, VTK, 3D визуализация, стереотаксис

Введение

С ростом активного использования в медицинской сфере образования симуляционных технологий появляются все больше различных исследований, направленных на разработку тренажеров для практической подготовки и оценки медицинского персонала, включающей в себя оперативного принятия решений в зависимости от поставленной задачи и освоение практических навыков. Главной особенностью использования таких устройств являются [1]:

– выполнение задач с использованием виртуального пациента,
– получение практического опыта за короткий промежуток времени,
– моделирование всех возможных задач конкретной области обучения.

Однако изучая предлагаемое оборудование в медицинских центрах для обучения нейрохирургическим операциям, можно отметить проблемы сложного и дорогостоящего обучения стереотаксическому методу, потребность в доступных обучающих курсах, а также отсутствие клинически ориентированного фантома. Таким образом разработка подобного тренажера остается актуальной проблемой [2].

В ходе реализации гранта Фонда содействия инновациям (№4931ГС1/83532), был разработан интерактивный медицинский фантом для отработки навыков проведения функциональных вмешательств с системой позиционирования нейрохирургической иглы в режиме реального времени, на который в дальнейшем был получен патент [3].

Этот фантом позволяет интерактивно оценивать результаты хирургической деятельности в соответствии с клиническими задачами обучения и дает возможность использовать данные нейровизуализации человеческого мозга при планировании стереотаксических процедур. Фактически, тренируясь на подобном фантоме, молодой нейрохирург пройдет все этапы операции, которые не могут предоставить аналоги.

Разработанный аппаратно-программный комплекс состоит из трех основных компонентов (рис. 1): антропоморфной головы фантома с бесконтактной системой оценки позиционирования и блоком принятия решений, ноутбука с интерактивным программным обеспечением фантома и планшета с интерфейсом управления для хирурга, позволяющим визуализировать неврологический статус моделируемого пациента.

Для визуализации анатомии головного мозга человека, наведения стереотаксического инструмента на целевые точки, а также процесса вживления электродов в глубинный структуры мозга человека с целью их дальнейшей электростимуляции был использован VTK (Visualization Toolkit).

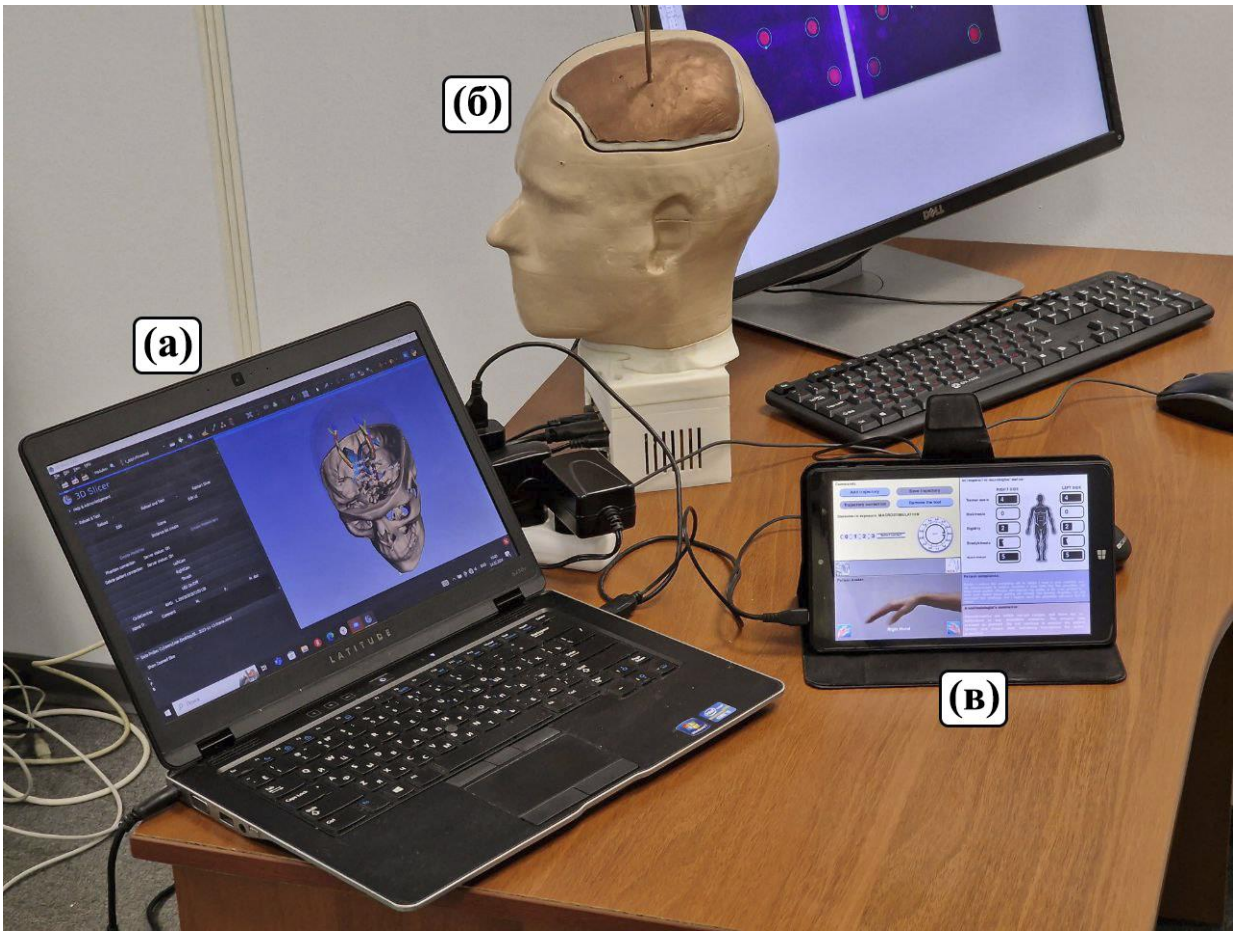


Рис. 1. Архитектура устройств сетевого взаимодействия: рабочее место для визуализации проведения операции; (б) фантом головы с системой бесконтактной оценки позиционирование инструмента; (в) интерфейс взаимодействия с фантомом

Описание технологии

VTK – это открытая кроссплатформенная программа для трехмерного моделирования, обработки изображений и прикладной визуализации, созданная компанией Kitware. VTK продолжает активно разрабатываться и на данный момент уже поддерживает различные алгоритмы визуализации, включая скалярные, векторные, тензорные, текстурные и объемные методы. Также в нем реализованы передовые методы моделирования, такие как неявное моделирование, уменьшение полигонов, сглаживание сетки, вырезание, контурирование и триангуляция Делоне [4]. VTK применяется для визуализации набора данных, относящихся к структурному анализу, гидродинамике, астрофизике и климатологии, а также для анализа и визуализации медицинских изображений.

Интеграция VTK

Изначально для визуализации проведения операции был разработан модуль в 3D Slicer – это бесплатное программное обеспечение для визуализации, обработки, сегментации, регистрации и анализа медицинских, биомедицинских и других трехмерных изображений или объектов, для этих целей данный программный пакет использует VTK [5]. Созданный модуль получал информацию об инструменте, уже пересчитанную самим фантомом для дальнейшего изменения позиции модели стереотаксической иглы на MRML (Medical Reality Modeling Language) сцене. В последствии на разработанное ПО был получен патент [6].

Однако с дальнейшим изменением в архитектуре созданного аппаратно-программного комплекса было принято оставить в ней только фантом головы и планшет с интерфейсом взаимодействия с самим фантомом. Именно поэтому с использованием VTK был разработан отдельный модуль для планшета нейрохирурга с визуализацией перемещения инструмента внутри головного мозга человека, а также с различными функциями позволяющими управлять VTK сценой. На рисунке 2 изображен пример работы модуля.

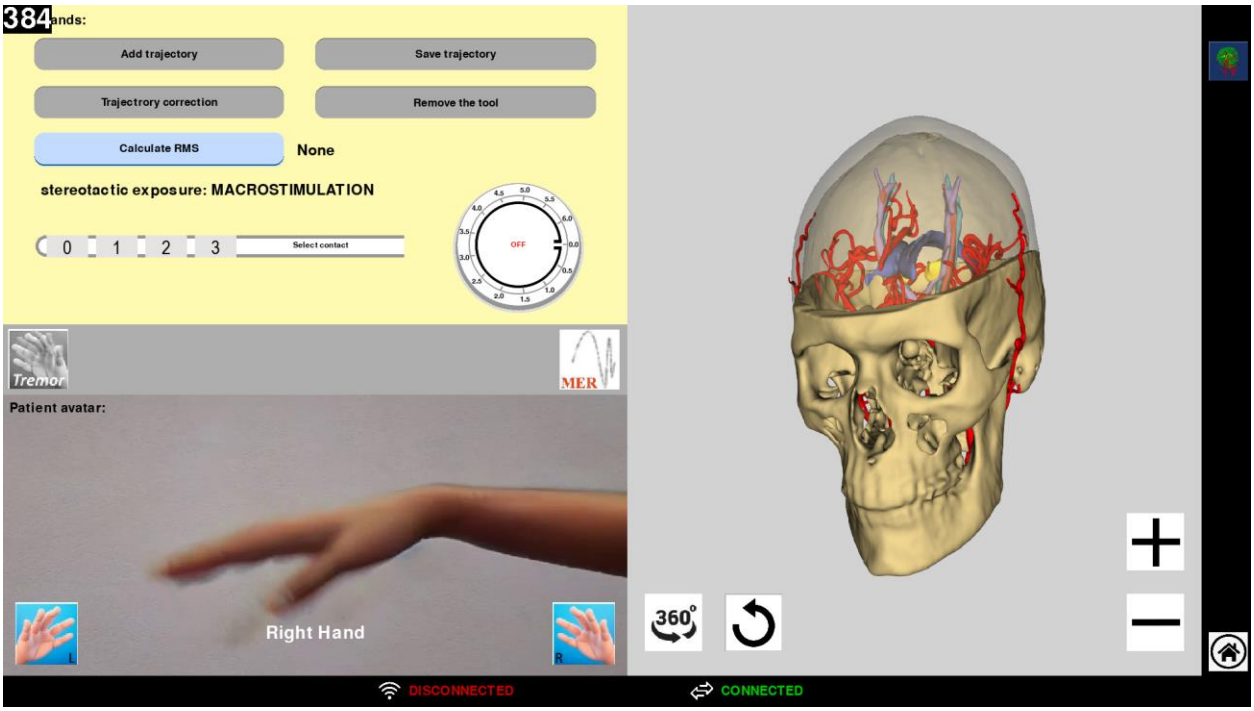


Рис. 2. Интерфейс нейрохирурга с визуализацией анатомии головного мозга человека.

Помимо этого, из разработанного модуля 3D Slicer были перенесены функции стереотаксических воздействий инструмента для отображения радиуса макростимуляции на конце стереотаксической иглы и дальнейшего вычисления лечебного эффекта.

Заключение

В работе был продемонстрирован программно-аппаратный комплекс с интеграцией VTK, что позволило осуществить визуализацию операции, проводимой на фантоме. При этом изменение архитектуры данного тренажера приблизило его к полупромышленному типу, для дальнейшего проведения функциональных «клинических» испытаний.

В дальнейшем при добавлении новых стереотаксических задач планируется добавить соответствующие модели анатомии головного мозга, а также создать систему для визуализации траектории перемещения инструмента во время проведения операции.

Список используемых источников

1. Блаженко А. Н., Лысых Е. Г., Архипов О. И., Муханов М. Л. Возможности симуляционного обучения в травматологии и ортопедии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 4–1. С. 59–60.
2. Švaco M, Stiperski I, Dlaka D, Šuligoj F, Jerbic B, Chudy D and Raguž M. Stereotactic Neuro-Navigation Phantom Designs: A Systematic Review. Front. Neurorobot. 2020. 14:549603. DOI: 10.3389/fnbot.2020.549603.

3. Песков В. А., Холявин А. И. Пат. RU2790761C1 Российская Федерация; Интерактивный медицинский фантом для отработки навыков проведения функциональных стереотаксических вмешательств, заявл. 06.06.22; опубл. 28.02.23.
4. About. VTK, 2024. URL: https://vtk.org/about/ (дата обращения 05.11.2024).
5. Авакян С. А. Применение протокола OPENIGTLINK // «Студенческая весна»: сб. науч. ст. / Под ред. Р. В. Киричка; сост. А. А. Нестеров, А. А. Задорожняя. Спец. вып. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 74–77.
6. Программный модуль интерактивного медицинского фантома для отработки навыков проведения функциональных стереотаксических вмешательств: №2024616140: заявлено 04.03.2024: опубликовано 18.03.2024 / Песков В. А., Авакян С. А.; правообладатель ООО «Стереотаргет». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

Avakyan S., Kukunin D., Peskov V. **VTK INTEGRATION FOR VISUALIZATION OF STEREOTACTIC OPERATION PERFORMED ON THE DEVELOPED NEUROSURGICAL PHANTOM.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The main idea of the work is to integrate VTK into the system of stereotactic medical phantom for visualization of the performed neurosurgical operation. At the same time, the work presents the change of the visualization system after changing the architecture of the developed hardware-software complex.

Key words: neurosurgical phantom, head phantom, VTK, 3D visualization, stereotactic.

УДК 004.728.3
ГРНТИ 49.03.05

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ КАДРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ CCSDS

З. Д. Бабанов, Д. С. Кукунин, С. О. Максименко
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе рассмотрены проблемы синхронизации кадра и определения сверточных кодов в протоколах CCSDS. Основываясь на корреляции закодированных последовательностей, был разработан метод общей синхронизации кадра и определения закодированных фрагментов. Данный метод основан на использовании позиционной корреляции для выявления периодических повторяющихся последовательностей и последующего их сопоставления с характеристикой кодирования сверточного кода. Метод реализует идентификацию кодирования и кадровую синхронизацию при отсутствии информации о начале кодовой последовательности, длине кодового блока и скорости кодирования. Теоретический анализ и моделирование показали, что данный метод может определить скорость кодирования стандарта CCSDS Link Protocol и обеспечить синхронизацию кадров в пределах определенного диапазона частоты ошибок.

синхронизация кадра, сверточные коды, протоколы CCSDS

С развитием мультисервисных информационных сетей типа «Космос-Земля» появилась острая необходимость в едином стандарте передачи данных, что позволило бы эффективнее использовать спутниковые данные. Именно поэтому стандарты, представляемые *CCSDS,* становятся важным объектом исследований, а методы определения протоколов *CCSDS* – важной частью цепи обработки данных.

На данный момент уже совершены крупные шаги в сторону эффективного определения сверточных кодов на приемниках, благодаря изменению и адаптации сигнала прямо на передатчике. При этом, существует всего два основных метода для синхронизации кадра и определения кодов на передатчиках, располагающиеся на физическом уровне [1–3] и канальном уровне [4, 5].

Сторонние работы реализуют определение сверточного кода, но имеют существенные недостатки. Так, в работе [6], при наличии предварительных данных, код может быть определен по усеченному проверочному вектору. Однако время выполнения такого алгоритма высоко из-за однобитового шага проверки и смещения. Помимо этого, данный метод определения опирается на

явное различие в числе ‘0’ и ‘1’ в бинарных данных, что не может гарантироваться в реальном применении.

Основным сверточным кодом в стандартах *CCSDS* является код с характеристикой (7, ½), кодирующими векторами являются $G1 = 1111001$ и $G2 = 1011011$. Начиная со скорости кодирования ½, другие рекомендованные *CCSDS* решетчатые коды получаются по установленным характеристикам [6] и имеют скорости кодирования 2/3, ¾, 5/6, 7/8.

Сверточный кодировщик скорости $r = 1/n$ представляет собой линейный конечный автомат с одним бинарным входом, n выходами и m-ступенчатым регистром сдвига, где m – память кодировщика. Длина K сверточного кода определяется как $K = m + 1$, а сам код имеет характеристику $(K, 1/n)$. Текущий выход сверточного кодировщика зависит только от предыдущих m выходов [7]. Если длина некоторой входной бинарной последовательности I характеризуется как L и больше, чем m, то при подаче на вход кодировщика характеристики $(K, 1/n)$, выход всегда будет содержать определенную последовательность бит. Длина данной последовательности определяется как $(L - m) * 2$.

В стандарте *CCSDS* предписано, что маркер синхронизации (*ASM*), использующийся со сверточным кодом, должен быть 32 битной последовательностью равной ‘*0x1acffc1d*’. Кодовая длина такого маркера синхронизации при использовании кодировщика (7, ½) – 64 бита, включая 52 бита установленной последовательности, начиная с 13-го бита. Заранее установленные последовательности для каждой скорости кодирования решетчатых кодов указаны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Заранее установленные последовательности маркеров синхронизации

r	Битовая последовательности маркера синхронизации	Длина
1/2	11010100100111000010010011111111001001101000011010 11	52
2/3	1110101011100000101111110000101000101 01	39
3/4	1110000011001010111111010101001 1101	35
5/6	101010110010101111100010001 1101	31
7/8	10110001000101111100110001001	29

Представленный метод определения устойчивой установленной последовательности, совмещенный с корреляцией со сверточным кодом, может выполнять как синхронизацию кадра, так и определение скорости кодирования. Данный метод состоит из 4 шагов: загрузка данных; использование алгоритма определения “вслепую” [8] для определения устойчивых последовательностей; получение набора всех устойчивых последовательностей F и его сопо-

ставление с заранее установленными последовательностями; в случае нахождения совпадения будут определены характеристика входного кода и информация о синхронизации кадра, в случае неудачи алгоритм повторяется до конца данных и может быть завершен без получения информации.

Входные данные группируются и подвергаются выкалыванию согласно установленным диаграммам [6]. Набор размерностей бинарных групп входных данных зависит от скорости кодирования и определяется как: $b = 4$, при $r = 2/3$; $b = 6$, при $r =$ ¾, $b = 10$, при $r = 5/6$, $b = 14$, при $r = 7/8$. Вид установленной последовательности зависит от длины L. Когда r равен ½ или $2/3$, установленная последовательность константна, при больших скоростях кодирования последовательности будут изменяться при изменении длины кода.

Эффективность представленного метода оценивается как величина ложных обнаружений и величина пропусков обнаружения. Обозначим величину битовой ошибки (BER) как P_E, а длину установленной последовательности как L. Тогда величина ложных обнаружений: $P_X = (1/2)^L$, величина безошибочных обнаружений $P_R = (1 - P_E)^L$, а величина пропущенных обнаружений: $P_L = 1 - P_R$.

В соответствии с Таблицей 1, максимальное значение P_X равно 10^{-9}, что пренебрежимо мало. При воздействии случайного шума канала, P_L может достигать значений показанных в Таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Величина пропущенных обнаружений установленной последовательности при различных величинах битовой ошибки канала

r	Величина пропущенных обнаружений (PL)			
	PE = 10-5	PE = 10-4	PE = 10-3	PE = 10-2
1/2	5.2 * 10-4	0.0052	0.051	0.41
2/3	3.9 * 10-4	0.0039	0.038	0.32
3/4	3.5 * 10-4	0.0035	0.034	0.30
5/6	3.1 * 10-4	0.0031	0.031	0.27
7/8	2.9 * 10-4	0.0029	0.029	0.25

Согласно Таблице 2, при величине $P_E \leq 10^{-3}$, значение $P_L \leq 5.2\ \%$ для любой скорости кодирования. Выбрав подходящие пороговые значения для принятия решений, метод определения эффективен для установленных последовательностей. Очевидно, что существуют пять различных P_R с одинаковым значением P_E, что позволяет использовать $\lambda = min(P_R)$ как значение для ана-

лиза кодового блока при величине битовой ошибке меньшей чем соответствующий P_E.

При моделировании длина блока данных перед кодированием составила 840 бит, при этом первые 32 бита – это маркер обнаружения. Следующим шагом данные кодируются, при моделировании были взяты 1000 закодированных ьит для каждой скорости кодирования. Пороговые значения определены как: $k = 16, \lambda = min(P_R)$, Минимальное количество появлений последовательности = $\lambda * L / 2056$. На Рисунке 1 показаны величины определения P_D при $10^{-5} \leq P_E \leq 10^{-1}$ для различных скоростей кодирования.

Как видно из Рисунка 1, при $P_E \leq 10^{-3}$, $P_D > 95\ \%$ для всех скоростей кодирования, а при $P_E \leq 10^{-2}$, $P_D > 50\ \%$ для всех скоростей кодирования. При этом, при некоторых значениях величины битовой ошибки, величина определения увеличивается при увеличении скорости кодирования. Это соответствует теоретическим значениям показанным в таблице 2.

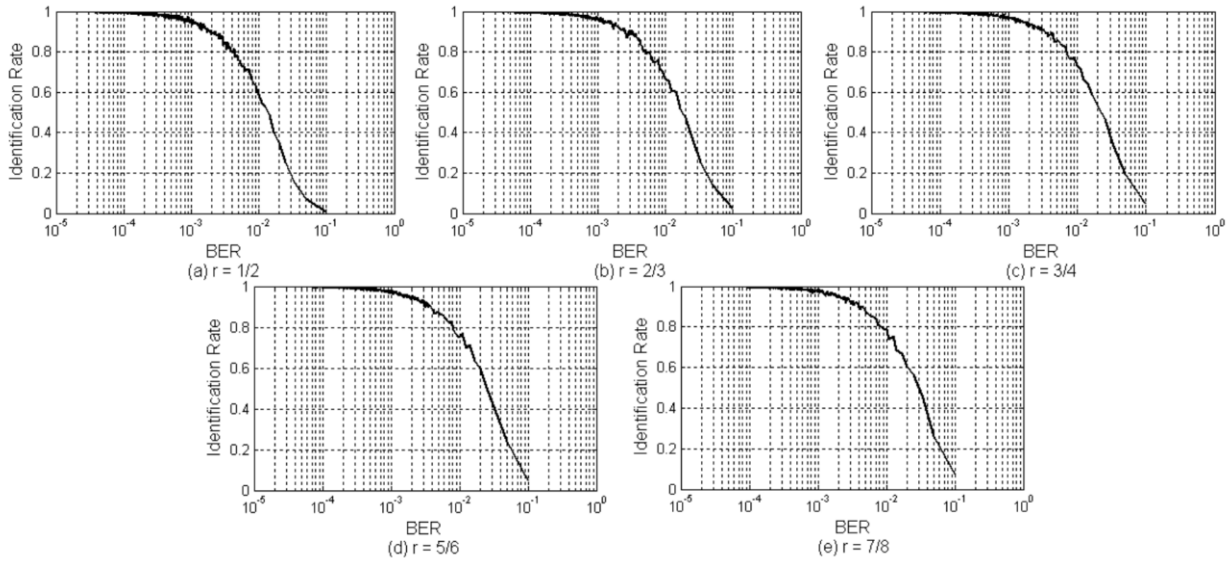


Рис. 1. Величина определения сверточного кода при различных скоростях кодирования

При моделировании синхронизации кадра было взято 100 закодированных кадров при значении $P_E \leq 10^{-3}$. Было проведено сравнение временных затрат устоявшегося метода из литературы [9] и представленного метода. Для каждой скорости кодирования моделирование было проведено 1000 раз при различных входных данных и посчитаны средние временные затраты. Пороговые значения определены как: $k = 16, \lambda = min(P_R)$, Минимальное количество появлений последовательности = $\lambda * L / 2056$. Результаты данного моделирования представлены на рисунке 2.

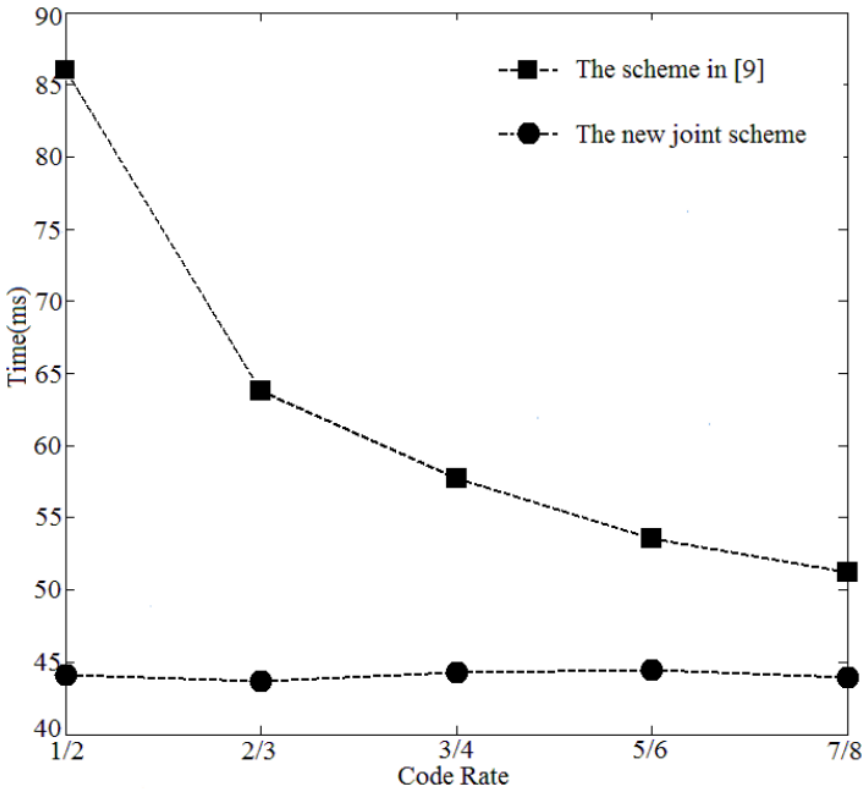


Рис. 2. Сравнение методов по временным затратам

Как видно из рисунка 2, в сравнении с методом [9], представленный метод решает поставленную задачу синхронизации кадра при меньшей постоянной величине временных затрат при равной величине битовой ошибки.

В данной работе представлен метод совместного определения сверточного кода и синхронизации кадра для канального уровня протоколов CCSDS. Для снижения вычислительной сложности определения сверточного кода и синхронизации кадра применяются введенные правила корреляции. Даже при худшем случае временные затраты на определение сверточного кода могут быть сокращены вдвое с помощью предложенного метода.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Moosavi R., Larsson E. A fast scheme for blind identification of channel codes // Proceedings IEEE Global Telecommunications Conference, 2011. PP. 1–5.
2. Xia T., Wu H. C., Chang S. Y. Joint Blind Frame Synchronization and Encoder Identification for LDPC Codes // IEEE ICC 2014 Wireless Communications Symposium? 2014. PP. 5221–5226.

3. Marazin M., Gautier R., Burel G. Blind recovery of k/n rate convolutional encoder in a noisy environment // Journal on Wireless Communication and Networks, 2011. PP. 1–9.
4. Liu J., Wang X. J., Zhou X. Y. Blind recognition of convolutional coding based on walsh-hadamard transform // Journal of Electronics & Information Technology, 2010. № 32 (4). PP. 884–887.
5. Wang F. H., Huang Z. T. A method for blind recognition of convolution code based on euclidean algorithm // IEEE Inter Conference on Wireless Com Networking and Mobile Computing. Shanghai, China, 2007. PP. 1414–1417.
6. TM Synchronization and Channel Coding. 131.0-B-2. - CCSDS, 2011.
7. Wang X. M., Xiao G. Z. Error Correcting Code: Theory and Method. Xi'an University Press, 2006.
8. Ling C. Research on Blind Identification Algorithm of Space Protocol: дис. канд. The University of Chinese Academy of Sciences, 2013.
9. Li X. Y. Key Technologies of Protocol Identification for CCSDS Data Link Layer: дис. Ph. D The University of Chinese Academy of Sciences, 2011.

Babanov Z., Kukunin D., Maksimenko S. **APPLICATION OF CODE SEQUENCE CORRECTION FOR FRAME SYNCHRONIZATION AND IDENTIFICATION OF CONVOLUTIONAL CCSDS CODES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this paper the methods of frame synchronization and detection of convolutional codes in CCSDS protocols are considered. Based on the correlation of coded sequences, a method for joint frame synchronization and detection of coded fragments has been developed. This method is based on the use of positional correlation to identify recurrence sequences and their subsequent correlation with the convolutional code characteristics. The method implements code identification and frame synchronization in the absence of information about the beginning of the encoded sequence, the length of the code block and the encoding rate. Theoretical analysis and simulation showed that this method can identify the coding rate of CCSDS Link Protocol standard and provide frame synchronization within a certain error rate range.

Key words: frame synchronization, convolutional coding, CCSDS protocols.

УДК 004.728.4
ГРНТИ 49.33.35

МЕЖПАКЕТНОЕ КОДИРОВАНИЕ РИДА-СОЛОМОНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОТОКА МЕДИАДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

З. Д. Бабанов, Д. С. Кукунин, С. О. Максименко
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе предлагается метод использования упреждающего восстановления ошибок на основе кодов Рида-Соломона, рассчитанный на использование с RTP-пакетами. Данный метод основан на нестандартном использовании структуры закодированных слов в рамках нескольких RTP-пакетов, что позволяет улучшить способность к восстановлению пачек ошибок. В работе было проведено исследование производительности процедур кодирования/декодирования. Предварительный теоретический анализ позволил выявить преимущество по времени кодирования/декодирования за счет использования меньших размерностей полей Галуа. В рамках экспериментов с помощью симуляций проводных и беспроводных каналов были выявлены приближенные к реальности характеристики представленного метода.

RTP, FEC, коды Рида-Соломона, беспроводные сети, передача медиаданных

VoIP, *IPTV* и видеоконференции в данный момент являются наиболее популярными аудиовизуальными сервисами реального времени, построенными на основе пакетных сетей и получившими широкое распространение в беспроводных сетях [1]. В рамках передачи мультимедийных данных наиболее применимым протоколом является *RTP*, *RFC 3550* [2], являющийся протоколом прикладного уровня и инкапсулированный в *UDP*.

Так как ни *RTP*, ни *UDP* не имеют системы контроля и коррекции ошибок на пакетном уровне, распространено применение дополнительных механизмов, повышающих устойчивость к ошибкам. *RFC 5109* [3] предлагает использование Упреждающего Восстановления Ошибок *(FEC)* [4]. *FEC* коды генерируют избыточность, на основе которой утерянные данные могут быть восстановлены. Из всех методов контроля ошибок, *FEC* коды используют чаще всего, ведь при их применении не возникает дополнительной задержки [5].

Исходя из *RFC 5109,* возможна генерация потока данных, уже включающая в себя применение *FEC* кодов [6]. В данной работе будут рассмотрены коды Рида-Соломона, в силу их высокой применимости в зашумленных каналах и при множественных потерях. Стоит отметить, что при использовании кодов Рида-Соломона на основе полей Галуа больших размерностей, характерна высокая вычислительная сложность [4, 6]. Представленный метод межпакетного кодирования основан на известном подходе к перемежению [5, 6],

который позволяет использование более чем одного *RTP*-пакета для хранения закодированной последовательности.

В рамках сторонних работ другие авторы уже принимали попытки адаптации кодов Рида-Соломона, так, в работе [7] коды Рида-Соломона применяются для передачи видео реального времени и используются ортогонально для k пакетов (рис. 1), в результате чего генерируются $n - k$ избыточных пакетов. В работе [6] проведен анализ методов *FEC* для приложений реального времени, включая коды Рида-Соломона.

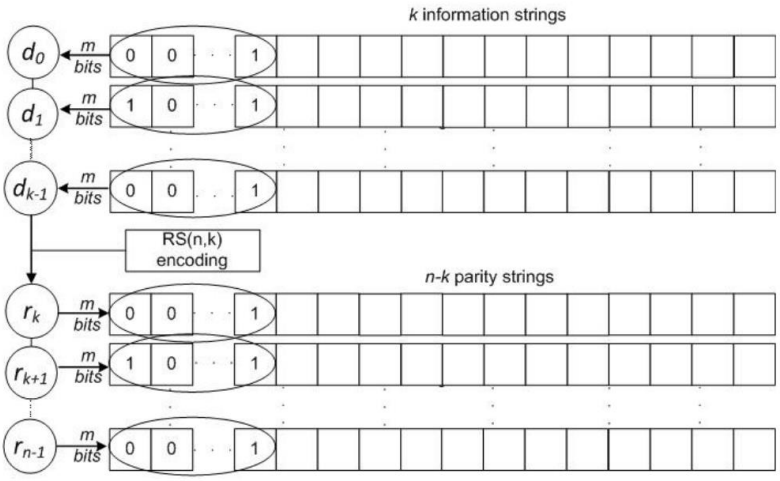


Рис. 1. Генерация закодированных элементов при обычном (внутри пакетном) кодировании

Главная идея данной работы состоит в размещении закодированных элементов между несколькими строками информации, как показано на рис. 2.

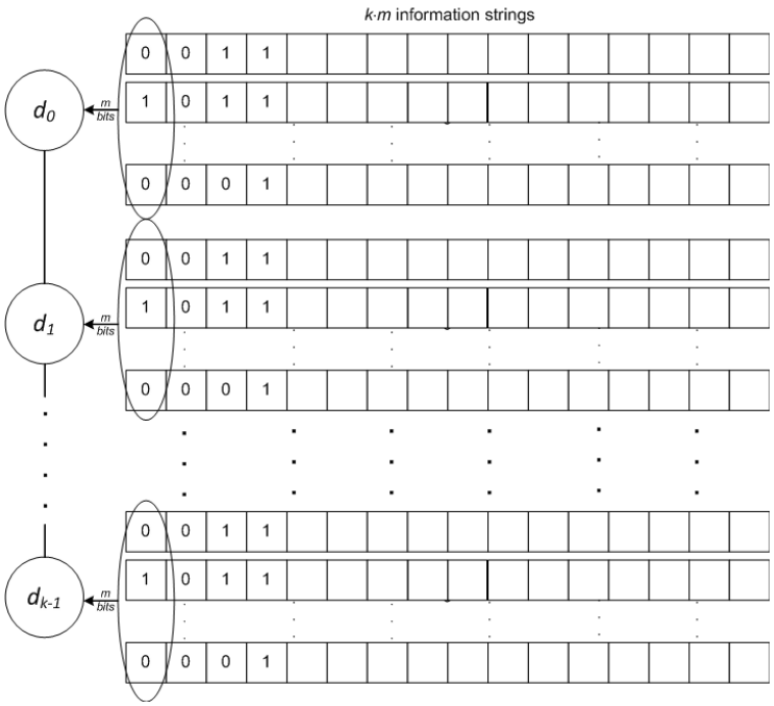


Рис. 2. Генерация закодированных элементов при межпакетном кодировании

Для данной цели рассматриваются $k \cdot m$ *RTP*-пакетов в виде матрицы строк информации. В рамках данной матрицы m бит закодированного элемента будут распределены между несколькими строками матрицы. После окончания генерации целого фрагмента $(d_0, \ldots, d_{k-1})$, происходит кодирование с помощью кода Рида-Соломона с характеристикой (m, n, k), в результате чего будет получен закодированный фрагмент длиной в n элементов. Первые k элементов представляют изначальные данные, а оставшиеся $n - k$ элементов являются избыточностью, как показано на рис. 3.

Данный метод предоставляет большую способность к восстановлению пачек ошибок, исходя из факта что потеря отдельного пакета не отразится на всей последовательности, затрагивая лишь несколько бит. Способность к восстановлению данного метода может достигать $(n - k) * m$ символов в лучшем случае и $(n - k) * m - m + 1$ в частных случаях. Более того, данный метод может достигать той же производительности, что и классический подход при меньших значениях m, исходя из меньшей вычислительной сложности.

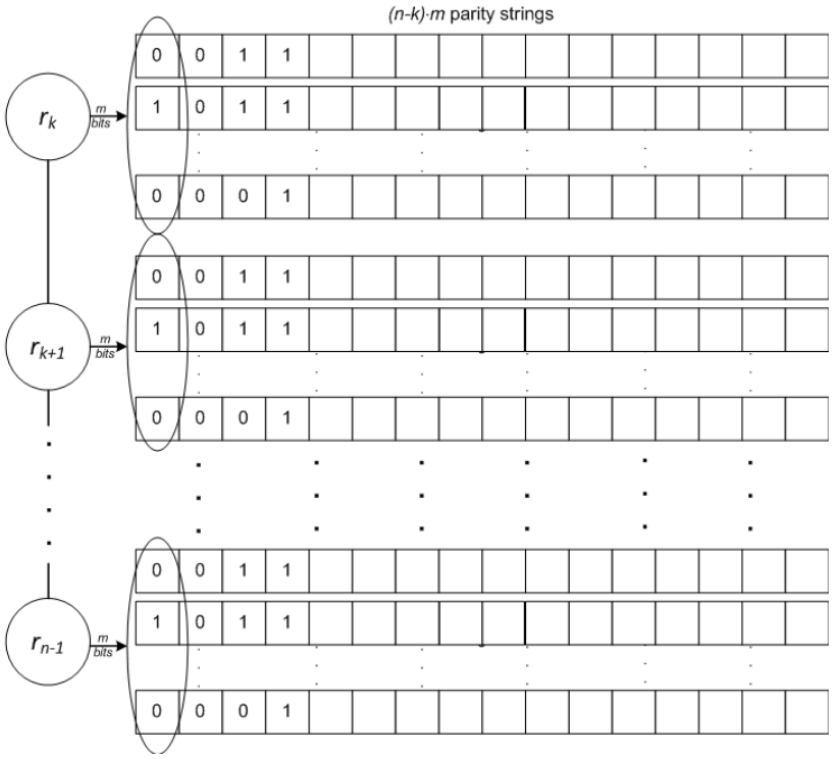


Рис. 3. Генерация строки с избыточностью в рамках межпакетного кодирования

Для представленного систематического кода характеристики (n, k), каждая последовательность данных может быть использована $n - k$ раз для генерации $n - k$ избыточных элементов. Исходя из [8], время на генерацию отдельного элемента зависит от размера последовательности k, а время декодирования отдельной последовательности зависит от количества потерянных элементов. Таким образом, параметром для оценки эффективности в рамках теоретических расчетов будет время кодирования.

На рис. 4 видно, что при установленной способности к восстановлению данных, время кодирования межпакетного метода ниже, чем при классическом подходе. Это происходит из-за меньшего значения m нужного для конкретного случая.

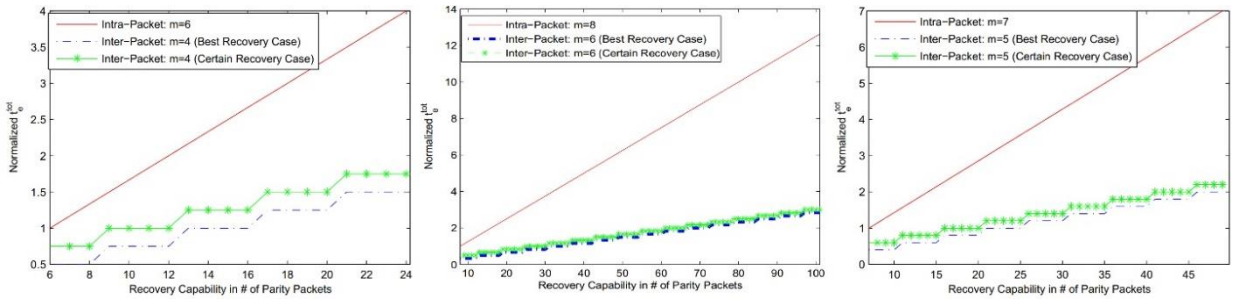


Рис. 4. Время кодирования видео для двух методов

Способность к восстановлению для межпакетного кодирования зависит во многом от количества потерянных пакетов в целом, ведь каждый пакет несет лишь часть кодовой последовательности. Из чего следует, что возможно посчитать нижнюю границу, являющуюся максимальной последовательной длиной потерь пакетов, которую межпакетное кодирование может восстановить. В случае если начало потерь идеально совпадает с началом элемента, что является лучшим случаем, максимальная длина потерь варьируется от $(n - k) * m - m + 1$ элементов в частных случаях до $(n - k) * m$ в лучшем случае.

Для получения данных об эффективности представленного метода в рамках телекоммуникационных систем, было проведено сравнение двух различных кодов Рида-Соломона в рамках симуляции. Характеристика m для обоих методов была выставлена на значение $m = 4$ для межпакетного кодирования и $m = 6$ для классического подхода. Кроме того, скорость кодирования была определена как $k/n = 40\ \%$ для обоих методов.

Было проведено моделирование передачи *RTP*-медиаданных совместно с соответствующим *RTP-FEC* потоком. Выходным сигналом данного моделирования является видеофайл формата *MPEG2-TS*. Канал передачи моделируется с помощью упрошенной модели Гилберта-Эллиота [9].

Рисунок 5 показывает отношение восстановленных пакетов к количеству потерянных пакетов. Не сложно заметить, что межпакетное кодирование показывает результаты, схожие с классическим подходом. Более того, результаты межпакетного кодирования приближаются к результатам классического подхода по мере увеличения средней длины пакета.

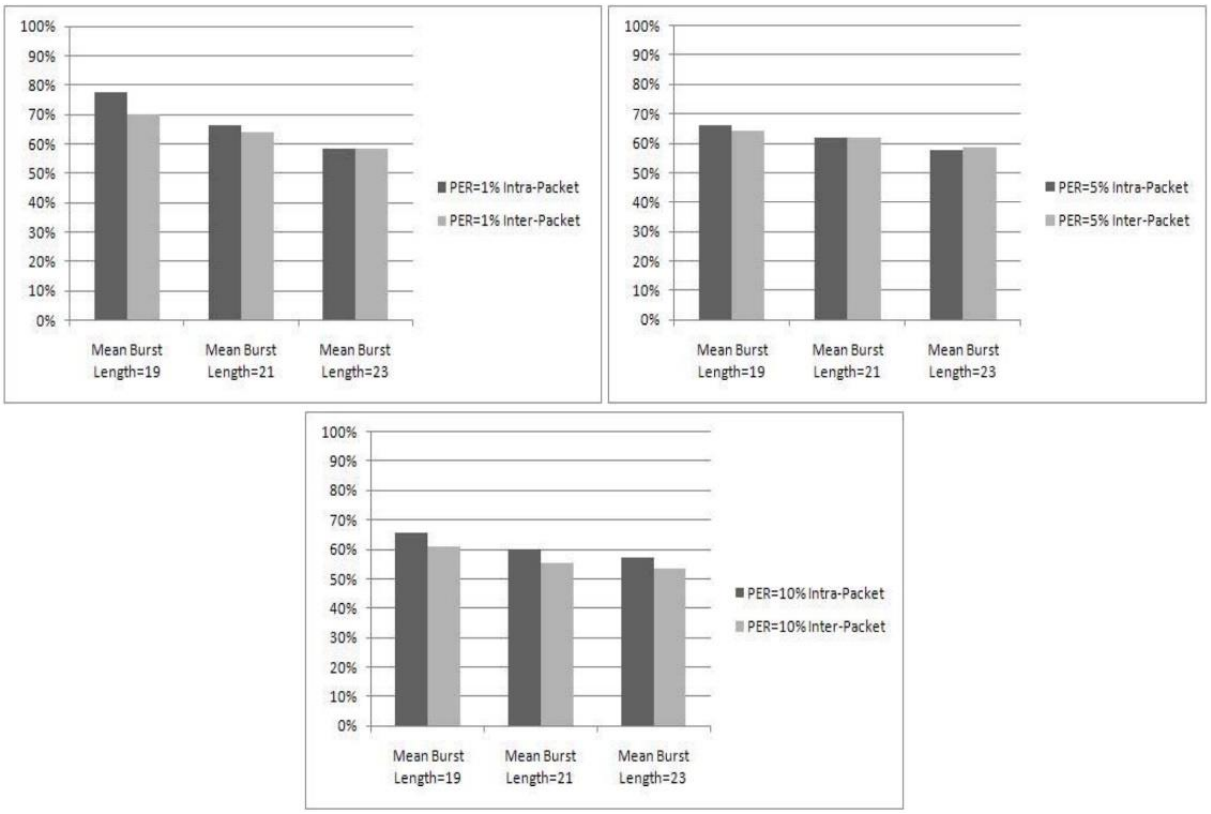


Рис. 5. Количество восстановленных пакетов для различных моделей канала: (a) PER 1 %, (b) PER 5 %, (c) PER 10 %

В данной работе был представлен метод повышения устойчивости данных к ошибкам в рамках передачи *RTP*-медиаданных с использованием кодов Рида-Соломона. Данный метод подразумевает размещение кодовых последовательностей в нескольких *RTP*-пакетах. Был проведен теоретический анализ производительности относительно сложности вычислений, показавший возможность использования меньших размерностей полей Галуа в рамках представленного подхода. Данный результат был подтвержден проведенным моделированием беспроводного канала при передаче *RTP*-медиа.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Rao K. R., Bojkovic Z. S., Milovanovic D. A. Multimedia Communication Systems: Techniques, Standards, and Networks. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2002.
2. Schulzrinne H., Casner S., Frederick R., Jacobson V. RTP: A transport protocol for real-time applications // RFC 3550 Tech Report. 2003.
3. Li A. RTP payload format for generic forward error correction // RFC 5109 Tech Report. 2007.
4. Nafaa A., Taleb T., Murphy L. Forward error correction strategies for media streaming over wireless networks // IEEE Communications Magazine. 2008. №46 (1). PP. 72–79.

5. Lamoriniere C., Nafaa A., Murphy L., Dynamic switching between adaptive FEC protocols for reliable multi-source streaming // Global Telecommunications Conference, 2009. Honolulu, HI, USA: GLOBECOM, 2009.
6. Matsuzono K., Detchart J., Cunche M., Roca V., Asaeda H. Performance analysis of a high-performance real-time application with several al-fec schemes // IEEE 35th Conference on Local Computer Networks (LCN), 2010. C. 1–7.
7. Johanson M. Adaptive forward error correction for realtime internet video // Proceedings of the 13th Packet Video Workshop. Nantes, France: Citeseer, 2003.
8. Rizzo L. Effective erasure codes for reliable computer communication protocols // ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1997. №27 (2). C. 24–36.
9. Network model for evaluating multimedia transmission performance over internet protocol // ITU-T Recommendation G.1050 Tech Report. 2007.

Babanov Z., Kukunin D., Maksimenko S. **REED-SOLOMON INTER-PACKET CODING FOR REAL-TIME MEDIA STREAM PROTECTION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents a forward error correction approach based on Reed-Solomon codes designed for use with RTP packets. This method is based on the non-conventional use of the coded word structure within multiple RTP packets, thus enhancing error recovery capability. This work conducted an analysis of the encoding/decoding performance using the presented method. Preliminary theoretical analysis revealed an advantage in coding/decoding time due to the use of lower dimensional Galois fields. Experimental simulations of wired and wireless channels revealed the approximate performance of the presented method.

Key words: multimedia communications, wireless networks, RTP, FEC, Reed-Solomon codes.

УДК 621.391.833.4
ГРНТИ 49.44.31

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК В СЕТЯХ OTN/DWDM

Н. С. Баталин, Д. С. Кукунин, Г. А. Переверзева, С. В. Подайко
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рост количества новых услуг, таких как облачные вычисления, потоковое видео и социальные сети, за последние несколько лет значительно увеличил интернет-трафик. Чтобы справиться с этим ростом, многим операторам связи приходится увеличивать скорости передачи данных в своих оптических сетях. Поддержание качества обслуживания в таких сетях стимулирует разработку и использование передовых методов прямой коррекции ошибок.

FEC, прямое исправление ошибок, OTN

Введение

Для обеспечения корректного приема оптического сингала, волоконно-оптические линии связи требуют постоянного соотношения сигнал/шум. С ростом пропускной способности оптических интерфейсов, растут требования к этому соотношению, что сокращает длину оптического канала без регенерации оптического сигнала. В особенности это касается Российской Федерации с ее огромной территорией, низкой плотностью населения и местами суровыми климатическими условиями, что затрудняет процессы внедрения и эксплуатации оптических линий связи [1]. Применение технологии FEC (аббр. от англ. Forward Error Correction, прямое исправление ошибок) позволяет увеличить длину ВОЛС до следующей точки регенерации за счет снижения количества битовых ошибок, возникающих при передаче, в следствии чего строительство оптической трассы становится более экономичным.

Возникновение ошибок в процессе передачи

Дисперсионные эффекты в оптическом волокне приводят к уширению импульса на его выходе, что может привести к перекрытию импульсов и как следствие межсимвольной интерференции и появлению ошибок.

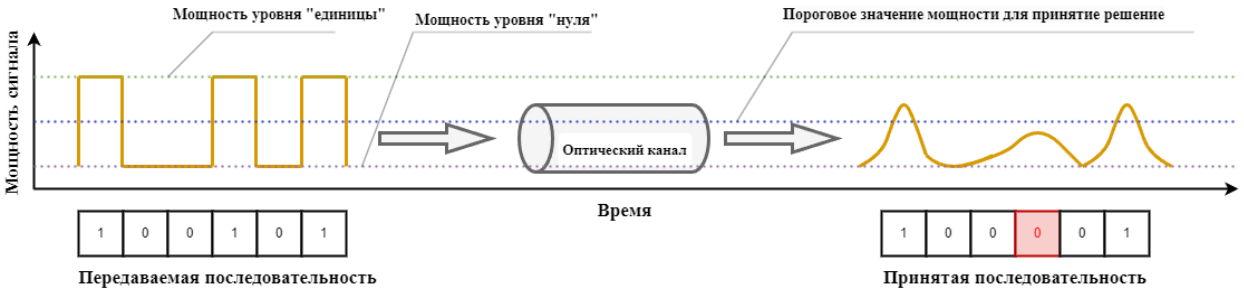


Рис. 1. Процедура передачи оптических импульсов

На рисунке 1 представлен пример передачи импульсного сигнала в оптической линии связи. В результате дисперсии и затухания сигнала в процессе его прохождения по оптическому волокну, мощность импульсов приближается к пороговому значению, из-за чего приемник распознает изначально переданную «единицу», как «ноль».

Помимо влияния дисперсии, причинами возникновения ошибок на приеме также могут стать шумы усиленного спонтанного излучения (ASE), внесенные в линию оптическими усилителями и нелинейные искажения [2].

При прохождении сигнала по оптическому волокну могут возникать как единичные, так и групповые ошибки (рис. 2). С единичными ошибками справятся большинство помехоустойчивых кодов, что касается исправления группы ошибок, то данная задача нетривиальная и требует более сложных методов кодирования.

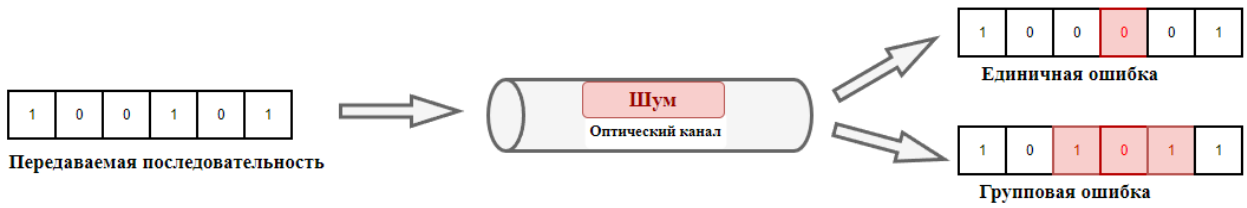


Рис. 2. Возможные варианты ошибок

Эволюция поколений FEC

Наиболее важными критериями эффективности методов FEC являются: корректирующие способности выбранных кодов, избыточность и чистый выигрыш кодирования - NGC (Net Coding Gain), что соответствует улучшение требований к OSNR, обеспечиваемое сигналом с FEC по сравнению с сигналом без FEC.

В общем случае эксплуатация FEC подразумевает использование кодирующего устройства, который добавляет к поступающей на его вход информационной последовательности длины k элементов проверочные символы в ко-

личестве r по правилам выбранного метода кодирования [3]. Полученная на выходе кодовая комбинация будет иметь длину $n = k + r$ (рис. 3). На основании полученной избыточности принимающая сторона сможет обнаружить и исправить потенциальную ошибку.

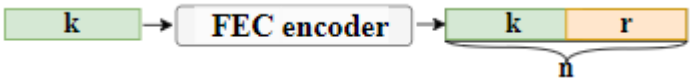


Рис. 3. Процедура формирование кодового слова

Также FEC можно различать по методам детектирования: жестком решении (HD) и мягком решении (SD). Разница между HD-FEC и SD-FEC заключается в количестве входных битов на символ, необходимых для декодирования. Детектирование HD-FEC определяет соответствие битов на основе отношения входящего сигнала к пороговому, как это показано на рисунке 1. В FEC с мягким решением возможное значение бита делится на несколько уровней от 0 до 1 [4]. Код использует эти данные для определения вероятности того, что бит будет 0 или 1. Такой подход может дать выигрыш кодирования примерно на 3 дБ выше, чем FEC с жестким решением.

К первому поколению относится HD-FEC технология с блочными кодами, такими как, код Рида-Соломона или БЧХ. Первым стандартизованным кодом для OTN является код Рида-Соломона (255,239), определенный в рекомендациях ITU-T G.709 и G.975 (1996) [5]. Код был рекомендован для использования в оптической подводной связи. При избыточности 6.2 % этот код дает выигрыш кодирования около 6дБ. FEC первого поколения стал активно применяться на интерфейсах со скоростями до 10 Гбит/с.

Появление второго поколения FEC связано с ростом скорости на интерфейсах и потребности в увеличении выигрыша в кодировании. Одним из методов увеличения NCG, является применение каскадных кодов.

Принцип построения каскадных кодов заключается в последовательном кодировании данных сначала внешним (n_1, k_1) кодом, а затем внутренним (n_2, k_2) кодом (рис.4). Таким образом, общая длина кодового слова будет равна $n_{\text{общ}} = n_1 * n_2$, а расстояние Хэмминга $d_{\min} = d_{\min 1} * d_{\min 2}$.



Рис. 4. Пример системы передачи данных с каскадным кодированием

Так, в рекомендации ITU-T G.975.1 (2004) описаны 9 методов, среди которых можно выделить следующие варианты каскадного кодирования: внешний код БЧХ (3860, 3824) и внутренний код БЧХ (2040, 1930); внешний код РС (1023, 1007) и внутренний код РС (2047, 1952). Методы, предложенные во втором поколение, позволяют получить выигрыш в кодировании более 8дБ и могут применятся в каналах до 40Гбит/с.

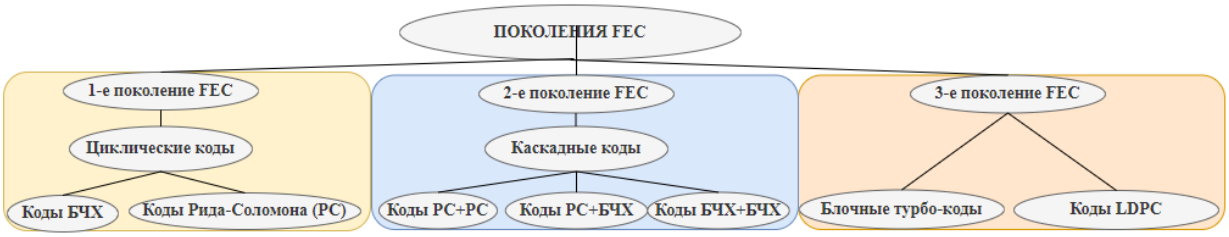


Рис.5. Поколения FEC

В первых двух поколениях использовался HD-FEC. Это во многом связано с более простой реализации данного метода детектирования и как следствие, меньшего времени на обработку. Третье поколение характеризуется внедрением технологии SD-FEC и используется в оптических каналах связи 100Гбит/с. При использовании SD-FEC размер избыточных данных увеличивается до 20 %, при этом достигая выигрыш в 9,5-10 дБ. В качестве методов FEC в третьем поколении предполагается использование блочных турбо-кодов и кодов LDPC. Особенности каждого поколения представлены на рисунке 5.

Заключение

В статье рассмотрены методы технологии FEC и их эволюция в оптических сетях OTN/DWDM. Помимо рассмотренных методов, рассмотренных в статье, существуют также проприетарные, разработанные коммерческими организациями. Задачей усовершенствования технологии FEC является достижение как можно большего значения NCG, что способствует экономической выгоде при строительстве оптической трассы.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Листвин В. Н., Наний О. Е., Плоцкий А. Ю., Трещиков В. Н. Отечественные DWDM-системы связи для ВОЛС со сверхдлинными пролетами. // Технологии и средства связи, 2012. №2.
2. Жителев А. Е., Конышев В. А., Лукиных С. Н., Наний О. Е., Трещиков В. Н., Убайдуллаев Р. Р. Нелинейные искажения как нелинейный шум в когерентных волоконно-оптических линиях связи. // Квантовая электроника, 2017. 47:12 (2017), 1135–1139.
3. Баталин Н. С., Подайко С. В., Кукунин Д. С. Перспективы систем передачи данных с поддержкой технологии прямого исправления ошибок // Вестник СПбГУТ, 2023. Т. 1. № 1. С. 5.
4. Tzimpragos G., Kachris C., I Djordjevic. B., Cvijetic M., Soudris D., and Tomkos I. A Survey on FEC Codes for 100 G and beyond Optical Networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016. Vol. 18, Issue 1.
5. Коган С. С. Эволюция решений с обнаружением и исправлением ошибок в оптических каналах OTN/DWDM. Часть 2. Эволюция поколений и совместимые алгоритмы FEC // Первая миля, 2023. № 8. С. 52–58.

Batalin N., Kukunin D., Pereverzeva G., Podaiko S. **EVOLUTION OF ERROR CORRECTION METHODS IN OTN/DWDM NETWORKS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The rise of new services such as cloud computing, video streaming and social networking has significantly increased Internet traffic over the past few years. According to this growth, a lot of telecom operators are having to increase data speeds on their fiber networks. Maintaining quality of service in such networks encourages the development and advanced forward error correction techniques usage.

Key words: forward error correction, FEC, OTN.

УДК 004.7
ГРНТИ 49.33.29

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТИ LORAWAN ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В. И. Бобровский, Д. С. Кукунин, Н. В. Сусликов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная работа посвящена организации сети LoRaWAN для выполнения растущих требований Интернета вещей. Рассмотрен сервис, упрощающий организацию подобной сети, а также проанализированы недостатки, выявленные в процессе его использования. Отмечены особенности работы сети LoRaWAN на территории России. Приведен конкретный пример программно-аппаратного комплекса, позволяющего реализовать данную сеть. Преимуществом работы можно считать рекомендации по запуску и настройке сети.

LPWAN, энергоэффективная передача данных, LoRaWAN, большой радиус передачи сигнала, LoRa, The Things Network

Введение

Со стремительным ростом использования Интернета вещей выросла потребность в протоколах организации сети, которые могли бы обеспечить связь на дальних расстояниях в условиях низкого энергопотребления. Одной из таких технологий является набор открытых протоколов LoRaWAN, базирующийся на закрытом протоколе физического уровня LoRa.

LoRa (Long Range) – это метод беспроводной модуляции, основанный на технологии Chirp Spread Spectrum, запатентованный с идентификатором US20140219329A1 компанией Semtech Corp в 2014 году [1]. Название метода модуляции указывает на большой радиус действия радиосигналов. В идеальных условиях сигнал может быть передан более, чем на 10 километров. При этом передатчику будет достаточно малого энергопотребления. Ограничением метода является довольно низкая пропускная способность.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – спецификация, определяющая протокол связи и архитектуру системы. Относится к типу сетей LPWAN (Low-Power Wide-area Network), то есть к энергоэффективным сетям дальнего радиуса действия. С 2021 года официально признана в качестве международного стандарта МСЭ для глобальных сетей с низким энергопотреблением, номер стандарта ITU-T Y.4480 [2].

Типовая архитектура сети LoRaWAN содержит конечные узлы, шлюзы (базовые станции), сервер сети и сервер приложений.

Конечные узлы – это устройства, получающие или формирующие некоторую информацию, предназначенную для дальнейшем передачи в сеть, а также осуществляющие управленческую деятельность. Такими устройствами могут быть: датчики температуры, влажности, утечки газа, стиральная машина, дверной замок и другие. В качестве конечного узла могут выступать такие микроконтроллеры, как: ESP32, Arduino, nRF52 и другие, важно лишь наличие соединения данных микроконтроллеров с приемопередатчиком LoRa. Производством подобных приемопередатчиков занимается владелец патента на данную технологию компания Semtech Corp.

Шлюзы или базовые станции – это устройства, получающие сообщения от конечных узлов и перенаправляющие их к серверу сети (в англоязычной литературе это называется «uplink»), а также получающие сообщения от сервера сети и отправляющие их на конечные узлы (соответственно, «downlink»). Обмен данными между конечными узлами и шлюзами происходит с использованием прямого соединения LoRa. Информационное сообщение между шлюзами и сервером сети осуществляется через стек протоколов TCP/IP.

Шлюзы и конечные узлы должны общаться по согласованному плану частот. Ассоциацией LoRa Alliance для Российской Федерации определен набор частот под общим названием RU864, задействующий частоты с 864 по 870 МГц [3]. Указание верного плана частот важно для учета требований местных регуляторов. Для полосы радиочастот 866-868 МГц ГКРЧ установило ограничение максимальной ЭИМ (эффективной излучаемой мощности) 25 мВт, максимальной спектральной плотности ЭИМ 1000 мВт/МГц, рабочего цикла 1 % или режим LBT (Listen Before Talk – «прослушивание перед вещанием»), при этом указав запрет на использование данных частот в пределах аэропортов (аэродромов). Для диапазона 868,7-869,2 МГц ГКРЧ не ограничило максимальную спектральную плотность ЭИМ, но допустила не более 100 мВт максимальной ЭИМ, 10 % рабочего цикла или режим LBT [4].

Сервер сети обеспечивает управление всей сетью LoRaWAN. В его задачи, среди прочего, входит: проверка подлинности и целостности устройств, устранение повторяющихся uplink, определение целевых шлюзов для полученных downlink.

Сервер приложений является ключевым элементом, взаимодействующим с сервером сети, он выполняет обработку и анализ собранных данных, предоставляет их оператору через пользовательский интерфейс, позволяет формировать downlink к определенному конечному узлу.

Рассмотрим пример аппаратно-программных средств, достаточных для организации простейшей LoRaWAN сети. В качестве конечного узла будет использован модуль ESP32 с приемопередатчиком SX1276 LILYGO TTGO LoRa32 V2.1_1.6. Базовой станцией будет RAK 7289. Для выполнения функций сетевого сервера и сервера приложений будет использован сервис The Things Network.

Базовую станцию необходимо соединить с сервером сети, в рассматриваемом случае с The Things Network. Согласно рекомендациям данного сервиса, для шлюза, расположенного в Российской Федерации, следует использовать европейский кластер, серверы которого располагаются в столице Ирландии – Дублине. После подключения базовая станция начнет отправлять uplink в The Things Network, даже без наличия подключенных конечных узлов.

Далее требуется активировать конечные узлы. Под активацией конечных узлов подразумевают регистрацию узла в сети. Для процесса активации требуется несколько значений. DevEUI – уникальный идентификатор устройства, состоит из 64 бит и определяет устройство глобально. DevAddr – адрес узла, состоит из 32 бит и определяет устройство в рамках текущей сети. DevAddr формируется из идентификатора сети (NwkID) и составного сетевого адреса (NwkAddr). При этом DevAddr может быть не уникален глобально.

Существует два способа активации конечного узла, ABP и OTAA. ABP (Activation By Personalization) – это более простой, но не рекомендуемый способ активации. При данном способе в памяти конечного узла фиксируется значение DevAddr и значения ключей сессии. Это упрощает процесс активации, но вводит несколько ограничений. Второй способ, OTAA (Over-The-Air Activation), позволяет формировать DevAddr динамически, меняя его от сессии к сессии. Это позволяет устройству без внесения изменений в прошивку продолжать функционирование при смене сети и изменять сессионные ключи в случае их утечки, следовательно, предпочтительнее использовать этот метод.

Для активации через OTAA требуется задать в памяти конечного узла три значения: DevEUI, JoinEUI (до спецификации LoRaWAN 1.1 назывался AppEUI) и AppKey. DevEUI может быть сформирован на основе MAC-адреса. JoinEUI – это глобальный уникальный идентификатор приложения, состоит из 64 бит. AppKey – это секретный ключ AES-128, также называемый как корневой ключ. Значение данного ключа должно совпадать с заданным в целевой сети. При этом значение этого ключа никогда не передается через сеть. Для успешного завершения процесса активации серверу сети должны быть известны все три значения, заданные на конечном узле. В случае, если серверу сети не известны DevEUI или JoinEUI узла, инициирующего активацию, то он не станет ему отвечать. Если оба эти значения имеются в базе данных сетевого

сервера, то ответ конечному узлу поступит, но если AppKey конечного узла отличен от AppKey сетевого сервера, то он не сможет корректно расшифровать полученные сессионные ключи. Если же ответное сообщение было успешно расшифровано и получены требуемые ключи, то процесс активации завершен успешно и конечный узел может отправлять восходящие сообщения (uplink) серверу приложений.

Схема подключения рассмотренного аппаратно-программного комплекса представлена на рис. 1.

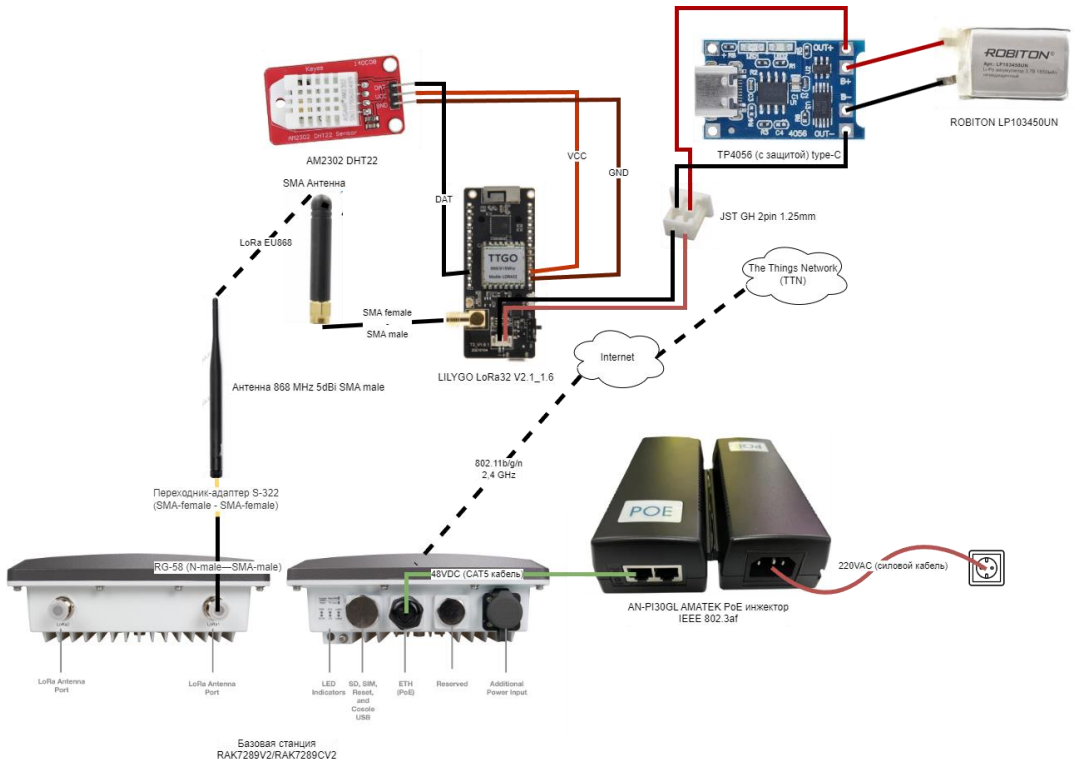


Рис. 1. Пример схемы подключения сети LoRaWAN

При этом в схеме использовался датчик температуры и влажности DHT22 для создания полезной нагрузки, передаваемой с конечного узла на сервер приложений.

В процессе эксплуатации заданной системы было выявлено несколько недостатков The Things Network. Первым следует считать удаленность серверов для европейского кластера, который является рекомендуемым при использовании сервиса в России. Во-вторых, была замечена неоднократная потеря восходящих сообщений (uplink), даже в условиях непосредственной близости (менее 3 метров) конечного узла и базовой станции. При этом в журнале протоколирования шлюза было указано получение данных сообщений, то есть их потеря происходила после пересылки сообщений базовой станцией к серверу приложений через сервер сети.

Тем не менее, данный сервис предоставляет удобный способ организации сети LoRaWAN без необходимости настройки и аренды серверов для выпол-

нения задач серверов сети и приложений. При разработке отечественного аналога данного сервиса можно было бы организовать работу полностью на территории Российской Федерации, а также установить общественные базовые станции, позволив физическим и юридическим лицам организовывать сбор, хранение и управление интернет вещами без крупных финансовых вложений.

Заключение

Таким образом, в данной статье рассмотрена организация сети LoRaWAN с использованием сервиса The Things Network, особенности построения подобной сети, недостатки задействованного сервера сети и перспективы реализации аналогичного отечественного сервиса.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Seller O., Sornin N. Low power long range transmitter // US Patent 20140219329 A. 2014. Vol. 1. PP. 2014.
2. Recommendation ITU-T Y.4480. Low power protocol for wide area wireless networks. ITU, 2021.
3. LoRaWAN® Regional Parameters RP002-1.0.4. URL: https://resources.lora-alliance.org/technical-specifications/rp002-1-0-4-regional-parameters (дата обращения 31.10.2024).
4. Приложение № 12 к решению ГКРЧ от 11 сентября 2018 г. № 18-46-03-1.

***Bobrovskiy V., Kukunin D., Suslikov N.* ORGANIZATION OF A LORAWAN NETWORK FOR SOLVING INTERNET OF THINGS TASKS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This work is dedicated to the organization of a LoRaWAN network to meet the growing demands of the Internet of Things. A service that simplifies the establishment of such a network is examined, and the shortcomings identified during its use are analyzed. The specific characteristics of LoRaWAN operations in Russia are highlighted. A concrete example of a software-hardware complex that enables the implementation of this network is provided. The advantages of this study include recommendations for the deployment and configuration of the network.

Key words: LPWAN, energy-efficient data transmission, LoRaWAN, long-range signal transmission, LoRa, The Things Network.

УДК 004.738
ГРНТИ 49.33.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СВЯЗИ ПЛОТНЫХ СЕТЕЙ ДАТЧИКОВ

Е. В. Буданов, В. Е. Коротин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

На сегодняшний день по всему миру все большее распространение получает концепция Индустрия 4.0. Четвертая индустриальная революция подразумевает внедрение «киберфизических систем» в заводские процессы. Вместе с развитием такого рода систем, и организацией взаимодействия «машина – машина», растет количество различных элементов управления и контроля производственных циклов, таких как системы датчиков. Выбор технологии связи плотных сетей датчиков – важный вопрос, во многом определяющий конечный результат.

Интернет вещей, IoT, индустрия 4.0, датчики, плотные сети датчиков

Системы датчиков имеют широкий спектр применения: мониторинг состояния оборудования на производстве, получение информации о физических свойствах среды, в том числе, в труднодоступных для человека местах. Удобство эксплуатации и многофункциональность таких систем стали причиной роста требований к масштабируемости сетей и к количеству устройств на единицу площади. Как результат, на первый план вышел вопрос создания плотных сетей датчиков. Говоря о плотных сетях, подразумевается сеть, включающая в себя до 1000 устройств на 1 квадратный километр. Для организации таких сетей применяются различные технологии связи, использующие локальные сети для объединения устройств, такие как: Wi-Fi 6, Bluetooth Low Energy, LoRaWAN, ZigBee, а также технологии, основанные на сотовых сетях, такие как NB-IoT и 5G NR-Light. Для решения задачи выбора из множества технологий радиодоступа было проведено исследование существующих технологий связи плотных сетей датчиков, разработаны критерии их оценивания и проведено сравнение технологий для различных сценариев эксплуатации.

Разработка критериев оценивания технологий радиодоступа опирается на требования и критерии оценки МСЭ для IMT-2020 [1]. Технологии связи плотных сетей датчиков подходят под сценарий использования «массовая машинная связь» (mMTC), ключевой особенностью данного сценария является подключение большого количества простых устройств, связь между которыми характеризуется низкой скоростью и низким энергопотреблением. Также стоит

отметить сценарий использования «критическая МТС» (cMTC), который нацелен на критически важные соединения и отличается от mMTC повышенными требованиями к надежности, задержкам и точности синхронизации. Исходя из этого были выделены наиболее важные в контексте организации плотных сетей датчиков для обоих сценариев использования. Для большей наглядности в сравнение была введена система баллов, система начисления которых описана в скобках:

1. Частотные диапазоны. Оцениваются, исходя из загруженности частотных диапазонов, связанной со степенью освоения частотного диапазона и необходимостью получения разрешения на использование частот (при такой оценке: 2 – Частотный диапазон является новым в плане освоения и лицензируемым; 1 – в частотном диапазоне работает ограниченное количество РЭС; 0 – диапазон не лицензируемый и активно используется другими радиоэлектронными средствами).

2. Плотность устройств учитывает возможную концентрацию устройств на единицу площади (2 – более 1000 датчиков на 1 кв. км; 1 – до 1000 датчиков на 1 кв. км; 0 – до 500 датчиков на 1 кв. км).

3. Энергопотребление позволяет оценить возможность использования в качестве элементов питания аккумуляторные батареи или возобновляемые источники энергии (2 – низкое энергопотребление до 10 мВт; 1 – среднее энергопотребление до 100 мВт; 0 – высокое энергопотребление от 100 мВт).

4. Площадь зоны покрытия учитывает дальность действия и возможность организации Mesh-сети, позволяющей значительно увеличить дальность зоны обслуживания (2 – значительная площадь/ возможность создания Mesh-сети; 1 – средняя площадь; 0 – малая площадь)

5. Стоимость включает в себя: стоимость оборудования, необходимость получения разрешения на использование частот, оплата лицензий или разработка собственного программного обеспечения. При такой оценке (2 – низкая стоимость; 1 – средняя стоимость; 0 – высокая стоимость).

6. Требования к инфраструктуре отражают количество используемого сетевого оборудования. Также учитывается наличие инфраструктуры мобильных сетей операторов связи. (2 – создание сети подразумевает сравнительно небольшие вложения в сетевое оборудование; 1 – требуются средние вложения в сетевое оборудование; 0 – для создания инфраструктуры требуются значительные вложения).

При сравнении технологий связи плотных сетей датчиков в сценарии использования cMTC помимо вышеперечисленных следует добавить критерии связанные с ключевыми показателями производительности:

1. Задержка. Высокая задержка приводит к снижению общей производительности сети датчиков и ограничивает применимость технологии в системах мониторинга в реальном времени. (2 – низкая задержка до 10 мс; 1 – средняя задержка до 100 мс; 0 - высокая задержка более 100 мс).

2. Точность синхронизации сигнала. Низкая точность синхронизации сигналов может привести к сложности анализа полученных данных или неточности полученного результата (2 – высокая точность до 10 мкс, 1 – средняя точность до 50 мс, 0 – низкая точность более 50 мс).

3. Надежность передачи данных в данной работе оценивается коэффициентом битовых ошибок (BER) критически важном факторе, необходимом для бесперебойной работы сети датчиков (2 – BER < 10-7; 1 – BER < 10-6; 0 – BER > 10-6).

В таблице 1 приведено сравнение технологий, с использованием данных из публикаций [2,3] согласно разработанным критериям для сценария использования mMTC.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение технологий для сценария использования *mMTC*

Технология	Частотный диапазон	Плотность устройств	Энергопотребление	Площадь зоны покрытия	Стоимость	Инфраструктура	Результат
Wi-Fi 6	1	2	0	2	1	1	7
BLE	0	0	2	0	2	2	6
LoRa	0	1	2	2	2	2	9
ZigBee	0	0	2	2	2	2	8
NB-IoT	1	2	1	2	1	1	8
5G NR Light	2	2	2	2	0	0	8

Результаты сравнения изображены на рис. 1.

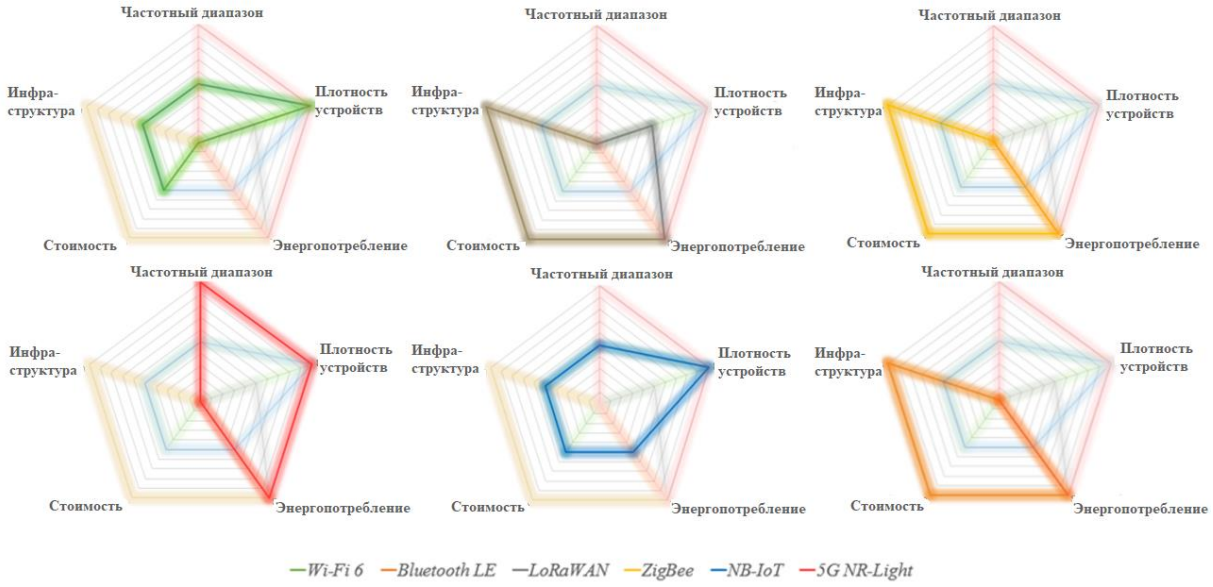


Рис. 1. Сравнение технологий для сценария использования mMTC

В таблице 2 приведено сравнение технологий для сценария использования cMTC, аналогичное таблице 1.

ТАБЛИЦА 2. Сравнение технологий для сценария использования cMTC

Технология	Частотный диапазон	Плотность устройств	Энергопотребление	Площадь зоны покрытия	Стоимость	Инфраструктура	Задержка	Точность синхронизации	Надежность	Результат
Wi-Fi 6	1	2	0	2	1	1	2	2	2	13
BLE	0	0	2	0	2	2	2	1	0	9
LoRa	0	1	2	2	2	2	0	0	0	9
ZigBee	0	0	2	2	2	2	1	2	1	12
NB-IoT	1	2	1	2	1	1	0	0	2	10
5G NR Light	2	2	2	2	0	0	2	2	2	14

Результаты сравнения изображены на рис. 2.

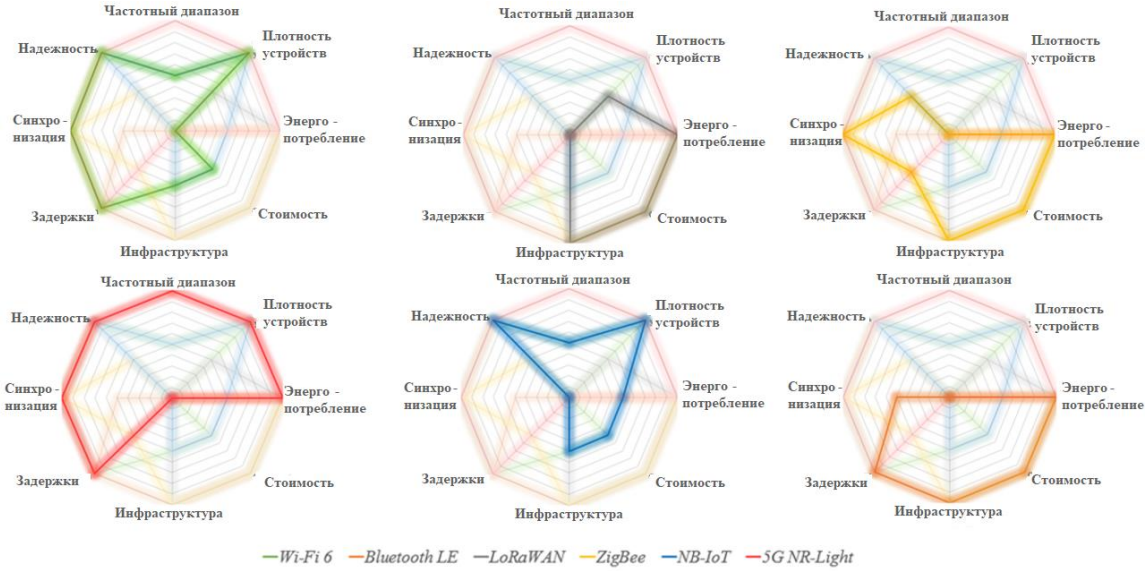


Рис. 2. Сравнение технологий для сценария использования cMTC

Таким образом, было проведено сравнение различных технологий радиодоступа в контексте организации плотных сетей датчиков. Окончательный выбор основы для создания плотной сети датчиков – задача, требующая индивидуального подхода. В зависимости от сценария использования и конкретных требований к проектируемой сети, эффективность работы той или иной технологии может варьироваться. Однако понимание преимуществ и недостатков существующих технологий и грамотное составление требований к проектируемой сети во многом упростит решение этой непростой задачи.

Список используемых источников

1. Report ITU-R M.2411-0. Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020. URL: https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2411-2017 (дата обращения 05/11/2024).
2. Фам В. Д., Киричек Р. В., Глушаков Р. И., Пирмагомедов Р. Я. Технологии интернета вещей для приложений здравоохранения // Информационные технологии и телекоммуникации, 2017. Т. 5. №. 7. С.71–77.
3. Шемчук. Ю. LPWAN и другие беспроводные технологии // Control Engineering Россия IIoT. 2016. С. 54–58.

Budanov E., Korotin V. **RESEARCH OF DENSE SENSOR NETWORK COMMUNICATION TECHNOLOGIES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Today, the concept of Industry 4.0 is becoming increasingly widespread throughout the world. The fourth industrial revolution implies the introduction of "cyber-physical systems" into factory processes. Along with the development of such systems and the organization of "machine-machine" interaction, the number of various control and monitoring elements of production cycles, such as sensor systems, is growing. The choice of dense sensor network communication technology is an important issue that largely determines the final result.

Key words: internet of things, industry 4.0, sensors, High-density sensor networks.

УДК 004.42
ГРНТИ 50.43.31

РАЗРАБОТКА ПО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МЕССЕНДЖЕРАМИ СКУД

А. С. Ветлугаев, М. В. Захаров, Г. К. Киркум, Т. М. Сиргазинов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Безопасность на предприятии является одним из наиболее важных аспектов. Система контроля и управления доступом с технологией распознавания лица позволяет решить эту задачу. Однако с использованием биометрических данных человека возникает потребность в изменении профилей пользователей внутри системы, а также требуется изменить подход к регистрации «гостей». Помочь решить эту проблему могут современные мессенджеры. В рамках данной статьи рассматривается проект по усовершенствованию существующей системы с целью внедрения в нее биометрических данных.

точка прохода, ведение учета, администрирование, обработка изображения

В настоящие время Система контроля и управления доступом (далее СКУД) весьма широко используется на предприятиях и в учреждениях различной направленности. СКУД позволяет реализовать весьма широкий спектр функций: управление доступом, ведение учета сотрудников и рабочего времени, отслеживание активностей в помещениях на контролируемом объекте и это малая часть тех задач что позволяет решать данная технология [1]. Для начала необходимо разъяснить, что такое СКУД. Система контроля и управления доступом – это совокупность программно-аппаратных технических средств контроля и средств управления, имеющих целью ограничение и регистрацию входа-выхода объектов (людей, транспорта) на заданной территории через «точки прохода»: двери, ворота, КПП. Помимо активации точек прохода, также при помощи СКУД можно реализовать взаимодействие с отдельными устройствами: персональными компьютерами, кондиционерами, лабораторными стендами и т. д.

Самыми частыми причинами внедрения СКУД на предприятие является учет рабочего времени сотрудников и обеспечение безопасности на отведенной территории [2]. Помимо этого, СКУД используют и для друг задач, ниже приведены некоторые их них:

– отслеживание активностей в помещениях предприятия;
– ведение учета посетителей;
– формирование базы данных для расчета зарплат работников.

В нынешнее время самыми популярными считывателями являются устройства с технологией обработки биометрии лица [3]. В данной работе будет рассмотрен план разработки программного обеспечения для управления СКУД с применением подобной технологии, а также вариант интеграции чат-ботов.

В ходе работы были поставлены следующие цели разработки ПО:

– уменьшить требуемое время для инсталляции ПО на конечное устройство пользователя.

– уменьшить затрачиваемое время для формирования временного права прохода для посетителя предприятия.

Для реализации поставленных целей были разработаны следующие задачи, которые потребуется решить:

– разработать веб версию администрирующего ПО.

– добавить в ПО новый функционал, позволяющий работать с биометрическими данными пользователя.

– разработать гостевого чат-бота для реализации временного доступа на предприятие по средствам биометрических данных.

– реализовать на стороне сервера алгоритм обработки фотографий пользователей для снятия с них биометрических данных.

В общем виде предполагаемая структура взаимодействия пользователей со СКУД будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 1.

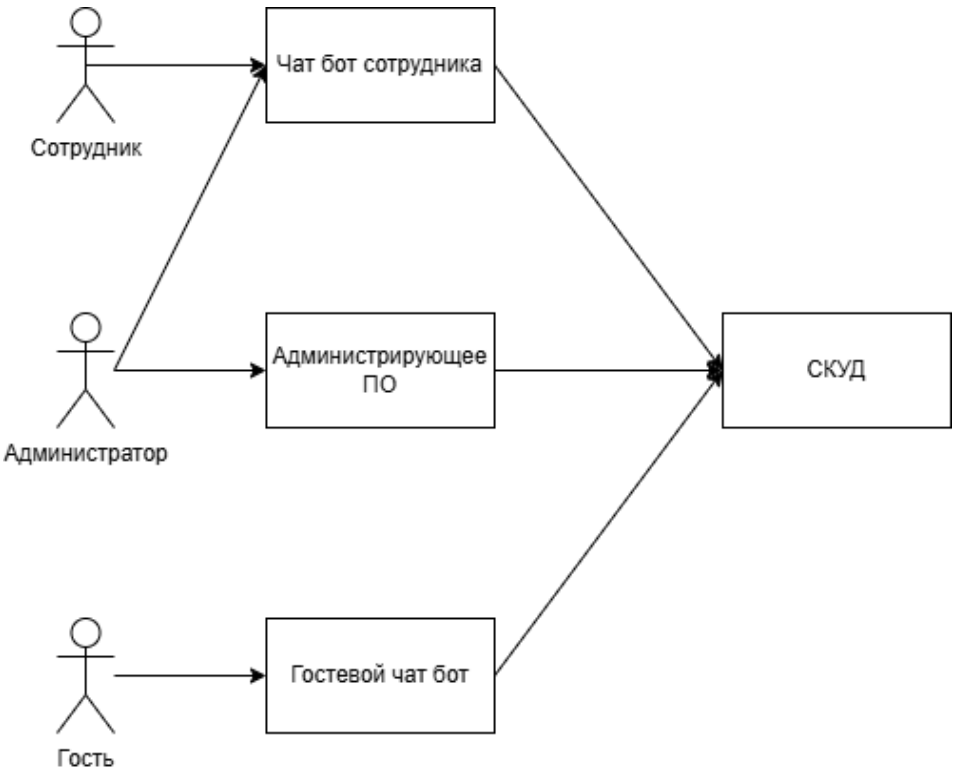


Рис. 1. Структура взаимодействия пользователей со СКУД

Что бы изолировать функции, предоставляемые сотруднику и пользователю «гость», предполагается разделить функционал на двух чат-ботов. Администратор, в свою очередь, сможет пользоваться как чат-ботом сотрудника, так и собственным специализированным ПО.

После разработки первой версии администрирующего ПО стало понятно, что в текущих обстоятельствах реализация подобного продукта в виде десктоп-приложения выглядит проигрышно. Первая версия ПО для администрирования СКУД представлена в работе «Разработка программного обеспечения для администрирования и взаимодействия с современными мессенджерами системы контроля и управления доступом» [4]. Взаимодействие со СКУД происходит описано в статье «Разработка системы контроля и управления доступом с использованием технологии Wi-Fi» [5].

В зависимости от конфигурации системы требуется разработка отдельной версии ПО для каждой из них. Попыткой решить данную проблему являлось идея реализации ПО на базе языка Java, но в последствии возникла проблема различия версий JVM. На устройствах с разными версиями JDK возникала проблема некорректной работы ПО.

Было принято решение перехода от формата десктоп приложения к формату WEB приложения развертываемого локально на базе серверного оборудования предприятия. Данное решение позволит избежать проблем с различаем версий ПО на устройствах администратора. Также процесс развертывания упростится, поскольку достаточно будет развернуть ПО на сервере. Основным инструментом для разработки данного модуля проекта является язык Python и фреймворк Django.

К существующим функциям ПО также требуется добавить возможность работать с биометрическими данными и с новым видом пользователя в виде “гостя”. Требуемые функции описаны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Перечень новых функций для администрирующего ПО

Название функции	Описание
Управление биометрическими данными	В учетных записях пользователей должны отображаться личные данные и фото в высоком разрешении. На основании данного фото в дальнейшем СКУД производит проверку личности пользователя. Должна иметься возможность добавлять, удалять и изменять фото
Формирование статистики о рабочем времени	На основании собранной информации на сервере в WEB приложении должно отображаться время работы каждого сотрудника по отдельности за определенный период времени, а также общей сводной статистики в виде списков. Также должна имеется возможность выгружать данную информацию. В отдельный файл

Название функции	Описание
Отображение гостевых пользователей	В ПО администратора должны отображаться пользователи, зашедшие на территорию через форму в чат-боте. В их временных анкетах должно отображаться ФИО, а также фото, загруженное через чат-бота. Опционально отображение цели визита
Управление гостевыми учетными записями	При необходимости администратор должен иметь возможность отнять доступ прохода через «точки прохода» у гостевого пользователя или отправить личное уведомление через чат-бота. Помимо этого, должна иметься возможность удаления, ручного добавления и изменения информации о таком пользователе

Гостевой чат-бот в свою очередь будет решать тривиальную работу. Основной задаче будет является анкетирование «гостя». С помощью бота будет собираться информация о человеке для создания временной учетной записи. В анкете будет спрашиваться фамилия, имя, отчество, цель визита, а также фотография. На основании отправленной фотографии считыватели и будут определять пользователя при проходе через турникеты, двери и КПП.

Для распознавания биометрических данных лица человека необходимо будет использовать методы машинного обучения. Этот процесс можно разбить на несколько этапов.

Первым этапом является предварительная обработка изображения. Корректируем яркость, контрастность и баланс белого, чтобы улучшить качество изображения и устранить влияние освещения, а также подведение фото к единому формату размера. Далее использовать фильтрацию шумов, чтобы удалить мельчайшие шумы на изображении.

Вторым этапом начинается процесс поиска лица. В проекте планируется использовать метод HOG (гистограмма ориентированных градиентов). После проводится процесс коррекции угла фото и кодирование изображения.

Третьим этапом на фото выделяются ключевые точки лица: глаза, нос, уголки рта и подбородок. Расположение и расстояние между точками тела создают уникальный шаблон или же как его еще называют биометрический вектор.

Далее полученная информация заносится в систему как отдельный шаблон. На основании данного шаблона считыватель сможет определять пользователя.

В перспективе подобная быстрая регистрация временного пользователя через мессенджер может быть перенесена не только для реализации СКУД. Например, реализация регистрации на лабораторном стенде в университете.

Комплексное сочетание вышеперечисленных подходов позволит увеличить эффективность управления СКУД, а также уменьшить время регистрации гостевых пользователей. При этому будет внедрен необходимый для ад-

министратора функционал и перенесено клиентское приложение в формат WEB. Таким образом, внедрение мессенджеров в подобную систему контроля и управления доступом может значительно улучшить эффективность работы системы в целом. Однако необходимо уделить особое внимание вопросам безопасности и конфиденциальности данных, а также обеспечить совместимость существующих технологий и соответствие законодательству. Разработка программного обеспечения для СКУД представляет собой перспективное направление развития, которое может значительно улучшить эффективность работы подобных систем.

Список используемых источников

1. Иванов П. Д., Суверина И. Д. Анализ состояния и перспективы развития систем контроля и управления доступом в России // Инженерный журнал: наука и инновации, 2014, вып. 10. URL: http://engjournal.ru/catalog/it/asu/1230.html
2. Даутов А. Л., Пуряев А. С. Внедрение и развитие систем контроля и управления доступом на предприятиях // Международный научный журнал «Инновационная наука», 2016. № 5. ISSN 2410-6070.
3. Голубкин Н. Д. Тенденции развития систем контроля и управления доступом в помещение. Вестник магистратуры. 2021. № 4-3. ISSN 2223-4047.
4. Киркум Г. К., Пачин А. В. Разработка программного обеспечения для администрирования и взаимодействия с современными мессенджерами системы контроля и управления доступом // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Сборник лучших докладов конференции. 2023. Том 2. С. 320–323.
5. Сиргазинов Т. М., Пачин А. В. Разработка системы контроля и управления доступом с использованием технологии Wi-Fi // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Сборник лучших докладов конференции. 2023. Том 2. С. 333–336.

Vetlugaev A., Zakharov M., Kirkum G., Syrgazinov T. **SOFTWARE DEVELOPMENT FOR ACS MANAGEMENT AND INTERACTION WITH MESSENGERS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Security at the enterprise is one of the most important aspects. Access control and management system with facial recognition technology allows to solve this problem. However, with the use of human biometric data, there is a need to change user profiles within the system, as well as a need to change the approach to the registration of “guests”. Modern messengers can help to solve this problem. This paper considers a project to improve an existing system in order to introduce biometric data into it.

Key words: point of passage, record keeping, administration, image processing.

УДК 621.391, 519.728
ГРНТИ 49.03.03

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕТЧАТОГО КОДИРОВАНИЯ В КАНАЛАХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

С. А. Владимиров, Т. А. Тишкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В работе представлены результаты цифрового моделирования, теория и методическое обоснование двух разных вариантов применения решетчатого кодирования – мягкого и жесткого в каналах передачи данных и их сравнение с вариантом передачи без кодирования.

решетчатое кодирование, декодер Витерби, жесткое и мягкое декодирование

Решетчатое кодирование, как один из методов помехоустойчивого кодирования, основан на совместном использовании математических алгоритмов и графического представления сигнальной информации. Решетчатое кодирование, по сути, объединяет модуляцию и кодирование, что повышает достоверность передачи данных без существенного расширения полосы частот передаваемого сигнала, а также позволяет улучшить качество и надежность при передаче для самого сигнала и при этом снизить количество ошибок. Основная идея такого подхода заключена в разбиении готового сигнального сообщения на блоки и последующем кодировании каждого блока по определенным правилам, причем наличие алгоритма декодирования Витерби делает решетчатое кодирование простым и эффективным [1, 2].

Решетчатое кодирование или треллис-кодовая модуляция (TCM – Trellis Coded Modulation) – это метод, который позволяет увеличить уровень помехоустойчивости передаваемых данных за счет снижения скорости передачи. Он основан на одновременном совместном использовании помехоустойчивого кодирования и разных видов модуляции. Использование канального кодирования существенно снижает вероятность ошибки на бит по сравнению с не кодированной системой при одинаковом отношении сигнал/шум. Хотя само кодирование, в свою очередь, добавляет информационную избыточность и соответственно снижает скорость передачи информации. Поэтому для сохранения скорости передачи полезной информации необходимо увеличивать канальную скорость передачи кодированной информации. При этом увеличении произойдет расширение спектра, уменьшится энергоэффективность и в результате получим почти эквивалентный размен сигнальной энергетической и спектральной эффективности.

Но, задачу получения большего энергетического выигрыша при сохранении скорости передачи полезной информации и ширины полосы решить возможно, если искусственно использовать модуляцию с большим числом позиций сигнального кода. Основная идея для получения наибольшего энергетического выигрыша состоит в том, чтобы отобразить кодовые символы в точки сигнального созвездия так, чтобы максимизировать евклидово расстояние между парами символов. Унгербок показал, что при наличии гауссового шума в схеме кодирования добавлением сигнальных точек достаточно просто можно получить «чистый» энергетический выигрыш в 3 дБ, а более сложные методы кодирования позволяют получить выигрыш до 6 дБ. Это происходит за счет того, что энергетический выигрыш при многопозиционном кодировании превышает проигрыш в снижении канальной скорости передачи. Цель состоит именно в том, чтобы оптимизировать схему модуляции в евклидовом пространстве, а не иметь дело с расстоянием Хэмминга, как в классических схемах кодирования [3].

Евклидово расстояние определяется по прямой между любыми двумя сигнальными точками. Например, между парой точек с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) евклидово расстояние определяется формулой [1]:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}.$$

Одной из типовых применяемых схем TCM является решетчато-кодированная модуляция, введенная Унгербоком и обобщенная на сигнальные созвездия [1].

В TCM традиционно используется сверточное кодирование (отсюда пошло и название – код можно отобразить решетчатой диаграммой). Поэтому схема кодера-модулятора TCM легко реализуется комбинацией сверточного кодера и m-ичного модулятора (PAM (m-ASK), m-PSK, m-QAM и прочие, включая комбинационные модуляторы созвездий), когда k текущих бит и k–1 предыдущих бит используются для получения $n=k+p$ кодовых бит, где k – длина кодового информационного ограничения кодера (кодируемого пакета) и p – число бит четности (бит, прибавляемых к пакету). Такое кодирование увеличивает размер сигнального созвездия с 2^k до 2^{k+p} точек [3].

Место решетчатого кодирования четко определено и показано на обобщенной структурной схеме системы передачи данных (рис. 1).

В передатчике для такой не двоичной передачи сигналов кодирование и модуляция канала должны быть оптимизированы совместно. Комбинирование различных ансамблей М-ичных сигналов, помехоустойчивых и манипуляционных кодов порождает множество конструкций, но только согласованные варианты обеспечивают повышение частотно-энергетической эффективности системы передачи. Такие варианты называют эффективными сигнально-кодовыми конструкциями.

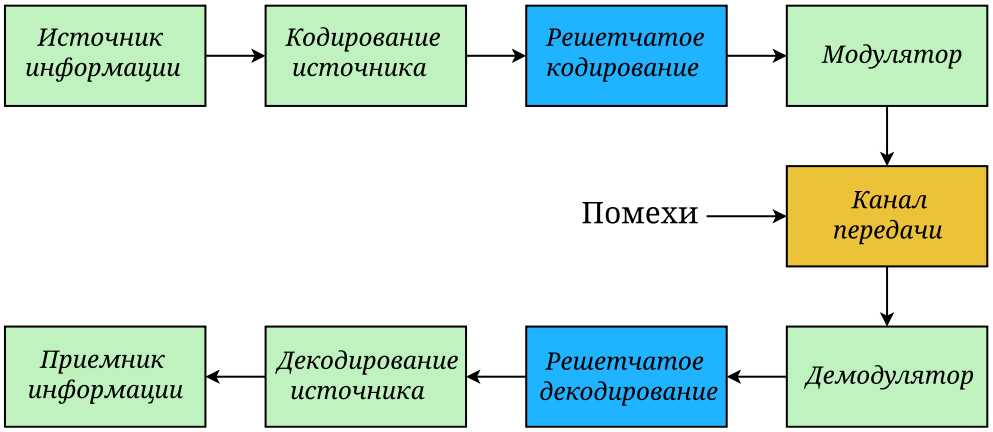


Рис. 1. Место решетчатого кодирования в системе передачи данных

В приемнике основной задачей алгоритма декодирования является успешная идентификация принимаемой последовательности символов, выполняемая обычно последовательными декодерами – устройствами с любым алгоритмом декодирования решетчатых кодов, который последовательно перебирает узлы и исследует кодовое дерево путем перехода к новым узлам из уже исследованного узла. Последовательные декодеры делятся на две основные группы:

– древовидные декодеры, которые последовательно исследуют кодовое дерево, их наиболее известные представители – алгоритмы с ограниченным размером кода, например М-алгоритм, проблемой которого является потеря правильного пути по списку кандидатов и большая потеря времени на повторную синхронизацию (проблема обычно решается путем кадрирования данных, когда в каждом новом кадре достигается пере синхронизация);

– решетчатые декодеры, в которых используется структурированная решетчатая диаграмма кода – основным алгоритмом этой группы является алгоритм Витерби на основе критерия максимального правдоподобия.

Сложность декодирования по указанному критерию возникает вследствие экспоненциального роста размера дерева декодирования. Но это дерево можно уменьшить путем слияния узлов, так что оно вырастет только до максимального размера в $2S$ узлов, где S – количество состояний кодировщика. Такое объединение снова приводит к одновременно расходящимся путям, и получается структура, напоминающая решетку. Этот алгоритм осуществляет процедуру объединения узлов, при которой полученные метрики соответствуют известным идентичным состояниям кодировщика, и отбрасывают пути с меньшей метрикой, при этом путь максимального правдоподобия никогда не пропадет. Эта решетка является точной копией решетки кодера, и задача декодера состоит в том, чтобы восстановить путь, пройденный кодером. Алгоритм гарантирует, что эта процедура будет оптимальна. Этот метод был введен Витерби в 1967 году в контексте анализа сверточных кодов и с тех пор

широко развивался, но все равно известен как алгоритм Витерби, который можно использовать в следующих двух вариантах [3].

При жестком декодировании (hard decision decoding, HDD) приемник имеет два заданных уровня квантования, чтобы принимать «жесткие решения» между двоичной единицей или нулем. Для этого в качестве метрики используется расстояние Хэмминга.

В случае мягкого декодирования (soft decision decoding, SDD) приемник имеет больше двух уровней квантования и демодулятор принимает «мягкие решения». Тогда в качестве метрики TCM используется квадрат евклидова расстояния. Для получения оценок вероятности выбора правильной кодовой последовательности P_d предполагается, что для принятия правильного решения в приемнике используется сумматор максимального отношения правдоподобия для функции максимизации условной плотности вероятности $fr(r \mid v)$, где v – правильная кодовая последовательность, а r – принятая кодовая последовательность.

Сравнительная простота реализации декодера за счет замены в алгоритме Витерби расстояния Хэмминга на евклидово расстояние преобразует декодирование в мягкое, оптимальное для канала с гауссовским шумом. При этом метрики ребер и узлов решетчатого декодера становятся евклидовыми расстояниями и вычисляются рекурсивно.

Именно такая модель канала с мягким декодированием использована для получения результатов и сравнения со случаем жесткого декодирования. Это модель, которая принимает символы передачи модуляции BPSK и выдает при кодировании символы, когда одна единица расстояния Хэмминга между двумя символами кодового слова становится частью евклидова квадратного расстояния размером $4E_s$. Затем полученное расстояние нормируется на удвоенную энергию битов данных [1]

$$\frac{4E_S d_{min}^h}{2E_b^c} = \frac{4E_S d_{min}^h}{2E_S\, d_{min}^h/R} = 2Rd_{min}^h.$$

При этом наблюдаем теоретически больший выигрыш от кодирования, равный 3 дБ. Окончательный выбор между жестким и мягким декодированием зависит от конкретных условий в канале передачи, поскольку более простое в реализации жесткое декодирование оплачивается энергетическими потерями, составляющими для канала АБГШ 2 дБ и более, что считается довольно значимой цифрой.

Результаты моделирования TCM в системе Octave представлены на рис. 2. Полученные результаты подтверждают выигрыш в 3–4 дБ в отношении сигнал/шум для варианта мягкого декодирования и 1,5–2 дБ для жесткого по сравнению с вариантом без TCM.

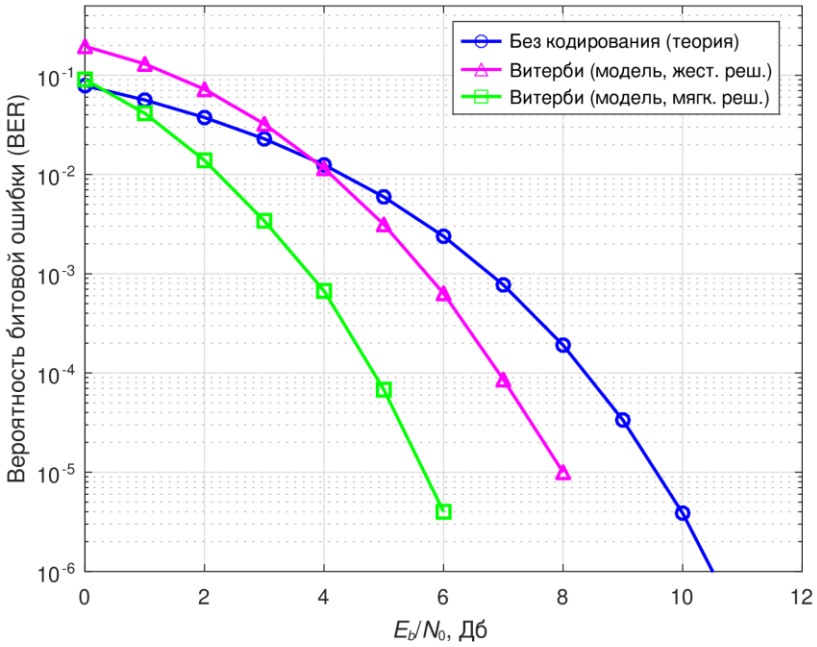


Рис. 2. График вероятности битовых ошибок по результатам моделирования ТСМ с использованием алгоритма Витерби для случая модуляции BPSK в канале АБГШ

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Schlegel C. B., Perez L. C. Trellis and Turbo coding. IEEE Press, 2004. 386 p.
2. Таубин Ф. А. Решетчатые сигнально-кодовые конструкции для каналов с линейными искажениями // Информационно-управляющие системы. 2018. № 5(96). С. 66–78.
3. Lin S., Kasami T., Fujiwara T., Fossorier M. Trellises and trellis-based decoding algorithms for linear block codes. Springer New York, NY, 1998. 288 p.

Vladimirov S., Tishkin T. **MODELING OF TRELLISED CODING IN DATA TRANSMISSION SYSTEM CHANNELS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper presents the results of digital modeling, theory and methodological substantiation of two different options for applying lattice coding – soft and hard in data transmission channels and their comparison with the option of transmission without coding.

Key words: trellis coded modulation, soft decision decoding, hard decision decoding.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.03.03

ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ УКОРОЧЕННЫХ КОДОВ РИДА–СОЛОМОНА

С. С. Владимиров, Р. Л. Остапчук
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В статье представлен краткий обзор методов и подходов к декодированию классических и укороченных кодов Рида–Соломона, представленных в научной литературе за последние 20 лет. Приведено общее понятие об укороченных кодах Рида–Соломона на примере одного из популярных кодов.

коды Рида–Соломона, укороченные коды, методы декодирования

Важной составляющей частью в современных системах передачи данных является помехоустойчивое кодирование, методы и алгоритмы которого используются для обнаружения и исправления ошибок в принимаемых получателем пакетах. Соответственно, одной из важнейших задач, возникающих при разработке и реализации систем связи, является проведение исследований для выбора методов и алгоритмов помехоустойчивого кодирования для конкретной системы передачи. Одним из популярных вариантов помехоустойчивых кодов, применяемых в современных системах передачи данных, является код Рида–Соломона (РС).

Код РС задается как (n, k)-код с s-битовыми символами. Это означает, что кодер берет k символов данных по s бит каждый и добавляет символы четности, чтобы создать кодовое слово из n s-битовых символов с ($n – k$) символами четности. Декодер может исправить вплоть до $t = (n – k)/2$ символов кодового слова, содержащих ошибки.

Примером является популярный (n, k)-код РС (255, 223) с 8-битными символами. Декодер этого кода может исправить любые 16 символьных ошибок в кодовом слове.

Коды РС можно сокращать, обнулив некоторое количество символов данных в кодере и, не передавая их, повторно вставив их в декодере. Например, описанный выше код (255, 223) можно сократить до кода (200, 168). Кодер берет блок из 168 байт данных, добавляет 55 нулевых байт, создает кодовое слова кода (255, 223) и передает только 168 байт данных и 32 байта четности. На приемной стороне нулевые байты возвращаются на свои места, выполня-

ется декодирование кода РС. После декодирования нули наконец удаляются, чтобы выявить исходную информационную последовательность.

В общем случае последовательность заполнения (фиксированная последовательность, которая добавляется к последовательности входной информации), может иметь любую форму и объединяться с информационной последовательностью любым способом. Однако крайне важно, чтобы заполнение на стороне кодирования и на стороне декодирования добавлялось одинаково.

При использовании укороченных кодов РС возникают два явления, которые влияют на производительность системы:

– уменьшение скорости кодирования и избыточности кода;

– уменьшение энергии, требуемой для передачи каждого закодированного слова.

Вопрос использования укороченных кодов РС поднимался во многих научных исследованиях и публикациях. Группы исследователей из IEEE [1] и IET [2] пришли к выводу о необходимости использования укороченных кодов РС в отказоустойчивых системах для улучшения исправления битовых ошибок. Их последователи [3, 4] использовали совместимый по скорости укороченный код РС для минимизации повторной передачи пакетов или потери пакетов в сетевых коммуникациях.

Большое количество научных исследований и публикаций посвящены различным подходам к решению задачи декодирования обычных и укороченных кодов РС.

В 1991 году исследователи из Тель-Авивского университета представили декодер РС на битовом уровне. Он представляет собой своего рода декодирование максимального правдоподобия с меньшей сложностью, чем решетчатое декодирование, однако его можно использовать только для декодирования укороченных кодов РС [5].

В 2005 году исследователи из Национального университета Цзяотун представили свой вариант декодера укороченных кодов РС, время декодирования которого соответствует длине укороченного, а не материнского кода, что дает большой выигрыш во времени, если длина укороченного кода существенно меньше материнского [6].

В 2007 году исследователи из Японского института инженеров в области электроники, информации и связи предложили использовать алгебраическое декодирование кодов БЧХ для укороченных кодов РС на битовом уровне. Однако, в целях повышения эффективности коррекции ошибок и уменьшения сложности декодирования укороченных кодов РС, также был предложен иной метод их сокращения [7].

В 2012 году был рассмотрен алгоритм мажоритарного декодирования эквивалентных кодов РС на основе двойственного базиса. Было выявлено, что процесс декодирования эквивалентных кодов данным алгоритмом проще алгебраического метода и имеет преимущество по времени декодирования для каналов передачи данных с малой вероятностью ошибки [8].

В 2016 году исследователями из Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана была предложена новая методика декодирования укороченных кодов РС, позволяющая сократить количество тактов задержки. Отличительной особенностью данного подхода является то, что декодер способен обрабатывать слова разной длины в непрерывном потоке [9].

В 2018 году исследователями из Московского института электронной техники была рассмотрена возможность использования троичной квадратурной сигнально-кодовой конструкции в сочетании с кодом РС. Данная методика строится на основе второго алгоритма Чейза для оценки правдоподобия принятой последовательности с некоторым набором сгенерированных кодовых слов [10].

На сегодняшний день коды РС и их укороченные варианты предлагается использовать для передачи телеметрической информации бортовым вычислительным комплексом космических аппаратов [11], представлять их в виде рекуррентных последовательностей, построенных на основе характеристического полинома в целях их наделения свойствами двоичных последовательностей максимальной длины и обеспечения обработки двойственным базисом поля Галуа [12], реализовывать на их основе системы с адаптивным помехоустойчивым кодированием [13].

Такое количество работ и исследований, проводимых по настоящее время, показывает актуальность и востребованность кодов РС и их укороченных вариантов.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Redinbo G. R., Napolitano L. M., Andaleon D. D. Multibit Correcting Data Interface for Fault-Tolerant Systems // IEEE Transactions on Computers, 1993. Vol. 42. № 4. PP. 433–446.
2. Napolitano L. M., Andaleon D. D., Shreeve W. O., Redinbo G. R. Nibble-based error detection of correction (EDOC) chip // Electronic Letters, 1989. Vol. 25. PP. 1542–1543.
3. Djandji H. An efficient hybrid ARQ protocol for point-to-multipoint communication and its throughput performance // IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1999. Vol. 48. PP. 1688–1698.

4. Xu Y., Zhang T. Variable Shortened-and-Punctured Reed-Solomon Codes for Packet Loss Protection // IEEE Transactions on Broadcasting, 2002. Vol. 48. № 3. PP. 237–245.
5. Vardy A., Be'ery Y. Bit Level Soft Decision Decoding of Reed-Solomon Codes // IEEE Transactions on Communications, 1991. Vol. 39. № 3. PP. 440–444.
6. Shieh S.-L., Lee S.-G., Sheen W.-H. A low-latency decoder for punctured/shortened Reed-Solomon codes // IEEE 16th international Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio communications, 2005. Vol. 4. PP. 2547–2551.
7. Hu T. H., Chang M. H., Su I. J. A Partition Decoding for Reed-Solomon Codes Based on Partial Bit Reliability // IEICE Transactions on Communications, 2007. Vol. E90-B. № 10. PP. 2784–2791.
8. Владимиров С. С. Исследование алгоритма мажоритарного декодирования кода Рида-Соломона на основе двойственного базиса // Вестник ПГТУ, 2012. № 1. С. 60–66.
9. Федоров С. В., Ромашкин В. И., Вялых К. М. Реализация потокового декодера укороченных кодов Рида-Соломона на ПЛИС // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. № 6. С. 184–199.
10. Кузнецов В. С., Волков А. С., Быков А. В. Разработка и моделирование метода декодирования помехоустойчивого блокового кода с применением второго алгоритма Чейза // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли, 2018. Т. 10. № 5. С. 46–55.
11. Титов А. М. Применение кодов Рида-Соломона для передачи данных от бортовых телеметрических систем и вычислительных комплексов // Космонавтика и ракетостроение, 2020. № 5. С. 114–129.
12. Кукунин Д. С., Когновицкий О. С., Березкин А. А., Киричек Р. В. Рекуррентные последовательности Голда на базе дуальных кодов Рида-Соломона // Электросвязь, 2023. № 3. С. 36–45.
13. Владимиров С. С., Остапчук Р. Л., Скакунов И. Р. Методы организации адаптивного помехоустойчивого кодирования // Вестник СПбГУТ, 2024. Т. 2. № 1. С. 3.

Vladimirov S., Ostapchuk R. **REVIEW OF DECODING METHODS FOR SHORTENED REED-SOLOMON CODES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper presents a brief overview of methods and approaches to decoding classical and shortened Reed-Solomon codes presented in the scientific literature over the past 20 years. A general concept of shortened Reed-Solomon codes is given using one of the popular codes as an example.
Key words: Reed-Solomon codes, shortened codes, decoding methods.

УДК 621.396.49
ГРНТИ 49.31.01

МОТИВЫ ПОИСКА АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ CDMA

Е. И. Книгиницкий, Д. С. Кукунин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена рассмотрению методов множественного доступа. Демонстрируются важные характеристики для кодового разделения каналов. Выявляются достоинства и недостатки известных кодовых конструкций. Обозначаются мотивы дальнейшего поиска алгоритмов формирования кодовых последовательностей.

кодовое разделение каналов, множественный доступ, CDMA, широкополосные системы

Введение

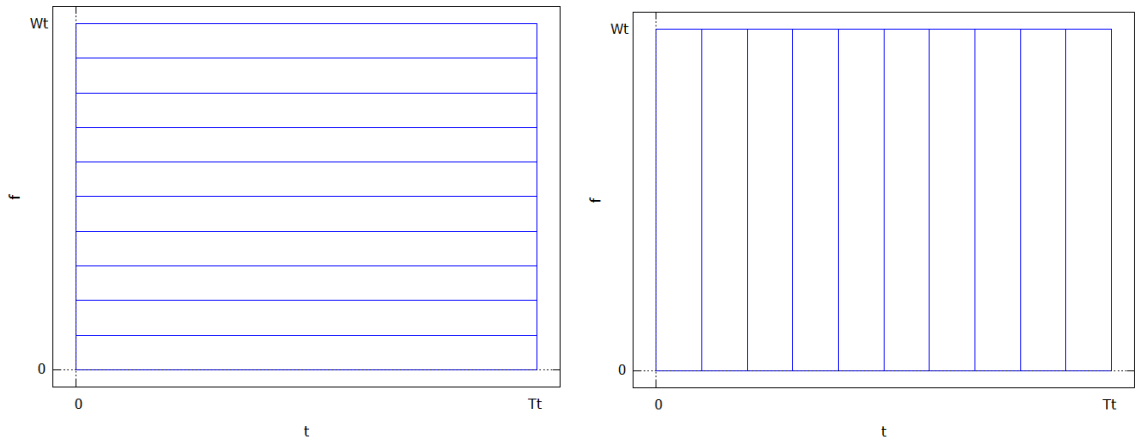
В современном мире телекоммуникаций важную роль играет беспроводная связь между каждым из множества абонентов и центральным узлом. Будь то WiFi сеть или рой дронов, важно обеспечить своевременную и помехоустойчивую передачу информации по каждому из каналов. Для этого применяют три основополагающие технологии разделения каналов.

Перед рассмотрением технологий определим объект деления – частотно-временной ресурс, занятый сигналами связи с абонентами. Сигнал занимает некоторое место в эфире, определяемое его базой. База сигнала представляет собой произведение его длительности T на занимаемую ширину полосы частот W. Для работы в некоторой ограниченной полосе частот с ограниченным временем передачи блоков данных частотно-временной ресурс может быть геометрически представлен как прямоугольник со сторонами W_t и T_t, который необходимо разделить между каналами [1].

Технологии множественного доступа

Один из методов представляет собой частотное деление каналов. При этом связь с каждым из абонентов осуществляется в узкой частотной полосе непрерывно (см. рис. 1, а). Благодаря неперекрывающимся полосам частот каналы не влияют друг на друга. Для осуществления такого разделения необходимо применять массив узкополосных фильтров, что бывает затруднительно в мобильной аппаратуре. Однако такое разделение не требует синхронизации абонентов и может поддерживать независимую работу каналов.

Другим методом является временное разделение каналов, при котором каждый из абонентов использует всю полосу частот, но лишь в малой части периода связи (см. рис. 1, б). Использование такого разделения позволяет избавиться от большого числа фильтров, но требует жесткой синхронизации абонентов, а также не позволяет начать передачу «в любой момент».



а) б)

Рис. 1. Частотное (а) и временное (б) разделение каналов

Третьим и наиболее перспективным методом является кодовое разделение каналов. При таком разделении связь с абонентами осуществляется одновременно и во всем диапазоне частот. Разделение каналов при этом осуществляется присвоением всем битам данных в каждом из каналов определенной сигнатуры. Благодаря этому центральный узел определяет, от кого из абонентов получен тот или иной бит, а абоненты выделяют адресованные им данные. Такое разделение каналов значительно нагружает вычислительную аппаратуру, но современный уровень развития микропроцессорной техники позволяет обрабатывать такой поток данных с надлежащей скоростью. Кроме того, скремблирование потока данных псевдослучайной последовательностью позволяет получить шумоподобный сигнал, который труднее обнаружить в спектре.

Связь при кодовом разделении может быть синхронной либо асинхронной. При синхронной связи все каналы начинают передачу блока данных по синхроимпульсу. Этот вид связи позволяет применять для шифрования кодовые последовательности с «плохой» автокорреляционной функцией (АКФ), но очень высокой, либо абсолютной ортогональностью, например функции Уолша. Однако при этом снова появляется необходимость синхронизации всех абонентов.

Функции Уолша являются наиболее оптимальными для синхронной передачи. Эти функции образуются на основе матрицы Адамара требуемого размера и обладают бесконечной масштабируемостью, что позволяет получить ансамбль кодов для любого числа абонентов.

$$H_2 = \begin{Bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Для получения матрицы Адамара нужного размера необходимо каждый из элементов двоичной матрицы Адамара (1) умножить на матрицу из предыдущей итерации (произведение Кронекера). Таким образом, на каждом этапе размер ансамбля кодов увеличивается вдвое. Например, для системы с количеством абонентов, не превышающим восьми, могут использоваться коды Уолша на основе матрицы Адамара длиной 8 (см. рис. 2).

$$H_8 = \begin{Bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{Bmatrix}$$

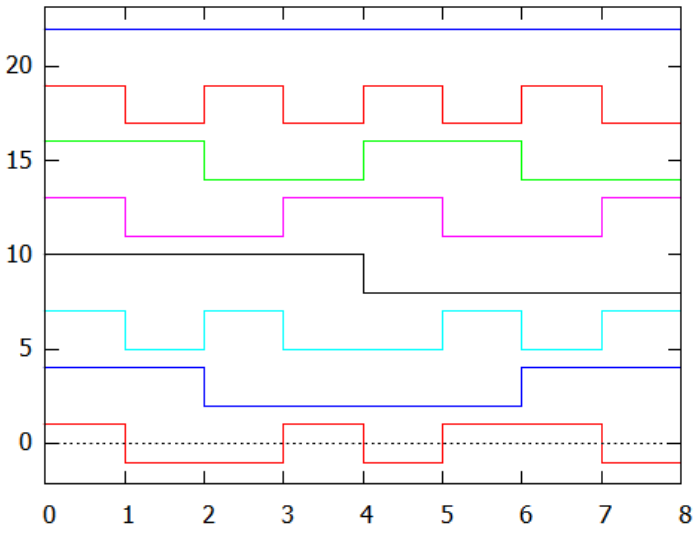


Рис. 2. «Осциллограммы» функций Уолша длиной 8.

Асинхронная связь позволяет отправлять и получать данные по каналам в любое время независимо друг от друга. Для такой связи на шифрующие коды накладываются определенные ограничения. В частности, АКФ такого кода должна иметь форму дельта функции, так как только такая форма позволит достоверно определить момент начала передачи. Однако также остаются требования к высокой ортогональности кодовых последовательностей или более определенно к низкому максимальному значению модуля взаимной корреляционной функции (ВКФ).

Крайне важную роль в формировании кодов для асинхронной передачи играет М-последовательность, так как ее АКФ близка к дельта-функции. В частности, ансамбль кодов Голда основан на паре М-последовательностей. АКФ м-последовательности длиной N принимает значение N в точке 0, где

последовательность максимально коррелирует сама с собой. В остальных точках АКФ принимает значение –1 и может быть сведена к нулю использованием фантомного канала [2]. АКФ М-последовательности длиной $2^6 - 1 = 63$ представлена на рисунке 3.

Благодаря такой форме АКФ М-последовательности получили широкое распространение в локаторной технике. Именно там возможность получения точного значения временного сдвига между двумя сигналами имеет решающее значение.

В системах множественного доступа важна также надежность различения кодов между собой определяемая ВКФ, которая у М-последовательностей не столь хороша, как АКФ. Например, для кодов Голда, образованных на основе М-последовательностей длиной 63 модуль, ВКФ принимает максимальное значение 17, что представляет собой 27 % вероятности ошибочной идентификации канала [3,4]. С ростом длины образующих м-последовательностей вероятность уменьшается, но никогда не сведется тождественно к нулю. Кроме того, АКФ кодовых последовательностей Голда отличается от АКФ м-последовательности и также имеет максимальное по модулю побочное значение 17 для длины 63 (см. рис. 4). Это может интерпретироваться как 27 % вероятность ошибочного установления точки отсчета начала передачи данных в канале.

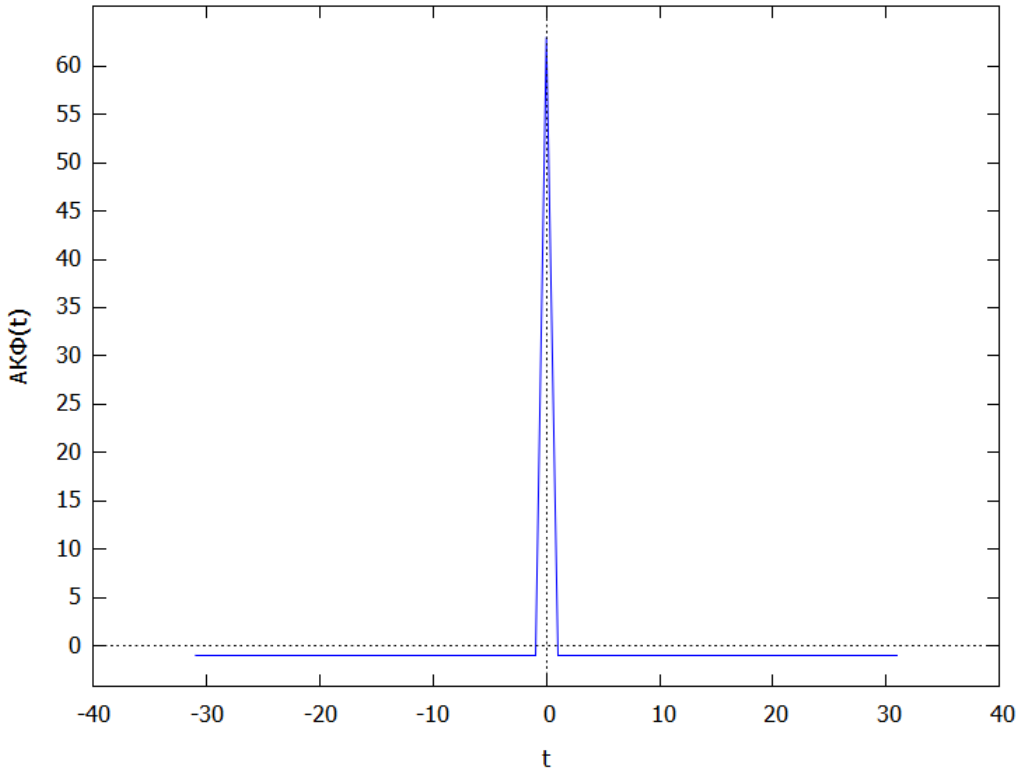


Рис. 3. АКФ м-последовательности длиной 63

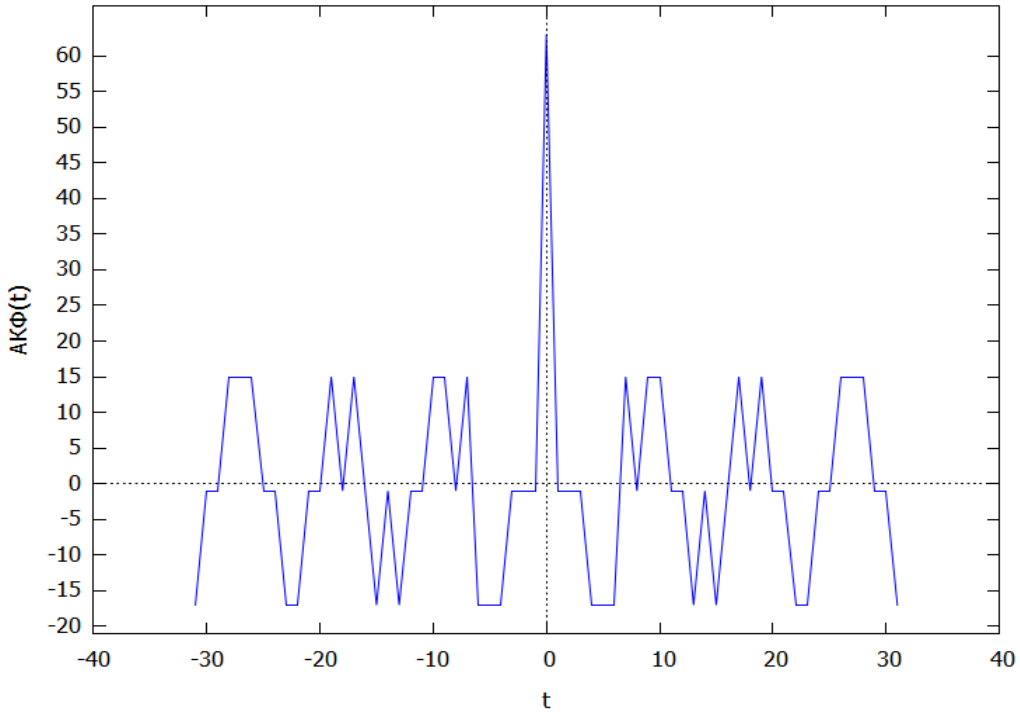


Рисунок 4. АКФ одного из кодов Голда

Иными широко используемыми кодовыми конструкциями являются коды Касами, которые также основаны на М-последовательностях. Для кодов длиной 63 максимальное по модулю значение ВКФ, как и побочное для АКФ имеет значение 9, или 14 % вероятность ошибки. Несмотря на серьезный выигрыш в доле ошибок коды Касами имеют существенный недостаток: количество кодовых конструкций длиной $2^m - 1$ составляет лишь $2^{m/2} - 1$ против $2^m + 1$ у кодов Голда.

Заключение

Исходя из описанных фактов, можно сделать вывод, что у известных кодовых последовательностей значение АКФ и ВКФ не позволяет безошибочно определять и канал, и время начала передачи даже в отсутствии шумов. В связи с этим вопрос поиска оптимальных кодов остается открытым и требует изучения.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов: принципы и приложения / В. П. Ипатов; В. Ипатов; пер. с англ. под ред. авт.. – Москва: Техносфера, 2007. 487 с. (Мир связи). ISBN 978-5-94836-128-4. EDN QMRUFJ.
2. Кукунин Д. С., Березкин А. А., Киричек Р. В. Использование фантомных каналов в качестве катализаторов усиления ортогональных свойств М-последовательностей в системе с кодовым разделением каналов // Труды Научно-исследовательского института радио. 2022. №. 1. С. 37.
3. Кузнецов В. С. и др. Генерация ансамблей кодов Голда для систем прямого расширения спектра //Труды МАИ. 2017. №. 96. С. 17.
4. Толстогузов Ю. А., Мурашко И. А. Алгоритм децимации полиномов. 2016.

Kniginickii E., Kukunin D. **MOTIVES FOR THE SEARCH FOR ALGORITHMS FOR THE FORMATION OF CODE SEQUENCES FOR CDMA.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article is devoted to the consideration of multiple access methods. Important characteristics for code channel separation are demonstrated. The advantages and disadvantages of known code constructions are revealed. The motives of the further search for algorithms for the formation of code sequences are indicated.

Key words: code channel separation, multiple access, CDMA, broadband systems.

УДК 004.056.5
ГРНТИ 81.93.29

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ СТЕНДУ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Д. С. Левшун[1,2], Д. М. Легкодымов[2]
[1]Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
[2]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлены требования к экспериментальному стенду для профилирования устройств Интернета вещей. Разработанный стенд обеспечивает сбор, разметку и анализ данных о поведении устройств Интернета вещей в различных сценариях. Особое внимание уделено адаптивности, масштабируемости и возможности моделирования вредоносной активности. Описанная архитектура направлена на обеспечения возможности моделирования вредоносной активности и всестороннего анализа поведения устройств.

Интернет вещей, профилирование устройств, экспериментальный стенд, сбор данных, разметка данных, моделирование вредоносной активности

Устройства Интернета вещей (IoT) играют ключевую роль в цифровой трансформации в различных отраслях. Их применение расширяется в критически важных областях, таких как промышленная автоматизация, здравоохранение и умные города [1]. В связи с этим, возрастает и необходимость в обеспечении защищенности этих устройств. Один из способов проведения комплексных исследований в области безопасности устройств IoT – разработка экспериментального стенда [2]. Экспериментальный стенд позволит организовать сбор ключевых данных, связанных с поведением устройств для дальнейшего профилирования. Это необходимо для повышения надежности и защищенности IoT устройств.

Статья направлена на формулирование основных требований к экспериментальному стенду, предназначенному для профилирования устройств IoT. Главная цель – установить набор критериев, который будет способствовать разработке гибкой и масштабируемой структуры стенда. Важно, чтобы стенд учитывал многообразие задач, которые выполняют устройства IoT, особенности их эксплуатации в различных условиях и позволял моделировать вредоносную активность.

Сегодня уже существуют решения для научных исследований, предоставляющие возможности для оценки различных аспектов работы IoT-устройств. Из наиболее известных решений – платформа IoTivity, которая предназначена для обеспечения совместимости IoT-устройств [3]. IoTivity позволяет подклю-

чать к сети реальные устройств и использовать виртуальные устройства для тестов на уровне протоколов. Аналогично платформа Eclipse IoT предлагает инструменты и фреймворки для разработки и управления IoT-системами. На платформе возможно отчасти имитировать работу устройств.

Существующие решения имеют ряд ограничений. В частности, ориентированность на конкретные аппаратные и программные экосистемы. Кроме того, многие из существующих решений сталкиваются с проблемами масштабируемости и отсутствием возможности моделирования вредоносной активности. Эти ограничения препятствуют в полной мере реализовать возможности полноценного исследовательского стенда в существующих решениях.

Экспериментальный стенд должен позволять моделировать реальные условия эксплуатации для получения релевантных данных. Такой стенд даст возможность улучшить надежность и безопасность IoT-решений [4].

Стенд должен быть спроектирован таким образом, чтобы с его помощью было возможно собирать, обрабатывать, хранить и размечать данные, необходимые для дальнейшего профилирования устройств. Например, стенд должен позволять собирать и хранить сетевой трафик [5].

Задачи экспериментального стенда:

1. Сбор и хранение данных для профилирования IoT-устройств.

2. Создание условий для оценки производительности, безопасности и поведения устройств при различных условиях эксплуатации и при моделировании вредоносной активности в реальном времени.

3. Обеспечение гибкой системы управления данными с учетом принадлежности данных к конкретным устройствам.

Экспериментальный стенд должен выполнять следующие требования.

1. Организация процесса сбора данных:

– захват сетевого трафика и других данных с привязкой к источникам;

– учет особенностей устройства, таких как тип, модель, используемые протоколы связи;

– обеспечение регистрации данных о контексте работы устройства (например, условия эксплуатации, сценарии).

2. Хранение данных:

– создание структурированной системы хранения, которая позволяет выделять и разделять данные по устройствам, сценариям и другим важным параметрам;

– обеспечение возможности масштабируемости хранилища.

3. Разметка данных:

– автоматическая или ручная разметка собираемых данных на основе временных меток, источников, сценариев и другого контекста;

– подготовка данных для последующего анализа.

4. Обеспечение функционалом для анализа:

– наличие инструментов для извлечения, визуализации и анализа данных.

Важно, чтобы экспериментальный стенд имел такие характеристики, как адаптивность и масштабируемость:

– стенд должен быть легко адаптируемым для работы с различными типами IoT-устройств, сетевых протоколов и сценариев эксплуатации;

– стенд должен обеспечить возможность масштабирования для тестирования как единичных устройств, так и крупных IoT-сетей;

– стенд должен поддерживать настройки параметров для анализа поведения устройств в различных эксплуатационных условиях и под разных нагрузками.

В таблице 1 приведены требования к экспериментальному стенду с учетом целей и задач:

ТАБЛИЦА 1. Требования к экспериментальному стенду

Функциональные требования	Нефункциональные требования	Технические требования
1. Сбор данных	1. Масштабируемость	1. Оборудование
Сбор и хранение сетевых пакетов и других данных для профилирования	Масштабируемость для работы с множеством устройств и различными уровнями нагрузки	Оборудование для мониторинга собираемых и других полезных данных
Сбор сетевого трафика как в беспроводной (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee и др.), так и в проводной сети (Ethernet)	2. Надежность	2. Программное обеспечение
Поддержка различных сетевых протоколов (MQTT, CoAP, HTTP и др.)	Высокая точность данных для обеспечения их надежности	Программное обеспечение для анализа данных и автоматизации исследований
2. Моделирование	3. Удобство	
Моделирование разнообразных сценариев и нагрузок для оценки работы устройств в условиях, близких к реальным.	Удобная интеграция и настройка стенда для облегчения работы исследователей.	

Экспериментальный стенд для профилирования IoT-устройств должен состоять из ряда компонентов. Компоненты должны обеспечивать комплексное выполнение его задач. Архитектура стенда может включать множество частей. Из них можно выделить:

– подсистема развертывания стенда – настройка и развертывание физических и виртуальных компонентов (оборудование, сетевые анализаторы, виртуальные машины, топологии);

– подсистема запуска сценариев нормальной активности – моделирование сценариев стандартной эксплуатации IoT-устройств;

– подсистема запуска сценариев аномальной активности – моделирование нестандартных сценариев (перегрузки, атаки);

– подсистема сбора, обработки и разметки данных – сбор трафика, разметка и анализ данных, инструменты для визуализации;

– подсистема мониторинга – отслеживание состояния элементов стенда, моделируемых сценариев, сетевых подключений, результатов;

– хранилище данных – централизованное хранение собранных данных, задач, сценариев и других необходимых данных;

– подсистема управления стендом – координация работы компонентов стенда, автоматизация экспериментов, настройка конфигураций сетей и других компонентов.

Для работы стенда необходимо иметь аппаратную часть, состоящую из оборудования, включающее шлюзы, сетевые адаптеры (Ethernet, Wi-Fi, Zigbee и другие), коммутаторы, системы хранения данных, а также компьютер или сервер для обработки и анализа данных.

Для анализа трафика требуется специализированное программное обеспечение, которое обеспечивает захват и анализ данных. Также в программной части должны быть инструменты для моделирования нагрузки и различных сценариев. Важно также иметь системы мониторинга и управления IoT-устройствами, а также средства для управления хранилищем данных. Необходимо также предусмотреть инструменты для симуляции аномальной активности и программное обеспечение для автоматизации проведения экспериментов.

Предлагается следующая схема взаимодействия IoT-устройств со стендом:

1. К стенду подключаются IoT-устройства через проводные и беспроводные интерфейсы.
2. Проводится моделирование сценария эксперимента.
3. Собираемые данные фиксируются и сохраняются.
4. Проводится анализ и оценка данных.

Пример типичных сценариев работы с IoT-устройствами, которые должны поддерживаться стендом:

– моделирование нормальных условий эксплуатации;

– моделирование аномальных условий эксплуатации;

– симуляция атак на устройства;

– отслеживание активности устройств;

– сбор данных;

– анализ взаимодействия IoT-устройств с внешними сервисами и системами.

Разработанные требования создают основу для разработки стенда для научных исследований. Требования обеспечивают возможность проводить анализ поведения IoT-устройств, тестировать их производительность, безопасность и устойчивость в реальных условиях. Также требования и архитектурные решения обеспечат адаптивность, масштабируемость и функциональность стенда. Стенд расширит возможности для разработки методов повышения безопасности IoT-решений с использованием профилирования устройств. Дальнейшие разработки могут быть направлены на расширение требований для работы с большими IoT-сетями, а также на создание универсальных решений для анализа взаимодействий устройств в гетерогенных сетях.

Список используемых источников

1. Баймухамедов М. Ф., Баймухамедова А. М., Баймухамедова Г. С., Аймурзинов М. С. Цифровая трансформация предприятий в условиях цифровизации экономики // Bulletin of the Karaganda university Economy series, 2021. № 4. С. 108–116.
2. Zelle D., Rieke R., Plappert C., Kraus C., Levshun D., Chechulin A. Sepad-security evaluation platform for autonomous driving // Proceedings - 2020 28th euromicro international conference on parallel, distributed and network-based processing, PDP 2020. Vasteras: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. PP. 413–420.
3. Anam Nawaz Khan, Atif Rizwan, Rashid Ahmad, Do Hyeun Kim An OCF-IoTivity enabled smart-home optimal indoor environment control system for energy and comfort optimization // Internet of Things. 2023. № 22. 100712.
4. Levshun D., Chechulin A., Kotenko I., Chevalier Y. Design and verification methodology for secure and distributed cyber-physical systems // 2019 10th ifip international conference on new technologies, mobility and security, NTMS 2019 proceedings and workshop. Canary Islands: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. 8763814.
5. Данилов В. В., Круглов Н. М. Подход к профилированию сетевого взаимодействия iot-устройств // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. 2021. № 30. С. 77–79.

Levshun D., Legkodymov D. **FORMING REQUIREMENTS FOR AN EXPERIMENTAL BENCH FOR PROFILING IOT DEVICES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents the requirements for an experimental bench designed for profiling Internet of Things devices. The developed platform facilitates the collection, annotation, and analysis of data regarding the behavior of Internet of Things devices under various scenarios. Particular attention is given to adaptability, scalability, and the capability to simulate operational conditions. The described architecture is aimed at enabling the simulation of operational conditions and comprehensive analysis of device behavior.

Key words: Internet of Things, device profiling, experimental bench, data collection, data annotation.

УДК 004.415
ГРНТИ 20.53.23

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА ESP-NOW

К. Б. Миронов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается система передачи данных на основе беспроводного протокола ESP-NOW. Протокол ESP-NOW, разработанный компанией Espressif, обеспечивает низкую задержку и высокую надежность обмена данными между устройствами в сети. В работе описаны особенности реализации протокола и структура взаимодействия устройств на базе микроконтроллеров семейства ESP32 и ESP8266. Представлены результаты тестирования системы в условиях реального времени, а также сравнение характеристик протокола с другими способами передачи данных.

ESP-NOW, сеть передачи данных, интернет-вещей, Wi-Fi

Интернет вещей (IoT) активно развивается, требуя новых методов передачи данных между устройствами. Большинство IoT-систем ориентированы на беспроводные сети связи, такие как Wi-Fi, Bluetooth и LoRa. Однако эти технологии могут быть ограничены в плане энергопотребления, дальности или сложности настройки. В таких условиях протокол ESP-NOW, разработанный компанией Espressif, предоставляет эффективное решение для передачи данных в средах с низким энергопотреблением и высокой скоростью передачи.

ESP-NOW позволяет устройствам обмениваться данными напрямую, используя принцип peer-to-peer. Протокол оптимизирован для передачи небольших пакетов данных, что делает его идеальным для приложений, требующих быстрой и надежной связи, таких как системы умного дома, беспроводные датчики и сети мониторинга. Основное преимущество ESP-NOW заключается в минимальной задержке, что позволяет использовать его в реальном времени.

Описание протокола ESP-NOW

ESP-NOW – это легкий проприетарный протокол передачи данных, основанный на технологии Wi-Fi. Данный протокол использует механизм передачи данных по MAC-адресам, что позволяет устройствам обмениваться сообщениями без участия точки доступа или маршрутизатора. Это делает про-

токол идеальным для приложений, где важна автономность и низкое энергопотребление.

Основные характеристики ESP-NOW[1; 2]:

– механизм peer-to-peer (устройства могут обмениваться данными напрямую, без необходимости использования сети Wi-Fi или интернета);

– низкая задержка (протокол обеспечивает очень низкую задержку передачи данных);

– низкое энергопотребление (протокол подходит для использования в устройствах с автономным питанием);

– поддержка зашифрованной и незашифрованной связи;

– многоточечная связь (один модуль ESP32 может одновременно поддерживать связь с несколькими устройствами, до 20 узлов, что делает его подходящим для построения небольших сетей).

ESP-NOW имеет ограничения по размеру передаваемых данных – до 250 байт в одном пакете. Это может быть недостатком для передачи больших файлов, но для большинства IoT-задач, таких как передача значений датчиков, этого объема достаточно.

Архитектура системы

Для создания системы на основе ESP-NOW можно использовать следующие компоненты [3].

1. Главный узел (мастер). Центральное устройство, ответственное за сбор данных от подчиненных узлов и их обработку. Например, ESP32, подключенный к компьютеру или серверу, может выполнять роль главного узла.

2. Подчиненные узлы (слейвы). Устройства, которые собирают данные (например, с датчиков) и передают их главному узлу. Каждый подчиненный узел на основе ESP32 или ESP8266 может быть оснащен различными датчиками: температуры, влажности, давления и др.

3. Связь между устройствами. Используется протокол ESP-NOW, где главный узел инициирует связь с подчиненными устройствами и получает от них данные.

На рисунке 1 показан пример системы передачи данных, основанной на трех подчиненных узлах и одном главном узле, который в свою очередь передает данные на MQTT-брокер через сеть Wi-Fi.

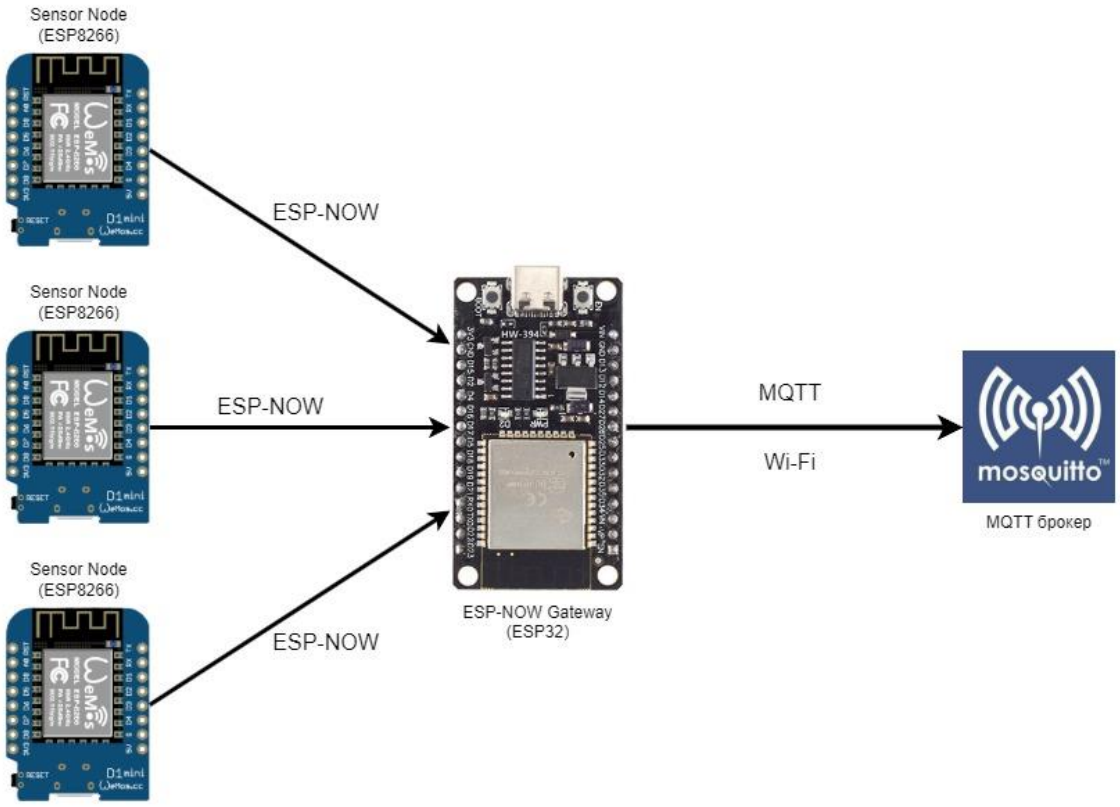


Рис. 1. Пример архитектуры

Пример использования

Рассмотрим применение ESP-NOW в системе мониторинга температуры и влажности в квартире. Главный узел получает данные от подчиненных узлов, расположенных в разных частях помещения. Каждый подчиненный узел собирает показания датчиков температуры и влажности и отправляет их главному узлу через ESP-NOW. После каждой отправки показаний подчиненный узел переходит в режим глубокого сна на определенный интервал времени.

Результаты тестирования

Система передачи данных на основе ESP-NOW была протестирована на нескольких ESP32, установленных в различных частях квартиры для оценки производительности. В ходе тестирования были выявлены следующие результаты:

1. Задержка передачи данных в условиях наличия препятствий (стены, мебель) составила до 20-30 миллисекунд.

2. Энергопотребление. Использование ESP-NOW позволило значительно снизить энергопотребление по сравнению с Wi-Fi. При активации режима глубокого сна (Deep Sleep) модули ESP32 потребляют менее 10 мкА, что позво-

ляет работать устройству на батарее емкостью 1000 мА·ч в течение нескольких месяцев.

3. Надежность передачи. При наличии помех в диапазоне 2.4 ГГц (например, работающий Wi-Fi роутер) процент потерянных пакетов не превышал 2 %, что указывает на высокую надежность протокола.

Сравнение с другими технологиями

Кроме протокола ESP-NOW, существуют и другие технологии передачи данных, с разными характеристиками и функционалом [4]. Для более полного понимания преимуществ ESP-NOW стоит сравнить его с другими способами передачи данных, данное сравнение приведено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение технологий передачи данных

Способ передачи данных	Скорость передачи	Энергопотребление	Дальность без повторителей	Размер пакета	Сложность реализации
Wi-Fi	До 150 Мбит/с	Высокое	До 100 м	До 1500 байт	Низкая сложность
Bluetooth LE	До 2 Мбит/с	Низкое	До 100 м	До 1024 байт	Средняя сложность
LoRa	До 50 кбит/с	Низкое	До 10 км	До 255 байт	Высокая сложность
ESP-NOW	До 2 Мбит/с	Низкое	До 200 м (прямая видимость)	До 250 байт	Низкая сложность
Zigbee	До 250 кбит/с	Низкое	До 100 м	До 128 байт	Высокая сложность

Технология Wi-Fi имеет слишком высокое энергопотребление и не подходит для долгосрочного использования в устройствах с автономным питанием. Технологии LoRa и Zigbee требуют использования дополнительного приемопередатчика, что усложняет реализацию. ESP-NOW занимает промежуточное положение между Wi-Fi и Bluetooth, обеспечивая высокую скорость передачи данных при низком энергопотреблении, что делает его отличным выбором для приложений с жесткими требованиями к времени отклика и автономности.

Заключение

Система передачи данных на основе протокола ESP-NOW продемонстрировала высокую эффективность для использования в IoT-приложениях, требующих быстрого обмена небольшими пакетами данных. Благодаря своей низ-

кой задержке и низкому энергопотреблению, протокол подходит для работы в условиях ограниченных ресурсов, таких как автономные датчики и устройства мониторинга. Перспективы использования ESP-NOW включают интеграцию с другими сетевыми протоколами (например, MQTT), что позволит создавать более гибкие и масштабируемые решения. Также возможна разработка гибридных систем, сочетающих преимущества ESP-NOW и Wi-Fi для улучшения дальности и пропускной способности связи в IoT-сетях.

Список используемых источников

1. ESP-NOW – альтернативный протокол обмена данными для ESP8266 и ESP32. Основные понятия. URL: https://habr.com/ru/articles/502260/ (дата обращения 13.11.2024).
2. Espressif Systems. ESP-NOW User Guide. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html (дата обращения 13.11.2024).
3. Pasic R., Kuzmanov I., Atanasovski K. ESP-NOW communication protocol with ESP32. // Journal of Universal Excellence, 2021. PP. 53–60.
4. Shilpa B., Radha R., Movva P. Comparative Analysis of Wireless Communication Technologies for IoT Applications. // Artificial Intelligence and Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2022. Vol 806. PP. 383–394.

Mironov K. **DATA TRANSMISSION SYSTEM BASED ON THE ESP-NOW PROTOCOL.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper discusses a data transmission system based on the ESP-NOW wireless protocol. ESP-NOW protocol, developed by Espressif company, provides low latency and high reliability of data exchange between devices in the network. The paper describes the peculiarities of the protocol implementation and the structure of interaction between devices based on ESP32 and ESP8266 microcontrollers. The results of testing the system in real-time conditions are presented, as well as a comparison of the protocol characteristics with other methods of data transmission.

Key words: ESP-NOW, data network, Internet of Things, Wi-Fi.

УДК 004.358
ГРНТИ 20.53.23

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИММЕРСИВНЫХ СЕТЕЙ

Е. И. Часовских
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие мобильных сетей позволило расширить возможности взаимодействия между пользователями и перейти к концепции передачи ощущений через Интернет. Одним из направлений в концепции «Интернета чувств» является передача запаха. В данной статье представлен анализ возможных реализаций системы для передачи обонятельной информации, возможные архитектурные решения, а также готовые на данный момент продукты.

Internet of senses, нательные сети, metaverse, машинное зрение

Внедрение новых поколений мобильной связи (рис. 1) открывает широкие перспективы для передачи большого объема информации, чувствительной к задержкам, через каналы связи. Это приводит к появлению новых возможностей и методов взаимодействия между пользователями в сетях связи.

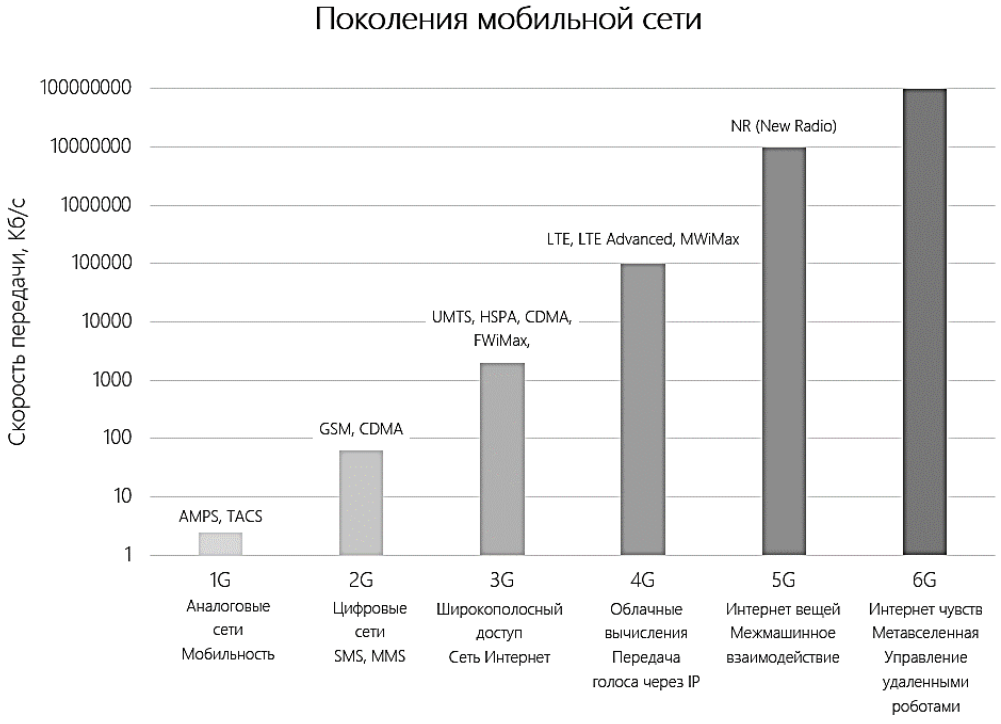


Рис. 1. Развитие мобильной сети

Передача сенсорной информации через сети связи становится все более актуальной и реализуемой в формате реального времени, что приближает к возможности полного погружения пользователя в цифровую-виртуальную среду. На данный момент большинство разработок, связанных с погружением пользователя в виртуальную среду, производится в области визуальной, аудиальной, осязательной и двигательной информации об среде и пользователе, что оставляет непроработанным еще несколько базовых ощущений важных для полноты погружения в виртуальную среду. Так, обоняние и вкус являются одними из наименее изученных и трудных в воспроизведении, в следствии их прямого взаимодействия на основе химических реакций.

Так модель работы обонятельных сенсоров и преобразования информации может быть представлена исходя из биологических процессов, происходящих в человеческом организме [1], данная схема представлена на рис. 2.

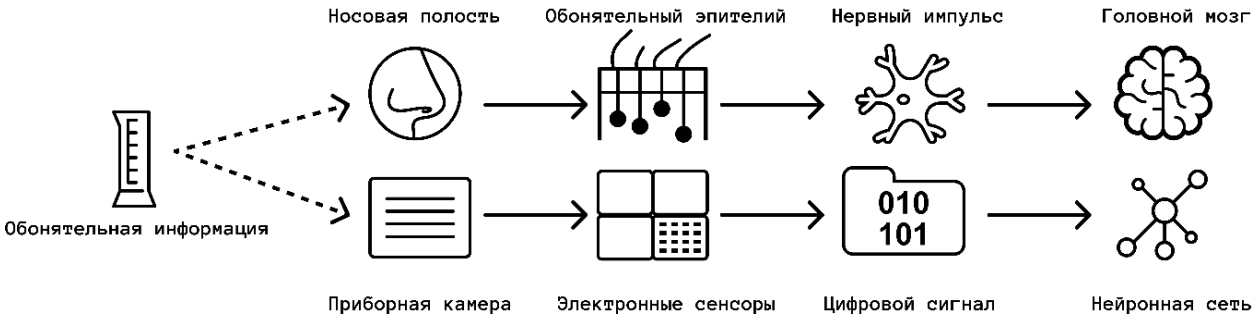


Рис. 2. Сопоставление биологических и механических реализаций систем обонятельных рецепторов

Представленная модель не отражает реальной реализации устройства, так как не имеет интерфейсов взаимодействия с телом человека и отображает лишь машинное представление обонятельной системы. Так, для полноценного рассмотрения системы передачи обонятельной информации пользователю её можно разбить на две составляющие: датчик и синтезатор.

Рассмотрим различные варианты реализации данных составляющих.

Методы считывания

Д.1. Реализация через спектрометры

Примером такой реализации может служить SCiO Pocket Molecular Scanner Teardown [2]. Данная технология позволяет предсказывать состав объектов за счет анализа отраженного от поверхности объекта света и выявления поглощенных составляющих [3] (рис. 3). Считывание типа вещества происходит в течении 5-10 секунд с момента наведения на анализируемый объект.

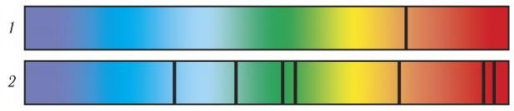


Рис. 3. Спектры поглощения для 1- натрия и 2 –гелия

Минусы – так как анализ проводится на основе информации, полученной с поверхностных слоев объекта, предсказательная способность данного метода будет весьма низкой, что будет негативно сказываться на последующем воспроизведении объекта, скорость анализа не соответствует требованиям построения архитектуры с обратной связью.

Плюсы – простота в использовании, компактность и низкая стоимость комплектующих.

Д.2. Реализация через имитацию с помощью оценки окружения за счет машинного зрения

Готовых реализаций данного метода в контексте считывания обонятельной информации не было найдено в следствии его потенциальной новизны, однако существует множество систем, основанных на применении машинного зрения для оптимизации процессов и улучшения качества обслуживания. Предлагаемый метод основан на считывании информации из окружения пользователя (как реального, так и виртуального). Искусственный интеллект, применяемый в данной системе, анализирует поступающий на вход видео или фоторяд, делая вывод об контакте происходящего вокруг пользователя сценария. Определив сценарий ИИ выдает заданный «рецепт» из смеси потенциально возможных запахов в данном контексте, что представлено на рис. 4.

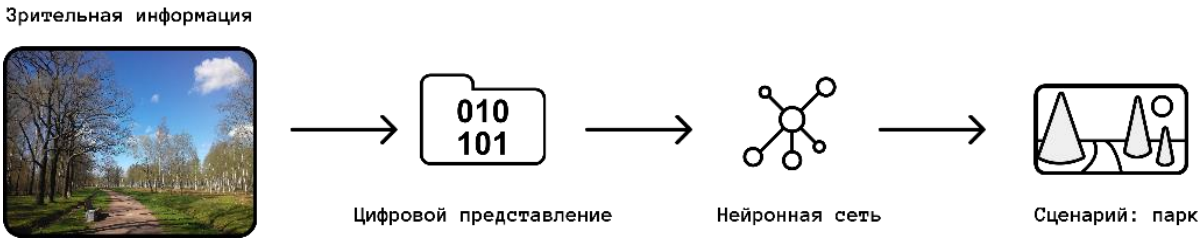


Рис. 4. Распознавание номеров с помощью машинного зрения

Минусы – реального анализа химического состава атмосферы не производится, возможны значительные отклонения от реальности, ограниченный спектр возможных сценариев, требуется мощное оборудование для обработки поступающего потока данных.

Плюсы – не требуется дополнительного оборудования для захвата изображения, скорость обработки и реакции позволяет системе функционировать в реальном времени.

Д.3. Реализация через набор сенсоров с заданным спектром веществ

Готовой реализаций данного метода анализа запаха может выступать PEN3 Portable Electronic Nose [4]. Такой метод представляет собой набор, состоящий из 10 отдельных толстопленочных датчиков на основе оксидов металлов, адаптированных к реакции на конкретное вещество. Время срабатывания датчика от 4 секунд до нескольких минут.

Минусы – высокая задержка при считывании материала, большие размеры устройства, ограниченный считываемы веществ в следствии малого колва датчиков.

Плюсы – высокая точность результата при анализе исследуемого материала.

Методы воспроизведения

С.1. Реализация с помощью химических реакций по считанному веществу, реакции этерификации – получение сложных эфиров

Данный метод получения запахов реализуется за счет проведения химических реакций, известных как реакции этерификации, представленные на рис. 5, и используется в химической промышленности для получения отдушек и ароматизаторов.

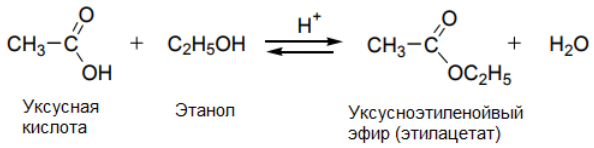


Рис. 5. Реакции этерификации, получение сложных эфиров

Метод заключается в контролируемом смешении кислот и спиртов при заданных условиях и с дополнительным применением катализаторов в зависимости от проводимой реакции [5].

Минусы – метод влечет за собой высокую степень потенциальной угрозы пользователю, химические реакции требуют соблюдения множества условий для удачного выполнения (равномерная температура, отсутствие вибраций, наличие катализатора, постоянство процессов) нарушения которых могут вызвать распад эфиров. Для проведения обширного синтеза эфиров необходимо множество компонентов и стабильные условия, что невозможно при организации мобильной системы.

Плюсы – при высоком разнообразии компонентов позволяет создать широкий спектр ароматов, что дает наиболее точное отображение считанной информации.

С.2. Реализация через смешение необходимого запаха по заданным рецептам из базовых ароматов

Метод заимствован из парфюмерии и основан на применении ряда базовых ароматов при смешении в итоговую композицию. В связке с заданными «рецептами», данный метод позволит создать необходимую палитру запахов.

Минусы – ограниченное кол-во базовых ароматов для повешения мобильности устройства, нет реального воспроизведения существующего запаха.

Плюсы – скорость работы, простота реализации.

С.3. Реализация с помощью стимуляции обонятельных рецепторов или воздействия на области мозга

Методология заключается в использовании нейрохирургических и иных методов воздействия на рецепторы или участки мозга для имитации ощущений от различных типов ароматов. Исследования данной области ведутся разрозненно и конкретной методологии или готового продукта пока не имеется в следствии сложности работы сенсорной системы человека.

Минусы – техническая сложность, необходимость расширения научных исследований, нет достаточных наработок и опыта, чтобы утверждать о стабильности и надежности метода в различных условиях.

Плюсы – безопасность, отсутствие физических веществ, гибкость в настройках.

Определим перечень критериев для оценки рассмотренных реализаций системы.

– К1. Безопасность – 5 безопасное, 0 высокий риск для пользователя;

– К2. Мобильность – 5 компактное решение, 0 стационарное решение;

– К3. Точность – 5 высокая точность воспроизведения, 0 низкая точность воспроизведения;

– К4. Простота реализации – 5 решение не требует сложных операций, 0 решению необходимы сложные операции;

– К5. Требования по компонентам – 5 не необходимости в новых компонентах (датчик) или их малое кол-во (синтезатор), 0 необходимость в новых компонентах (датчик) или требуется большое кол-во компонентов (синтезатор);

– К6. Скорость – 5 задержка около 1 мс, 0 задержка более минуты.

Оценка рассмотренных вариантов реализации системы по передаче обонятельной информации приведена в таблицах 1, 2.

ТАБЛИЦА 1. Оценка методов воспроизведения обонятельной информации

Метод	К1.	К2.	К3.	К4.	К5.	К6.	Итог
Д.1.	5	4	3	4	4	3	23
Д.2.	5	5	2	5	5	4	26
Д.3.	5	1	5	4	2	1	18

ТАБЛИЦА 2. Оценка методов воспроизведения обонятельной информации

Метод	К1.	К2.	К3.	К4.	К5.	К6.	Итог
С.1.	1	0	5	0	1	1	8
С.2.	4	4	2	5	3	4	22
С.3.	3	4	5	1	2	5	20

Таким образом, была выявлена наиболее удачная комбинация в вариантах реализации датчика Д.2. и синтезатора С.2. для создания системы для передачи обонятельной информации. Данные решения позволят с наименьшими рисками для пользователя, реализовать наиболее простую мобильную систему передачу запаха с возможностью симуляции реальных запахов в зависимости от окружения-сценария пользователя.

Список используемых источников

1. Ata Jahangir Moshayedi, Amir Sohail Khan, Yang Shuxin, Geng Kuan, Hu Jiandong, Masoumeh Soleimani, Abolfazl Razi. ENose design and structures from statistical analysis to application in robotic: a compressive review // EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics. 2023. 2 (2790-7511).
2. SCiO Pocket Molecular Scanner Teardown - SparkFun Learn [Электронный ресурс] // Sparkfun. URL: https://learn.sparkfun.com/tutorials/scio-pocket-molecular-scanner-teardown-/all (дата обращения 13.11.2024).
3. Piotr Borowik, Leszek Adamowicz, Rafał Tarakowski, Krzysztof Siwek, Tomasz Grzywacz. Odor Detection Using an E-Nose With a Reduced Sensor Array // Sensors. 2020.
4. Technical Data // PEN3 Portable Electronic Nose. URL: https://airsense.com/sites/default/files/flyer_pen.pdf (дата обращения 13.11.2024).
5. Гудкова М. М, Синеглазова И. В. Получение сложных эфиров и приготовление духов в лабораторных условиях. URL: https://school-science.ru/3/13/33057 (дата обращения 13.11.2024).

Chasovskikh E. **INTERNET OF SENSES – ANALYSIS OF VARIATIONS IN OLFACTORY INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The development of mobile networks has made it possible to expand the possibilities of interaction between users and move to the concept of transmitting sensations via the Internet. One of the directions in the concept of the "Internet of Senses" is the transmission of smell. This article presents an analysis of possible implementations of a system for transmitting olfactory information, possible architectural solutions, as well as currently ready products.

Key words: Internet of senses, wearable networks, metaverse, machine vision.

1.4. Медиатехнологии и телерадиовещание

УДК 681.84.087
ГРНТИ 47.41.99

ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ ЭФФЕКТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

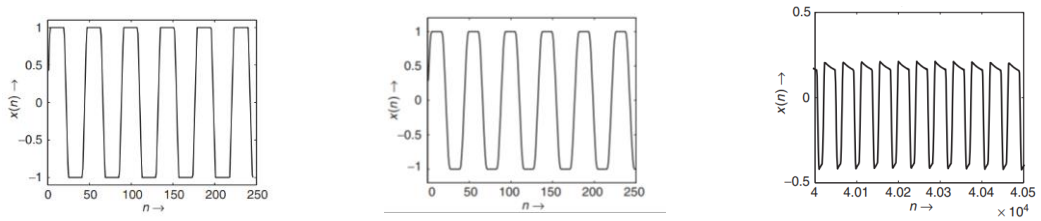
А. Ю. Баскова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эффекты нелинейных искажений играют важную роль в создании уникального звучания электрогитары. Их использование позволяет музыкантам экспериментировать с различными звуковыми текстурами и стилями исполнения. Цель данного исследования – анализ существующих устройств эффектов, моделирование их работы и разработка программного обеспечения для более глубокого понимания их воздействия на аудиосигнал. На основе полученных данных будет предложена классификация устройств по коэффициенту нелинейных искажений.

нелинейные искажения, звуковые эффекты, электрогитара, музыка

Существуют различные устройства эффектов (педали эффектов) для музыкальных инструментов, в корне меняющие звучание последних до неузнаваемости. Многочисленные эксперименты со звуком, породившим целые жанры музыкальных стилей (хэви-металл, рок, панк), положили начало масштабному производству устройств искажений звука. «Перегруженное» звучание электрогитары достигается с помощью устройства, вносящего нелинейные искажения. Характерной особенностью такого звука является наличие новых гармонических составляющих в спектре сигнала, ввиду работы устройства в нелинейном режиме.

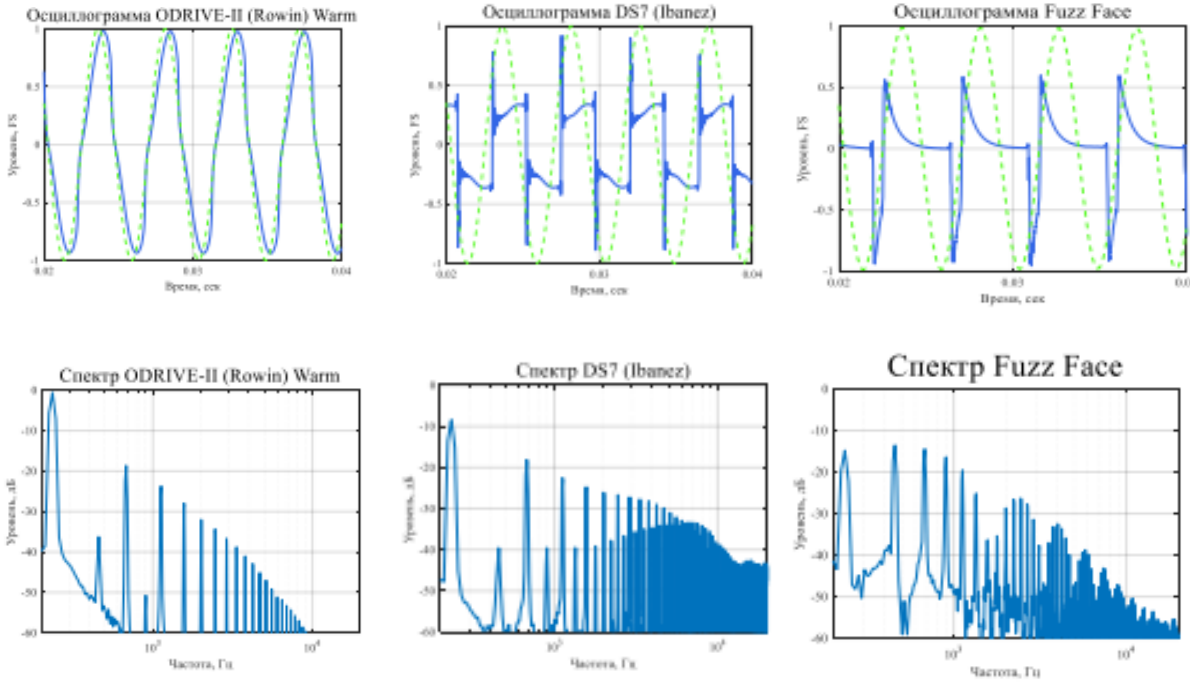
Типизация данных устройств сложилась исторически, исходя из субъективной оценки звучания и формы выходных сигналов [1]. Педали эффектов подразделяют на 3 типа: мягкое ограничение (soft clipping), жесткое ограничение (hard clipping) и асимметричное ограничение (asymmetrical clipping). Получаемые формы сигнала представлены на рис. 1.



а) б) в)

Рис.1. Формы сигналов а) жесткого, б) мягкого, в) асимметричного ограничений

Для анализа жестокого и мягкого ограничений отобраны образцы готовых устройств Rowin-II и Ibanez-DS7. Для анализа асимметричного ограничения проведено макетирование [2] устройства по схеме оригинального устройства Arbiter Fuzz Face [3]. Осциллограммы и спектры сигналов представлены на рис. 2.



а) б) в)

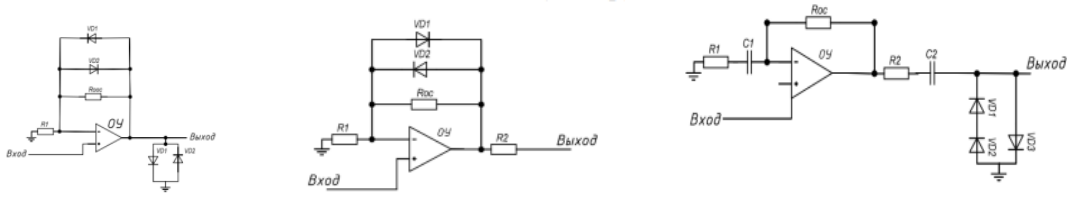
Рис.2.Осциллограммы и спектры а) мягкого, б) жесткого и в) асимметричного ограничений для каждого из соответствующих устройств

Однако, различие эффектов нелинейных искажений по форме выходного сигнала не предоставляет возможности для объективного и количественного оценивания параметров устройств для их дальнейшей реализации. Ввиду этого, в данном исследовании предложена классификация устройств нелинейных искажений, количественная оценка спектральной характеристики которых производится по формуле коэффициента гармонических искажений (КГИ) [4]:

$$к_г = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots + U_n^2}}{U_1^2}$$

U_1,U_2,U_3,U_n – значения напряжения соответствующих гармонических составляющих.

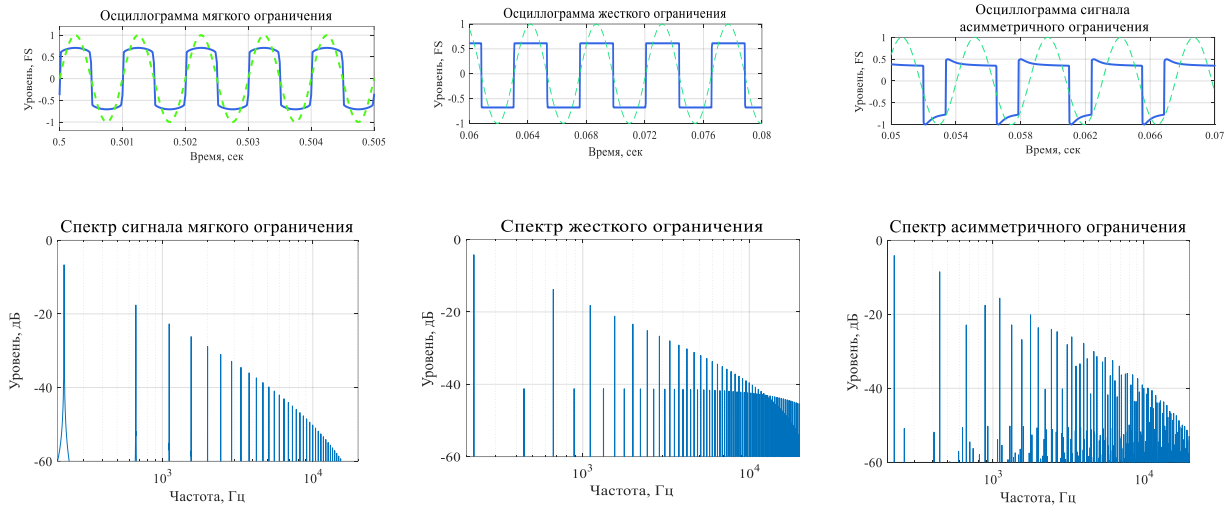
Для получения КГИ в ПО LTSpice производится моделирование схем, обеспечивающих форму сигнала, соответствующего приведенным типам представлены на рис. 3.



а) б) в)

Рис. 3. Схемы а) мягкого, б) жесткого и в) асимметричного ограничений

Осциллограммы и спектры мягкого, жесткого и асимметричного ограничений представлены на рис. 4.



а) б) в)

Рис. 4. Схемы, осциллограммы и спектры а) мягкого, б) жесткого, в) асимметричного ограничений

Значения КГИ для каждого типа ограничений составляют: 12 % – для мягкого, 43 % – для жесткого, 74 % – для асимметричного.

Получившиеся значения можно соотнести со значениями КГИ прямоугольной (12 %), треугольной (42 %) и пилообразной (72 %) форм соответ-

ственно и ввести классификацию устройств по КГИ, где значения для мягкого ограничения лежат в диапазоне от 12 % – 41 %, для жесткого ограничения диапазон составляет от 42 % – 72 %, а для асимметричного от 72 %.

Для цифровой реализации в ПО Matlab 2019b разработан программный модуль для моделирования и исследования звуковых эффектов аудиосигналов, осуществляющий обработку сигнала эффектами нелинейных искажений, заданных математическими функциями [5]: для жесткого (1), для мягкого (2) и для асимметричного (3) ограничений:

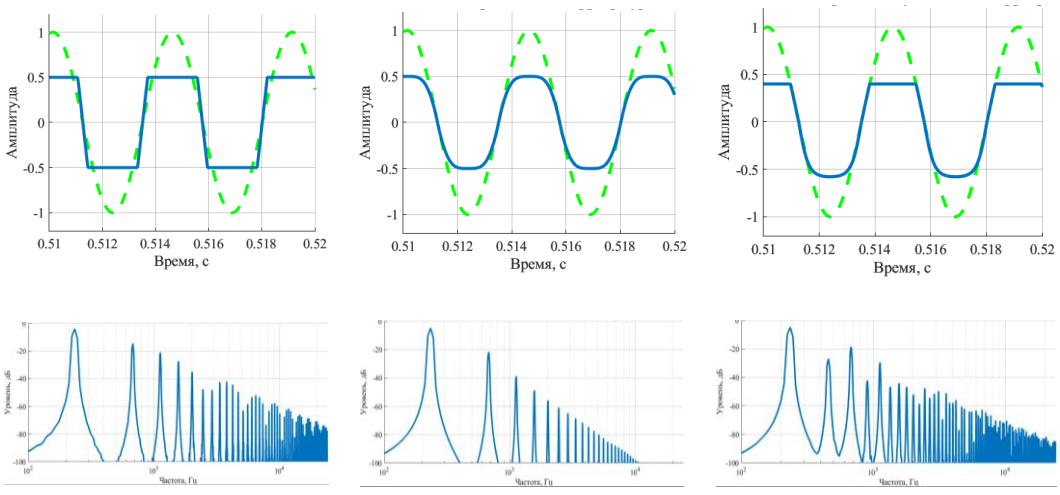
$$f(x) = \begin{cases} -T, x < -T \\ x, -T \le x \le T \\ T, x \ge T \end{cases} \quad (1)$$

где *f(x)* – выходное значение сигнала, *x* – входное значение сигнала, *T* – пороговое значение для входного сигнала.

$$f(x) = \begin{cases} 2x, 0 \le |x| < \frac{1}{3} \\ sign(x)\frac{[1-(2-|3x|)^2]}{3}, \frac{1}{3} \le |x| \le \frac{2}{3} \\ sign(x), |x| \ge \frac{2}{3} \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{0.8 + 8x}{1 + abs(0.8 + 8x)} \quad (3)$$

Осциллограммы и спектры сигналов после обработки вышеуказанными функциями представлены на рис.5:



а) б) в)

Рис. 5. Осциллограммы, спектры и математические функции а) мягкого, б) жесткого, в) асимметричного ограничений

Значения КГИ сведены в обобщенную таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1. Значения КГИ

Тип ограничения	мягкое	жесткое	асимметричное
КГИ, %			
Диапазон	12-41	42-72	От 72
Способ реализации			
ПО LTSpice	12	43	74
Аналоговый	24	47	191
Цифровой	18	42	29

Значения КГИ для мягкого и жесткого ограничений цифровой реализации удовлетворяют установленным диапазонам классификации. КГИ для асимметричного ограничения не удовлетворяет заданным требованиям, что вызвано сложностью реализации сигнала в цифровой форме. Для остальных способов реализации эффектов нелинейных искажений значения удовлетворяют заданным диапазонам, что позволяет судить о возможности внедрения классификации устройств по КГИ.

Значительное различие в значениях асимметричного ограничения обуславливается сложностью в моделировании нелинейных участков сигнала. Для решения этой проблемы в перспективе могут быть разработаны алгоритмы, позволяющие на основе спектра обработанного выходного сигнала получить амплитудно-амплитудную характеристику для построения математической модели, позволяющей получить требуемое значение КГИ.

Список используемых источников

1. Zölzer, U. DAFX: digital audio effects / Udo Zölzer. 2nd ed. London, John Wiley & Sons Ltd, 2011.
2. Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; Сборник лучших докладов: в 2 т. Т.2. / сост. Н. Н. Иванов. – СПб.: СПбГУТ. 2024.С. 45–49.
3. ElectroSmash – Анализ Fuzz Face. URL: https://www.electrosmash.com/fuzz-face
4. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов: Н. Н. Фомин, Н. Н. Буга, О. В. Головин, А. А. Кубицкий, В. А. Левин, А. И. Фалько; под ред. Н. Н. Фомина. М.: Радио и связь, 1996.
5. Enderby S., Baracskai Z. Harmonic instability of digital soft clipping algorithms // Proceedings of the 15th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-12). 2012.

Baskova A. **RESEARCH AND CLASSIFICATION OF NONLINEAR DISTORTION EFFECT DEVICES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Non-linear distortion effects play an important role in creating a unique sound for electric guitars. Their use allows musicians to experiment with various sound textures and performance styles. The aim of this study is to analyze existing effect devices, model their operation, and develop software for a deeper understanding of their impact on the audio signal. Based on the obtained data, a classification of devices will be proposed according to the coefficient of non-linear distortions.

Key words: distortion, overdrive, fuzz, guitar, music effects.

УДК 654.197.6
ГРНТИ 47.51.39

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССИИ МЕДИАКОНТЕНТА КОДЕКАМИ AV1, H.265, H.264 ПРИ ПОМОЩИ МЕТРИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Е. О. Басырева, А. Н. Бучатский, Е. С. Козырева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлено сравнительное тестирование кодеков AV1, H.265 и H.264 на различных типах медиаконтента. Проведены эксперименты по кодированию и декодированию видеофайлов, анализу размеров сжатых файлов, битрейту, времени кодирования, а также оценке качества изображения при помощи метрик.

медиаконтент, AV1, H.265, H.264, метрика, кодек, битрейт

В современном мире объемы видеоконтента растут с большой скоростью, и необходимость эффективного сжатия данных становится все более актуальной. Целью экспериментального исследования является сравнительный анализ кодеков AV1, H.265 и H.264 по следующим параметрам: битрейт, объем файла и скорости кодирования.

При подборе видеоматериалов [1] были выделены шесть композиций с различным сюжетом. В связи с объемом данной работы будут продемонстрированы лишь две композиции, которые подходят по нескольким критериям: крупный план, быстрые и медленные сцены, детализация. В таблице 1 представлены основные параметры исходных видеоданных. После подбора видеоматериалов проводим процесс кодирования при помощи кодеков H.264, H.265, AV1. Характеристики полученных видеороликов продемонстрированы в таблице 2.

ТАБЛИЦА 1. Исходные видео

Название	Камера	Машины
Кодек	Planar 4:2:0 YUV	24 bits RGB (RV24)
Ширина	1280	
Высота	720	
Частота кадров, к/с	50	30
Длительность, с	10	
Битрейт, кб/с	552960	9462
Размер, МБ	664	11

ТАБЛИЦА 2. Параметры видеоматериала после процесса кодирования

Название	Камера			Машины		
Кодек	H.264	H.265	AV1	H.264	H.265	AV1
Битрейт, кб/с	3391	3384	3378	3421	3356	3394
Размер, МБ	4,05	3,99	4,03	4,08	4,06	3,68
Время кодирования, с	8	17	312	2	21	289

На основе данных таблицы 2 можно сделать вывод, что битрейт видеоматериалов после кодирования остается сравнительно близким друг к другу. В результате размер файлов отличается незначительно, колеблясь в пределах 3,68–4,08 МБ. Следует отметить, что время кодирования для кодека AV1 значительно превышает время кодирования для H.264 и H.265.

Рассмотрим процесс объективной оценки качества изображений. Представленные примеры (рис. 1–8) иллюстрируют изменение визуальных характеристик видео после сжатия, что позволяет выявить различия между оригинальными и компрессированными кадрами [2]. Анализ данных проводится с использованием двух метрик. PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio – пиковое соотношение сигнала к шуму). Данная метрика показывает соотношение между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума, который искажает значения этого сигнала. SSIM (Structural Similarity Index – индекс структурного подобия) – это метрика, предназначенная для оценки качества изображения, учитывая структурные изменения в изображении, а не ошибки пикселей. SSIM оценивает схожесть между двумя изображениями по трем компонентам: яркости, контрасту и структуре.



Рис. 1. Фрагмент из оригинального видео «Камера»



Рис. 2. Фрагмент из видео «Камера» подвергшийся компрессии кодеком:1) AV1; 2) H.265; 3) H.264

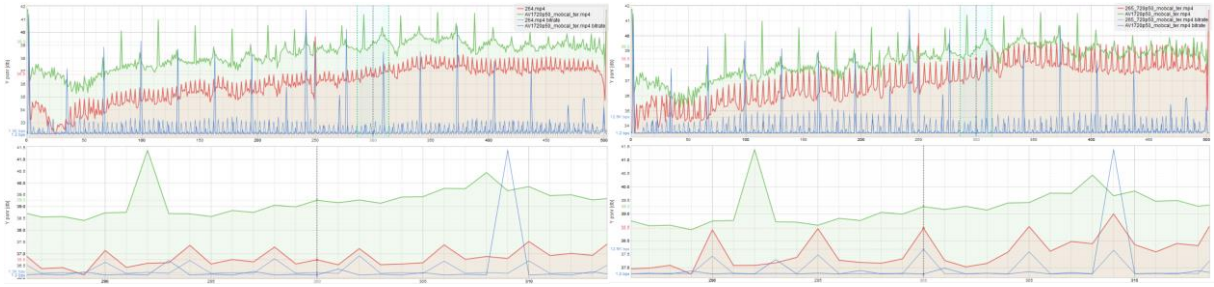


Рис. 3. График значений PSNR (дБ) и битрейта видео «Камера», прошедших кодеки: 1) H.264 и AV1; 2) H.265 и AV1



Рис. 4. График значений SSIM и битрейта видео «Камера», прошедших кодеки: 1) H.264 и AV1; 2) H.265 и AV1

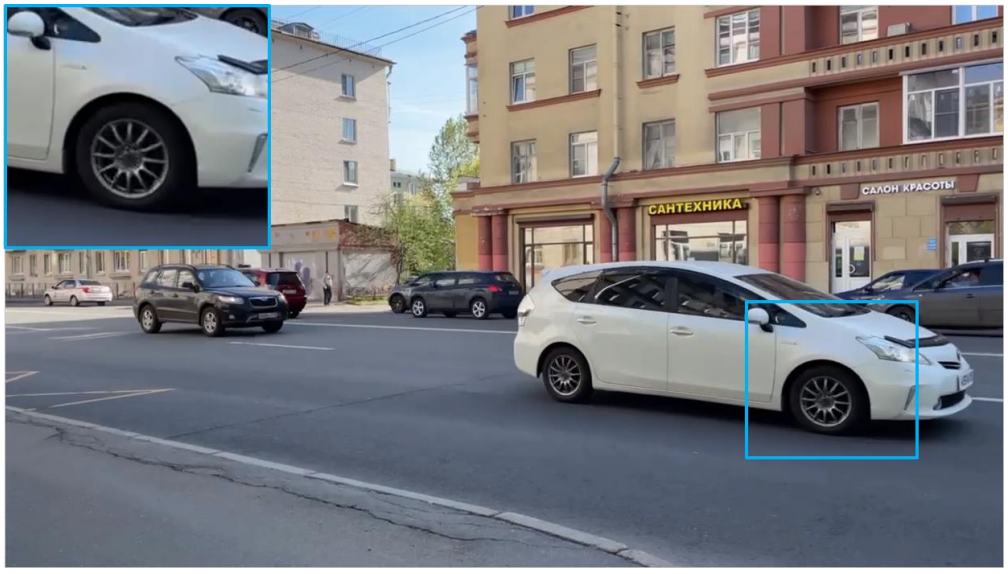


Рис. 5. Фрагмент из оригинального видео «Машины»



Рис. 6. Фрагмент из видео «Машины» подвергшийся компрессии кодеком:1) AV1; 2) H.265; 3) H.264

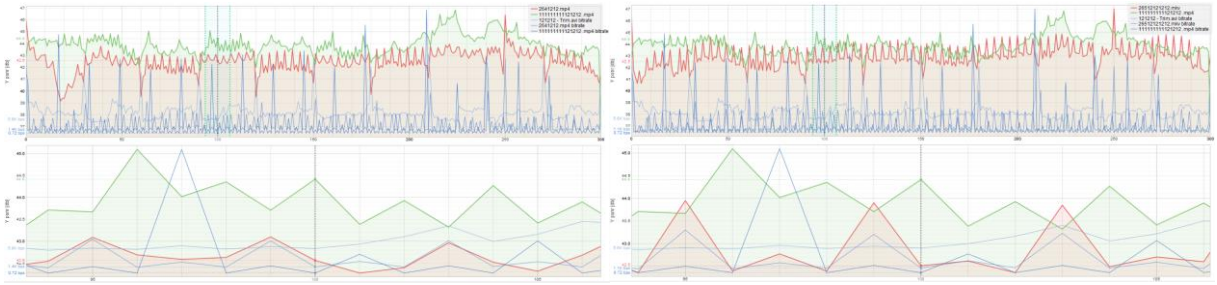


Рис. 7. График значений PSNR (дБ) и битрейта видео «Машины», прошедших кодеки: 1) H.264 и AV1; 2) H.265 и AV1

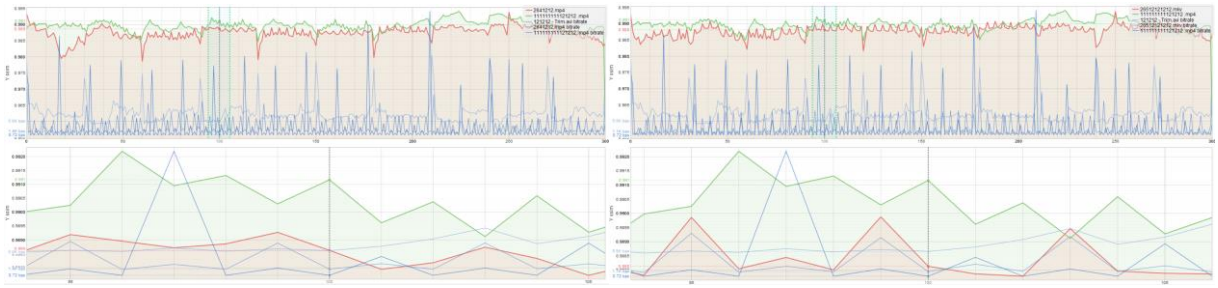


Рис. 8. График значений SSIM и битрейта видео «Машины», прошедших кодеки: 1) H.264 и AV1; 2) H.265 и AV1

Проанализировав графики, можно отметить, что значения PSNR у видеороликов различаются на 1,5 – 3 % (рис. 3, 4 – рис. 7, 8). Это демонстрирует некоторую вариативность в реальной степени сжатия и сохранения качества. У кодека AV1 значения PSNR немного выше, чем для H.264 у всех тестовых видео, что может свидетельствовать о меньшей степени искажений при кодировании. Однако, стоит учитывать, что PSNR не всегда точно коррелирует с визуальным восприятием качества.

Метрика SSIM показывает различия в пределах 0 – 1 %, что может свидетельствовать о минимальных изменениях в восприятии структурных деталей между кодеками.

Проанализировав графики (рис. 3, 4 – рис. 7, 8) можно отметить непостоянство битрейта для кодека AV1. Это может привести к проблемам с прогнозированием размера конечного файла, непостоянным качеством видео, повышением нагрузки на процессор.

Использованные видеоролики содержали различные сцены, но результаты кодирования оказались довольно близкие, что может свидетельствовать

в пользу обнаружения общей тенденции и слабой корреляции полученных данных в ходе конкретного эксперимента от характера и динамики сцен в выбранном материале.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях измеренные значения при помощи метрик могут оказаться недостоверными из-за потери кадров, которые возникают при передаче материалов по каналам связи. Оригинальное и оцениваемые видео, в нашем случае «Камера» и «Машины», которые подверглись компрессии несколькими кодеками, могут оказаться сдвинутыми относительно друг друга на некоторое количество видеокадров. Но метрики PSNR и SSIM не оценивают искажения, вызванные потерей кадров.

В данной работе качество видео оценивалось с использованием известных метрик PSNR и SSIM, что позволило провести объективное сравнение кодеков, обеспечить сопоставимость результатов и выявить ограничения этих методов. В будущих исследованиях планируется изучение альтернативных метрик, таких как VMAF, для более точной оценки качества, проведение субъективных тестов с учетом визуального восприятия, а также анализ влияния потерь кадров и ошибок передачи на итоговое качество видео [3].

В целом, если время кодирования имеет решающее значение, то предпочтительнее использовать кодек H.264. Если компромисс между качеством и размером файла важен, то H.265 может быть лучшим выбором. Однако кодек AV1, хотя и эффективен в сжатии и обеспечивает высокое качество изображения, требует значительного времени для кодирования и может быть полезен только тогда, когда длительное время кодирования не является проблемой, либо в распоряжении имеются значительные вычислительные мощности.

Список используемых источников

1. Рекомендация МСЭ-Т P.800.2 от 07.2016. Серия 3: оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки. Методы для объективной и субъективной оценки качества речи и видео. Интерпретация и представление средней экспертной оценки URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?Lang=e&id=T-REC-P.800.2-201607-I!!PDF-R&type=items (дата обращения 05.11.2024).
2. Все о сжатии данных, изображений и видео. URL: http://www.compression.ru/ (дата обращения 10.11.2024).
3. Абилов А. В., Чунаев А. В., Нистюк А. И. Метод измерения объективного качества передачи видео в одноранговой сети. Ижевск: ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2020. URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=862 (дата обращения 15.11.2024).

Basyreva E., Buchatsky A., Kozyreva E. **STUDY OF THE EFFICIENCY OF MEDIA CONTENT COMPRESSION WITH AV1, H.264, HEVC CODECS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents comparative testing of AV1, H.265 and H.264 codecs on various types of media content. Experiments were carried out on encoding and decoding video files, analyzing compressed file sizes, bitrate, encoding time, as well as evaluating image quality using metrics.

Key words: media content, AV1, H.265, H.264, metrics, codec, bitrate.

УДК 621.397
ГРНТИ 20.53.21

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

И. С. Бачагов, С. Л. Федоров
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматриваются существующие методы распознавания лиц, которые используются в системах видеонаблюдения. Распознавание лиц является одной из наиболее популярных и востребованных технологий в современных системах видеонаблюдения. Она позволяет автоматически идентифицировать и верифицировать лица людей, что значительно повышает уровень безопасности и упрощает мониторинг общественных и частных пространств.

видеонаблюдение, распознавание лиц, граф, нейронные сети

Распознавание лиц позволяет идентифицировать людей в режиме реального времени, упрощая доступ к важной информации и повышая эффективность мер безопасности.

Технология распознавания лиц базируется на сложных алгоритмах, которые автоматически определяют и анализируют уникальные черты лица, сравнивая их с эталонными изображениями в базе данных. Процесс распознавания лиц начинается с обнаружения изображения лица, затем происходит расчет и сравнения определенного лица с имеющимися в базе данных. Для реализации алгоритмов распознавания лиц необходимы видеокамеры с высоким разрешением, сервера и устройства для обработки данных, сетевое оборудование, хранилище данных, программное обеспечение для распознавания лиц, устройства для биометрии.

Метод эластичного сопоставления графов

Основывается на представлении лиц в виде графов с взвешенными вершинами и ребрами. На этапе распознавания один граф остается эталонным, а другой деформируется для лучшего соответствия первому. Графы могут быть прямоугольными решетками или структурами из антропометрических точек лица, где ребра взвешиваются расстояниями между вершинами [1-3], один из вариантов графов представлен на рис. 1.

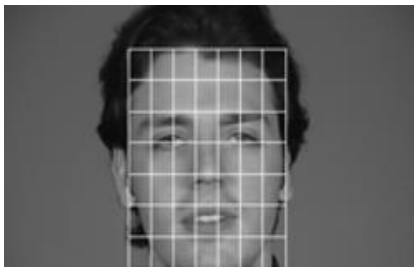


Рис. 1. Структура графа для распознавания лиц

Различие между графами определяется «ценовой функцией» деформации, учитывающей разницу между значениями признаков в вершинах и степень деформации ребер. Вершины деформируемого графа смещаются для минимизации разницы в признаках (например, откликах фильтров Габора) между соответствующими вершинами эталонного графа. Этот процесс продолжается, пока не будет достигнуто наименьшее суммарное различие между графами. Значение ценовой функции при этом положении и является мерой различия между лицом на входном изображении и эталонным графом. Эта процедура повторяется для всех эталонных лиц в базе данных. Лучший результат соответствует эталону с наименьшим значением «ценовой функции» деформации. Недостатки метода включают высокую вычислительную сложность, низкую технологичность при добавлении новых эталонов и линейную зависимость времени обработки от размера базы данных.

Скрытые Марковские модели

Данный метод используется для распознавания лиц на основе дискретного времени. Производится анализ статистических свойств сигналов и их пространственных характеристик [3]. Ключевыми элементами скрытых моделей являются: набор скрытых состояний, наблюдаемые состояния, матрица вероятностей переходов между состояниями и начальная вероятность состояний. Процесс распознавания заключается в проверке моделей, созданных для базы данных, и определении наибольшей вероятности того, что последовательность наблюдений соответствует определенной модели. Необходимость в выборе параметров модели для каждой базы данных является недостатком данного метода.

Использование нейронных сетей

Обучение нейронных сетей заключается в настройке весов связей между нейронами с помощью метода градиентного спуска, что позволяет автоматически извлекать ключевые признаки и устанавливать их взаимосвязи. Обученная сеть способна применять полученные знания на новых данных благодаря

своим обобщающим способностям. Набор изображений для одного и того же лица называется кластером, пример представлен на рис. 2.



Рис. 2. Пример кластера для одного пользователя [3]

Более эффективными в распознавании лиц являются сверточные нейронные сети. Сверточные нейронные сети учитывают двумерную топологию изображений и включают локальные рецепторные поля, общие веса для детектирования признаков в любом месте изображения, иерархическую организацию с пространственным сэмплингом [3]. Эти особенности обеспечивают устойчивость нейронных сетей к изменениям масштаба, смещениям, поворотам и другим искажениям.

Метод главных компонент

Данный метод является широко используемым статистическим методом для уменьшения размерности данных и извлечения ключевых признаков. В контексте распознавания лиц применяется для преобразования исходных изображений в набор ортогональных компонент, которые наиболее полно описывают вариации в данных, пример преобразования представлен на рис. 3.

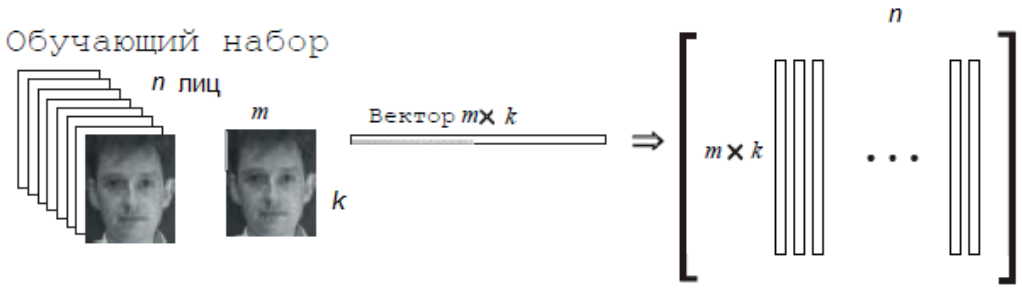


Рис. 3. Преобразования обучающего набора лиц в одну общую матрицу X [4]

Основные этапы метода:

– вычитание среднего значения каждого признака из всех данных, чтобы центрировать данные вокруг нуля;

– формирование матрицы ковариации, отражающей зависимости между признаками;

– вычисление собственных векторов и соответствующих им собственных значений ковариационной матрицы;

– сортировка собственных векторов по убыванию их собственных значений и выбор первых k векторов, соответствующих наибольшим значениям;

– проекция исходных данных на выбранные главные компоненты для получения нового набора данных с уменьшенной размерностью.

В распознавании лиц используется для преобразования изображений лиц в компактные векторные представления. Эти представления могут затем использоваться для сравнения и классификации лиц. Одним из наиболее известных применений является метод Eigenfaces, где каждое лицо представляется как линейная комбинация главных компонент (собственных лиц) [5].

Анализ методов распознавания лиц показывает, что развитие технологии идет в сторону увеличения точности, устойчивости к внешним факторам и снижения зависимости от вычислительных ресурсов. Классические методы, такие как метод главных компонент и локальные двоичные шаблоны, доказали свою эффективность в простых условиях, но они менее устойчивы к изменению освещения и углов наблюдения. Эти методы требуют меньше ресурсов, но их точность ограничена, особенно в реальных условиях использования.

Современные методы, основанные на глубоких нейронных сетях, такие как сверточные сети и специализированные архитектуры, показали высокую точность и адаптивность. Они могут учитывать множество факторов – от мимики и наклона головы до частичного перекрытия лица. Эти алгоритмы требуют мощного аппаратного обеспечения, однако способны распознавать лица даже в сложных сценариях, что делает их основным выбором для систем массового видеонаблюдения.

Методы, такие как эластичное сопоставление графов, иллюстрируют, как комбинированные подходы могут повысить точность в нестандартных условиях, моделируя лицевые структуры с высокой детализацией. Однако такие методы пока не получили широкого распространения из-за сложности реализации и ресурсоемкости.

Таким образом, выбор метода распознавания лиц должен учитывать условия работы, масштаб системы и требования к точности. В дальнейшем совершенствование методов глубокого обучения и оптимизация вычислительных ресурсов будут определять возможности и пределы применения технологии распознавания лиц в разных областях – от частных объектов до общественных пространств.

Список используемых источников

1. Li S., Deng W. Deep Learning for Face Recognition: A Survey // Frontiers of Computer Science, 2019. 13 (2). PP. 1–27.
2. Parkhi O. M., Vedaldi A., Zisserman A. Deep Face Recognition // In Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC), 2015. PP. 41.1–41.12.
3. Taigman Y., Yang M., Ranzato M., Wolf, L. DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014. PP. 1701–1708.
4. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015. PP. 815–823.
5. Turk M., Pentland A. Eigenfaces for Recognition // Journal of Cognitive Neuroscience, 1991. 3 (1). PP. 71–86.

Bachagov A., Fedorov S. **METHODS OF FACE RECOGNITION IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article discusses the existing methods of face recognition that are used in video surveillance systems. Face recognition is one of the most popular and in-demand technologies in modern video surveillance systems. It allows you to automatically identify and verify people's faces, which significantly increases the level of security and simplifies monitoring of public and private spaces.

Key words: Video surveillance, face recognition, graph, neural networks.

УДК 654.077
ГРНТИ 47.51.02

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПРАВИЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ УСПЕШНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ В МАГИСТРАТУРУ НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «МЕДИАТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ»

А. Н. Бучатский
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлены варианты стратегий поступления в магистратуру, особенности планируемого приема в 2025 году, перечислены возможные индивидуальные достижения поступающих. На примере одной из магистерских программ университета рекомендована последовательность этапов для успешного поступления в магистратуру.

магистратура, индивидуальные достижения, КЦП, портфолио, олимпиада, публикация, конференция

Согласно проекту приказа Минобрнауки России «Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» [1], вынесенному на общественное обсуждение 12 октября 2024 года, процесс поступления в магистратуру существенно меняется. Поступающий подает два разных заявления: о приеме на места в рамках контрольных цифр приема (КЦП) и о приеме на платные места. В заявлениях поступающий указывает отдельный приоритет зачисления для КЦП и для платных мест. Само заявление о приеме и документы, необходимые для поступления, впервые можно подать через «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)» (далее – ЕПГУ).

Сроки приема на обучение по программам магистратуры в рамках КЦП определены следующим образом:

– начало приема заявлений и документов – 20 июня, завершение – не позднее 20 августа;

– день завершения согласия на зачисление – 25 августа (до 12:00 МСК);

– завершение зачисления – не позднее 29 августа.

Утверждается, что такие сроки зачисления установлены с целью унификации и удобства для поступающих, в том числе для тех, кто поздно получает документы о высшем образовании.

В то же время, в Порядке приема отмечено, что вузы самостоятельно определяют количество этапов зачисления на места в рамках КЦП. В соответствии с этим в СПбГУТ традиционно планируется две волны вступительных испытаний (конец июня/начало июля и конец июля/начало августа) и два этапа зачисления в магистратуру [2]. Первый приказ о зачислении может быть уже в конце июля, в то время как второй приказ, очевидно, выйдет с 26 по 29 августа.

Согласно Порядку приема, поступающие на места в рамках КЦП, включенные в конкурсный список, ранжируются последовательно по следующим основаниям: по убыванию суммы конкурсных баллов; по убыванию суммы баллов за вступительные испытания; по убыванию количества основных баллов за индивидуальные достижения; по индивидуальным достижениям, учитываемым при равенстве поступающих по иным критериям ранжирования. В качестве последних в СПбГУТ используется количество публикаций, выступлений на научных конференциях, средний балл диплома о высшем образовании [3].

Важно отметить, что с 2025 года у поступающих отпадает необходимость подачи оригинала документа о высшем образовании, поскольку по утверждениям разработчиков проекта в условиях использования ЕПГУ представление оригинала документа об образовании является избыточным.

Все перечисленные нововведения приводят, в том числе, и к некоторому увеличению у поступающего времени неопределенности относительно его дальнейшего обучения.

В настоящий момент детали приема на магистерские программы определяет университет самостоятельно. В частности, СПбГУТ учитывает участие и условную «победу» поступающих в различных мероприятиях: открытый чемпионат профессионального мастерства «BonchSkills», Всероссийская научная летняя школа по информационной безопасности, конкурс научных докладов студентов бакалавриата, Школа будущего магистранта, Всероссийская студенческая олимпиада «Инфотелеком», конкурс портфолио для поступающих на программы магистратуры [4] и т. п. Учитывая разнос во времени перечисленных мероприятий, максимальные преимущества получают те поступающие, которые раньше начали принимать в них участие.

Для поступающих на программы магистратуры дополнительные баллы, добавляемые к баллам за вступительное испытание, начисляются СПбГУТ за индивидуальные достижения, приведенные в таблице 2 Правил приема в СПбГУТ [3]. При этом баллы за различные индивидуальные достижения суммируются, но кумулятивное накопление баллов за однотипные индивидуальные достижения не производится. Принимая во внимание такую специфику

начисления баллов за достижения одного уровня, более эффективным представляется увеличение числа условных «мероприятий» на пути в магистратуру, а не увеличение частоты участия в однотипных «мероприятиях».

Обобщая вышесказанное, можно определить возможные траектории поступления в магистратуру СПбГУТ (см. рис. 1).

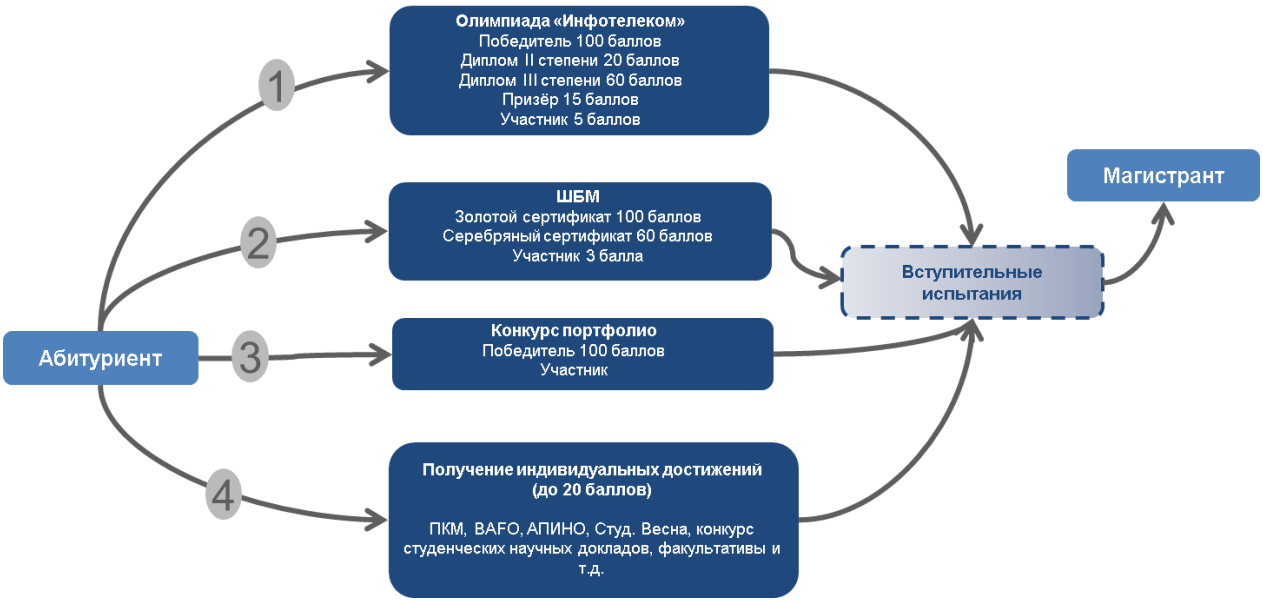


Рис. 1. Траектории поступления в магистратуру

Применительно к магистерской программе «Медиатехнологии и телерадиовещание» эффективное движение к намеченной цели должно включать в себя следующие этапы:

– выступление с докладом на Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в эпоху цифровой трансформации (ПКМ-2024)»;

– участие в конкурсе научных докладов студентов бакалавриата в рамках ПКМ-2024;

– публикация статьи в Сборнике лучших докладов или Материалах конференции ПКМ-2024;

– участие во Всероссийской студенческой олимпиаде «Инфотелеком»;

– участие в Школе будущего магистранта;

– участие в региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна»;

– участие в конкурсе портфолио для поступающих на программы магистратуры;

– участие в первой волне вступительных испытаний на магистерскую программу, при невозможности (военные сборы/болезнь) – участие во второй волне испытаний.

Список используемых источников

1. Порядок приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (проект). М., 2024. URL: https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=151560
2. Машков Г. М., Бучатский А. Н., Иванов Н. Н. Комплексная система отбора кандидатов на обучение в магистратуре СПбГУТ. Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2022). Сборник лучших докладов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей. Сост. Н. Н. Иванов. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 16–20.
3. Правила приема граждан на обучение по образовательным программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» в 2024/2025 учебном году. СПб.: СПбГУТ, 2024. URL: https://www.sut.ru/doci/abbit/a_24_14.pdf#page=20&zoom=100,93,910
4. Бучатский А. Н. Магистральный путь к знаниям – союз науки и образования. Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1.

Buchatsky A. **FEATURES OF CHOOSING THE RIGHT STRATEGY FOR SUCCESSFUL ADMISSION TO A MASTER'S DEGREE USING THE EXAMPLE OF THE EDUCATIONAL PROGRAM "MEDIA TECHNOLOGIES AND BROADCASTING".**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents options for strategies for admission to a master's program, features of the planned admission in 2025, and lists possible individual achievements of applicants. Using one of the university's master's programs as an example, a sequence of stages for successful admission to a master's program is recommended.

Key words: Master's program, individual achievements, portfolio, publication, conference.

УДК 654.17
ГРНТИ 47.51.02

АДАПТАЦИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕХНОЛОГИИ КОМПРЕССИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВИДЕОКОНТЕНТА» ПРИ ОБУЧЕНИИ В МАГИСТРАТУРЕ ВЫПУСКНИКОВ НЕПРОФИЛЬНОГО БАКАЛАВРИАТА

А. Н. Бучатский, А. П. Лосев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Особенностью магистратуры в настоящее время является возможность поступления на любое направление подготовки, даже непрофильное по отношению к полученному ранее образованию в бакалавриате. В то же время уровень профессиональной подготовки у выпускников разных факультетов и, тем более, разных вузов может сильно отличаться в рамках учебной группы. Процессы обучения студентов с разной степенью подготовки до сих пор являются неоднозначными сценариями, требующими более индивидуального подхода к обучающимся и возможной корректировки учебных программ. В статье рассматриваются необходимые шаги по адаптации преподавания дисциплины «Технологии компрессии и оценка качества видеоконтента» для студентов, имеющих опыт освоения программ бакалавриата, не совпадающих по профилю подготовки с изучаемой магистерской программой.

образовательная программа, профильное образование, системы телевизионного вещания, учебная дисциплина, повышение квалификации

Особенностью магистратуры в настоящее время является возможность поступления на любое направление подготовки, даже непрофильное по отношению к полученному ранее образованию в бакалавриате [1]. Это приносит определенные сложности при обучении учебной группы – здесь могут присутствовать студенты, чей уровень разительно отличается. В то же время процесс заполнения мест в магистратуре имеет сложный характер, и в некоторые годы приема группа может быть и достаточно близкой по уровню знаний. Обобщая опыт приемной кампании в очную магистратуру на образовательную программу «Медиатехнологии и телерадиовещание» (ранее – «Цифровое телерадиовещание») за 2019 – 2024 гг. следует отметить, что в разные годы приема, наряду с выпускниками СПбГУТ, студентами образовательной программы становились выпускники бакалавриата СПбГИКиТ, МТУСИ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ИТМО, Санкт-Петербургского горного университета, СПбГУПТД и других вузов. Несмотря на возможную близость профилей подготовки, эти студенты часто изучали иные дисциплины по сравнению с выпускниками СПбГУТ. В тоже время и выпускники СПбГУТ далеко не всегда продолжают обучение в своем университете по той же образовательной

программе, что и в бакалавриате. Каждый год находятся поступающие, желающие изменить свой вектор развития. Иногда эти изменения весьма значительные – переход может быть с гуманитарного направления подготовки на техническое. Все эти факторы, на наш взгляд, предопределяют изначальную неоднородность учебной группы при старте обучения на программах магистратуры. В дальнейшем группа может стать еще более неоднородной за счет разного отношения к учебе и вызванного этим отставания в освоении материала или успешной работы по специальности и, возможно, лучшего понимания учебного материала и т. п.

Очевидно, что задача преподавателя – добиться высокой степени вовлеченности у всех участников образовательного процесса – будет достигаться различными способами в зависимости от личностей обучающего и обучаемых. Первой дисциплиной, которую читает выпускающая кафедра цифрового телевидения и метрологии в I семестре I курса по магистерской программе «Медиатехнологии и телерадиовещание», является дисциплина «Технологии компрессии и оценка качества видеоконтента». Соответственно, ее изучение основывается на базе знаний, умений и компетенций, полученных студентами на предыдущем уровне образования. Разделы дисциплины и виды занятий поясняет Таблица 1.

ТАБЛИЦА 1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Семинары	СРС	Всего часов
1	Раздел 1. Избыточность изображений и методы ее устранения			2			2
2	Раздел 2. Методы устранения избыточности изображений			2			2
3	Раздел 3. Перспективные стандарты компрессии видеоконтента	8	12	2		35.75	57.75
4	Раздел 4. Методы оценки качества видеоконтента			2			2
Итого:		8	12	8	-	35.75	63.75

В частности, раздел 3 «Перспективные стандарты компрессии видеоконтента» может содержать информацию о современных способах сжатия видеоданных, таких как H.266, AV1, LCEVC или иные кодеки, находящиеся в режиме разработки или внедрения в практические сценарии использования. Для изучения особенностей работы современных кодеков студент должен иметь представление о базовых алгоритмах устранения избыточности в представле-

нии визуальной информации, таких как дискретное косинусное преобразование, квантование, цветовая субдискретизация и другие математические алгоритмы, на основе которых реализуются процессы сжатия статичных изображений и видеоданных, например, кодеки JPEG и MPEG-2. Однако, не всякий студент, получивший ранее степень бакалавра, имеет ясные представления о перечисленных базовых принципах.

На основе данных таблицы 1 можно сделать вывод, что определенный ресурс для выравнивающей подготовки может быть найден в часах, отведенных на самостоятельную работу студента.

В работе [2] отмечается, что «существующий разрыв между требованиями промышленности и прикладной науки с одной стороны, и программами обучения Министерства науки и высшего образования, с другой, вызван неизбежным рядом противоречий между уровнем профессиональной грамотности, получаемым в ВУЗах и требующимся на предприятиях с целью решения профессиональных задач на должном уровне». Очевидно, что подготовка, основанная на требованиях профессиональных стандартов, пока не дает на выходе специалиста, определенно готового к выполнению заданных трудовых функций. Вдобавок, описанный разрыв усугубляется достаточно быстрым процессом сменяемости промышленных технологий и, соответственно, инструментария для их реализации. Некоторую компенсацию этого разрыва в [2] предлагают производить посредством интеграции в предприятия адаптационных площадок.

Анализ, проведенный одним из авторов при организации в СПбГУТ курсов повышения квалификации для сотрудников ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» (РТРС), показал, что восприятие слушателями материала о современных технологиях цифрового телевизионного вещания вызывает затруднения в силу разного уровня наличия так называемых «базовых остаточных знаний» по телевизионному вещанию [3]. Были высказаны предположения, что неравномерность начального уровня подготовки вызвана различиями в уровне и давности получения образования, возрасте и характере основной работы сотрудников. Как следствие, было принято решение о создании методики выравнивающей подготовки слушателей и соответствующего учебного курса с использованием технологий дистанционного обучения. Десятилетний опыт проведения таких выравнивающих занятий подтвердил правильность описанного подхода.

Схожий подход можно реализовать и при обучении студентов на уровне магистратуры. Предлагаемые изменения в методике преподавания дисциплины содержат, в частности:

– входное тестирование;
– структуризация группы по уровню знаний;
– выравнивающие занятия;
– промежуточное тестирование;
– дополнительные выравнивающие занятия;

– итоговое тестирование.

Все выравнивающие занятия проводятся с применением дистанционных образовательных технологий в рамках самостоятельной работы студентов. Основными принципами, положенными в основу методики является постепенное накопление знаний, возможность для слушателя освоить новый для него теоретический материал, разная степень детальности изучения раздела для слушателей разного уровня подготовки. Предложенная методика направлена на адаптацию преподавания дисциплины «Технологии компрессии и оценка качества видеоконтента» при обучении в магистратуре выпускников непрофильного бакалавриата перед основными дисциплинами выпускающей кафедры по данной магистерской программе.

Список используемых источников

1. Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры: приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 21 августа 2020 г. N 1076. Редакция с изменениями N 143 от 10.02.2023 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202303200022 (дата обращения 13.11.2024).
2. Создание адаптационных площадок с внедрением элементов имитационного моделирования для оптимизации развития отраслевой подготовки кадров. Тесленко П. А. Крыловский научный центр АО СПМБМ МАЛАХИТ. С.182–184.
3. Санкт-Петербургский конгресс «Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке», 26-27 ноября 2024 г, Сборник трудов. URL: https://disk.yandex.ru /i/uo2hUmzfIEy_ew (дата обращения 13.11.2024).
4. Гоголь А. А. Методика выравнивающей подготовки слушателей для эффективного изучения вопросов цифрового телерадиовещания / А. А. Гоголь, А. Н. Бучатский // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2015. Т. 1. С. 37.

Buchatsky A., Losev A. **ADAPTATION OF TEACHING THE DISCIPLINE "COMPRESSION TECHNOLOGIES AND VIDEO CONTENT QUALITY ASSESSMENT" IN THE MASTER'S DEGREE OF GRADUATES OF NON-SPECIFIC BACHELOR'S DEGREE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

A special feature of the Master's program at present is the possibility of admission to any field of study, even non-core in relation to the previously obtained education in the Bachelor's degree. At the same time, the level of professional training of graduates of different faculties and, especially, different universities can vary greatly within the study group. The processes of teaching students with different levels of training are still ambiguous scenarios that require a more individual approach to students and possible adjustment of curricula. The article discusses the necessary steps to adapt the teaching of the discipline "Compression Technologies and Video Content Quality Assessment" for students with experience in mastering Bachelor's programs that do not coincide in profile with the Master's program being studied.

Key words: educational program, profile education, television broadcasting systems, educational discipline, qualification improvement.

УДК 654.197.6
ГРНТИ 19.61.31

МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАСТУПЛЕНИЯ ОТКАЗОВ В РАБОТЕ ВЕЩАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. С. Елагин, И. С. Шалимов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эксплуатация вещательного оборудования характеризуется сравнительно невысокими расходами на поддержание функционирования в случае своевременного обнаружения неисправностей и их устранения за счет применения ЗИП – запасных частей, инструментов и принадлежностей. Однако при несоблюдении периодичности технического обслуживания или при экстраординарных событиях в сети ремонт или замена оборудования оказываются высокозатратными. Возникает необходимость оптимизировать расходы.

моделирование отказов, цифровое телевидение, вероятность, прогнозирование

С целью обеспечения населения России многоканальным вещанием к 2019 году завершилось создание сети станций ЦНТВ – цифрового наземного телевизионного вещания. Они осуществляют передачу 20 программ, разделенных на 2 мультиплекса, по 10 каналов в каждом. Сеть РТПС – радиотелевизионных передающих станций, работает в круглосуточном режиме с запланированными кратковременными перерывами во время проведения ТО – технического обслуживания.

В связи с тем, что любой электроприбор имеет свойство выходить из строя, вещательное оборудование также не лишено этого недостатка. Очевидно, что каждая поломка оказывает негативный эффект на удовлетворенность телезрителей предоставляемым эфирным вещанием. Возможно применение нескольких подходов к минимизации данного влияния. Один из вариантов – превентивный ремонт оборудования до его поломки. В этом случае удастся обойтись без существенного удорожания проекта за счет отказа от закупки резерва для всех типов оборудования.

С учетом того, что в каждом регионе находится больше 1 объекта вещания, определить необходимость проведения ремонта можно с использованием какой-либо системы для прогнозирования отказов оборудования.

В качестве средства предупреждения возможно использование системы прогнозирования наступления отказов на основе моделей, построенных с применением машинного обучения, или на основе математических моделей, задействующих методы математической статистики и теории вероятности [1, 2].

В работе рассматривается возможность построения модели последнего типа, которая функционирует на основе статистической информации, прогнозируя вероятность наступления отказа конкретного блока или системы на определенном отрезке времени [3]. Необходимо принимать во внимание, что увеличение интервала времени предсказания снижает точность этого предположения. После разработки модели должна проводиться ее проверка с целью валидации получаемых данных.

Как было сказано ранее, рассматриваемая модель работает на основе методов математической статистики. Следовательно, необходимо обеспечить ее массивом данных, который подвергается статистической обработке.

Для сбора и накопления телеметрии используется система дистанционного контроля версии 5.3 – СДК 5.3 [4]. Она включает в себя сам модуль и транспортную сеть. Общение системы с оборудованием осуществляется на основе протокола SNMP – simple network management protocol, который работает на прикладном уровне TCP/IP. Он включает в себя набор стандартов сетевого управления, в том числе протокол прикладного уровня, схему баз данных и набор объектов данных.

Следующий вопрос, требующий внимания, это выбор элементов, на анализе работы которых основывается прогнозирование отказов. Для построения модели выбраны элементы станции ЦТРВ, представленные на рисунке 1.

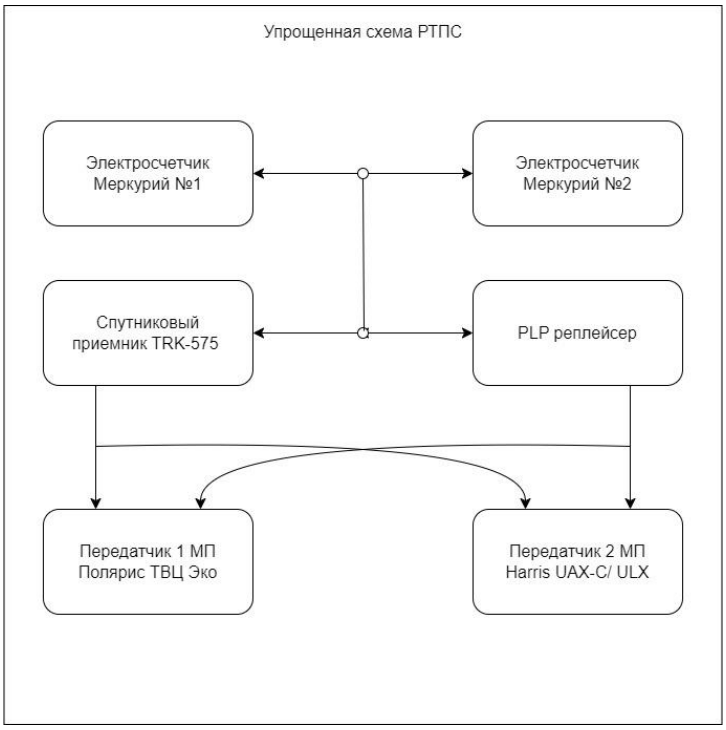


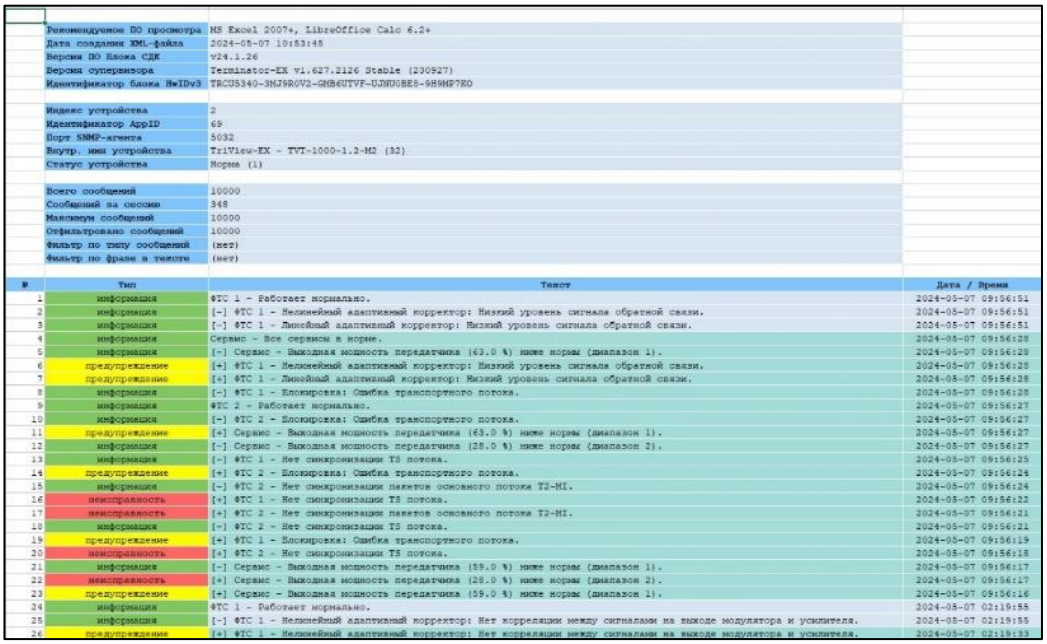
Рис. 1. Оборудование, задействованное в построении модели

Каждый объект имеет 2 источника электроэнергии, работу которых контролируют электросчетчики. Наличие электричества – ключевое условие функционирования РТПС, поэтому счетчики расположены на верхнем уровне.

Далее по приоритету размещаются спутниковый приемник, который используется в качестве основного транспорта для T2-MI потоков 1 и 2 мультиплексов, и реплейсер, задача которого состоит в регионализации контента. Проще говоря, он применяется для замены части сервисов в федеральном потоке на программы местных телеканалов и выпуски новостей региона вещания. Приемник и реплейсер размещены так же на одном уровне, так как после проблем с электропитанием отсутствие транспортного потока по причине неработоспособности одного из двух источников вызывает нарушение вещания объекта.

Следующими на схеме размещаются передатчики. Они расположены на последнем уровне, так как вышеперечисленные блоки напрямую влияют на их работу. На РТПС размещается и вспомогательно оборудование, но оно имеет второстепенное значение, поэтому не учитывается в модели.

Для подготовки исходных данных для каждой станции ЦТРВ было выгружено 6 журналов, содержащих записи об инцидентах за определенный период времени. Пример журнала для передатчика 1 мультиплекса представлен на рисунке 2.



Рекомендуемое ПО просмотра	MS Excel 2007+, LibreOffice Calc 6.2+	
Дата создания XML-файла	2024-05-07 10:53:45	
Версия ПО блока СДК	v24.1.26	
Версия супервизора	Terminator-EX v1.627.2126 Stable (230927)	
Идентификатор блока HwIDv3	TRCU5340-3MJ9R0V2-GMB6UTVF-UJNU0BE8-9H9MP7KO	
Индекс устройства	2	
Идентификатор AppID	69	
Порт SNMP-агента	5032	
Внутр. имя устройства	TriView-EX - TVT-1000-1.2-M2 (32)	
Статус устройства	Норма (1)	
Всего сообщений	10000	
Сообщений за сессию	348	
Максимум сообщений	10000	
Отфильтровано сообщений	10000	
Фильтр по типу сообщений	(нет)	
Фильтр по фрагменту текста	(нет)	

#	Тип	Текст	Дата / Время
1	информация	ФТС 1 - Работает нормально.	2024-05-07 09:56:51
2	информация	[-] ФТС 1 - Нелинейный адаптивный корректор: Низкий уровень сигнала обратной связи.	2024-05-07 09:56:51
3	информация	[-] ФТС 1 - Линейный адаптивный корректор: Низкий уровень сигнала обратной связи.	2024-05-07 09:56:51
4	информация	Сервис - Все сервисы в норме.	2024-05-07 09:56:28
5	информация	[-] Сервис - Выходная мощность передатчика (63.0 %) ниже нормы (диапазон 1).	2024-05-07 09:56:28
6	предупреждение	[+] ФТС 1 - Нелинейный адаптивный корректор: Низкий уровень сигнала обратной связи.	2024-05-07 09:56:28
7	предупреждение	[+] ФТС 1 - Линейный адаптивный корректор: Низкий уровень сигнала обратной связи.	2024-05-07 09:56:28
8	информация	[-] ФТС 1 - Блокировка: Ошибка транспортного потока.	2024-05-07 09:56:28
9	информация	ФТС 2 - Работает нормально.	2024-05-07 09:56:27
10	информация	[-] ФТС 2 - Блокировка: Ошибка транспортного потока.	2024-05-07 09:56:27
11	предупреждение	[+] Сервис - Выходная мощность передатчика (63.0 %) ниже нормы (диапазон 1).	2024-05-07 09:56:27
12	информация	[-] Сервис - Выходная мощность передатчика (28.0 %) ниже нормы (диапазон 2).	2024-05-07 09:56:27
13	информация	[-] ФТС 1 - Нет синхронизации TS потока.	2024-05-07 09:56:25
14	предупреждение	[+] ФТС 2 - Блокировка: Ошибка транспортного потока.	2024-05-07 09:56:24
15	информация	[-] ФТС 2 - Нет синхронизации пакетов основного потока T2-MI.	2024-05-07 09:56:24
16	неисправность	[+] ФТС 1 - Нет синхронизации TS потока.	2024-05-07 09:56:22
17	неисправность	[+] ФТС 2 - Нет синхронизации пакетов основного потока T2-MI.	2024-05-07 09:56:21
18	информация	[-] ФТС 2 - Нет синхронизации TS потока.	2024-05-07 09:56:21
19	предупреждение	[+] ФТС 1 - Блокировка: Ошибка транспортного потока.	2024-05-07 09:56:19
20	неисправность	[+] ФТС 2 - Нет синхронизации TS потока.	2024-05-07 09:56:18
21	информация	[-] Сервис - Выходная мощность передатчика (59.0 %) ниже нормы (диапазон 1).	2024-05-07 09:56:17
22	неисправность	[+] Сервис - Выходная мощность передатчика (28.0 %) ниже нормы (диапазон 2).	2024-05-07 09:56:17
23	предупреждение	[+] Сервис - Выходная мощность передатчика (59.0 %) ниже нормы (диапазон 1).	2024-05-07 09:56:16
24	информация	ФТС 1 - Работает нормально.	2024-05-07 02:19:55
25	информация	[-] ФТС 1 - Нелинейный адаптивный корректор: Нет корреляции между сигналами на выходе модулятора и усилителя.	2024-05-07 02:19:55
26	предупреждение	[+] ФТС 1 - Нелинейный адаптивный корректор: Нет корреляции между сигналами на выходе модулятора и усилителя.	2024-05-07 02:19:33

Рисунок 2. Пример журнала СДК

Записи, содержащиеся в журналах, были обработаны с использованием программных средств языка MATLAB. В результате были получены среднее значение вероятности исправного функционирования и средняя продолжительность работы оборудования каждого типа для всех РТПС региона.

Для того, чтобы привести данные в пригодный для модели вид, были выполнены 2 операции. Сперва рассчитаны вероятности обратного события, то есть неработоспособности оборудования. После чего эти значения были нормированы относительно длительности моделирования 720 часов (1 месяц),

1440 часов (2 месяца) и 8760 часов (365 дней). Для нормирования использовалась формула 1:

$$P_{\text{норм}} = T * \frac{P}{Time} \quad (1)$$

где *Рнорм* – вычисленная нормированная вероятность, *T* – длительность моделирования в часах, *P* – исходная вероятность, *Time* – интервал, за который получены сообщения от оборудования.

На основе подготовленных данных была создана модель, которая отражает структуру 30 РТПС региона, каждая из которых включает 6 описанных блоков, являющихся ключевыми для работоспособности объекта. Веса для каждого блока рассчитаны согласно приведенным выше соображениям. Интервалы между заявками также заданы исходя из равномерности распределения их поступления.

В рамках проведенного исследования выполнялось моделирование продолжительностью 30, 60 и 365 суток. Полученные результаты в виде потока заявок, поступающих с объектов ЦТРВ, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проведения моделирования

РТПС	30 суток		60 суток		365 суток		РТПС
Смоленск	4	5	7	8	89	23	Пречистое
Акатово	4	1	5	2	40	12	Рославль
Дебрево	9	9	15	15	96	79	Рязаново
Дорогобуж	3	7	12	15	85	84	Савеево
Дубровка	10	1	17	1	102	23	Селеево
Игнатково	8	6	14	10	62	96	Смогири
Карманово	7	2	15	9	103	51	Студенец
Красное	4	4	9	7	48	52	Сычевка
Красный	11	0	13	3	91	34	Темкино
Михайловское	5	3	8	6	64	27	Терентеево
Мытишино	11	7	21	12	101	81	Торбеево
Новомихайловское	9	9	14	16	64	89	Угра
Патики	7	8	13	18	97	78	Хиславичи
Погорное	8	0	15	1	89	6	Холм-Жирковский
Починок	8	3	13	5	57	71	Шеровичи

В качестве меры проблемности объекта относительно других взята величина 85 %. То есть среди 30 объектов выбрано наибольшее число заявок. Те

РТПС, с которых поступило больше 85 % максимального числа заявок относятся к проблемным.

Таким образом, при длительности моделирования 30 суток к объектам, требующим повышенного внимания обслуживающего персонала, можно отнести 3 РТПС из 30. В случае увеличения длительности моделирования до 60 суток происходит перераспределение числа заявок. В результате к проблемным могут быть отнесены 2 объекта из 30, при этом 1 из них совпадает с данными, полученными за 30 суток. Повышение длительности наблюдения за моделью до 365 суток приводит к дальнейшему изменению распределения заявок. К требующим внимания станциям следует отнести 10 из 30. Примечательно, что 1 из РТПС оказывается в списке ненадежных при всех 3 интервалах моделирования.

На основании анализа полученных данных и реального состояния объектов вещания, может быть сделан вывод, что результаты, выдаваемые моделью, считаются валидными, а сама модель в текущей итерации пригодна к применению для прогнозирования необходимости превентивного обслуживания оборудования.

Список используемых источников

1. Муралев А. А. К вопросу определения вероятности отказов приборов в процессе эксплуатации. / А. А. Муралев, С. Н. Усанин, А. А. Чурсин // Международный научно-исследовательский журнал, 2020. № 6. Часть 1.
2. Шумак К. Д. Математические методы прогнозирования отказов медицинского оборудования. / К. Д. Шумак // Журнал Научное обозрение: технические науки, 2017. № 1.
3. ГОСТ Р 27.004-2009. Надежность в технике. Модели отказов.: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1244-ст. 15.12.2009 г.
4. НПП Триада ТВ: Документация на Блок СДК-5. Новосибирск, 1992–2024. URL: https://help.triadatv.ru/knowledge_base/articles/ dokumentatsiya-na-blok-sdk-5-6

Elagin V., Shalimov I. **MODELS FOR PREDICTING THE OCCURRENCE OF FAILURES IN THE OPERATION OF BROADCASTING EQUIPMENT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Operation of broadcasting equipment is characterized by relatively low costs for maintaining its operation in case of timely detection of faults and their elimination due to the use of spare parts, tools and accessories. However, if the maintenance schedule is not observed or in case of extraordinary events in the network, repair or replacement of equipment turns out to be highly expensive. There is a need to optimize costs.

Key words: failure modeling, digital television, probability, predicting.

УДК 771.537
ГРНТИ 28.23.15

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. Д. Елкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются ключевые характеристики, влияющие на качество изображений, получаемых с помощью видеокамер мобильных телефонов, и методы их оценки. Также рассматриваются как субъективные, так и объективные методы оценки качества изображений, включая использование различных алгоритмов и метрик для измерения соответствия между оригинальными и обработанными изображениями. В заключение подчеркивается значимость разработки более точных алгоритмов визуального качества для адекватной оценки результатов субъективных тестов.

пиковое отношение сигнал/шум, универсальный индекс качества изображений, коэффициент структурного подобия

Качество изображений, получаемых с помощью, например, видеокамер мобильных телефонов, зависит от множества факторов. В последние годы технологии значительно продвинулись вперед и современные смартфоны, способные создавать изображения и видео высокого качества. В данной статье рассмотрены ключевые характеристики, влияющие на качество съемки, а также методы оценки качества изображений, формируемых видеокамерами мобильных телефонов.

Разрешающая способность камеры определяется количеством элементов разложения изображения (пикселов) и определяет количество деталей, которые может захватить твердотельный преобразователь свет-сигнал (сенсор). Высокое разрешение позволяет получать четкие изображения, которые можно увеличивать без потери качества. Однако важно учитывать, что не всегда большее количество пикселей означает лучшее качество.

Физический размер сенсора также влияет на качество изображения. Чем больше сенсор, тем больше света он может захватить, что особенно важно при съемке в условиях плохого освещения. Большие пиксели лучше улавливают свет, что приводит к более детализированным и менее шумным изображениям.

Размер диафрагмы определяет количество света, попадающего на сенсор. Более широкая диафрагма позволяет лучше справляться с условиями низкой

освещенности и создает эффект размытия фона, что делает изображения более эстетически привлекательными.

Современные смартфоны используют сложные алгоритмы обработки изображений и искусственный интеллект для улучшения качества снимков. Эти алгоритмы могут корректировать цветопередачу, контрастность и резкость изображений.

Все методы оценки качества классифицируются на две большие категории, представленные на рис. 1.

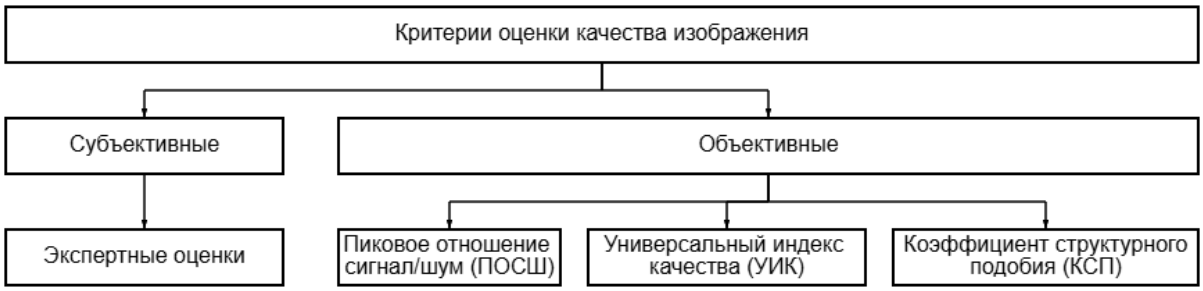


Рис. 1 Классификация методов оценки качества изображений.

При субъективном анализе качества, группа экспертов принимает решение о его оценке. Итоговая оценка складывается из средних арифметических всех оценок членов группы.

В целях обеспечения возможности воспроизведения результатов оценки качества, в Международном союзе электросвязи был принят нормативный документ ITU-R BT.500-11 [1], который содержит инструкции по проведению субъективных тестов, тестовые материалы и шкалы оценок качества изображений, которые подбираются с учетом целей исследования.

Следует отметить, что в зависимости от применяемого метода исследования, оценка качества изображения может быть представлена либо дискретной шкалой значений от 1 до 5 (где 1 означает низкое качество, а 5 – высокое), либо непрерывным диапазоном от 0 до 100 [2]. Объективные критерии качества основаны на использовании математических методов анализа изображений. Эти методы могут опираться на исходное изображение в качестве эталона для сравнения (эталонные методы) либо осуществлять оценку качества без доступа к неискаженной версии изображения.

Абсолютная шкала оценки (ACR) предполагает, что каждое изображение показывается зрителю отдельно, без сравнения с эталоном или другими клипами. После просмотра клипа наблюдатель выставляет оценку на шкале качества, состоящей из 5 уровней. Этот подход удобен своей простотой и универсальностью, так как зрителям не требуется запоминать или сопоставлять несколько изображений. Однако качество оценок может варьироваться в зависи-

мости от индивидуального восприятия участников и контекста, в котором они находятся.

При парном сравнении изображений зрителям последовательно показывают два изображения – A и B. Их задача – выбрать, какой из них имеет лучшее качество. Если различия минимальны, зритель может выбрать вариант «без различий». Этот метод обладает высокой чувствительностью к небольшим изменениям качества и часто используется при сравнении двух технологий, форматов или алгоритмов. Однако он требует больше времени, так как каждая пара должна быть отдельно оценена, что увеличивает общее число тестируемых комбинаций [1].

Объективные методы оценки качества основаны на автоматизированных вычислениях, которые не требуют участия экспертной группы. Основная их задача – воспроизводить человеческое восприятие качества изображений, стремясь к тому, чтобы результаты автоматической оценки совпадали с субъективными показателями, такими как *MOS* или *DMOS*, для тех же данных. Для проверки соответствия между объективными и субъективными оценками используют различные метрики: коэффициент ранговой корреляции Спирмена, линейный коэффициент корреляции, коэффициент корреляции Кендалла, а также среднеквадратичную ошибку. Надежность и точность метода увеличиваются при высоких значениях коэффициентов корреляции и низком уровне среднеквадратичной ошибки.

Критерии объективной оценки качества изображений делятся на две ключевые категории. Первая включает эталонные методы, которые используют для анализа как искаженное изображение, так и его оригинальный эталон, оценивая отклонения от исходного качества. Вторая категория охватывает неэталонные методы, работающие только с искаженными изображениями. Эти алгоритмы особенно полезны в реальных условиях, где доступ к эталону часто невозможен.

Кроме того, выделяется промежуточная группа – частично-эталонные методы. Они не требуют полного эталонного изображения, но используют определенные данные о нем, например, информацию о потерянных пакетах в процессе передачи или тип применяемого кодека.

Пиковое отношение сигнал/шум (ПОСШ) – это метрика, представляющая собой отношение максимального значения сигнала к среднеквадратическому уровню шума [3]. Она определяется путем последовательного анализа разницы между соответствующими пикселями исходного и обработанного изображений. ПОСШ широко используется для оценки качества изображений и видео, так как она позволяет количественно измерить степень деградации данных после обработки. Чем выше значение ПОСШ, тем меньше визуальные ис-

кажения, а значит, тем лучше сохраняется исходное качество. Однако, несмотря на популярность, ПОСШ имеет ограничения, так как она не всегда коррелирует с субъективным восприятием качества человеком.

Тем не менее, ПОСШ остается одной из наиболее распространенных объективных метрик качества изображений. Для двух цифровых изображений с 256 уровнями яркости (что соответствует 8-битовому представлению) и общим числом пикселей N, ПОСШ можно вычислить по следующей формуле:

$$\text{ПОСШ} = 20lg\frac{255}{\sqrt{\text{СКО}}},$$

$$\text{СКО} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - y_i)^2,$$

где x_i и y_i – значения пикселей исходного эталонного и обработанного изображений соответственно, а СКО – среднеквадратичная ошибка [2].

Среднеквадратичная ошибка (СКО) – это метрика, которая сравнивает два изображения на уровне отдельных пикселей, измеряя разницу между соответствующими точками. Хотя этот подход широко применяется из-за своей простоты, он считается недостаточно надежным. СКО не учитывает особенности восприятия человеческим зрением, такие как чувствительность к различным типам искажений, и поэтому не всегда точно отражает субъективное качество изображения.

В связи с этим были проведены многочисленные исследования, направленные на разработку более точных алгоритмов оценки визуального качества, способных лучше согласовываться с результатами субъективного восприятия. Одним из таких усовершенствованных методов является универсальный индекс качества изображений (УИК). Этот индекс анализирует степень схожести восстановленного изображения с оригиналом, учитывая не только количественные отклонения, но и характер и степень искажений. В отличие от СКО, УИК более адаптирован к особенностям зрительного восприятия, что делает его одним из наиболее эффективных инструментов для оценки качества изображения.

УИК рассматривает искажения как комбинацию трех ключевых факторов: потери корреляции, искажения яркости и искажения контраста. Значения УИК находятся в диапазоне от -1 до 1, где наилучшее значение (равное 1) достигается только тогда, когда $x_i = y_i$ для каждого значения i в диапазоне [1..N] (где x_i – пиксели исходного изображения, y_i – пиксели искаженного изображения, N – количество пикселей в каждом из этих изображений) [4].

Основное достоинство данного метода заключается в его адаптивности: он способен объективно оценивать качество изображений независимо от их содержания и характера искажений. В отличие от ряда других подходов, алгоритм демонстрирует высокую точность при работе с изображениями любой сложности, учитывая как мелкие, так и значительные отклонения. Его универсальность делает его надежным инструментом для анализа различных видов обработанных данных, независимо от их исходных характеристик.

Коэффициент структурного подобия (КСП) – это алгоритм, предназначенный для оценки качества изображений, основанный на анализе структурного подобия в пространственной области. Он принимает два изображения на вход: одно служит эталоном, а другое – искаженным вариантом. Результатом работы алгоритма является числовой индекс структурного подобия, который отражает степень качества тестируемого изображения. В основе метода лежит сравнение ключевых характеристик: яркости, контраста и структуры, что позволяет учесть как количественные, так и качественные аспекты сходства между изображениями.

Одной из ключевых особенностей КСП является его способность учитывать человеческое зрительное восприятие. Алгоритм не просто фиксирует числовые различия между изображениями, а анализирует их с учетом того, как такие изменения воспринимаются глазом. Благодаря своей универсальности и высокой точности, этот метод стал стандартом для оценки качества изображений в научных и прикладных исследованиях. Однако, несмотря на его достоинства, КСП имеет ограничения, такие как чувствительность к небольшим локальным искажениям.

Таким образом, качество изображений, получаемых с видеокамер мобильных устройств, зависит от множества факторов, включая разрешение сенсора, размеры пикселей и параметры диафрагмы. Объективные критерии, такие как пиковое отношение сигнал/шум (ПОСШ) и универсальный индекс качества изображений (УИК), позволяют более точно оценивать качество изображений в условиях реального использования. Для дальнейшего совершенствования оценки качества необходимо продолжать исследования в этой области, чтобы разрабатывать более эффективные алгоритмы, способные учитывать особенности восприятия визуальной информации человеком.

Список используемых источников

1. Recommendation ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 2002.

2. Матвеев Д. В. Оценка качества цифровых изображений и видеоданных: учебно-методическое пособие / Д. В. Матвеев, А. Г. Седов, В. В. Хрящев, А. Л. Приоров ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2018. 76 с.
3. Конюхов А. Л. Критерии оценки отношения сигнал/шум в активно- импульсных телевизионно-вычислительных системах / А. Л. Конюхов, А. Г. Костевич, М. И. Курячий // Доклады ТУСУР. 2012. № 2(26). Ч. 1. С. 111–115. URL : https://journal.tusur.ru/ru/arhiv/2-1-2012 (дата обращения 11.11.2024).
4. Нечаев А. А. Использование среднего степенного для оценивания качества изображений. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. 2024. Vol. 12, № 6. PP. 65–75. URL: http://injoit.org/index.php/j1/issue/view/140 (lata обращения 11.11.2024).

Elkin S. **IMAGE QUALITY ASSESSMENT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the key characteristics that affect the quality of images obtained using mobile phone video cameras and methods for their assessment. It also discusses both subjective and objective methods for assessing image quality, including the use of various algorithms and metrics for measuring the correspondence between original and processed images. In conclusion, the importance of developing more accurate visual quality algorithms for adequately assessing the results of subjective tests is emphasized.

Key words: peak signal-to-noise ratio, universal image quality index, structural similarity coefficient.

УДК 534.843.6
ГРНТИ 29.37.23

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ДУМСКОЙ БАШНИ

В. П. Жиряков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрено проектирование системы звукового сопровождения для Думской башни в Санкт-Петербурге. Описан выбор оборудования, методы расчета и результаты моделирования звукового поля. Рассмотрены преимущества цилиндрической формы для равномерного распределения звука и минимизации стоячих волн. Полученные результаты могут быть полезны для проектирования подобных систем звукового сопровождения.

акустика, цилиндрическое помещение, звуковое поле, звукоусиление

Звуковое сопровождение в культурных и исторических зданиях выполняет важную функцию, обеспечивая посетителям более комфортные условия при осмотре объекта. В Думской башне, представляющей собой цилиндрическое пространство с винтовой лестницей, ведущей на смотровую площадку, полное отсутствие звукового покрытия приводит к акустическим артефактам, таким как эхо, звуки шагов и прочие шумы, которые могут отвлекать посетителей. Настоящая работа посвящена вопросам интеграции системы звукоусиления в цилиндрическом помещении, где особое внимание уделяется размещению громкоговорителей для обеспечения равномерного звукового покрытия вдоль всего маршрута подъема.

Думская башня расположена по адресу: Санкт-Петербург, Невский проспект, 33, на пересечении с Думской улицей. Башня, являющаяся частью комплекса зданий городской думы, построена в 1752 году и служила административным зданием до 1917 года. В 2021 году здание было передано центру музыкальной культуры «Чайковский», сохранив свое культурное значение для города.

Целью проекта является обеспечение приглушенного звукового сопровождения, которое будет восприниматься посетителями на всем протяжении пути. Для достижения этой цели необходимо обеспечить равномерное распределение уровня звукового давления по всей высоте башни. Кроме того, проект предусматривает возможность экстренного оповещения: при необходимости музыка прерывается, и по громкоговорителям передается голосовое сообще-

ние для оперативного информирования посетителей о соответствующих мерах безопасности.

Башня представляет собой внутренний цилиндр диаметром около 2,5 метров, вписанный в пятиугольник, образующий наружные стены. Внутри башни находится винтовая лестница, ведущая на смотровую площадку, с которой открывается панорамный вид на Санкт-Петербург. Центральную часть башни занимает кирпичная колонна, вокруг которой расположены 233 ступени лестницы. Как внутренние, так и внешние стены выполнены из кирпича. Помимо архитектурных особенностей, в башне находится исторический часовой механизм, который также представляет интерес для посетителей. Фото внешнего вида и интерьера башни представлено на рис. 1.



Рис. 1. Фото внешнего вида Думской башни (слева) фото внутреннего интерьера башни (справа)

Немаловажным аспектом при проектировании системы звукового сопровождения являются акустические свойства башни. Центральная колонна из кирпича, расположенная в башне, выполняет роль рассеивающей поверхности, уменьшая интенсивность отражений от противоположных стен, так как выпуклые поверхности (колонны, пилястры, крупные лепные украшения, люстры) рассеивают звук [1]. На рис. 2 представлено то, как звуковые волны отражаются от выпуклых поверхностей, с точки зрения геометрической (лучевой) акустики.

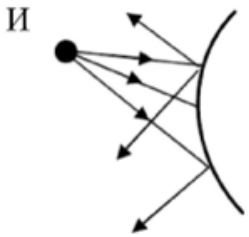


Рис. 2. Отражение звуковых волн от выпуклой поверхности

Наличие колонны помогает избежать фокусировки звука и предотвращает формирование «плавучего эха» – эффекта многократных отражений, при котором звук возвращается в центр пространства [2].

Цилиндрическая форма пространства также определяет более равномерное распределение звукового поля, особенно на низких частотах, что способствует снижению вероятности возникновения стоячих волн и резонансов. В отличие от параллелепипедов, где звуковые волны часто усиливаются между параллельными поверхностями, цилиндрическая форма башни помогает достичь акустического баланса без выраженных пиков и провалов по громкости на определенных частотах [2]. При этом, однако, каменные стены из кирпича, обладающие высокой отражающей способностью, увеличивают время реверберации, что может снизить разборчивость звука.

Поскольку башня является историческим объектом, установка звукопоглощающих материалов, которые могли бы повлиять на время реверберации, ограничена, чтобы сохранить ее культурную и архитектурную целостность. Для решения этой задачи система звукоусиления настроена на работу при низком уровне громкости, что позволяет минимизировать влияние отраженных звуковых волн. В этом проекте громкоговорители расположены вдоль всей высоты лестницы по спирали, что обеспечивает равномерное звуковое покрытие, при котором посетители постоянно находятся в зоне прямого звукового поля. Низкий уровень громкости способствует тому, что прямой звук от громкоговорителей доминирует над отраженным, создавая комфортную акустическую среду без необходимости использования сложных акустических корректировок.

В проекте используется усилитель «Audac MFA216», мощность которого составляет 160 Вт на один канал при работе на 100-вольтовой линии. Для расчета максимального количества громкоговорителей, которые можно подключить к данному усилителю без риска перегрева и искажений, необходимо разделить его мощность на мощность понижающего трансформатора одного громкоговорителя.

Для данного проекта оптимальным выбором стали громкоговорители «Audac WX302MK2» – это настенные двухполосные акустические системы. Эти громкоговорители оснащены понижающим трансформатором на 100 В, что позволяет использовать их в системах трансляции и оповещения на мощности 20, 10 или 5 Вт. Чувствительность громкоговорителей составляет 85 дБ (1 Вт / 1 м).

Поскольку задача проекта – обеспечить полное звуковое покрытие башни по всей высоте, важно определить оптимальное количество громкоговорителей, которое может работать с усилителем, при этом оставляя запас мощности для стабильной работы системы.

Рассчитаем, исходя из максимальной мощности усилителя:

– при мощности громкоговорителя 20 Вт, к одному усилителю можно подключить 8 устройств (160 Вт / 20 Вт = 8). Однако с таким количеством громкоговорителей обеспечить полное звуковое покрытие башни высотой 47,5 м не представляется возможным. Кроме того, коэффициент осевой концентрации «Audac WX302MK2» на частоте 2000 Гц составляет 9;

– при снижении мощности до 10 Вт число устройств увеличивается до 16 (160 Вт / 10 Вт = 16), что частично решает задачу, но не оставляет достаточного запаса по мощности для стабильной работы системы, особенно с учетом продолжительного времени эксплуатации (до 12 часов в сутки);

– для достижения оптимального баланса было решено использовать мощность громкоговорителей 5 Вт. В этом случае усилитель способен поддерживать работу до 32 устройств (160 Вт / 5 Вт = 32), что позволяет обеспечить покрытие звуком всей башни.

Таким образом, оптимальной для проекта оказалась настройка мощности каждого громкоговорителя на 5 Вт. В итоге было принято решение установить вдоль башни 22 громкоговорителя «Audac WX302MK2», что обеспечивает достаточное покрытие звуком всей высоты башни, а также обеспечивает запас по мощности для усилителя, он составляет ≈32 %. Этого достаточно, чтобы подключить систему, и сохранить ее стабильность.

Для предварительной проверки равномерности звукового покрытия по высоте башни было произведено моделирование звукового поля на лестничном пролете в программе EASE Focus. Модель включает два громкоговорителя, установленных с интервалом в 9 ступенек, что было выбрано для обеспечения стабильного звукового покрытия на всем пути подъема. На рис. 3 можно увидеть окно программы EASE Focus с планом одного лестничного пролета башни, отображение двух громкоговорителей «Audac WX302MK2», а также график распределения звукового давления в дБ в этом помещении.

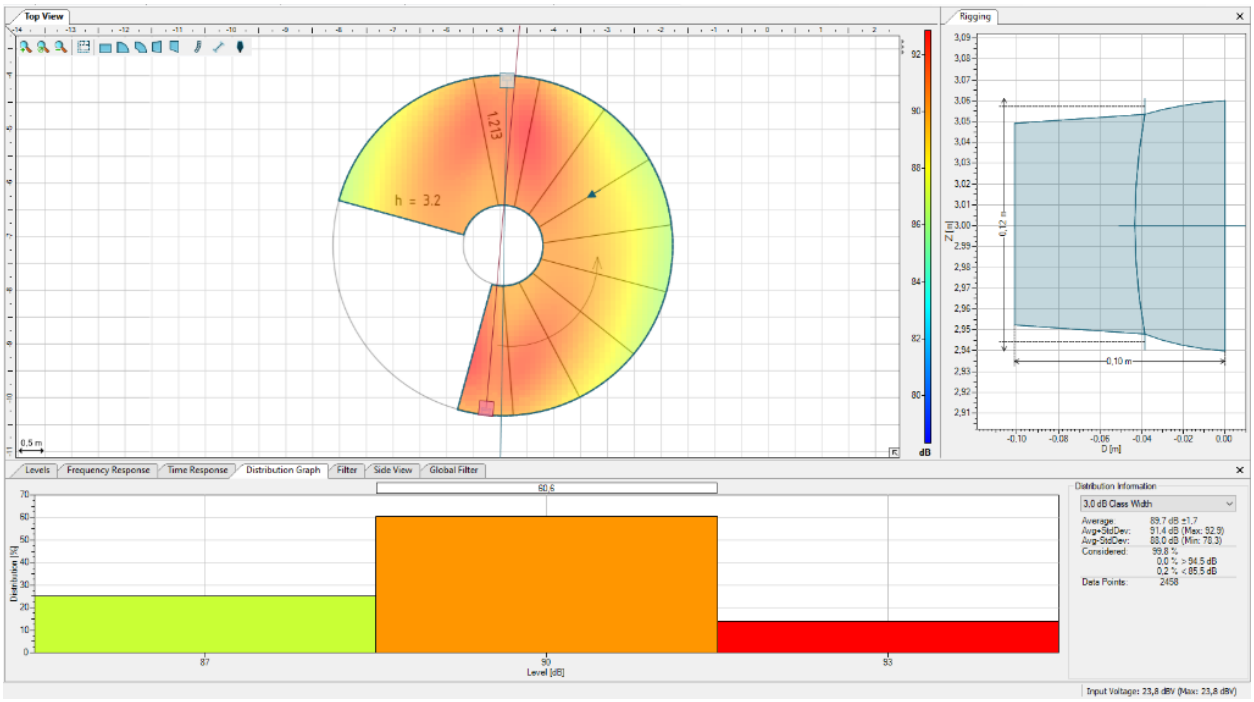


Рис. 3. Результаты моделирования звукового поля в EASE Focus

Результаты моделирования показали, что звуковое поле распределяется равномерно по всей площади пролета. При подведении мощности 5 Вт к каждому громкоговорителю уровень звукового давления составил около 90 дБ, что соответствует требованиям для прослушивания основной звуковой программы. Однако для создания фоновой музыки, согласно рекомендациям, уровень звукового давления должен находиться в диапазоне 65–70 дБ [3]. Разница между уровнями звукового давления составляет 20 дБ, что соответствует уменьшению подводимой мощности в 100 раз. Таким образом, для обеспечения уровня в 70 дБ к каждому громкоговорителю достаточно подавать мощность около 0,05 Вт.

Высота потолка между витками лестницы составляет 3,2 м. Громкоговорители было решено размещать на высоте около 3 метров относительно ступеней лестницы, так как эта высота соответствует положению кабель-канала, что упрощает монтаж. Более того, модель показала, что установка громкоговорителей на высоте 3 метров способствует более равномерному распределению звукового поля по сравнению с их размещением на более низком уровне.

Изначально предполагалось направить громкоговорители под небольшим углом вниз, чтобы звук был ориентирован непосредственно на уровень ушей посетителей. Однако моделирование продемонстрировало, что изменение наклона приводит к концентрации звуковой энергии непосредственно под громкоговорителем, создавая менее равномерное звуковое поле. В результате было принято решение направить громкоговорители строго прямо, с углом от-

клонения 0 градусов, что позволило достичь более сбалансированного и равномерного распределения звука.

Данный проект системы звукового сопровождения реализован в ноябре 2024 года. После монтажа планируется проведение акустических измерений и субъективной оценки качества. На основе результатов будут внесены финальные корректировки уровней громкости и временной синхронизации громкоговорителей для обеспечения комфортного и равномерного звучания.

Список используемых источников

1. Катунин Г. П. Акустика помещений: учебное пособие / Г. П. Катунин. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2024. 192 с. ISBN 978-5-4497-3529-4. URL: https://bstudy.net/821506/tehnika/osnovy_geometricheskoy_luchevoy_akustiki (дата обращения 13.11.2024).
2. Ковалев Л. Р., Скрипко Ю. А. Геометрия и звуки: как формы влияют на акустику: НИР. г. Мичуринск: ТОГАОУ, 2023. 21 с. URL: https://files.school-science.ru/pdf/23/66f65a40e8de6.pdf (дата обращения 13.11.2024).
3. Ковалгин Ю. А., Свиньина О. А., Фадеев А. А. Расчет аппаратно-студийных комплексов телерадиовещания и аудиотехники. Часть 2. Расчет систем озвучения и звукоусиления. 2016.

Zhiriakov V. **DESIGN OF THE SOUND SYSTEM OF THE DUMA TOWER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the design of a sound reinforcement system for the Duma Tower in Saint Petersburg. It describes the selection of equipment, calculation methods, and the results of sound field modeling. The advantages of the cylindrical shape for uniform sound distribution and minimizing standing waves are discussed. The findings may be useful for designing similar sound reinforcement systems.

Key words: acoustics, cylindrical space, sound field, sound reinforcement.

УДК 004.93
ГРНТИ 20.53.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИССКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА ПРИ РАБОТЕ С АУДИОДАННЫМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Д. А. Катыкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье представлен обзор существующего программного обеспечения, использующего методы искусственного интеллекта для распознавания нажатий клавиш клавиатуры на основе анализа их звуковых характеристик. Проведен анализ принципов функционирования этих систем и дана оценка потенциальных рисков и угроз безопасности, связанных с использованием данного подхода.

звук, подбор пароля, кибербезопасность, искусственный интеллект

Современные технологии позволяют использовать звук в неожиданных сферах, включая кибербезопасность. Существует метод, позволяющий с помощью анализа звука клавиатуры восстановить введенные пароли и другую конфиденциальную информацию. В основе этого подхода лежит, что звуки клавиш содержат уникальные акустические характеристики, связанные с конкретными буквами и сочетаниями. Это стало возможным благодаря современным алгоритмам искусственного интеллекта и машинного обучения, способным распознавать и анализировать акустические спектры с высокой точностью.

На примере спектрограмм клавиш “F” и “Enter”, показанные на рис. 1 и 2, можно убедиться, что отличие есть, момент нажатия на клавиши различается длиной амплитуды, а их отпускание длиной звука.

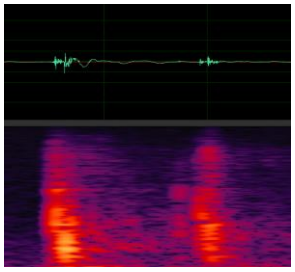


Рис. 1. Спектрограмма клавиши “F”

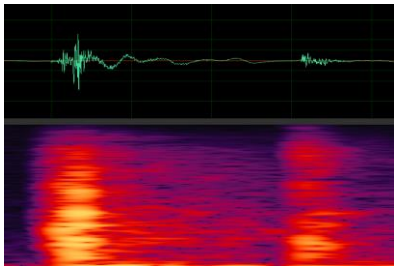


Рис. 2. Спектрограмма клавиши “Enter”

Для обучения искусственного интеллекта была использована данная особенность. Такую работу провели исследователи из Корнельского университета [1]. В своем труде они использовали модель CoAtNet, которая является классификатором изображений искусственного интеллекта [2] и обучили эту модель

на 36 клавишах MacBook Pro, записав звук нажатия на каждую 25 раз, процесс индивидуализации звуков можно видеть на рис. 3. Разработчики заявляют 62 % точности, а если подождать после ввода несколько секунд – 86 % [3].

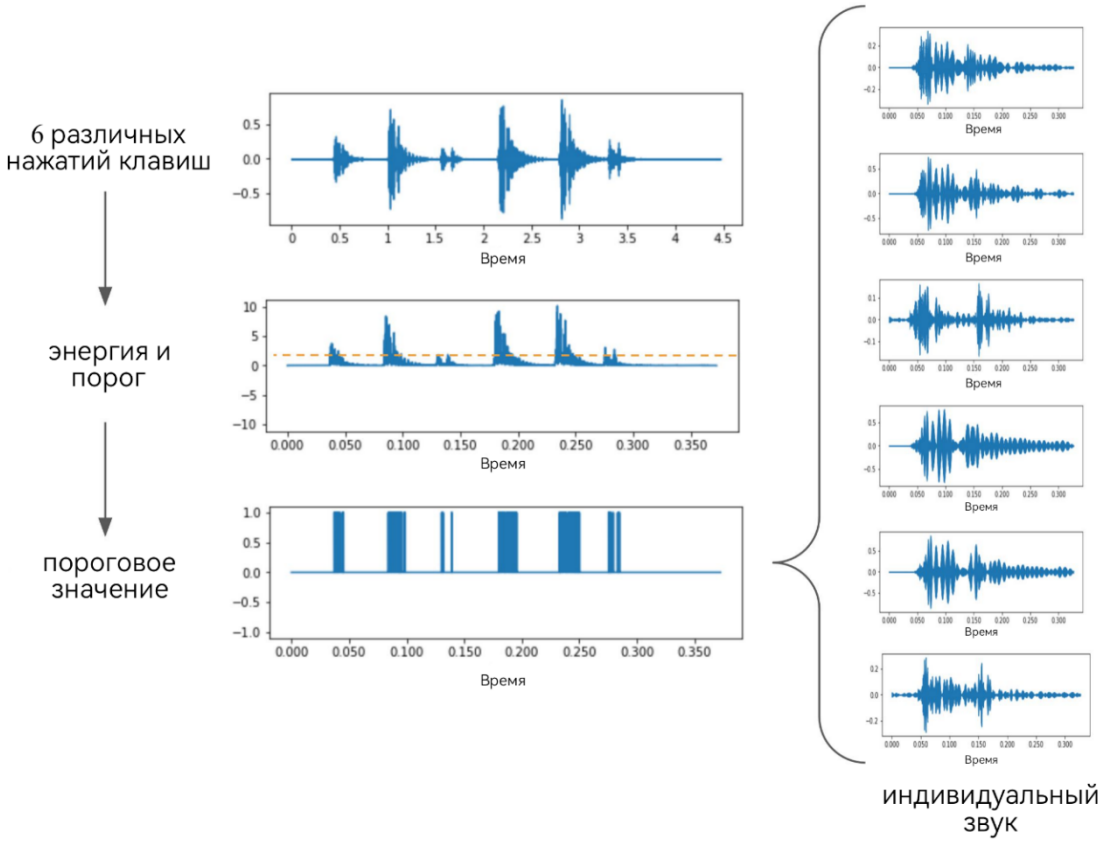


Рис. 3. Алгоритм выявления индивидуальных звуков

Существуют и другие разработки в этой сфере, такие как: “keytap1” [4], “keytap2” [5], “keytap3” [6] за авторством Георга Герганова, примеры данных программ можно увидеть на рис. 4, 5 (интерфейс keytap 2 и 3 одинаковый). Первая версия данного программного обеспечения вышла 2018 году, а последняя в 2022. Это показывает, что данная тема актуальна и, что гипотетический злоумышленник сможет воспользоваться этими методами, однако есть и множество важных критериев, которые стоит учитывать для дальнейшего подведения итогов:

1. Любые внешние звуки, такие, как звук машин, разговор людей или иной задний шум, значительно снижают возможность определения клавиш.

2. Использование различных клавиатур имеет сильное влияние на распознавание, даже одинаковые клавиатуры могут иметь разное звучание одних и тех же клавиш (зависит от качества сборки, срока эксплуатации устройства).

3. Тип клавиатуры тоже играет большую роль, так при тестировании keytap3 было выявлено, что звук клавиш мембранных клавиатур практически идентичен и из-за этого программа делала большое количество ошибок, на механической клавиатуре процент угадывания был уже выше.

4. Для более четкого распознавания необходимо подносить микрофон к клавишам на расстоянии менее 50 см.

5. Скорость и интенсивность печати тоже является одним из ключевых фактор для процента определения. На больших скоростях печати, от 170 знаков в минуту, процент угадывания снижается вдвое. Для корректной работы необходимо печатать так, чтобы между звуками клавиш было тихо. Опыты, которые описываются ниже показали, что хватит 0,3 секунд. Стоит так же добавить, что скорость печати практически не влияет на распознавание нажатия на пробел или enter, так как их звуки сильно отличаются от остальных клавиш.

6. Еще важным критерием будет индивидуальный тип печати человека, у каждого он свой: скорость, сила нажатия, скорость отжимания клавиш, количество ошибок и т.д. Все это приводит к тому, что, подготовив искусственный интеллект для одной клавиатуры на одном человеке, то эта же клавиатура будет звучать иначе с другим человеком, пусть и незначительно, но и этот фактор тоже стоит учесть.

7. Помещение для снятия звуков с клавиатуры должно иметь хорошую степень подавления эхо, оно тоже негативно сказывается на распознавание, обманывая искусственный интеллект.

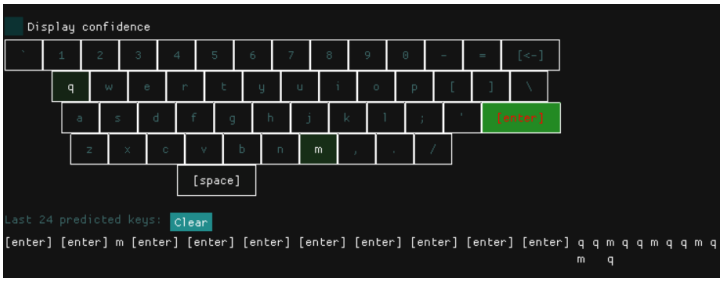


Рис. 4. Интерфейс keytap 1

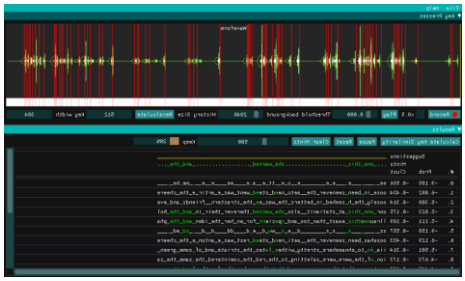


Рис. 5. Интерфейс keytap 2 и 3

Для понимания точности и возможности всех доступных программ и для оценки с точки зрения перспективы данной технологии, как инструмент взлома мы проведем проверку. Она будет происходит в помещении, с шумоизоляцией и эхо гасителями. Так же в тестах будут участвовать две клавиатуры: мембранная Logitech MK240 и механическая Razer Ornata V3. Микрофон для записи – Fifine AmpliGame A8. Всего будет по 20 звуков, каждой клавиши: “q”, “p”, “enter”, пробел, “m”, “ctrl” и “7”. Зачитывание угадывания будет только в том случае, если программа выдала верную клавишу, а не в дополнение еще другие. Итоговый процент будет округлен до целого числа. Результаты можно видеть в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение программ

Название программы	Тип клавиатуры	Процент распознавания, %
keytap 1	мембранная	23
keytap 2	мембранная	44
keytap 3	мембранная	47
keytap 1	механическая	56
keytap 2	механическая	77
keytap 3	механическая	81
Корнельский университет	мембранная	62, 86

Подводя итог по вышеизложенному, можно сделать следующие выводы. Программы, способные определять нажатые клавиши по их звуку, представляют собой разработку, которую злоумышленники теоретически могут использовать для кражи паролей. Однако эффективность такого подхода ограничена: для достижения результатов требуется адаптация искусственного интеллекта под конкретную клавиатуру, наличие микрофона высокого качества у субъекта атаки, а также непосредственная слышимость нажатий клавиш. Даже при успешном распознавании лишь части символов (например, 5 из 8) это только незначительно ускоряет другие методы взлома, такие как перебор паролей. С учетом современных алгоритмов подавления шума в популярных приложениях для связи использование данного подхода становится крайне затруднительным.

Список используемых источников

1. The use of AI for Keystroke Recognition. arXiv. URL: https://arxiv.org/pdf/2308.01074 (дата обращения 05.11.2024).
2. Иламанов Б.Б. Комплексный анализ в мире искусственного интеллекта: использование функций комплексного переменного в глубоком обучении // Вестник науки, 2023. Т. 4. № 9 (66). С. 365–372. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-analiz-v-mire-iskusstvennogo-intellekta-ispolzovanie-funktsiy-kompleksnogo-peremennogo-v-glubokom-obuchenii (дата обращения 07.11.2024).
3. Разработан ИИ, который может перехватывать пароли с точностью 95 % по звуку нажатия клавиш. Официальный сайт AI.RU. URL: https://ai.gov.ru/mediacenter/razrabotan-ii-kotoryy-mozhet-perekhvatyvat-paroli-stochnostyu-95-po-zvuku-nazhatiya-klavish/ (дата обращения 11.11.2024).
4. KeyTap. URL: https://keytap.ggerganov.com/ (дата обращения 10.11.2024).
5. KeyTap2. URL: https://keytap2.ggerganov.com/ (дата обращения 10.11.2024).
6. KeyTap3 GUI. URL: https://keytap3-gui.ggerganov.com/ (дата обращения 10.11.2024).

Katykin D. **EXPLORING THE POSSIBILITIES OF AI WHEN WORKING WITH AUDIO DATA TO ENSURE SECURITY.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents an overview of existing software that employs artificial intelligence to recognize keyboard keystrokes based on the analysis of their acoustic characteristics. The study examines the operational principles of these systems and provides an assessment of the potential risks and security threats associated with this approach.

Key words: sound, password guessing, cybersecurity, artificial intelligence.

УДК 004.921
ГРНТИ 19.61.47

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНАСТКИ В АНИМАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Д. В. Козлов, Д. А. Татаренков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Применение оснастки в анимации трехмерных объектов является ключевым аспектом современной графики и компьютерной анимации. Она позволяет создавать реалистичные визуальные эффекты, которые используются в киноиндустрии, играх, архитектурном дизайне, медицинском моделировании и других областях. Одним из ключевых аспектов применения оснастки в анимации трехмерных объектов является возможность контролировать движение объектов в пространстве.

3D, Риггинг, Анимация

Анимация трехмерных объектов является важной областью создания компьютерной графики, которая применяется в огромном количестве разных сфер жизни, среди которых наиболее популярными являются игровая и киноиндустрии, архитекторская деятельность, топография, медицина. Одним из основных инструментов, позволяющих создавать качественные анимации, является оснастка.

Оснастка, или риггинг, представляет собой процесс создания структуры «скелета» для трехмерных объектов, что позволяет им имитировать движения реальных объектов. Риггинг включает в себя создание «костей», «суставов» и ограничений движения, а также привязку объектов к «скелету». Этот процесс играет важную роль в анимации, так как он позволяет придать объектам реалистичное поведение и анимировать их с помощью специальных программ. Для создания качественной анимации необходимо учитывать физику движения, особенности объекта и требования конкретного проекта. Специалисты, занимающиеся анимацией, должны иметь хорошее понимание работы с оснасткой и умение применять ее эффективно для достижения желаемых результатов.

Исследования в области анимации трехмерных объектов и применения оснастки позволяют разрабатывать более реалистичные и интересные анимационные проекты. Многие книги по компьютерной анимации и графике предлагают подробные инструкции по использованию оснастки и ее применению в анимации трехмерных объектов [1]. Один из основных принципов работы с

оснасткой заключается в правильном определении точек привязки объекта. Корректная установка точек привязки позволяет реализовать реалистичное взаимодействие объекта с внешним миром и другими объектами в сцене. Этот аспект играет ключевую роль в создании естественных движений и анимации объекта.

Другим важным принципом является использование инструментов, основывающихся на физических законах. В современных программах для трехмерной анимации часто встречаются возможности моделирования физических свойств объектов, таких как гравитация, инерция, столкновения и другие. Правильное применение этих инструментов позволяет создавать убедительную и реалистичную анимацию. При работе с оснасткой необходимо иметь четкое представление о том, какие именно движения и эффекты нужно достичь. Это помогает определить необходимые настройки и параметры оснастки для достижения желаемого результата.

Технические аспекты применения оснастки в создании анимированных объектов включают в себя ряд ключевых элементов: одним из основных технических аспектов является выбор подходящего типа оснастки для конкретной задачи. В зависимости от требуемого вида анимации (например, физически-правильная деформация или стилизованное движение), аниматор выбирает между различными типами оснастки, такими как кости, сплайны, морфинг и т. д. Каждый тип оснастки имеет свои особенности и преимущества, которые необходимо учитывать при создании реалистичной анимации, которые мы рассмотрим далее.

Риггинг начинается с создания «скелета» модели при помощи объектов типа «костей» (bones) или «шейпов» (joints). Каждая «кость» имеет свои трансформации (позиция, вращение, масштаб), и они связываются друг с другом, формируя иерархическую структуру. После создания «скелета» необходимо определить, каким образом 3D-геометрия будет реагировать на движение «костей». Это достигается через скиннинг, где вершины модели привязываются к костям с помощью веса (weighting). Существует несколько методов скиннинга, включая линейное интерполирование (Linear Blend Skinning) и метода полного полигонального привязывания (Rigid Skinning) [2]. Риггинг может включать контроллеры, которые являются более удобными средствами для анимирования. Они позволяют аниматору управлять движениями модели на более высоком уровне абстракции, вместо непосредственного манипулирования костями. Для создания морфинг-анимации можно использовать "blend shapes". Это метод, который позволяет сохранять различные формы (например, выражения лиц) и интерполировать между ними с помощью слайдеров или контроллеров.

Процесс риггинга часто включает отладку и оптимизацию, чтобы гарантировать, что модель будет плавно анимироваться без артефактов. Это может включать настройку весов скиннинга, тестирование движений и исправление проблем. Риггинг должен быть разработан с учетом конечной анимации. Аниматоры могут использовать различные методики и технологии для достижения желаемого эффекта, включая анимацию по ключевым кадрам и симуляции физических движений. Эти технические аспекты риггинга играют важную роль в создании анимации в 3D-пространстве и обеспечивают качественное взаимодействие между моделями и анимационными процессами.

Сплайн – это математическая кривая, которая может быть определена с помощью наборов контрольных точек, называемых контрольными вершинами (control vertices или CVs). Сплайны позволяют создавать гладкие и сложные формы и пути, которые можно использовать в риггинге и анимации.

Существует несколько типов сплайнов, каждый из которых имеет свои особенности:

– Cubic Splines используют полином третьей степени, обеспечивая высокую степень гладкости и контроля.

– B-splines обеспечивают большую гибкость и контроль над формой, а также создают более сложные кривые без добавления дополнительных контрольных точек.

– NURBS осуществляет создание геометрически сложных моделей и материалов. Они широко используются в 3D-моделировании и анимации.

Само применение сплайнов отражается при создании сложных гибких объектов, таких как волосы или ткани. Путем привязки точек деформации к контрольным точкам, сплайн перемещается или деформируется, это влияет на геометрию модели. В анимации крыльев птицы можно использовать сплайны для контроля за их движением, добавляя плавность и натуральность. Сплайны поддерживаются многими популярными 3D-программами для анимации, такими как Autodesk Maya, Blender, 3ds Max и они являются мощным инструментом в риггинге и анимации, позволяя создавать плавные и контролируемые движения и упрощают процесс работы.

Морфинг в контексте риггинга и 3D-моделирования – это техника, позволяющая плавно изменять форму 3D-объекта за счет интерполяции между несколькими целевыми состояниями или формами. Обычно морфинг используется для анимации лиц, форм моделей и других объектов, где требуется изменение геометрии. Этот процесс относится к деформации модели, формы и размера объектов или сменяемость между разными формами объекта и обеспечивает плавное и естественное изменение формы объекта без необходимости создания отдельных анимаций для каждого кадра. Он применяется в анимации

персонажей, изменении форм объектов (например, трансформация из одного объекта в другой), постобработка.

У морфинга существует система шейп-кейсов, которые позволяют сохранять разные формы в одной модели. В некоторых программах можно использовать переменные (например, слайдеры) для управления весами в реальном времени. Сначала необходимо создать базовую модель или меш, которая будет использоваться как отправная точка для морфинга. Это может быть 3D-модель персонажа или объекта. Затем создаются целевые модели, которые представляют собой желаемые состояния или формы, к которым должна сходиться базовая модель. Эти модели могут отличаться по форме, размеру или анатомии. Для достижения плавного перехода между моделями используются веса или влияния, которые определяют, насколько каждая точка базовой модели должна перемещаться или деформироваться к целевым моделям [3].

Далее необходима оптимизация процесса анимации с использованием оснастки. Разработка эффективных схем управления оснасткой и оптимизация работы алгоритмов деформации позволяют сократить время создания анимации и улучшить ее качество. Различные методы оптимизации, такие как кеширование деформаций и оптимизация вычислений, играют ключевую роль в улучшении производительности при работе с оснасткой.

Важным техническим аспектом является механизм взаимодействия между оснасткой и другими элементами анимации, такими как текстуры, освещение и спецэффекты. Интеграция оснастки с другими элементами анимации позволяет создать более реалистичные и эффектные анимационные сцены.

Кроме того, ограничения оснастки могут проявиться в ограничениях свободы движения объекта. Некоторые риги могут быть ограничивающими при попытках воплощения определенных движений или эффектов.

Заключение

В заключение можно отметить, что использование оснастки в трехмерной анимации имеет огромный потенциал для дальнейшего развития и исследования. С постоянным увеличением вычислительной мощности компьютеров и улучшением технологий визуализации, специалисты в области анимации имеют все больше возможностей для создания высококачественных и реалистичных трехмерных объектов. Одним из направлений будущего развития может стать исследование новых методов и техник оснастки, которые позволят еще более эффективно и реалистично моделировать деформации и движения объектов. Также активные исследования в области виртуальной реальности и смешанной реальности могут привести к появлению новых способов взаимо-

действия с трехмерными объектами, включая управление ими с помощью жестов и голосовых команд.

Список использованных источников

1. 3D Computer Graphics by Alan Watt. URL: https://elsu.ru/uploads/files/2020-11/1605787691_solomenceva-s.b.-metodichka-3d-modelirovanie-i-vizualizaciya-_compressed.pdf/ (дата обращения 10.11.2024).
2. Соломенцева С. Б. 3D-моделирование и визуализация. URL: https://elsu.ru/uploads/files/2020-11/1605787691_solomenceva-s.b.-metodichka-3d-modelirovanie-i-vizualizaciya-_compressed.pdf/ (датаобращения 10.11.2024).
3. Yarko. URL: https://bookstack.yarko.com/books/frilans-doktor-dinozavrov/page/tekstursh-hikam (дата обращения 10.11.2024).

Kozlov D., Tatarenkov D. **USING RIGGING IN 3D ANIMATION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The use of rigging in the animation of three-dimensional objects is a key aspect of modern graphics and computer animation. It allows for the creation of realistic and exciting visual effects that are used in the film industry, games, industrial design, medical modeling and other areas. One of the important aspects of the use of rigging in the animation of three-dimensional objects is the ability to control the movement of objects in space.

Key words: 3D, Rigging, Animation.

УДК 004.924
ГРНТИ 28.17.33

СОХРАНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ ПРИ СКАНИРОВАНИИ С ПОМОЩЬЮ LiDAR В IPHONE

В. Н. Креков, Д. А. Татаренков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается вопрос быстрого сканирования объектов окружающего мира для формирования 3D-моделей и дальнейшего их использования в построении виртуальных сцен, локаций и виртуальных туров. Исследовано сохранение приблизительных реальных размеров объектов при сканировании с помощью LiDAR в Iphone.

LiDAR, 3D объекты, компьютерная графика, 3D моделирование, визуализация

Целью данного исследования является исследование возможности использования датчика LiDAR смартфона iPhone 13 Pro для сканирования реальных объектов с сохранением размеров. И оценке возможности его дальнейшего применения в построении виртуальных сцен.

Для работы с данными LiDAR существует множество инструментов и программного обеспечения, которые упрощают и автоматизируют процессы обработки и визуализации данных [1]. Самый удобный способ ознакомиться с технологией и попробовать ее в действии – это использовать смартфон Apple iPhone, начиная с модели 12 Pro, что представлено на рис. 1. [2]. Компания Apple начала интегрировать систему в линейку Pro, чтобы поддержать свой вектор развития дополненной реальности и повысить качество фотоснимков в темное время суток, когда объект недостаточно освещен для камеры смартфона, следовательно, и алгоритмы обработки изображения менее эффективны.



Рис. 1. Сканер LiDAR в iPhone 12 Pro/MAX

Необходимо установить приложение для сканирования, которое использует технологию LiDAR. Одно из многих аналогов – Scaniverse. Его главное преимущество – бесплатное неограниченное использование. Сканирование осуществляется медленным перемещением iPhone вокруг объекта. Лазеры LiDAR излучают лазерные импульсы и измеряют время их возвращения, создавая облако точек.

Камера iPhone может использоваться для добавления цветовой информации к точкам, делая 3D модель более реалистичной [3]. После завершения сканирования получившаяся 3D модель просматривается на экране iPhone. Доступна возможность вращать, масштабировать и приближать модель для более детального анализа. Также возможно экспортировать 3D модель в формате, который совместим с популярными программами для работы с 3D графикой, такими как Blender или Cinema 4D. Модель может быть использована для построения сцены, либо для дальнейшей ее обработки.

В ходе исследования была поставлена следующая задача: сравнить измерения, выполненные с помощью измерительной рулетки, с измерениями 3D модели, полученной с помощью датчика LiDAR на смартфоне. Измерения проводятся в программе Blender [4].

Главное преимущество Scaniverse – бесплатное неограниченное использование. Сканирование осуществляется медленным перемещением iPhone вокруг объекта. Также внутренний редактор имеет расширенный функционал по обработке 3D объектов [5].

В приложении перед съемкой были настроены параметры сканирования (рис. 2): – чем больше радиус съемки, тем больше точек набирается при сканировании.

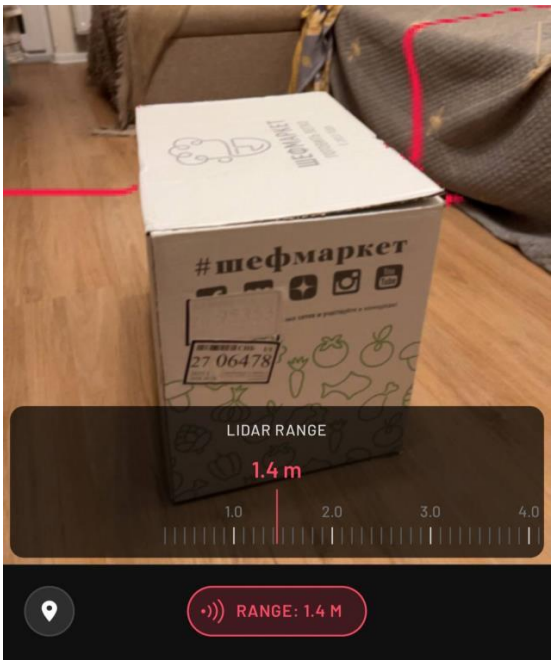


Рис. 2. Настройка параметров сканирвоания Scaniverse

Далее выполняется сканирование объекта. Необходимо обойти объект с каждой его стороны, интерфейс приложения будет визуально указывать розовым штрихом на необработанные участки (рис. 3).

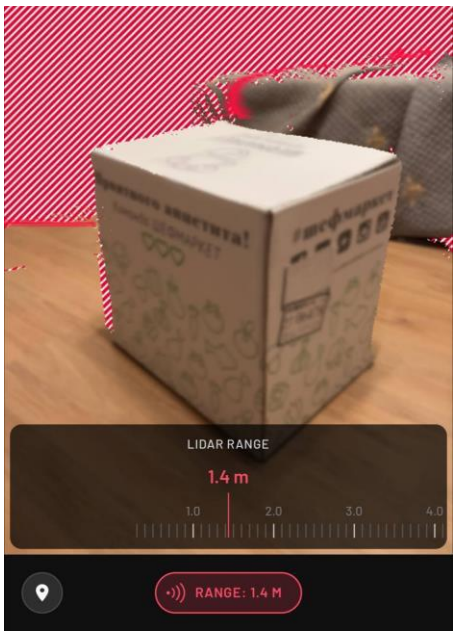


Рис. 3 Процесс сканирования в Scaniverse.

Результат сканирования и обработки объекта приложением Scaniverse представлен на (рис. 4).

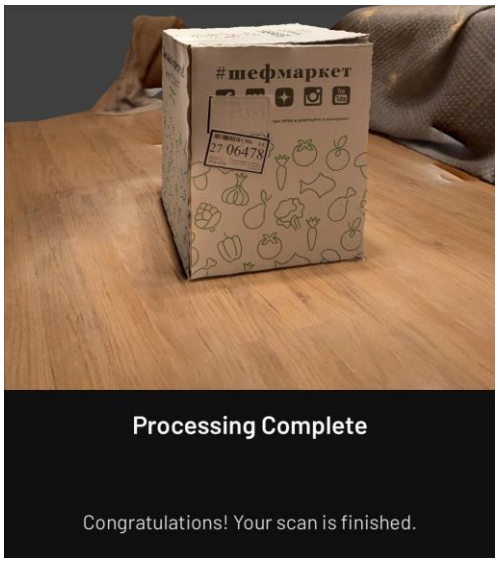


Рис. 4. Модель, сформированная Scaniverse

Отсканированное облако точек при помощи смартфона загружено в программное обеспечение (ПО) Blender (рис. 5). В ПО лишние отсканированные точки были удалены в режиме редактирования вершин, также модель повернута относительно системы координат xyz (рис. 6).

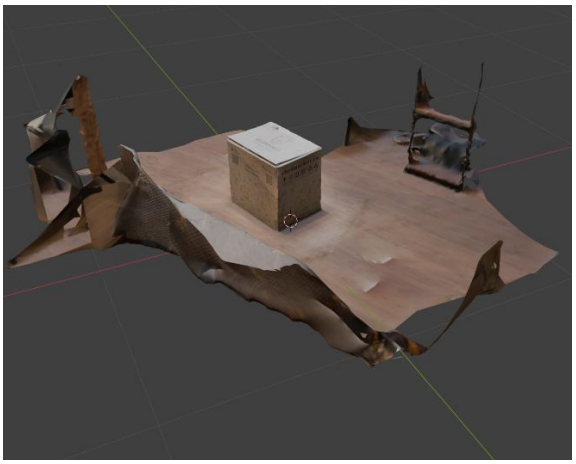


Рис. 5. Модель в Blender

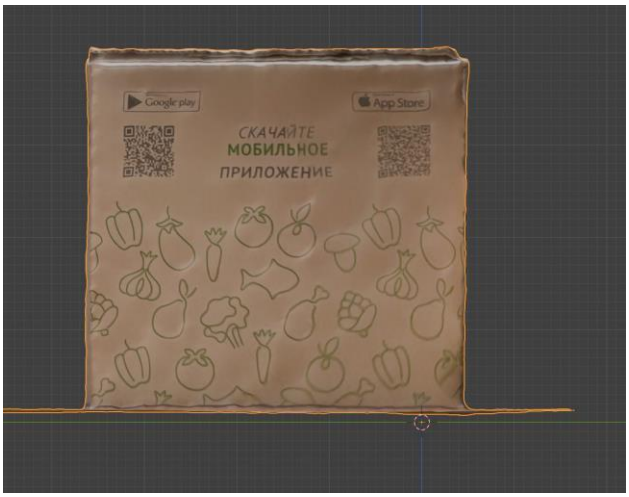


Рис. 6. Отредактированная модель в Blender

При помощи инструмента «Measure» Blender способен измерить расстояние между точками 3D модели. Результат измерения ребер отсканированного объекта по ширине, высоте и глубине представлен на (рис. 7)

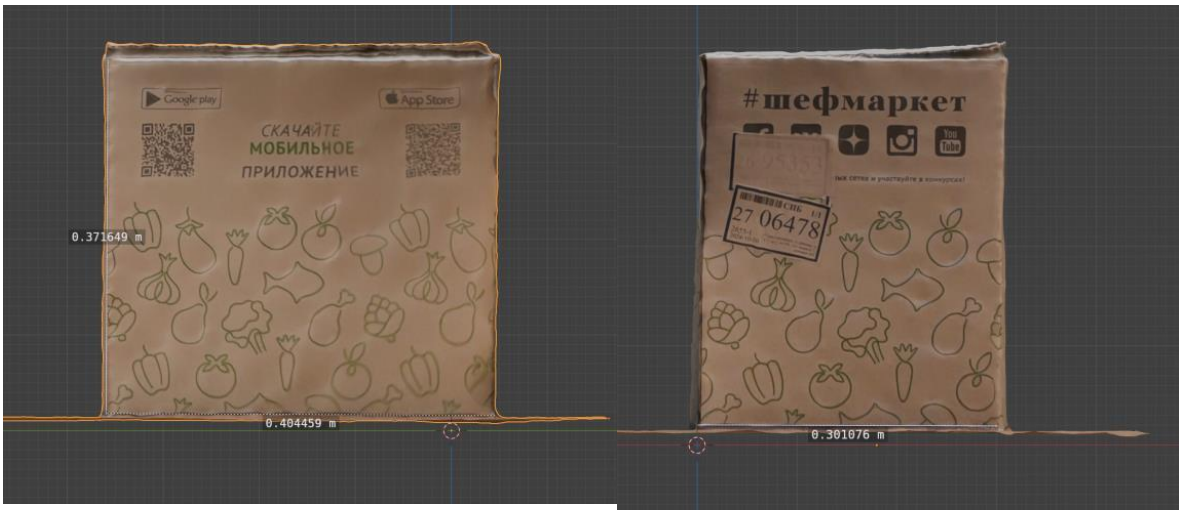


Рис. 7. Результаты измерения в Blender

Измерение ребер объекта по ширине, высоте и глубине при помощи измерительной рулетки (рис. 8).



Рис. 8. Замер измерительной рулеткой;

Сравнение полученных результатов приведено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение измеренных размеров объекта

Измерение	Ширина	Высота	Глубина
Blender	0,404459 м	0,371649 м	0,301076 м
Измерительная рулетка	0,40 м	0,37 м	0,30 м

Результат исследования подтверждает возможность использования датчика LiDAR смартфона iPhone 13 Pro для сканирования реальных объектов с сохранением размеров. Зафиксировано незначительное расхождение в размерах объекта, что позволяет выдержать масштаб при построении виртуальных сцен с использованием 3D-моделей, полученных рассмотренным методом.

Список используемых источников

1. Руденко Ю. М., Богданец Е. С. Актуальность лидарной съемки на данном этапе развития лазерного сканирования // Технические науки – от теории к практике: электрон. научн. журн. 2016.
2. Презентация Apple iPhone 12 Pro. URL: https://www.apple.com/au/newsroom/2020/10/ apple-introduces-iphone-12-pro-and-iphone-12-pro- max-with-5g/ (дата обращения 29.10.2024).
3. Портал о современных технологиях. URL: https://www.tadviser.ru/a/427040 (дата обращения 29.10.2024).
4. Blendr.org. URL: https://www.blender.org/about/ (дата обращения 28.10.2024).
5. Scaniverse.com. URL: https://blog.scaniverse.com/introducing-scaniverse-46802d8604a6 (дата обращения 28.10.2024).

Krekov V., Tatarenkov D. **SAVING THE SIZE OF OBJECTS WHEN SCANNING USING LiDAR IN IPHONE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the issue of quickly scanning objects in the surrounding world to create 3D models and use them to construct virtual scenes, locations, and virtual tours. It also examines the preservation of approximately real sizes of objects during scanning using LiDAR technology in the iPhone.

Key words: LiDAR, 3D objects, computer graphics, 3D modeling, visualization.

УДК 681.84.085.6
ГРНТИ 29.37.19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УМЕНЬШЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

В. С. Ларионова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная статья рассматривает различные типы источников, которые используются при измерении уменьшенных моделей. При акустическом макетировании требуются точные измерительные приборы воспроизведения и регистрации звуковых волн. От характеристик источников и приемников звука зависит качество полученных данных. Для эффективного моделирования звука в уменьшенной модели помещения необходимо не только обеспечить геометрическое подобие модели и исследуемого помещения, но нужно учитывать параметры направленности, амплитудного отклика и переходных процессов преобразователей звука. Основная часть статьи посвящена излучателям, в частности электростатическим и искровым разрядникам. Частично затронута тема измерительных микрофонов, которые используются при экспериментах с макетами помещений.

акустика, уменьшенные модели, источники звука, приемники звука, измерение характеристик помещения

Масштабированные модели – это инструмент, который до сих пор используется в области акустики помещений для таких сложных проектов, как проектирование концертных залов и научные исследования. Они позволяют моделировать физическое пространство, приближенное к реальности, и, таким образом, выявлять явления, которые трудно смоделировать численно в больших помещениях. Кроме того, из-за возможности простой модификации макета есть возможность просто изменять его составляющие для тестирования различных архитектурных элементов и их влияния на звуковое поле.

Наряду с поглощением звука в воздухе и свойствами отражающих поверхностей модели большое влияние на результаты измерений оказывают характеристики источника и приемника звука [1]. При исследовании импульсных осциллограмм источников очень сильно видны различия в их характеристиках. Особенно важны характеристики направленности преобразователей. Амплитуды отдельных отражений в импульсном отклике, в дополнение к времени прохождения, форме и чистоте поверхности модели, зависят от относительного уровня, с которым был испущен импульс в соответствующем направлении, и от чувствительности микрофона в направлении поступления этого импульса в точку приема. Таким образом, помимо геометрического сходства помещения и модели, требуется также

сходство коэффициентов звукопоглощения внутренних поверхностей, сходство диаграмм направленности преобразователей.

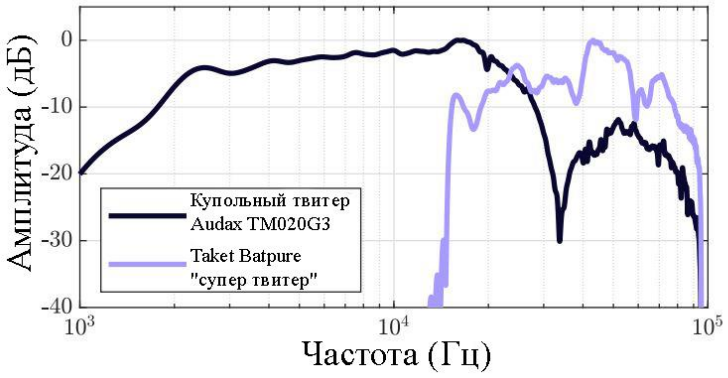
К источникам и приемникам звука для модельных измерений предъявляются и другие требования. Источник должен обладать достаточно высокой отдачей, малой неравномерностью частотной характеристики в заданном диапазоне частот и небольшой длительностью переходных процессов, а приемник достаточной чувствительностью. В целом преобразователи являются наиболее слабым звеном измерительных трактов, применяемых для исследований в моделях. Остальные элементы трактов обычно не вызывают трудностей.[1]

В контексте измерений параметров акустики помещений Международный стандарт ISO 3382-1 (2009) рекомендует, чтобы источник был всенаправленным, со сферической диаграммой направленности [2]. В соответствии с этой целью в литературе было предложено несколько типов источников для масштабных акустических моделей помещений.

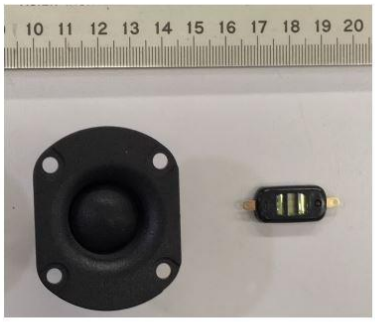
Самый простой источник в реализации – это миниатюрный холостой пистолет, использующийся в качестве источника импульсов для измерений в акустической модели. Диаметр ствола составляет 2 мм, а общий размер – около 4 см. Однако он менее воспроизводим и требует ручного запуска, что делает его менее практичным в использовании и не позволяет получить доступ к времени прохождения сигнала между источником и приемником, как в случае, когда они синхронизированы.

Недавно был предложен оптико-акустический источник. Лазер используется для создания импульса давления путем фокусировки луча в одной точке пространства. Было доказано, что он обладает хорошей повторяемостью и обладает тем преимуществом, что является неинвазивным, но также создает нелинейно распространяющуюся волну [3].

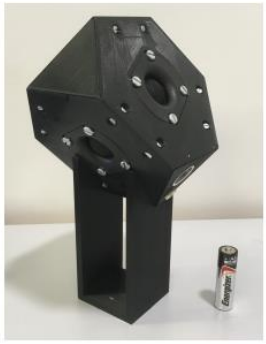
В качестве источников звука при масштабном моделировании используются различного типа электроакустические преобразователи: электродинамические, электростатические, магнитострикционные и др. Наиболее подходящими являются электростатические излучатели [1]. Обычно используются высокочастотные динамики, аналогичные источникам, которые традиционно используемым для измерения акустики помещений или твитерные решетки. Твитеры, используемые для этих источников, показаны на рисунке 1. Был разработан миниатюрный додекаэдр, используя именно этот пьезоэлектрический преобразователь. Тетраэдрическая форма может обеспечить характеристики, эквивалентные додекаэдру, предусмотренной стандартом (ISO 3382-1, 2009) [2]. Их амплитудные характеристики, нормализованные к максимальному значению, измеренному на оси в незамкнутом состоянии (рис. 1).



а



б



в



г

Рис. 1. Нормализованные амплитудные характеристики (а) и внешний вид твитеров, использованных в моделях (б): (слева) Купольный твитер Audax TM020G3 и (справа) Taket Batpure «супер твитер. Слева изображен купол твитера Audax TM020G3 с мембраной диаметром 20 мм. Справа – Taket Batpure, «супер-твитер». Миниатюрный додекаэдр (в). Массив супер-твитеров (г) [3].

Достаточно простым излучателем для измерений звука в моделях является VLO-12 (NRB), основой для него был ленточный серийный громкоговоритель, обеспечивающий эффективное излучение частот от 2,5 до 40 кГц. С громкоговорителя был удален рупор, а ленточка закрыта маской из гетинакса с отверстием диаметром 12 мм (при меньшем диаметре не удавалось получить требуемое для измерений отношение сигнал/шум). Для демпфирования излучателя к нижней поверхности маски был приклеен слой поролона. Перед маской был установлен рассеиватель в виде перфорированного корпуса из плотного ватмана. Отверстия перфорации диаметром 6 мм располагались по углам квадрата со стороной 18 мм (рис. 2). На частотах излучения 16 и 31 кГц излучатель обеспечивает всенаправленное излучение [1].

Для работы в импульсном режиме перфорированный корпус заменяется сплошным коническим рассеивателем. Схематический разрез излучателя со сплошным металлическим рассеивателем, выполненным из алюминиевого сплава (рис. 3) [1].

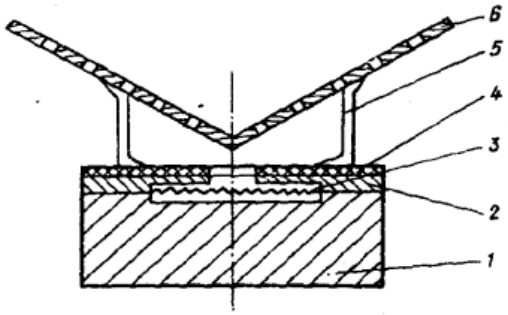


Рис. 2. Схематический разрез VLD-12 с маской и перфорированным конусом:
1 – постоянный магнит; 2 – демпфирующая прокладка из поролона; 3 – гофрированная ленточка; 4 – маска из гетинакса; 5- стойка крепления корпуса; 6 – перфорированный конус [3]

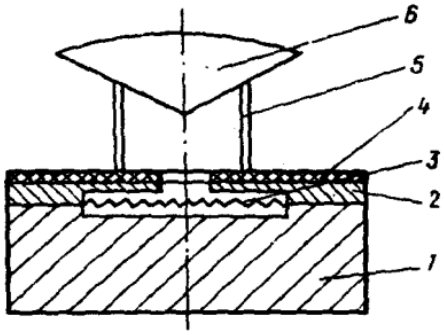


Рис. 3. Схематический разрез VLD-12 с маской и сплошным коническим рассеивателем: 1 – постоянный магнит; 2 – демпфирующая прокладка из поролона; 3 – гофрированная ленточка; 4 – маска из гетинакса; 5- стойка крепления конуса; 6 – конический рассеиватель из алюминиевого сплава [3].

При такой конструкции ненаправленное излучение удалось получить только в переднем полупространстве. Это препятствует применению излучателя в открытом пространстве, однако если использовать его в сценической коробке, то излучение в заднее полупространство не оказывает значительного влияния на формирование звукового поля в зоне прослушивания.

Одним из первых примененных источников является искровой. Искра возникает между двумя расположенными рядом электродами.

Искровые излучатели, хорошо излучающие требуемые для моделирования высокие частоты, состоят из металлического электрода (обычно плоского) с шероховатой рельефной или иной неровной поверхностью. Поверх электрода натягивается тонкая синтетическая пленка, покрытая снаружи распыленным металлом, который служит вторым электродом. Вследствие неровности поверхности первого электрода под пленкой образуются небольшие воздушные объемы, которые совместно с электродами действуют как множество параллельно работающих миниатюрных электростатических излучателей.

Это решение обеспечивает точечный источник ограниченного размера с высокой мощностью и практически всенаправленным излучением в широком диапазоне частот. Однако, мощные разряды могут создавать ударные волны, которые не подходят для изучения линейной акустики. Так же они имеют тенденцию нагревать окружающий воздух, а форма импульсов меняется при каждом использовании, поскольку зависит от геометрии выбранной электрической дуги.

Однако, несмотря на нестабильность и широкополосность излучаемых импульсов, искровые разрядки оказались настолько удобными в работе, что их широко применяют как в нашей стране, так и за рубежом.

Исходя из всех предложенных вариантов, самым простыми в реализации являются холостой пистолет и пропорционально уменьшенные излучатели в разных модификациях. Самым точным из таких вариантов можно считать ультразвуковой излучатель или собранный тетраэдр из купольных широкополосных твитеров. Искровой источник сложен в изготовлении, но из доступных исследований их диаграммы направленности максимально приближены к всенаправленным. В рамках дальнейших исследований планируется использование уменьшенной модели пропорционально уменьшенных источников, аналогичных реальным и ультразвуковых источников.

Список используемых источников

1. Макриенко Л. И. Акустика помещений общественных зданий. М. Стройиздат, 1986. 173 с.
2. ГОСТ Р ИСО 3382-1 – 2013 измерение акустических параметров помещений. Часть 1, М.: Стандартинформ, 2014.
3. Weber A., Acoustics of Historic Buildings: Intercomparison of Numerical. Methods for Coupled Spaces & Sound Scattering by Piers and Columns in Gothic and Classical Architecture // Sorbonne Université ED 391 - Sciences mécaniques, acoustique, éléctronique et robotique de Paris Institut Jean le Rond ∂'Alembert, 2022.

Larionova V. **USING SOURCES IN THE STUDY OF REDUCED MODELS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article examines the various types of sources that are used in measuring reduced models. Acoustic modeling requires precise measuring instruments for reproducing and recording sound waves. The quality of the received data depends on the characteristics of the sound sources and receivers. To effectively simulate sound in a reduced room model, it is necessary not only to ensure the geometric similarity of the model and the room under study, but also to take into account the parameters of directivity, amplitude response and transients of sound converters. The main part of the article is devoted to radiators, in particular electrostatic and spark arresters. The topic of measuring microphones, which are used in experiments with indoor layouts, is partially touched upon.

Key words: acoustics, reduced models, sound sources, sound receivers, measurement of room characteristics.

УДК 621.397.231
ГРНТИ 49.40.37

АНАЛИЗ ВИДЕОКОДЕКОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОМПРЕССИИ И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. О. Матвеев, Ф. А. Штыков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современном мире видеоинформация и видеоконтент стали основным источником информации. Из-за этого растет мировой видео трафик, вследствие чего современные кодеки могут стать недостаточно эффективными для сжатия высококачественного видео. Решить подобную задачу могут более технологичные кодеки, которые будут рассмотрены в данной статье.

H.264, H.265, H.266, CTU, VVC, HEVC, сжатие, кодирование, сравнение

Краткий обзор технологии, лежащей в основе стандарта H.264 AVC:

H.264 использует «Дифференциальное кодирование», при котором вместо отправки всех кадров целиком каждый последующий кадр сравнивается с предыдущим кадром, и передаются только изменения в новом кадре. Дальнейшее сжатие возможно, если обнаружение и кодирование различий основано на блоках пикселей. Эта техника более эффективна, если в видео мало движущихся объектов. Если в видео присутствует много движущихся элементов, тогда используется блочная компенсация движения. В этом случае изображение делится на ряд макроблоков. Для каждого последующего кадра применяются определенные сложные предсказательные алгоритмы, которые определяют новое положение блока движения [1]. Таким образом, вместо кодирования целых блоков данных кодируется только вектор движения, который представляет новое положение блока движения в последующих кадрах. Это уменьшает размер видео и, следовательно, полосу пропускания, необходимую для его передачи. Компенсация движения и сжатие могут быть реализованы разными способами и в разной степени, и каждый способ влияет на эффективность сжатия видео.

Проект высокоэффективного кодирования видео (H.265/MPEG-H HEVC) был запущен для достижения большей экономии при эквивалентном качестве изображения по сравнению со скоростью передачи данных, необходимой для широко используемого стандарта AVC.

Технологии, используемые в H.265:

– Макроблоки дерева кодирования (Coding Tree Unit, CTU) переменного размера. Это позволило повысить точность выделения динамических блоков, а также эффективность обработки кадров в разрешении 4K и выше [2].

– Улучшенный deblocking filter. Фильтр отвечает за сглаживание границ блоков, необходимых для устранения артефактов по линии их стыковки [2].

– Улучшенный алгоритм прогнозирования вектора движения (Motion Vector Predictor, MVP). Помогает снизить объем видео за счет повышения точности предсказаний при кодировании движущихся объектов [2].

– Поддержка многопоточных вычислений. Квадратные области, на которые разбивается каждый кадр при кодировании, теперь могут обрабатываться независимо одна от другой [2].

– Поддержка волновой параллельной обработки данных (Wavefront Parallelel Processing, WPP). Способствует повышению производительности сжатия. Обработка CTU осуществляется построчно, однако кодирование каждой последующей строки может начаться еще до завершения предыдущей в том случае, если данных, полученных из ранее обработанных CTU, для этого достаточно [2].

H.266/MPEG-I VVC был разработан для улучшения сжатия цифрового видео, а также для поддержки более широкого спектра современного медиаконтента и новых приложений.

Потребность в максимальной эффективности сжатия видео является насущной, поскольку около 80 % данных, передаваемых по всемирным сетям, составляет видео, и этот процент неуклонно растет в связи с появлением видеоконтента сверхвысокой четкости (UHD) и высоким динамическим диапазоном (HDR). Для кодирования как раз такого видеоконтента он и был создан [3].

Общее устройство стандарта H.266 примерно такое же, как и у H.265. А устройством каждого модуля H.266 были улучшены:

– Структура дерева кодирования. Три варианта дерева кодирования [3]:

- двоичное;
- троичное;
- квадратичное.

– Внутрикадровое предсказание:

- PDPC – предсказание, зависящее от позиции;
- LM-предсказание. Суть – использование линейной модели для аппроксимации значений пикселей в текущем блоке на основе значений яркости и цветности пикселей из соседних блоков;
- DC режим – каждый пиксель в блоке предсказывается одним и тем же значением, которое вычисляется как среднее арифметическое всех пикселей, окружающих данный блок [4].

– Межкадровое предсказание:

- AMVR – для описания движения объектов используются векторы движения, их разрешение адаптивно.
- ATMVP – AMVR, но также использует информацию о ранее закодированных векторах движения и особенностях текущей сцены, что позволяет предсказать движения более точно [4].

– Преобразование и квантование:

- AMT – фильтр, основанный на концепции временной фильтрации с учетом движения объектов в сцене. Во избежание их размытия AMT применяет фильтрацию только к областям, которые остаются неподвижными или движутся согласованно.
- ALF: после основного этапа декодирования, когда исходное изображение восстанавливается из сжатых данных, анализирует кадр и применяет фильтры для устранения артефактов, таких как блочность, размытие и шум.
- LMCS – это метод постфильтрации, который направлен на улучшение качества видео за счет коррекции яркостных и хроматических компонентов изображения. Особенно нужен на низких битрейтах [4].

Ниже в таблице 1 приведены битрейты [5, 6], пиковые отношения сигнал/шум и индекс структурного сходства [6,7] для разрешений видео 480p, 720p и 1080p для исследуемых видеокодеков.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение видеокодеков по объективным параметрам

Кодек	Разрешение видео	PSNR	SSIM	Битрейт
H.264 (10-бит/отсчет)	SD – 640x480	40 дБ	0.87	1.4 Мбит/с
	HD – 1280x720			3.5 Мбит/с
	FHD – 1920x1080			8.5 Мбит/с
MPEG-H (H.265, 10-бит/отсчет)	SD – 640x480	39.25 дБ	0.85	0.72 Мбит/с
	HD – 1280x720			2.2 Мбит/с
	FHD – 1920x1080			4.9 Мбит/с
MPEG-I (H.266, 10-бит/отсчет)	SD – 640x480	40 дБ	0.88	0.5 Мбит/с
	HD – 1280x720			1 Мбит/с
	FHD – 1920x1080			2.5 Мбит/с

Необходимо сделать общий сравнительный анализ видеокодеков. Преимущества и недостатки приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Основные преимущества и недостатки кодеков

Кодек	Преимущества	Недостатки
H.264	Уменьшенные размеры файла и полосы пропускания	Необходимость оплаты за стандарт
	Совместимость со всеми устройствами	Задержка кодирования и декодирования
	Обратная совместимость со старыми стандартами	Ограниченный функционал при малых вычислительных мощностях
	Увеличенная четкость картинки/качество звука	
H.265	Работает со сверхвысокими разрешениями видео (8K+)	Высокие требования к вычислительной мощности устройства
	Позволяет масштабировать видео под разрешение экрана	Низкое качество изображения на низких битрейтах
H.266	Оптимизация сложных сцен	Высокая вычислительная сложность
	Совместимость с сетевыми ограничениями	Ограниченная поддержка оборудования

Видеокодеки не стоят на месте. Было разработано большое их разнообразие, но, используемое в данный момент, оборудование до сих пор не рассчитано на использование более новых. Необходимо идти в ногу со временем, поэтому стоит переходить на более современные кодеки, такие как H.265 и H.266, которые в будущем получат широкое распространение как более эффективные и прогрессивные решения.

Список используемых источников

1. H.264 AVC (MPEG-4 Part 10. URL: https://excitingip.com/1041/h-264-mpeg-4-part-10-avc-video-codec-compression/ (дата обращения 19.10.2024).
2. Технологии H.265. URL: https://habr.com/ru/companies/wd/articles/511966/ (дата обращения 10.11.2024).
3. H.264, H.265 и H.266. URL: https://www.mpeg.org/whitepapers/ (дата обращения 23.10.2024).
4. H.266 Vs H.265. URL: https://forum.huawei.com/enterprise/en/h-266-vs-h-265-what-is-the-difference/thread/667266936960073728-667213857636102144 (дата обращения 11.11.2024).
5. Video Bitrate Calculator. URL: https://www.dr-lex.be/info-stuff/videocalc.html (дата обращения 13.11.2024).

6. Scheme-Aided H.266 for Reliable High Data Mobile Video Communication. URL: https://www.researchgate.net/publication/365173983_SP-DSTS-MIMO_Scheme-Aided_H266_for_Reliable_High_Data_Rate_Mobile_Video_Communication (дата обращения 12.11.2024).
7. Impact of Constant Rate Factor on Objective Video Quality Assessment. URL: https://www.researchgate.net/publication/321286643_Impact_of_Constant_Rate_Factor_on_Objective_Video_Quality_Assessment/fulltext/5a18cfc34585155c26a95b9e/Impact-of-Constant-Rate-Factor-on-Objective-Video-Quality-Assessment.pdf (дата обращения 12.11.2024).

Matveev A., Shtykov F. **ANALYSIS OF VIDEO CODECS IN TERM OF COMPRESSION AND TECHNOLOGIES USED.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Video information and video content have become the main source of information in the modern world. Because of this, global video traffic is growing, which may result in modern codecs becoming ineffective at compressing high-quality video. More technologically advanced codecs, that will be discussed in this article, can solve this problem.

Key words: H.264, H.265, H.266, CTU, VVC, HEVC, compression, encoding, comparison.

УДК 004.923
ГРНТИ 47.63.31

РАСШИРЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Н. В. Минаев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Иммерсивность – это свойство технологической части среды, которое отражает ее возможности по использованию субъекта в системе отношений, определяемую содержанием среды, которая позволяет человеку воспринимать себя включенным и взаимодействующим с искусственно созданной реальностью или ее отдельными частями, обеспечивающими ему непрерывный поток стимулов и опыта.

иммерсивная реальность, иммерсивные коммуникации виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, расширенная реальность, VR, AR, XR

В понятие расширенная реальность входит целый ряд технологий, включая виртуальную, дополненную и смешанную реальности. XR объединяет физический и виртуальный миры благодаря обработке видео и объединению данных. За счет использования устройств пользователи могут взаимодействовать с виртуальными аватарами и получать доступ к контенту расширенной реальности. Базовые технологии, составляющие XR – это виртуальная и дополненная реальности. Для обеспечения погружения используются сенсорные данные и виртуальная среда, для создания исскуственных пейзажей как из физического, так и из виртуального миров с использованием гарнитур или портативных устройств отображения.

В настоящее время технологии виртуальной реальности набирают популярность благодаря недавним достижениям в области вычислительной техники и технологий отображения. Гарнитуры, такие как Oculus и HTC Vive, доступны для широких масс и могут поддерживать сверхвысокое разрешение 3840 × 2160 в Pimax 8K и частоту обновления кадров до 120 Гц [1]. VR-контент обрабатывается и отображается на пользовательских устройствах. Для обеспечения необходимой вычислительной мощности VR-гарнитуре требуется дополнительная консоль, в то время как проводное соединение ограничивает пользователя рабочей станции в мобильности. Следовательно, в настоящее время беспроводная VR-гарнитура является основным направлением исследований в области VR. Кроме того, мультисенсорная технология XR интегрирует человеческие чувства и перцепцию, включая визуальную, слуховую, обонятельную и тактильную информацию, в контент XR, обеспечивая по-настоя-

щему захватывающий опыт. Для реализации требуется объединение множества дисциплин, включая искусственный интеллект, компьютерное зрение, биологию, сети со сверхнизкой задержкой и т. д., при этом необходимо одновременное соединении реального и виртуального миров.

Расширенная реальность включает в себя несколько технологий с разными уровнями виртуальности. Принцип работы XR можно свести к трем этапам: передача контента, рендеринг и сбор отклика пользователя. На каждом этапе, сети связи могут сыграть важную роль [2].

Созданный VR – контент, передается с серверов и VR – устройств. VR-устройства воспроизводят сферические видеоролики 360°, которые могут быть преобразованы в равноугольные видеоролики. При воспроизведении VR-контента, равноугольные видеоролики отображаются на сферу, в центре которой находится пользователь, для обеспечения стереоскопического 3D восприятия. VR-видео выделяется сверхвысоким пространственным разрешением. Разрешение видео виртуальной реальности достигает 12K (11 520 × 6480), в то время как обычное видео зачастую имеет разрешение 4K или меньше. Передача полноценных равноугольных видеороликов с контент-серверов требует сверхвысокой скорости передачи данных. Таким образом, передача на основе плиток обычно используется при доставке видео виртуальной реальности.

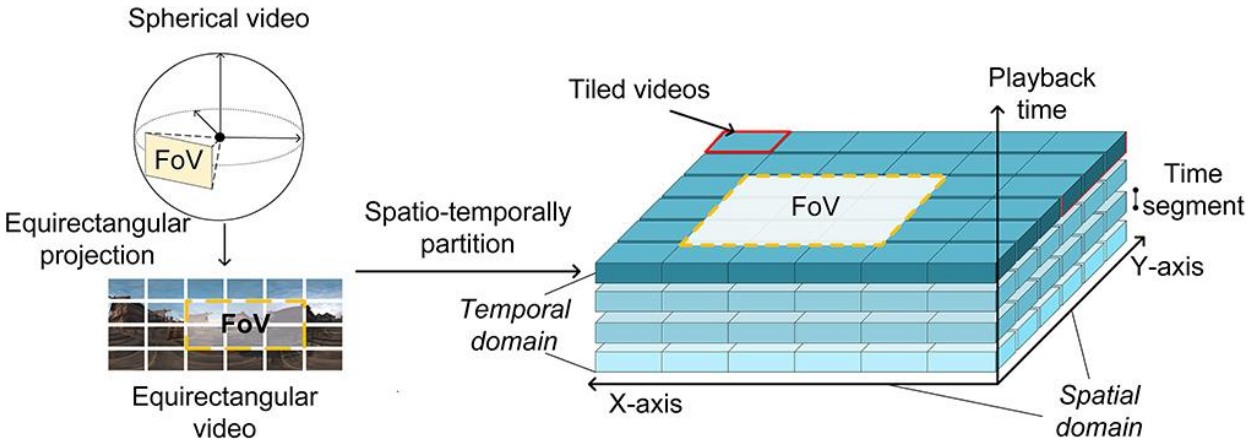


Рис. 1. Видеопроекция и разделение виртуальной реальности

Контент-сервер может пространственно-временным образом разделять равноугольные видео на фрагменты (рис. 1), то есть фрагментировать видео, и доставлять только фрагментированные видео в поле зрения пользователя (FoV). Однако для данной реализации на основе плиток необходимы VR-гарнитуры с датчиками обнаружения и оценки точек обзора пользователя для определения области поля зрения. Устройства AR генерируют необработанный контент с помощью датчиков на локальных устройствах, таких как камеры в смартфонах, и загружают контент на сервер для дальнейшей обра-

ботки. Например, видео, снятые устройствами AR, обрезаются в кадры с определенным форматом изображения, и эти кадры могут быть загружены на сервер. Затем обработанный контент доставляется на устройства AR.

При рендеринге контента, фрагментированного VR-видео, передаваемого на устройства виртуальной реальности, объединяется, и подключаются дополнительные вычислительные ресурсы для проецирования 2D-стереоскопических видео в 3D-стереоскопическое видео, создания двух разных видео для левого и правого глаза соответственно [3]. Этот этап рендеринга контента можно выполнить на устройствах виртуальной реальности после получения всего необходимого контента.

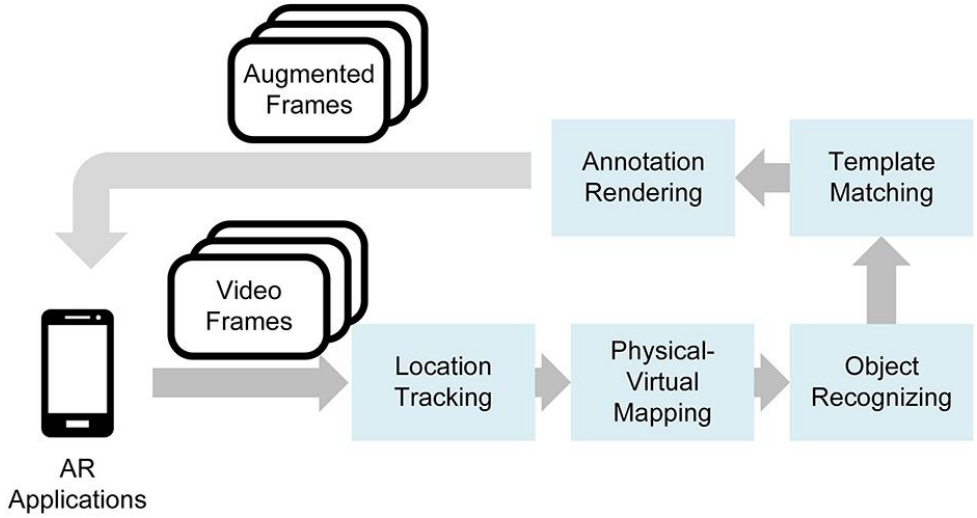


Рис. 2. Обработка и рендеринг контента для приложений AR

Обработка и рендеринг контента в AR (рис. 2), в сравнении с виртуальной реальностью, более сложный процесс. Необработанный AR-контент, то есть видеокадры, захватывается AR-устройством. На этапе отслеживания местоположения, определяется местоположение устройства в соответствии с захваченными кадрами. Далее на этапе отображения, устанавливается виртуальная координата окружающей среды на основе результатов трекера. Одновременно с этим, при распознавании объектов обнаруживаются объекты для обработки в видеокадрах. На основе идентифицированных объектов расширенные данные извлекаются из локального кэша или сетевых серверов и соответствующим образом прикрепляются к кадрам. На этапе сопоставления с шаблоном дополненные данные прикрепляются к кадрам. А при рендеринге аннотаций обработанные кадры визуализируются на устройствах дополненной реальности. Вычислительная нагрузка для выполнения вышеуказанных функций может быть полностью или частично перенесена с AR-устройств на сетевые серверы, чтобы минимизировать задержку вычислений или повысить энергоэффективность AR-устройств.

После получения и воспроизведения контента, устройства смешанной реальности собирают данные с отклика пользователей, чтобы осуществить выборку контента для последующей доставки. AR- и VR-устройства используют схожие методы сбора обратной связи: к устройствам подключены датчики или камеры для определения действий и движений пользователей. Также VR требует дополнительной обратной связи относительно точки зрения пользователя. Точки зрения пользователя необходимы для отображения фрагментированных видеороликов в поле зрения пользователя. Точка зрения может быть получена с помощью модулей отслеживания движения на устройстве виртуальной реальности. Эмуляция движения может использоваться для имитации движения точки обзора пользователя на устройствах виртуальной реальности. Устройства виртуальной реальности могут запрашивать контент заблаговременно на основе результатов эмуляции, чтобы избежать снижения производительности, такого как повторная буферизация. Для интерактивных приложений, таких как XR gaming, датчики, подключенные к устройствам XR, таким как инерциальные измерительные устройства (IMU), тактильные перчатки и т.д., собирают информацию от пользователей.

Расширенная реальность предъявляет жесткие требования к задержке для плавного и точного воспроизведения видеоконтента в зависимости от движений пользователя. В виртуальной реальности, разница во времени между перемещением точки обзора пользователя и соответствующими отражениями на выходе виртуальной гарнитуры, является наиболее важным показателем задержки [4]. В случае, если задержка превышает 20 мс, пользователь виртуальной реальности может ощущать пространственную дезориентацию и головокружение, что называется виртуальной болезнью. В настоящее время в виртуальной реальности исследователи нацелены на задержку менее 15 мс, для обеспечения оптимального взаимодействия с пользователем. Кроме того, для приложений виртуальной реальности, требующих интенсивного взаимодействия, время отклика для преобразования взаимодействий в контент виртуальной реальности может быть больше, чем требуется для задержки. Так, например, в VR-играх задержка реагирования на действия игрока до 50 мс может быть заметной, что в настоящее время является приемлемой. Что касается дополненной реальности, то контент в основном записывается локальными устройствами. Задержку в дополненной реальности можно свести к минимуму, воспроизводя необработанный контент, записанный устройствами дополненной реальности, до его обработки. Однако задержка обработки может негативно сказаться на погружении пользователей в контент дополненной реальности. В AR-контенте требования к задержке более снисходительны, для

онлайн игр оптимальная задержка колеблется около 75 мс и 250 мс для телеметрии, исходя из чувствительности вестибулярного аппарата человека.

Для обеспечения низкой задержки при доставке XR-контента, необходима сверхвысокая скорость передачи данных. При просмотре VR-видео гарнитура расположена в нескольких сантиметрах от лица. Следовательно, для VR-приложений необходимо видео высокого разрешения, чтобы улучшить пользовательский опыт. Передача контента на основе фрагментов может уменьшить объем данных при доставке VR-контента, но требования к скорости передачи данных при доставке VR-видео может достигать 2,35 гигабита в секунду (Гбит/с) или выше, что превышает скорость передачи данных для потоковой передачи видео высокой четкости в 100 раз. Для интерактивных приложений расширенной реальности, необходима обширная обработка видео. Вычислительные возможности как сетевых серверов, так и пользовательских устройств определяют производительность интерактивных приложений XR, а ограниченные вычислительные возможности сети могут стать еще одним препятствием для доставки контента XR.

Список используемых источников

1. Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. Measuring and defining the experience of immersion in games. International journal of human-computer studies. 2008. Vol. 66. № 9. PP. 641–661.
2. Ananya Hazarika, Mehdi Rahmati. Towards an Evolved Immersive Experience: Exploring 5G- and Beyond-Enabled Ultra-Low-Latency Communications for Augmented and Virtual Reality. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3682 (дата обращения 11.11.2024).
3. Gauthier Lafruit, Mehrdad Teratani. Virtual Reality and Light Field Immersive Video Technologies for Real-World Applications. 2021.
4. Логун К. А., Рощупкина И. В. Бизнес-Сценарии использования технологий расширенной реальности на современных производственных предприятиях // Организатор производства. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/biznes-stsenarii-ispolzovaniya-tehnologiy-rasshirennoy-realnosti-na-sovremennyh-proizvodstvennyh-predpriyatiyah/ (дата обращения 13.11.2024).

Minaev N. **AUGMENTED REALITY.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Immersiveness is understood as a property of the technological part of the environment, reflecting its capabilities to involve the subject in a system of relations determined by the content of the environment – allowing a person to perceive himself as included and interacting with some artificially created reality or its separate parts, providing him with a continuous flow of stimuli and experience.

Key words: immersive reality, immersive communications virtual reality, augmented reality, mixed reality, augmented reality, VR, AR, XR.

УДК 004.032.6
ГРНТИ 28.23.25

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

А. А. Мочалов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрен вопрос шумоподавления звуковых файлов. Исследуя различные нейронные сети, спроектированные для устранения шумов в аудиосигналах, проведено сравнение по качеству и времени обработки с целью выявление лучшего варианта для использования в работе.

нейросети, шумоподавление, аудиосигналы

Существуют разные системы классификации шумов, основанные на спектральных характеристиках или частоте волн. Тем не менее, для оптимизации процесса шумоподавления в записях речи первостепенное значение приобретает категоризация шумов по их временным свойствам [1]. Таким образом шумы можно разделить на стационарные, импульсные и нестационарные: прерывистые и колеблющиеся.

Такая категоризация позволяет разграничить шумы по сложности их подавления инструментами. Проще всего подавляются стационарные шумы, т. к. они постоянны и заранее известно, где они находятся в сигнале. Во фрагментах тишины будет четко наблюдаться амплитуда такого шума.

Лучше всех из аудиосигнала удаляются шумы, относящиеся к стационарным. Самыми сложными для подавления являются импульсные шумы.

Устранить более сложные виды шумов позволяют методы машинного обучения. Нейросетевые методы обучаются решать задачу выделения только релевантной речевой информации из всего аудиопотока.

Раньше для улучшения речи использовался метод спектрального вычитания. Из спектра, содержащего полезный сигнал и шум, вычитается спектр шума, после чего полученный спектр чистой речи следует преобразовать в сигнал. Сигнал, содержащий шум и речь, можно представить формулой:

$$y[n] = s[n] + d[n],$$

где $s[n]$ – чистая речь, $d[n]$ – шум.

В статье будут рассмотрены такие нейронные сети для фильтрации шума как: RNNoise, NSNet, DCCRN, PoCoNet, DTLN.

В основе сети RNNoise лежит сочетание классических методов устранения шумов и реккурентная нейронная сеть (RNN). RNNoise использует три основных компонента: обнаружение голосовой активности VAD, вычисление спектра шума и вычитание спектра шума из исходного сигнала. Архитектура нейросети представлена на рис. 1:

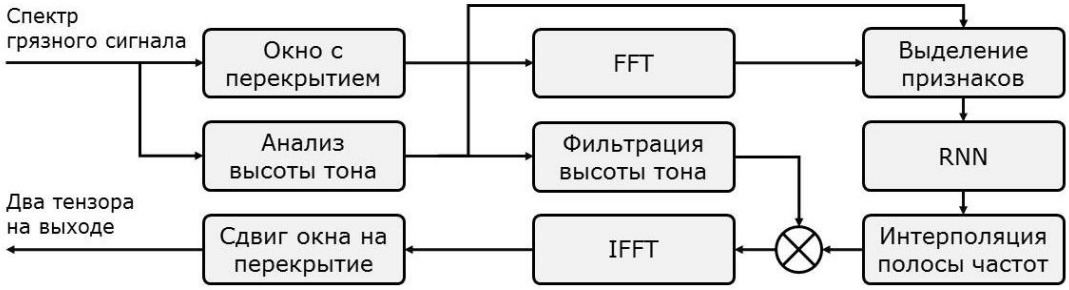


Рис. 1. Архитектура нейронной сети RNNoise

RNNoise обладает простой архитектурой, что обеспечивает высокую скорость обработки и не требует обучения на конкретных данных. Однако данная модель плохо справляется узкополосными шумами и не может учитывать контекст, что ограничивает ее производительность в сложных сценариях.

Важно отметить, что весь сигнал за один проход обработать нельзя – обрабатывается небольшое окно в 20 мс. При каждом новом проходе окно сдвигается на 10 мс, вследствие чего получается перекрытие и повторный анализ части окна. Таким образом очищенная речь будет приходить от нейросети фреймами по 10 мс.

Компания Microsoft предложила более современный подход – NSNet. В нем из фрейма извлекается магнитуда после оконного преобразования Фурье (STFT) и LPS (Log-Power Spectra). Модель учитывает контекст, что повышает ее точность в сложных сценариях. Архитектура такого подхода представлена на рис. 2:

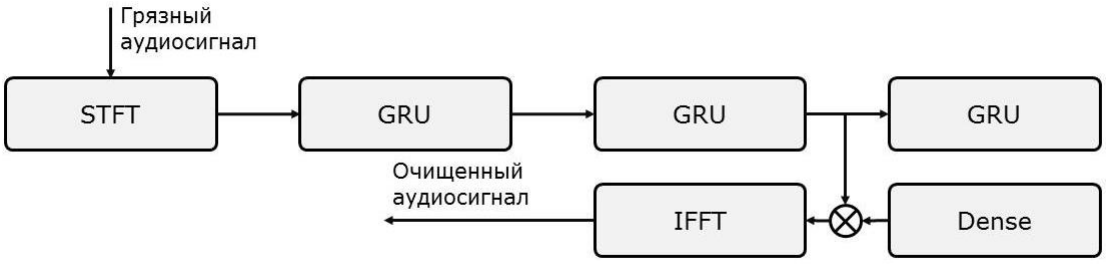


Рис. 2. Архитектура нейронной сети NSNet

При обучении нейросети NSNet на вход подается спектрограмма чистого сигнала, аугментированного шумами [2]. За один проход обрабатывается окно

в 32 мс, а перекрытие составляет 8 мс. Таким образом, очищенная речь отдается фреймами по 24 мс.

Модель довольно ресурсоемкая и требует обучения на больших наборах данных, что увеличивает время и стоимость разработки, а также ограничивает ее использование на устройствах с ограниченными ресурсами.

Основная идея метода DCCRN состоит в использовании магнитуды и фазы сигнала, за счет чего нейросеть очищает речь качественнее, чем NSNet. Нейросеть использует “Deep Clustering”, что позволяет упростить обработку большого количества данных. Таким образом, с помощью данной нейронной сети можно более точно разделить шумы и речь. Архитектура нейронной сети DCCRN представлена на рис. 3:

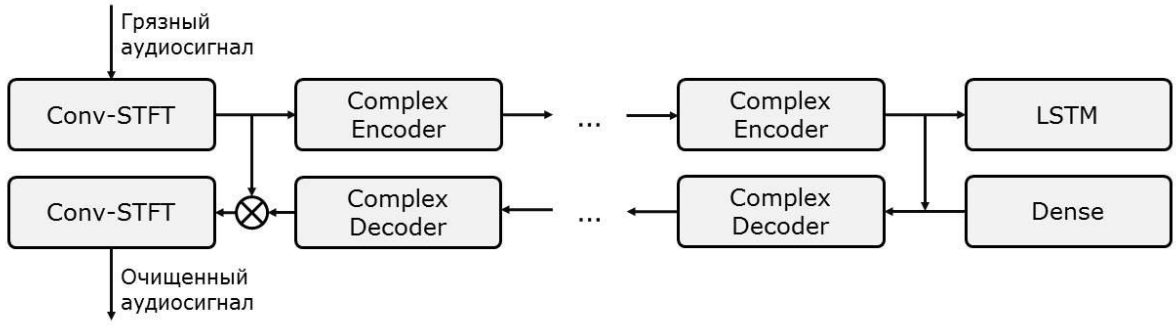


Рис. 3. Архитектура нейронной сети DCCRN

Данная модель также требует обучения на больших наборах данных и обладает большой ресурсоемкостью, однако позволяет добиться более высокого качества устранения шумов. За один проход обрабатывается окно в 32 мс, перекрытие же 8 мс [3]. Очищенная речь отдается фреймами по 24 мс.

Модель PoCoNet использует подход “Кодер-Декодер”, что позволяет ей эффективно восстанавливать чистую речь. Архитектура сети PoCoNet схожа с DCCRN и представлена на рис. 4 [4]:

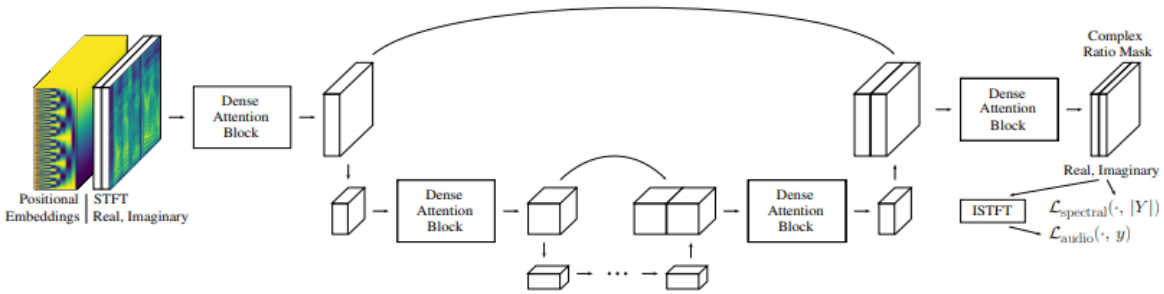


Рис. 4. Архитектура нейронной сети PoCoNet

PoCoNet немного медленнее, чем RNNoise и тоже требует обучения на больших наборах данных.

Аналогично предыдущей модели, в PoCoNet за один проход обрабатывается окно в 32 мс, а перекрытие составляет 8 мс. Следовательно, очищенная речь также отдается фреймами по 24 мс.

Метод устранения с помощью нейронной сети DTLN позволяет добиться качества устранения шумов, соизмеримого с DCCRN и PoCoNet, но при этом за меньшее количество времени. Также данная модель менее требовательна к характеристикам компьютера.

Идея нейросети заключается в двух проходах. Во время первого так же происходит оконное преобразование Фурье, после чего магнитуда сигнала передается в нейросеть и получается вектор, на который умножается магнитуда. После обратного преобразования Фурье полученный сигнал отправляется на вход во вторую часть сети, на выходе которой получается полностью очищенный от шумов сигнал. Архитектура нейронной сети DTLN представлена на рис. 5:

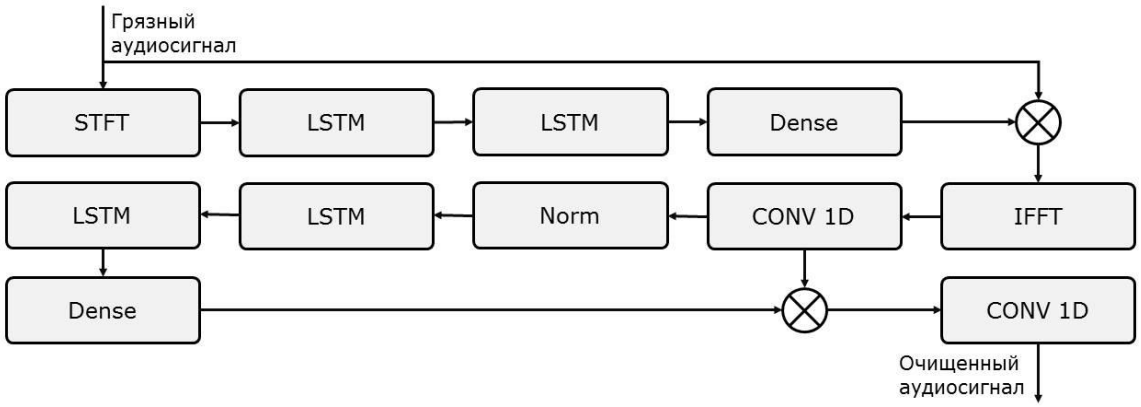


Рис. 5. Архитектура нейронной сети DTLN

Для сравнения моделей обычно применяют метрику PESQ – это перцепционная оценка качества речи. Алгоритм представляет собой объективную методику определения качества речевой связи в телефонных системах, которая прогнозирует результаты субъективной оценки качества этого вида связи слушателями-экспертами. Для определения качества передачи речи в PESQ предусматривают сравнение входного, эталонного сигнала с его искаженной версией. Результатом сравнения входного и выходного сигналов является оценка качества речи, которая аналогична усредненной субъективной оценке MOS, определяемой группой слушателей-экспертов согласно спецификации МСЭ-Т P.800 [5].

MOS (Mean Opinion Score) – среднее значение оценок, т. е. значение на заранее определенной шкале, по которой субъекты оценивают качественные показатели работы телефонной системы передачи, используемой для разговора или для слушания речевого материала [6].

В некотором приближении PESQ-метрика должна соответствовать средней экспертной оценке по шкале от 1 (плохо) до 5 (отлично).

Также важной характеристикой для оценки работы нейронных сетей является Real Time Factor – метрика, которая определяет, насколько каждый поток распознавания распознается быстрее, чем реальное время. Для простоты можно определить по формуле Real Time Speed т. е. количество секунд аудиосигнала, которое можно обработать за 1 секунду реального времени:

$$\mathrm{RTS} = \frac{1}{\mathrm{RTF}},$$

где RTS – реальное время, RTF – Real Time Factor.

В таблице 1 приведены характеристики исследуемых нейросетей, которые смогут повлиять на выбор архитектуры: PESQ-метрика, описанная выше, размер окна и перекрытия, а также Real Time Factor.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики исследуемых нейронных сетей

	PESQ	Размер окна, мс	Размер перекрытия, мс	RT Factor
RNNoise	3,4	20	10	1
NSNet	3,8	32	8	1,5
DCCRN	4,2	32	8	2,5
PoCoNet	4	30	10	2
DTLN	4,3	32	8	3

Основываясь на характеристиках исследуемых нейронных сетей, можно сделать следующие выводы.

Для базового шумоподавления подходит модель RNNoise. Она универсальна и проста, однако данная модель обладает самым низким показателем PESQ. Для более точных результатов следует выбирать другие методы шумоподавления с использованием нейросетей.

Для достижения лучшего очищения аудиосигнала от шума следует применять модель DTLN. Однако время, затраченное на обработку аудиосигнала будет выше в два раза, по сравнению с самой простой моделью RNNoise.

Оптимальным выбором по времени обработки и показателю PESQ является нейронная сеть PoCoNet. В случае работы данной модели перцепционная оценка качества речи ниже, чем у DTLN всего на 0,3 единицы, при этом PoCoNet затрачивает меньшее количество времени для обработки аудиосигнала.

Список используемых источников

1. Яковенко О. Обзор методов улучшения речи и шумоподавления: от классики к SotA. URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/584308/ (дата обращения 5.11.2024).

2. Neural networks vs. vacuum cleaners, or how we denoised vk calls [Электронный ресурс]. URL: https://vkteam.medium.com/neural-networks-vs-vacuum-cleaners-or-how-we-denoised-vk-calls-da8fe430f185 (дата обращения 5.11.2024).
3. Yanxin Hu, Yun Liu, Shubo Lv, Mengtao Xing, Shimin Zhang, Yihui Fu, Jian Wu, Bihong Zhang, Lei Xie. DCCRN: Deep Complex Convolution Reccurent Network for phase-aware speech enhancement. URL: https://www.isca-archive.org/interspeech_2020/hu20g_interspeech.pdf (дата обращения 6.11.2024).
4. Umut Isik, Ritwik Giri, Neerad Phansalkar, Jean-Marc Valinm Karim Helwani, Arvindh Krishnaswamy. PoCoNet: Better speech enhancement with frequency-positional embeddings, semi-supervised conversational data, and biased loss. URL: https://jmvalin.ca/papers/poconet.pdf (дата обращения 6.11.2024).
5. МСЭ-Т P.800 Методы для объективной и субъективной оценки качества // Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. 2006.
6. Пасюк А. О., Берко Г. А., Галич С. А., Семенов Е. С., Тюхтяев Д. А. Применение алгоритма PESQ для оценки качества передачи речи по IP-сетям. 2015. №. 11 (52). С. 3.

Mochalov A. **RESEARCH OF NOISE REDUCTION METHODS USING NEURAL NETWORK MODELS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article explores the problem of noise reduction in audio files. By analyzing different neural networks capable of removing noise from audio signals, the author compares their performance in terms of quality and processing time to determine the most suitable option for use in professional settings.

Key words: neural networks, noise reduction, audio signals.

УДК 621.377.22
ГРНТИ 47.55.35

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ РЕВЕРБЕРАТОРОВ В АНАЛОГОВЫХ ТРАКТАХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Н. А. Петрова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Для добавления звуковых эффектов к аудиосигналу необходимо обеспечить такой уровень шума в аналоговом устройстве, который не будет препятствовать корректной обработке сигнала с помощью цифровых методов и воспроизведению результирующего сигнала. Особенно важно учитывать уровень шума в устройстве, имеющем несколько блоков усиления. В качестве исследуемого устройства в данной работе взят электрофон Вега-108 Стерео с модификацией в виде цифрового ревербератора.

искусственная реверберация, звуковой эффект, электрофон, аппаратная реализация, аналоговый сигнал

Описание схемы аналогового тракта

В рассматриваемом устройстве аналоговый тракт структурно делится на две части: до аналого-цифрового преобразования (АЦП) и после цифро-аналогового преобразования (ЦАП).

Часть до АЦП называется электропроигрывающее устройство (ЭПУ) и состоит из головки звукоснимателя и предусилителя [1]. Аналоговый звукосниматель можно рассматривать как систему с электромеханическим преобразованием. Выходные параметры звукоснимателя обусловлены конструктивными особенностями головки, тонарма и его балансировки, массой, приведенной к игле и качеством экранирующего провода [2].

Часть, следующая после ЦАП, состоит из усилителя звуковой частоты (УЗЧ) и акустической системы. Для улучшения усиления и проигрывания стерео на данном устройстве для каждого канала имеется свой УЗЧ. Акустическая система подключается к устройству через внешние разъемы.

Структурная схема всего тракта воспроизведения показана на рис. 1.

Для всех узлов схемы должны быть соблюдены определенные правила, связанные с нормированием коэффициентов передачи (усиления) для каждого компонента звуковой системы и обеспечением заданных уровней шума [2].

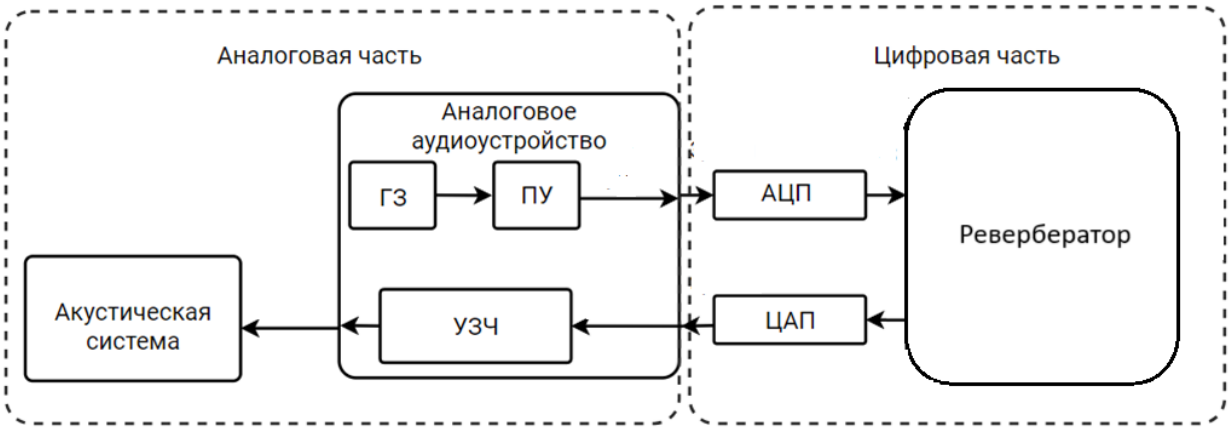


Рис. 1. Структурная схема аналогового устройства с цифровым ревебератором

Источники шумов в тракте

Все конструктивные блоки в аналоговой части устройства имеют собственные шумовые характеристики и должны быть согласованы между собой таким образом, чтобы минимизировать уровень шума при воспроизведении аудио-сигнала.

Цифровая часть устройства также имеет свой уровень, воспроизводимый динамический диапазон и отношение сигнал/шум на выходе АЦП или ЦАП. Однако даже при низкой разрядности АЦП/ЦАП, аналоговое устройство имеет худшие шумовые характеристики [3]. Поэтому при выборе параметров цифрового ревербератора следует прежде всего отталкиваться от параметров аналогового тракта. Рассмотрим их более подробно.

Электропроигрывающее устройство, согласно спецификации, имеет следующие параметры шума: переходное затухание между каналами 25 дБ, относительный уровень помех от вибрации не хуже 55 дБ и коэффициент детонации не более 0,15 % [4]. Схема предварительного усилителя, который входит в состав ЭПУ, имеет 3 усилительных каскада, что также может влиять на появление искажений в выходном сигнале ЭПУ.

Оконечный усилитель звуковой частоты в составе электрофона, в свою очередь, имеет 3 усилительных каскада. Каждый канал имеет свой отдельный оконечный усилитель частоты, что уменьшает уровень переходных затуханий между каналами. Таким образом, уровень переходных затуханий между стереоканалами по тракту УЗЧ (без влияния звукоснимателя) равен примерно 25–35 дБ на частотах от 315 до 10000 Гц [5].

Номинальная выходная мощность акустической системы при коэффициенте гармоник не более 1 % равна $P_{\text{вых}} = 10$ Вт. Также в паспорте устройства указан уровень фона сквозного тракта при номинальной мощности, который равен $N = -50$ дБ.

Влияние шумов на параметры цифрового ревербератора

Как было сказано ранее, параметры аналоговой части определяют параметры цифровой части, а именно АЦП и ЦАП, разрядность которых зависит от отношения сигнал/шум (С/Ш). Минимальное значение С/Ш может быть вычислено в точке, где влияние шумов наиболее велико. Такой точкой служит выход акустической системы.

Тогда отношение сигнал шум вычисляется как [6]

$$\text{С/Ш}_{\text{вых}} = 10\log(P_{\text{вых}}) - N = 10\log(10) + 50 = 60 \text{ дБ}.$$

Разрядность ЦАП может быть вычислена из формулы

$$\text{С/Ш}_{\text{вых}} = 6{,}02 * N_{\text{мин}} + 1{,}76 + 10 * \log\left(\frac{fs}{2 * BW}\right),$$

где $N_{\text{мин}}$ – минимальная для данного $\text{С/Ш}_{\text{вых}}$ разрядность ЦАП, $fs = 44100$ Гц – частота дискретизации ЦАП, BW – полоса воспроизводимых частот, которая, согласно паспорту, равна

$$BW = 18000 - 63 = 17937 \text{ Гц}.$$

Таким образом,

$$N_{\text{мин}} = (\frac{\text{С}}{\text{Ш}_{\text{вых}}} - 1{,}76 - 10 * \log\left(\frac{fs}{2 * BW}\right))/6{,}02$$
$$= (60 - 1{,}76 - 10 * \log\left(\frac{44100}{2 * 17937}\right))/6{,}02 = 9{,}53 \text{ бит}.$$

Соответственно, округляя до степени 2, получаем требуемую разрядность ЦАП $N_{\text{треб}} = 16$ бит. Разрядность АЦП достаточно выбрать такой же разрядности для обеспечения корректности преобразований.

Заключение

При добавлении цифрового ревербератора к аналоговому устройству важно учитывать шумовые характеристики устройства. В противном случае, при обработке исходного сигнала может происходить полная или частичная потеря реверберационного хвоста, который отвечает за характер и слышимость эффекта реверберации в обработанном сигнале.

В ходе работы были выбраны параметры АЦП/ЦАП цифрового ревербератора, исходя из характеристик шума аналогового тракта рассматриваемого устройства Вега-108 Стерео.

В результате было выяснено, что для обеспечения корректной обработки сигнала в цифровой части и дальнейшего его воспроизведения будет доста-

точно использовать преобразователи с частотой дискретизации $fs = 44100$ Гц и разрядностью $N_{\text{треб}} = 16$ бит.

Для проверки данных, указанных в паспорте на аналоговое устройство, были проведены измерения спектра сигнала на выходе аудиосистемы. Отношение С/Ш было измерено с помощью программного обеспечения Room EQ Wizard [7]. Спектрограмма сигнала на выходе аудиосистемы показан на рис. 2.

По результатам измерений, отношение сигнал/шум равно С/Ш = 18,3 дБ, что намного меньше паспортного значения. Такое отличие может быть объяснено неисправностью компонентов в схеме электрофона, обусловленной их устареванием.

В дальнейшем планируется заменить вышедшие из строя компоненты для приведения характеристик устройства к требуемым для корректной работы цифрового ревербератора в его составе.

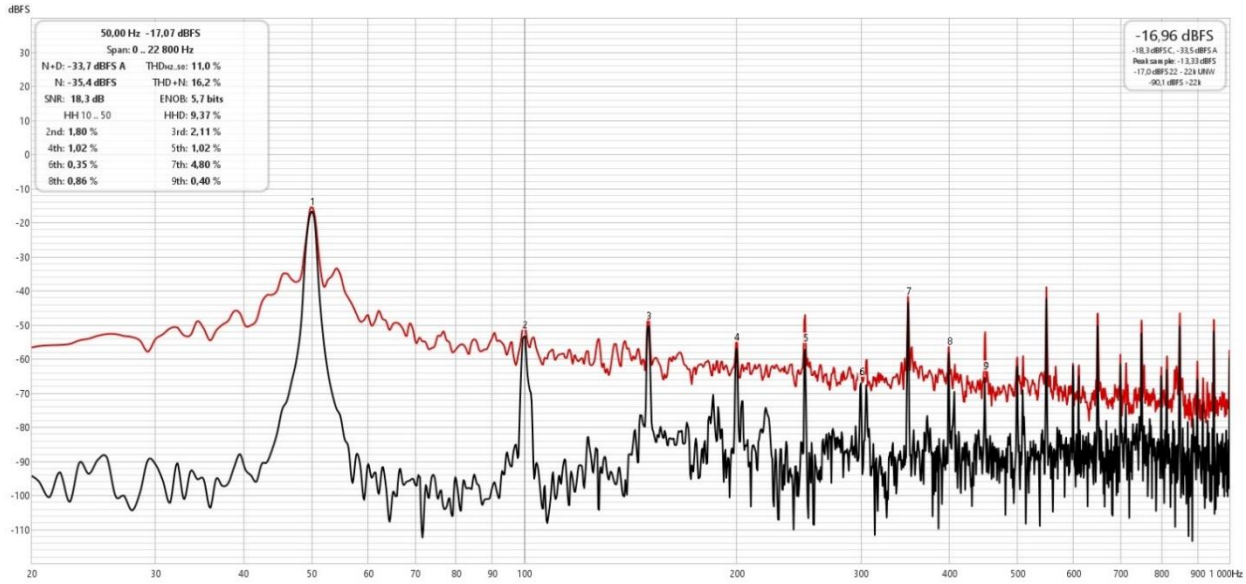


Рис. 2. Спектрограмма сигнала на выходе аудиосистемы

Список используемых источников

1. Электрофон Вега-108 Стерео: руководство по эксплуатации. М.: Бердский радиозавод, 1979. 9 с.

2. Байлов В. В. Бытовая радиоэлектронная аппаратура: учебное пособие. М.: ТРТУ, 2005. 111 с.

3. Гавришев А. А., Осипов Д. Л. Исследование влияния пик-фактора входных сигналов на некоторые характеристики АЦП // Научное приборостроение, 2024. №3. С. 64– 69.

4. Устройство электропроигрывающее Г-602: руководство по эксплуатации. М.: Unitra, 1979. 8 с.

5. Белов И. Ф., Белов В. И., Бытовая приемно-усилительная аппаратура: справочник. М.: Радио и связь, 1968. 528 с.

6. ГОСТ IEC 61606–2–2014. Аудио- и аудиовизуальное оборудование. Компоненты цифровой аппаратуры. Основные методы измерений звуковых характеристик. Часть 2. Бытовое применение. М.: Стандартинформ, 2016. 26 с.
7. Room EQ Wizard: Room Acoustics Software. URL: https://www.roomeqwizard.com/ (дата обращения 15.11.2024).

Petrova N. **FEATURES OF USING DIGITAL REVERBERS IN ANALOG PLAYBACK CHANGES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

To add sound effects to an audio signal, it is necessary to ensure such a noise level in an analog device that will not interfere with the correct signal processing using digital methods and reproduction of the resulting signal. It is especially important to take into account the noise level in a device with several amplification units. The Vega-108 Stereo electrophone with a modification in the form of a digital reverb is used as the device under study in this work.

Key words: artificial reverberation, audio effect, electrophone, hardware implementation, analog signal.

УДК 621.397.442
ГРНТИ 47.51.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ ВИДЕОДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ ОБМЕНА ДАННЫМИ В МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМАХ

А. А. Посметьев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Представленная статья посвящена, в первую очередь, изучению эволюции и возможностей интерфейса HDMI (High-Definition Multimedia Interface) для передачи видеосигнала, а также анализу его ограничений, включая ограничение длины кабеля. Рассматриваются исторические аспекты развития HDMI, проводится сравнение с предшествующими интерфейсами, такими как VGA и DVI. Особое внимание уделяется различным методам преодоления ограничений HDMI, таким как использование усилителей, технологии HDBaseT и AV over IP. Исследуется влияние различных способов передачи видеосигнала на потерю пакетов данных, что имеет ключевое значение для профессиональных применений, требующих высокой надежности и стабильности передачи.

HDMI, ограничение длины кабеля, усилители сигнала, HDBaseT, AV over IP

В век цифровых технологий передача видеосигнала имеет важное значение для различных применений, начиная от монитора, подключенного к компьютеру и заканчивая профессиональными системами отображения информации. Одним из наиболее популярных интерфейсов передачи видеосигнала является HDMI (High-Definition Multimedia Interface).

В данном докладе рассмотрим эволюцию интерфейса HDMI, его ограничения, включая ограничения по длине кабеля, а также способы преодоления этих ограничений.

HDMI был представлен в 2002 году и быстро завоевал популярность благодаря своей способности передавать несжатый цифровой видеосигнал с высоким разрешением.

На тот момент в индустрии использовались VGA и DVI, у которых были свои недостатки. Разъем VGA представляет собой аналоговый интерфейс, представленный на рынке в 1987 году компанией IBM. Тогда он был известным как PC-RGB или D-sub 15. Разрабатывали его для ЭЛТ-мониторов, широко распространенных в 1990-х годах.

VGA – это единственный аналоговый разъем, способный вести передачу видео в высоком разрешении, однако у него есть несколько недостатков:

– невозможно одновременно передавать видео и аудио сигнал (можно передавать лишь видео);

– максимальное разрешение, заявленное официально, – 1280x1024. Когда выводишь картинку на FHD-дисплеи, то не исключаются проблемы.

Поскольку интерфейс аналоговый, он больше подвержен помехам, нежели цифровые.

Во время создания DVI предполагалось, что ЭЛТ-мониторы еще несколько лет будут существовать, поэтому в стандарт были включены линии VGA, то есть интерфейс DVI передавал не только цифровой сигнал, но и аналоговый.

DVI появился в 1999 году. Он использует технологию высокоскоростной передачи цифровых потоков TMDS (дифференциальная передача сигналов с минимизацией перепадов уровней) – три канала, передающие потоки видео и дополнительных данных, с пропускной способностью до 3,4 Гбит/с на канал. DVI предусматривает наличие четырех витых пар для передачи дифференциальных данных. Три – для передачи восьмиразрядной информации о трех основных цветах: синего, зеленого и красного. Четвертая пара – для передачи сигнала тактовой частоты. [1]

Максимальная длина кабеля не указана в спецификации DVI, потому что она зависит от количества передаваемой информации. Кабель длиной 10,5 м можно использовать для передачи изображения с разрешением до 1920×1200 точек. По кабелю длиной 15 метров получится передать в нормальном качестве изображение с разрешением 1280×1024 точек.

Существуют различные виды и режимы видеоинтерфейса. Режимы Single link и Dual link отличаются максимальной пропускной способностью и разрешением передаваемого сигнала

Основатели HDMI начали разработку HDMI 1.0 16 апреля 2002 г. с целью создания AV-разъема, обратно совместимого с DVI.

HDMI 1.0 мог передать видео 1080p 60 Гц и 8-канальный звук (192 кГц/24 бит). В 2005 году добавили линии управления техникой CEC, однако технология работала только внутри экосистемы производителя и поэтому от дистанционного управления отказались. Уже в 2009 году HDMI был способен передавать 4к видео. Была реализована возможность создания Ethernet соединения и технология реверсивного звукового канала (ARC). Уже к 2013 году пропускная способность HDMI составляла до 18 Гбит/с. Имелась возможность передать 2 независимых видеопотока и 4 независимых аудиопотока. К январю 2017 года, была добавлена поддержка HDR и увеличена пропускная способность до 48 Гбит/с, что позволило передавать 8К видео при 50 Гц [2].

Несмотря на то, что официальные стандарты HDMI не регламентируют максимальную длину кабеля, на практике существует множество факторов, влияющих на качество передачи цифрового сигнала через HDMI-интерфейсы.

Эти факторы включают материалы проводников, их толщину, а также конструктивные особенности самих кабелей.

Длина медного HDMI-кабеля ограничивается значением в 15 метров, тогда как применение оптоволоконных решений позволяет существенно увеличить дистанцию передачи сигнала. Такое решение удовлетворяет базовым требованиям бытовых пользователей, однако в профессиональной сфере, где требуются более протяженные линии связи, длина в 15 метров оказывается недостаточной. Для иллюстрации рассмотрим ситуацию в типичном концертном зале, где проектор установлен на сцене, а источник сигнала находится на значительном удалении. Даже при наличии кабеля длиной 30 метров этого может оказаться недостаточно для обеспечения качественной передачи видеосигнала.

Первым решением данной проблемы может стать использование усилителей (повторителей) сигналов.

Принцип работы усилителей HDMI заключается в приеме медиасигнала, усилении его мощности и ретрансляции другому приемнику. Будучи пассивными устройствами, репитеры в своей конструкции имеют встроенный эквалайзер, призванный стабилизировать сигнал и усилить его мощность. Эффективность устройства гарантируется при условии его установки непосредственно перед приемником, а не после источника контента.

Репитеры зачастую оснащены одним входом и одним выходом и чаще всего используются для создания каскадной передачи – посредством последовательного соединения нескольких устройств.

Производители обещают увеличение сигнала до 60 метров. Однако в технической спецификации нет информации о принципе работы устройств и невозможно говорить о том, что сигнал приходит к нам без потерь.

HDBaseT – технология, позволяющая по стандартному кабелю категории Cat5/6 передавать аудио- и видеоданные, сигналы управления, обеспечивать подключение к сети интернет, а также обеспечивать питание устройств с потребляемой мощностью до 100 Вт.

Технология запатентована и каждый чип, который устанавливается в устройство, изготавливается на одном заводе, поэтому между производителями приемников и передатчиков разница не существенна.

По заверениям разработчика, технология HDBaseT 3.0 способна передать видеосигнал до 4096 x 2160 при 60 Гц (4:4:4), полнодуплексный 1 Gigabit Ethernet, двунаправленные синалы управления RS-232, полнодиапазонные ИК сигналы, независимые аудио и USB 2.0 сигналы на целых 100 м [3]. Однако о качестве передаваемого сигнала не упоминается.

Технология Audio Video over Internet Protocol (AVoIP) базируется на принципе формирования отдельных IP-пакетов для аудио и видеосигналов, которые затем транслируются по локальной вычислительной сети посредством стандартного кабеля типа «витая пара» и сетевых коммутаторов.

Это обеспечивает гибкость построения распределительных сетей различной топологии и уровня сложности.

Процесс работы AVoIP включает следующие этапы: исходный сигнал (например, HDMI) поступает на кодеры, где он конвертируется в IP-пакеты, которые далее передаются по локальной сети к удаленным декодерам. Декодеры восстанавливают исходные сигналы из принятых цифровых пакетов и направляют их на конечные устройства, такие как видеопанели, дисплеи или периферийные USB-устройства [4].

Для передачи видео высокого и ультравысокого разрешения в системах AVoIP требуется высокая скорость передачи данных – от 18 до 48 Гбит/с, что предъявляет повышенные требования к полосе пропускания. В условиях типичных IP-сетей, рассчитанных на скорости передачи данных 1–10 Гбит/с, широкое применение находит технология цифровой компрессии, которая уменьшает спектр аудио-видеосигнала и тем самым снижает требуемую полосу пропускания.

Если даже использование технологий компрессии не позволяет обеспечить достаточное количество сетевого ресурса для AVoIP, рекомендуется создание отдельной IP-сети специально под эту систему. Такой подход имеет преимущество в возможности передачи видеосигнала с минимальной степенью компрессии и, соответственно, минимальными задержками, что критично для приложений реального времени.

В отличие от традиционных AV-систем, например, основанных на протоколе HDBaseT, где максимальная дальность передачи сигнала формата 4K составляет около ста метров, в случае использования AVoIP ограничения связаны исключительно с физическими размерами объекта, на котором развернута сеть Ethernet.

Современные кодеки позволяют функционировать как в сетях со скоростью 10 Гбит/с (например SDVoE), так и в сетях с пропускной способностью 1 Гбит/s (JPEG2000).

Технология SDVoE – это стандартизированный интерфейс между конечными устройствами и программным обеспечением. Обеспечивает передачу изображения с задержкой 100 микросекунд и без артефактов. Сигнал передается в несжатом виде [5].

JPEG2000 – это современный стандарт сжатия изображений, основанный на дискретном преобразовании вейвлета (DWT). Он обеспечивает лучшее качество по сравнению с JPEG благодаря гибкости в сжатии и поддержке альфа-канала. Этот формат идеально подходит для работы с большими изображениями и сохранения деталей [6].

Одним из ключевых аспектов использования HDMI и других интерфейсов передачи видеосигнала является проблема потери пакетов данных при передаче на большие дистанции. Потеря пакетов может приводить к ухудшению качества изображения, появлению артефактов и даже полной потере сигнала.

Эта проблема становится особенно актуальной в условиях профессионального применения, где требуется высокая надежность и стабильность передачи видеосигналов. В то же время следует отметить сложность оценки качества передаваемого компрессированного изображения при помощи стандартных метрик оценки качества [7].

Представляется актуальным экспериментальное исследование влияния способов передачи видеосигнала (включая HDMI, HDBaseT и AV over IP) на вероятность потери пакетов данных. Автором планируется проведение серии тестов с использованием специализированного анализатора и субъективной оценки качества медиаданных. Основные этапы планируемого исследования: измерение задержки видеосигнала; оценка скорости переключения; оценка качества изображений; анализ содержимого пакетов.

Список используемых источников

1. Майская В. Электроника. Дисплейные интерфейсы. // Наука, Технология, Бизнес. 2007, № 8.
2. HDMI Specifications and Programs. URL: https://www.hdmi.org/spec/index (дата обращения 15.10.2024).
3. What is HDBaseT Technology? URL: https://hdbaset.org/hdbaset-technology/ (дата обращения 15.10.2024).
4. Офек Э. Объяснение технологии AV over IP: преимущества, применение и будущее AVoIP. URL: https://www.kramerav.com/ (дата обращения 15.10.2024).
5. A full stack solution for AV over IP. URL: https://sdvoe.org/ (дата обращения 15.10.2024).
6. Yu X., Zhao J., Zhu T., Lan Q., Gao L. and Fan L. Analysis of JPEG2000 Compression Quality of Optical Satellite Images. 2022 2nd Asia-Pacific Conference on Communications Technology and Computer Science (ACCTCS), Shenyang, China, 2022. PP. 500–503.
7. Лосев А. П., Козырева Е. С., Бучатский А. Н. Особенности объективной оценки качества работы современных контентно-ориентированных систем сжатия видеоданных // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2024. № 1. С. 148–153.

Posmetev A. **STUDY OF THE EFFICIENCY OF DIGITAL VIDEO DATA TRANSMISSION IN MODERN DATA EXCHANGE INTERFACES IN MULTIMEDIA SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The presented article is devoted to the study of the evolution and capabilities of the HDMI (High-Definition Multimedia Interface) interface for video transmission, as well as the analysis of its limitations, including the limitation of cable length. The historical aspects of the development of HDMI are considered, and a comparison is made with previous interfaces such as VGA and DVI. Special attention is paid to various methods of overcoming the limitations of HDMI, such as the use of amplifiers, HDBaseT technology and AV over IP. The influence of various video transmission methods on the loss of data packets is investigated, which is of key importance for professional applications requiring high reliability and stability of transmission.

Key words: HDMI, cable length limitation, Signal amplifiers, HDBaseT, AV over IP.

УДК 004.773.5
ГРНТИ 49.40.49

СИСТЕМЫ АУДИОВИЗУАЛЬНОГО ОСНАЩЕНИЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА

Е. С. Прокопьева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Любая современная гостиница является центром деловой активности, позволяющая проводить мероприятия различных форматов, такие как семинары, совещания, конгрессы и всякого рода торжества. Для проведения подобных мероприятий требуется соответствующее оборудование и оснащение для конференц-залов и переговорных. В данной статье рассмотрены основные компоненты аудиовизуального оснащения конференц-залов, их функции, а также рекомендации по выбору оборудования.

аудиовизуальная система, оборудование, конференц-зал, видеоконференцсвязь

На сегодняшний день конференц-зал является неотъемлемым звеном в организации бизнес-процессов многих отраслей государственных предприятий и коммерческих структур. Именно поэтому, важен серьезный подход к выбору аудиовизуального оборудования и последующей интеграции комплекса, согласно конфигурации помещения, дизайн проекту и индивидуальным пожеланиям заказчика.

Система видеоинформации

Беспроводная система презентаций

Беспроводные презентационные системы позволяют любому участнику совещания выводить контент на большой экран непосредственно с его мобильного устройства – смартфона, планшета или ноутбука.

Система презентаций iShare 200 от компании Infobit [1] – это современное решение для организации беспроводной передачи контента в конференц-залах и учебных аудиториях (рис. 1). Infobit – ведущий производитель профессионального оборудования аудио-видео коммутации. Система презентации имеет дизайн plug and play, поэтому не требуется подключение к Wi-Fi.



Рис. 1. Беспроводная система презентаций Infobit iShare 200

Экраны и проекторы

Экраны и проекторы играют важную роль в системах видеоконференцсвязи, обеспечивая визуальное взаимодействие между участниками. Размер экрана должен соответствовать размеру комнаты и количеству участников. Рекомендуется выбирать экраны с диагональю от 55 дюймов для небольших помещений и от 75 дюймов для больших.

Профессиональный дисплей Samsung QM75C [2] – это часть линейки QLED-дисплеев от компании Samsung, разработанных для коммерческого использования (рис. 2). Этот дисплей предлагает высокое качество изображения и множество функций, подходящих для различных бизнес-приложений.



Рис. 2. Профессиональный дисплей Samsung QM75C

Системы озвучивания

Акустические системы

Хорошая акустическая система обеспечивает четкое и разборчивое воспроизведение голоса, что позволяет всем участникам конференции слышать выступающих без искажений. Использование микрофонов и динамиков позволяет улучшить взаимодействие между участниками, особенно в больших залах, где расстояние может затруднять коммуникацию. Также, акустические системы позволяют воспроизводить звук из презентаций и видео других мультимедийных систем, что делает мероприятие более информативным и качественным.

AUDAC CELO8 [3] – двухполосная коаксиальная акустическая система с высокой мощностью (80 Вт), расширенным частотным диапазоном и компактным врезным корпусом для монтажа в потолочные и стеновые конструкции (рис. 3). Audac – это лидирующая на рынке компания, специализирующаяся на разработке и производстве аудиотехнологий и оборудования для профессионального звука.



Рис. 3. Двухполосная акустическая система AUDAC CELO8

DSP-аудиопроцессор

Звуковой процессор – звуковое оборудование или программное обеспечение, которое позволяет управлять усилителями звука и акустическими системами в сложных звуковых комплексах.

Основные принципы работы DSP-аудиопроцессора: цифровое преобразование сигнала, обработка сигнала, цифровое преобразование обратно в аналог.

Xilica Solaro FR1 [4] – это модульный аудиопроцессор, который предназначен для профессиональных аудиосистем, включая инсталляции и живые мероприятия (рис. 4). Он предлагает гибкие возможности обработки звука и управления, что делает его идеальным решением для различных типов систем.



Рис. 4. DSP-аудиопроцессор Xilica Solaro FR1

Усилитель мощности

Усилители играют ключевую роль в системах озвучения, обеспечивая необходимую мощность для передачи звука на большие расстояния и в условиях, где требуется высокая громкость. Усилители подключаются к DSP-аудиопроцессору, принимают слабый аудиосигнал и увеличивают его до уровня, достаточного для управления динамиками, что позволяют достичь необходимой громкости.

Усилитель SMQ350 от Audac – это мощный и многофункциональный усилитель, который предназначен для профессиональных аудиосистем (рис. 5). SMQ350 обеспечивает выходную мощность до 350 Вт на канал при 4 Ом, что делает его подходящим для работы с различными акустическими системами.



Рис. 5. Усилитель мощности Audac SMQ350

Директ-бокс

Это устройство для преобразования небалансных выходных аудиосигналов источников с высоким внутренним сопротивлением в балансный аудиосигнал источника с низким сопротивлением. В системе видеоконференцсвязи это устройство чаще всего используется для того, чтобы получать звук с телевизора и выводить его на динамики, чтобы все участники конференции в комнате отчетливо слышали звуковую информацию.

Директ-бокс DN30T от Klark Teknik [5] – это профессиональное устройство, предназначенное для преобразования и балансировки сигнала. Устройство обеспечивает высокое качество звука с низким уровнем искажений и шумов, что особенно важно для профессиональной звукозаписи.



Рис. 5. Директ-бокс Klark Teknik DN30T

Микрофонная система

Микрофонная система в видеоконференцсвязи нужна для преобразования звуковых волн, распространяющихся по воздуху, в аудиосигнал, который может передаваться, усиливаться и записываться. В состав микрофонной системы обычно входит: приемник радиосистемы с ручным или головным передатчиком, пассивная всенаправленная антенна, антенный разветвитель, антенный дистрибьютор.

На рынке производителей микрофонных систем одним из лидеров является российская компания Октава [6]. Основным продуктом компании являются конденсаторные и динамические микрофоны, которые используются в студиях звукозаписи, на концертах и в радиовещании. Микрофоны "Октава" известны своим качеством звука и надежностью.

Управление оборудованием аудиовизуальной системы

Xilica Designer – это программное обеспечение для проектирования и настройки аудио и видеосистем. Оно разработано компанией Xilica, одной из ведущих компаний по производству цифровых аудиоплатформ. Это программное обеспечение используется в профессиональных аудиовизуальных установках, где требуется управление звуком и видео. Программирование в ПО Xilica Designer имеет простой и понятный интерфейс, состоящий из блоков, которые необходимо соединять между собой в зависимости от конкретной задачи и цели.

Основные функции Xilica Designer включают: проектирование системы, настройка параметров звука, управление маршрутизацией сигналов, интерфейсы управления, мониторинг и диагностика.

Таким образом, в статье были рассмотрены основные компоненты аудиовизуальной системы, их функции, а также основные производители оборудования, которые лидируют на рынке в области AV-технологий. Правильный выбор, грамотная коммутация и настройка всех компонентов обеспечивает удобную и технологичную аудиовизуальную систему.

Список используемых источников

1. Infobit – оборудование для проведения видеоконференций. URL: https://www.infobit.ru/ (дата обращения 09.11.2024).
2. Samsung Россия/официальный сайт. URL: https://www.samsung.com/ru/ (дата обращения 09.11.2024).
3. AUDAC – звуковое оборудование для фонового озвучивания и музыкальной трансляции. URL: https://audac-sound.ru/ (дата обращения 09.11.2024).
4. Xilica/ Unleash the Hjwer of Understanding. URL: https://www.xilica.com/ (дата обращения 09.11.2024).
5. Klark Teknik/Home. URL: https://www.klarkteknik.com/ (дата обращения 09.11.2024).
6. Октава – производитель электроакустического оборудования. URL: https://oktavatula.com/ (дата обращения 09.11.2024).

Prokopyeva E. **CONFERENCE HALL AUDIOVISUAL EQUIPMENT SYSTEMS.**
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Any modern hotel is a center of business activity, allowing to hold events of various formats, such as seminars, meetings, congresses and all kinds of celebrations. To hold such events, appropriate equipment and equipment for conference halls and meeting rooms are required. This article examines the main components of audiovisual equipment for conference halls, their functions, as well as recommendations for choosing equipment.
Key words: Audiovisual system, equipment, conference room, video conferencing.

УДК 004.93.12
ГРНТИ 28.23.15

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ

Н. А. Ридигер, Д. А. Татаренков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данном докладе проводится сравнительный анализ методов глубокого и неглубокого обучения применительно к задачам компьютерного зрения. Основное внимание уделяется различиям между этими подходами в контексте обработки изображений. Рассматриваются ключевые особенности при работе традиционных методов неглубокого обучения, в частности метода Виолы-Джонса, и метода с использованием глубокого обучения, сверточных нейронных сетей. Анализируются преимущества и недостатки каждого подхода. В заключении обсуждаются перспективы дальнейшего развития сферы компьютерного зрения.

распознавание изображений, компьютерное зрение, машинное обучение, глубокое обучение

Современная сфера компьютерного зрения является комплексной и важной отраслью, которая используется в самых разных сферах. Одной же из самых важных и сложных задач является проблема распознавания самих объектов. Глобально методы распознавания можно разделить на 2 группы: методы, не включающие в себя глубокое обучение, и методы, включающие глубокое обучение.

Первую группу составляют методы, основанные на известных характеристиках объектов. В данном докладе был выбран метод Виолы-Джонса для сравнения.

Вторую группу представляют методы, подразумевающие использование машинного обучения: нейронные сети и обучаемые классификаторы. В данном докладе был выбран метод Сверточных нейронных сетей (CNN).

Работа двух этих методов в задачах компьютерного зрения имеет фундаментальные отличия, тем не менее, возможно выделить ключевые пункты.

1. Подготовка данных.

Метод Виолы-Джонса: данными для обучения являются 2 набора данных: положительный и отрицательный (содержащий требуемый для распознавания объект и не содержащий его соответственно).

CNN: данными являются положительные образы, которым помимо этого также необходима разметка каждого элемента из набора (указание точных координат области, содержащей объект).

2. Тип используемых признаков.

Метод Виолы-Джонса: данный метод в своей основе содержит «Признаки Хаара», которые представляют собой набор простых геометрических форм, накладываемых на изображение и принимающих бинарное решение о присутствии объекта на изображении. Эти признаки представлены на рис. 1.

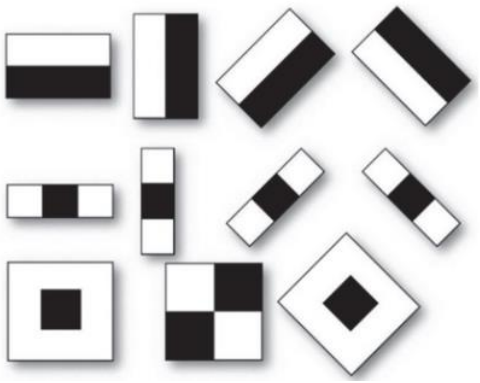


Рис. 1. Примитивы признаков Хаара

Для ускорения вычислений характеристик используется интегральное представление изображение (1), позволяющее быстро вычислять сумму пикселей в любом прямоугольнике [1].

$$S(x,y) = \sum_{i=0,j=0}^{i\le x, j\le y} I(i,j) \quad (1)$$

где I(i,j) – яркость пикселя каждого изображения.

CNN: главный принцип работы сверточных нейронных сетей – алгоритм свертки, применяемый в ядрах свертки. Ядра первого слоя выявляют базовые признаки, после чего сформированная карта признаков подается на следующие слои, выявляющие более сложные структуры. Все признаки определяются нейронной сетью самостоятельно в процессе обучения.

3. Архитектура модели.

Метод Виолы-Джонса: архитектура данного метода состоит из признаков Хаара, каждый из которых образует слабый классификатор. Множество слабых классификаторов последовательно объединяются в каскад Хаара.

CNN: архитектура сверточной сети состоит из слоев. Обязательными элементами являются слои свертки (отвечают за преобразование изображения в карты признаков при помощи операции свертки), слои уплотнения (уменьшение карты признаков) и полносвязанный слой (преобразующий информацию в компактный формат).

4. Алгоритмы обучения.

Метод Виолы-Джонса: основным алгоритмом обучения является AdaBoost, выбирающий наилучшие признаки для формирования слабых каскадов. Весовые коэффициенты присваиваются примерам данных в зависимости от того, насколько правильно они классифицируются на каждом этапе.

CNN: используется градиентный спуск и его вариации для минимизации ошибки на выходе сети путем обновления весов на основе обратного распространения ошибки.

5. Объем данных, вычислительные ресурсы и время обучения.

Метод Виолы-Джонса: требуемый меньший объем данных, меньшие вычислительные ресурсы и меньше времени (в сравнении с CNN).

CNN: требуется значительно больший объем данных, больше вычислительных ресурсов и времени (в сравнении с методом Виолы-Джонса).

Практическое сравнение метода Виолы-Джонса и CNN

Метрикой для сравнения двух методов был выбран Recall (2), а задачей детектирования – автомобильные номера. Метрика recall, также известная как полнота, является одной из ключевых метрик в задачах классификации и детектировании объектов. Она оценивает, какая доля всех положительных примеров была правильно классифицирована моделью как положительные.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}, \quad (2)$$

где TP – число положительных срабатываний, FN – число отрицательных срабатываний.

Сравнение проводилось на наборах данных, состоящих из 100, 250, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 5000, 7500 и 10000 положительных изображений. Архитектурой сверточной нейронной сети была выбрана модель YOLOv3.

Сравнение показывает линейное падение эффективности работы алгоритма Виолы-Джонса с 87 % положительных срабатываний, до 27 %. Сверточная нейронная сеть дает параболический рост по мере увеличения объема данных, с 54 % до 95 %. Это может объясняться тем, что при большом объеме данных возрастает вариативность объектов и условий, в которых они находятся. В этом случае алгоритм Виолы-Джонса значительно теряет эффективность, а сверточные нейронные сети, напротив, достигают высоких результатов. Данные сравнения приведены на графике на рис. 2.

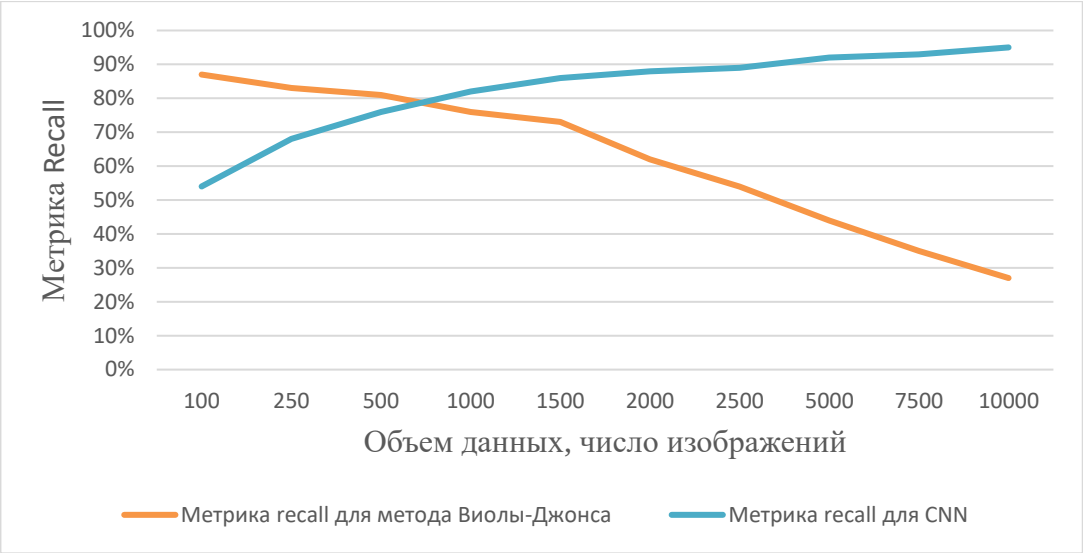


Рис. 2. Сравнение методов Виолы-Джонса и сверточной нейронной сети по метрике Recall

Метод Виолы-Джонса идеально подходит для задач, где требуется высокая скорость работы при наличии малого объема данных и вычислительных ресурсов, особенно если объекты имеют простую форму и легко определяются. Однако при наличии большого объема данных их эффективность падает до неудовлетворительной даже в случае задачи минимальной сложности. Сверточные нейронные сети, напротив, предоставляют высокую точность и универсальность, что позволяет при наличии значительных ресурсов достигать существенного показателя точности для задач любого уровня [2]. Они незаменимы там, где необходима максимальная точность и способность обрабатывать сложные и изменчивые объекты.

Список используемых источников

1. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features // Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). Kauai, Hawaii, USA, December 8-14, 2001. Vol. 1. P. 511–518.
2. Черников А. Д. Глубокое обучение и сверточные нейронные сети в компьютерном зрении. Роль глубокого обучения и сверточных нейронных сетей в автоматической диагностике и мониторинге заболеваний // Международный научный журнал «Вестник науки» № 9 (66) Т.2 С. 201–207. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/glubokoe-obuchenie-i-svyortochnye-neyronnye-seti-v-kompyuternom-zrenii-rol-glubokogo-obucheniya-i-svertochnyh-neyronnyh-setey-v/viewer

***Ridiger N., Tatarenkov D.* COMPARISON OF OBJECT RECOGNITION METHODS IN COMPUTER VISION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This report provides a comparative analysis of deep and shallow learning methods in relation to computer vision tasks. The focus is on the differences between these approaches in the context of image processing. The key features of the work of traditional shallow learning methods, in particular the Viola-Jones method, and the method using deep learning, convolutional neural networks. The advantages and disadvantages of each approach are analyzed. In conclusion, the prospects for further development of the field of computer vision are discussed.

Key words: Image recognition, computer vision, machine learning, deep learning.

УДК 621.396.99
ГРНТИ 49.43.39

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАДИОВЕЩАНИИ

В. С. Симонова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена анализу применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в радиовещании, где ИИ позволяет повысить эффективность работы радиостанций, улучшить взаимодействие с аудиторией и предоставить персонализированный контент. В статье рассмотрены ключевые направления использования ИИ, такие как автоматизация рутинных задач, персонализация контента, анализ данных о предпочтениях аудитории и создание аудиоматериалов. Кроме того, обсуждаются примеры использования ИИ для прогнозирования музыкальных трендов и анализа активности конкурентов. Особое внимание уделено перспективам и вызовам, связанным с сохранением эмоционального взаимодействия с аудиторией, несмотря на растущую автоматизацию.

искусственный интеллект (ИИ), радиовещание, автоматизация, машинное обучение, технологии обработки естественного языка (NLP)

Введение

С развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) радиовещание получает новые возможности для улучшения качества контента, персонализации и автоматизации. Введение технологий ИИ в радиоиндустрию позволяет повысить эффективность работы радиостанций, улучшить взаимодействие с аудиторией и предлагать более точный и интересный контент. В статье рассматриваются основные направления использования ИИ в радиовещании и их преимущества.

Автоматизация рутинных задач

Радиостанции ежедневно сталкиваются с большим объемом рутинных задач: планирование эфиров, редактирование аудиоматериалов, составление расписаний и мониторинг контента. Системы ИИ позволяют автоматизировать эти процессы, что значительно снижает нагрузку на сотрудников [2].

Алгоритмы ИИ могут анализировать предпочтения аудитории, что позволяет радиостанциям формировать наиболее популярные и релевантные плейлисты. Это увеличивает время прослушивания и привлекает новых слушателей.

С помощью инструментов машинного обучения ИИ может автоматически удалять паузы и улучшать качество звука, что позволяет сократить время на постобработку.

Персонализация контента

Современные слушатели ценят индивидуальный подход и персонализированные рекомендации. Технологии ИИ способны анализировать поведение пользователей, их предпочтения и историю прослушиваний, что позволяет предлагать контент, адаптированный под их интересы [1].

ИИ анализирует информацию о прослушиваниях, чтобы предлагать слушателям контент, который им, вероятнее всего, понравится. Например, если слушатель часто слушает определенный жанр, ИИ порекомендует похожие программы или музыкальные композиции.

Системы ИИ позволяют подбирать рекламу, релевантную интересам аудитории, что увеличивает ее эффективность и снижает негативное восприятие рекламы.

Анализ данных и обратной связи от аудитории

Искусственный интеллект активно применяется для анализа данных о предпочтениях аудитории и мониторинга ее активности. Благодаря ИИ радиостанции получают доступ к подробной информации о вкусах и интересах слушателей, что позволяет совершенствовать контент и повышать его качество.

Технологии обработки естественного языка (NLP) и анализа звука позволяют ИИ отслеживать упоминания брендов, эмоции аудитории и тренды, что помогает оперативно реагировать на изменения.

Анализ социальных сетей, отзывов и комментариев позволяет радиостанциям быть в курсе общественного мнения. На основании этого можно оперативно корректировать контент и улучшать взаимодействие с аудиторией [3].

Такие системы, как TopicPulse от Futuri Media, анализируют данные из социальных сетей и множества новостных источников, помогая ведущим и продюсерам оперативно подстраивать контент под интересы аудитории и избегать тем, которые утратили актуальность.

Создание контента с помощью ИИ

Современные алгоритмы ИИ позволяют создавать аудиоконтент. Это помогает радиостанциям выпускать больше уникального контента и экспериментировать с форматом.

ИИ может автоматически составлять короткие новостные блоки на основе актуальной информации. Это особенно полезно для новостных радиостанций, где важна оперативность подачи информации [5].

Синтезаторы речи позволяют создавать реалистичные аудиоролики, которые могут использоваться для озвучки новостей или рекламы. Например, с помощью технологии deep learning можно обучить ИИ копировать голос диктора, что может быть полезно для создания персонализированных рекламных сообщений.

Системы вроде Voicetrack.ai и RadioGPT предлагают станции возможность генерировать радиопрограммы с использованием ИИ-ведущих, которые автоматически представляют музыку, прогноз погоды, новости и местные истории. Такие ИИ-инструменты способны генерировать текстовые вставки, озвучивать их с помощью синтезированных голосов и интегрировать их в плейлист, полностью заменяя человеческих ведущих в определенные временные промежутки. Например, немецкая станция Absolut Radio AI стала первой, где ИИ полностью ведет эфир круглосуточно, демонстрируя, как радиостанции могут снижать затраты на производство контента без потери качества.

Прогнозирование трендов и анализ конкурентов

ИИ помогает радиостанциям отслеживать и предсказывать тренды, а также проводить анализ конкурентов, что позволяет им оставаться конкурентоспособными и оперативно реагировать на изменения рынка [4].

С помощью алгоритмов машинного обучения радиостанции могут прогнозировать, какие музыкальные направления будут популярны в ближайшем будущем. Это помогает формировать уникальный и актуальный контент, привлекающий аудиторию.

ИИ позволяет отслеживать активность других радиостанций и их популярность среди аудитории. Это помогает оперативно адаптировать стратегию и выделяться на фоне конкурентов.

Заключение

Искусственный интеллект становится важной частью современных радиостанций по всему миру, обеспечивая автоматизацию, персонализацию и возможности для улучшения взаимодействия с аудиторией. Однако в России ИИ не применяется в радиовещании и не получило широкого распространения. Внедрение таких технологий в российские радиостанции позволило бы значительно повысить качество программ и конкурентоспособность отрасли, а также адаптировать контент к предпочтениям отечественной аудитории. Это

направление открывает перспективы для создания новых форматов и повышения лояльности слушателей, что делает его особенно актуальным.

Список используемых источников

1. Mayne M. AI in broadcast: Accelerated adoption // Insight and expertise for the content & technology community. URL: https://www.ibc.org/artificial-intelligence-in-broadcasting/1096.article (дата обращения 06.11.2024).
2. Rowe L. AI in Radio? The Pros and Cons of 5 Case-uses // Radio. URL: https://radio.co/blog/ai-radio-pros-cons (дата обращения 06.11.2024).
3. Price L. How Artificial Intelligence can change the radio broadcasting industry // RadioToday. URL: https://radiotoday.co.uk/2022/08/how-artificial-intelligence-can-change (дата обращения 06.11.2024).
4. Adelstein L. How AI is Revolutionizing Radio Stations: Automating Operations and Boosting Profitability for a Future-Ready Industry // Medium. URL: https://medium.com/@adelstein/how-ai-is-revolutionizing-radio-stations-automating-operations-and-boosting-profitability-for-a-74094c03f477 (дата обращения 08.11.2024).
5. The Future of Radio: Harnessing AI to Automate Your Stations // Stewart Townsend. URL: https://stewarttownsend.com/the-future-of-radio-harnessing-ai-to-automate-your-stations/ (дата обращения 08.11.2024).

Simonova V. **APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RADIO BROADCASTING.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article focuses on analyzing the application of artificial intelligence (AI) technologies in radio broadcasting, where AI enhances the efficiency of radio stations, improves audience engagement, and enables the delivery of personalized content. Key areas of AI use discussed in the article include automating routine tasks, content personalization, data analysis on audience preferences, and the creation of audio materials. Additionally, the article explores examples of AI in predicting music trends and analyzing competitor activity. Special attention is given to the prospects and challenges of maintaining emotional interaction with the audience, despite increasing automation.
Key words: artificial Intelligence (AI), radio broadcasting, automation, machine learning, Natural Language Processing (NLP) Technologies.

УДК 004.924
ГРНТИ 28.17.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ LIDAR И GPT ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Д. А. Татаренков, Е. А. Трапезникова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается подход к созданию системы пространственного анализа, предназначенной для оптимизации процесса видеопроизводства. В рамках этой системы данные LiDAR, полученные при сканировании сцены, обрабатываются и анализируются для генерации рекомендаций по расстановке освещения и расположению объектов в кадре. Исследование демонстрирует возможности взаимодействия языковых моделей с неструктурированными данными из физического мира. В ходе работы реализована интеграция библиотек для анализа 3D-данных и взаимодействие с моделью GPT.

визуализация, STL, LiDAR, GPT

Современные технологии сканирования и обработки данных открывают широкие возможности для интеллектуального анализа физических пространств. Автоматизация анализа пространства может значительно ускорить процесс препродакшена, минимизируя необходимость ручных измерений и позволяя повысить точность и эффективность решений. Такой подход открывает новые перспективы для использования языковых моделей в нетекстовых задачах, объединяя текстовую и пространственную аналитику в одной системе. Данное исследование является важным шагом в направлении разработки адаптивных и интеллектуальных приложений, которые смогут учитывать не только физические характеристики объектов, но и будут способны к контекстуальному восприятию, что делает их полезными для множества областей, включая креативные индустрии и видеопроизводство.

LiDAR (Light Detection and Ranging) – это технология, использующая лазерные импульсы для точного измерения расстояний до объектов. Каждый импульс отражается от поверхностей, формируя массив точек, которые затем объединяются в облако, представляющее трехмерную модель пространства. LiDAR-сканирование позволяет получить высокоточную информацию о физической среде, включая размеры, форму и расположение объектов [1, 2].

Данные LiDAR легко интегрируются с 3D-форматами, что упрощает их дальнейшую обработку и анализ. В данном исследовании как начальный этап работы с трехмерными данными был выбран формат STL-файлов

(STereoLithography), описывающий поверхность модели с помощью сетки полигонов, что позволяет хранить основные геометрические характеристики объекта. Их простота позволяет быстро загружать и обрабатывать модели с минимальными вычислительными ресурсами. Это особенно удобно для экспериментального анализа и первичных испытаний системы.

Для реализации прототипа будущего приложения был выбран язык программирования Python, так как он имеет обширную экосистему библиотек и инструментов, предназначенных для обработки и анализа 3D-данных, например, pyvista [3, 4] для визуализации и анализа моделей, а также для работы с нейросетевыми и машинными моделями, включая генеративные модели, такие как GPT (Generative Pre-trained Transformer). Эти библиотеки упрощают процесс интеграции различных технологий в единое приложение, минимизируя сложность разработки и увеличивая гибкость системы.

На начальном этапе, STL-файлы загружаются в Python-библиотеку pyvista, которая способна анализировать 3D-данные. После загрузки файла pyvista предоставляет возможности для взаимодействия с моделью: отображения, вращения, масштабирования и работы с конкретными объектами в пространстве (рис. 1). Это позволяет выделить ключевые элементы сцены, такие как диван для интервью или осветительные приборы, которые имеют решающее значение для постановки кадра.



а) б)

Рис. 1. Сравнение трехмерной модели и реального помещения: а) STL-модель сцены, полученная из LiDAR-сканирования; б) фотография помещения

Для того, чтобы обеспечить интеллектуальный анализ и получить рекомендации по улучшению освещения и компоновке объектов, требуется более сложная интерпретация данных. Использование языковой модели, такой как GPT [5], открывает возможность применения текстовых запросов для анализа и генерации советов на основе пространственной информации, заложенной в 3D-модели. Таким образом, следующим этапом является интеграция языковой

модели для интерпретации и ответа на вопросы, связанные с оптимизацией условий съемки и постановкой света.

Пользователю предлагается ввести текстовый запрос (промпт), после чего GPT интерпретирует запрос и на основании полученных данных о помещении и расположении объектов внутри него, генерирует рекомендации, которые учитывают особенности 3D-модели (рис. 2). Запросы могут варьироваться от простых вопросов до конкретных уточнений.

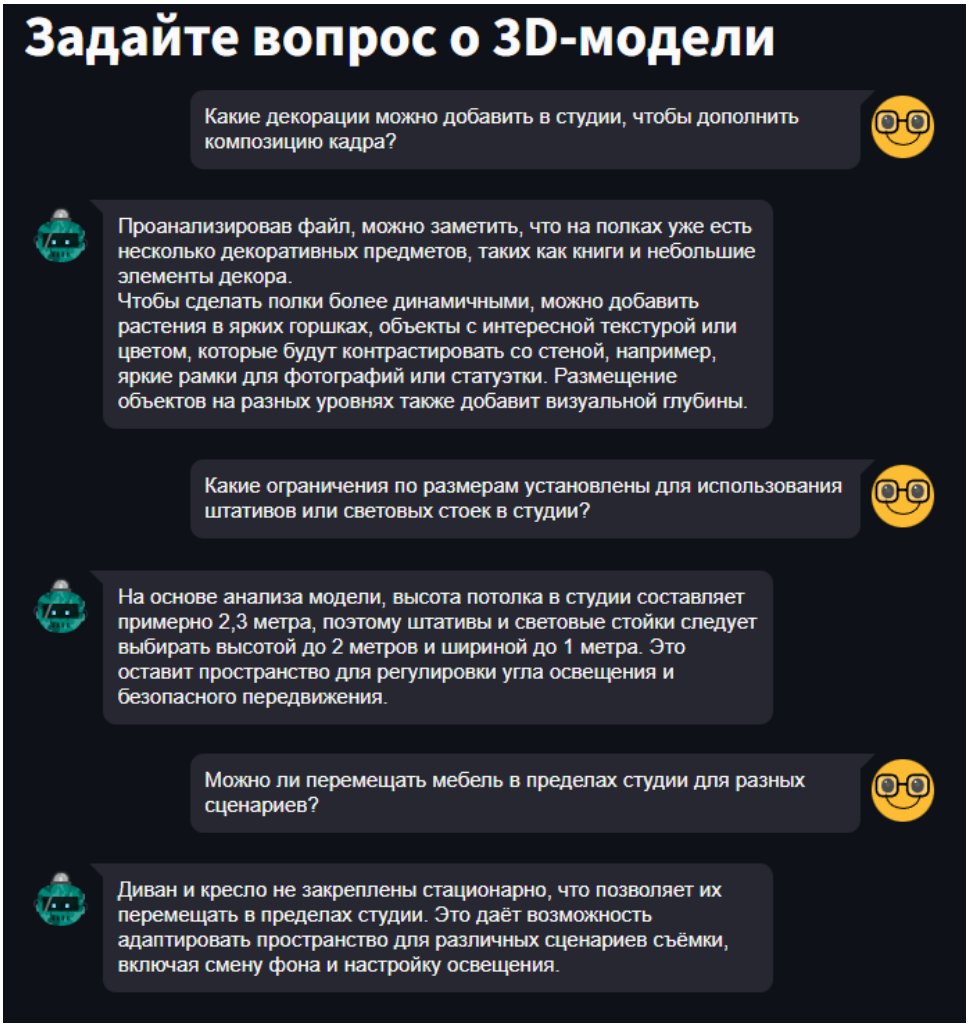


Рис. 2. Пример взаимодействия с моделью GPT для получения рекомендаций

Сгенерированные GPT рекомендации анализируются и, при необходимости, уточняются. После этого возможно их визуальное отображение поверх 3D-модели для наглядности. Таким образом, система сможет предоставлять пользователю не только текстовые указания, но и визуальные примеры, позволяя легко следовать предложенным настройкам освещения или композиции кадра.

Проведенное исследование продемонстрировало потенциал интеграции LiDAR-сканирования и языковой модели GPT для интеллектуального пространственного анализа: использование STL-файлов позволяет быстро и эф-

фективно визуализировать физическое пространство и работать с его 3D-моделью, задавая вопросы относительно оптимального расположения освещения и элементов сцены. Применение GPT для интерпретации пространственных данных открывает новые возможности для автоматизации как творческих, так и технических процессов.

В дальнейшем планируется расширить функциональные возможности системы за счет перехода на более сложные форматы данных, например, облака точек, что позволит улучшить качество визуализации и анализа моделей, а также создать более точные рекомендации на основе пространственных данных.

Список используемых источников

1. Якуба Д. Ю., Мамелин Ю. В., Чепрасова А. С. Значение лазерного сканирования для контроля окружающей среды // Молодой ученый. 2017. №. 23. С. 97–100.
2. Руденко Ю. М., Богданец Е. С. Актуальность лидарной съемки на данном этапе развития лазерного сканирования //Технические науки–от теории к практике. 2016. №. 5-1 (53). С. 20-29.
3. Stpyvista: Python-библиотека для визуализации и анализа 3D-данных. URL: https://github.com/edsaac/stpyvista (дата обращения 12.11.2024).
4. Documentation for PyVista. URL: https://docs.pyvista.org/ (дата обращения 12.11.2024).
5. St-chat: Библиотека для создания чата на базе Streamlit. URL: https://github.com/ai-yash/st-chat (дата обращения 12.11.2024).

Tatarenkov D., Trapeznikova E. **INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF INTEGRATING LIDAR AND GPT FOR INTELLIGENT SPATIAL ANALYSIS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article explores an approach to developing a spatial analysis system designed to optimize video production processes. In this system, LiDAR data obtained from scene scanning is processed and analyzed to generate recommendations on lighting arrangement and object positioning within the frame. The study demonstrates the potential for language models to interact with unstructured data from the physical world. The work includes the integration of 3D data analysis libraries and interaction with the GPT model.

Key words: visualization, STL, LiDAR, GPT.

УДК 004.93’1
ГРНТИ 47.51.31

ПРОБЛЕМЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Д. А. Татаренков, Р. А. Туроватов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данном докладе освещены основные проблемы процесса 3D-сканирования, который требует особой внимательности на каждом этапе. Подробно рассматриваются вопросы, связанные с точностью и разрешением сканеров, сложностями при сканировании отражающих и прозрачных поверхностей, а также устранением шума и геометрических искажений в данных. Все эти аспекты требуют решения для создания качественных 3D-моделей. Отмечается, что развитие технологий 3D-сканирования открывает новые возможности для создания точных и детализированных моделей для различных сфер применения.

3D-сканирование, геометрические искажения, проьлемы после сканирования

Введение

Процесс создания 3D-моделей начинается с этапа сканирования, который играет решающую роль в обеспечении точности и корректности данных для моделирования. Многие специалисты считают его наряду с программированием исключительно сложным и кропотливым занятием. Впрочем, с кропотливостью в скором времени будет покончено, т. к. сегодня на рынке присутствует целый ряд доступных устройств пространственного сканирования объектов [1]. Несмотря на достижения в области 3D-сканирования, этот этап сопряжен с рядом проблем и сложностей, которые могут существенно повлиять на конечный результат.

Точность и разрешение 3D-Сканера

Одной из наиболее значительных проблем при 3D-сканировании является достижение высокой точности и детализации модели. Разрешение сканера непосредственно влияет на количество и точность захваченных данных. Сканеры с низким разрешением могут не фиксировать мелкие элементы объекта, такие как текстуры, трещины или другие важные детали, что приводит к потере информации о ключевых характеристиках. В случаях, когда сканируются объекты сложной формы с недостаточной точностью, результаты могут быть

настолько сильно искажены, что последующее использование модели для 3D-печати становится невозможным.

При сканировании объектов с мелкими текстурами или микро-деталями, таких как ювелирные изделия или мелкие механизмы, некоторые сканеры могут не захватывать необходимую информацию о поверхности. В результате объекты могут быть представлены в виде упрощенных форм с потерей важных деталей, что особенно критично для объектов, требующих высокой точности, например, медицинских имплантатов или деталей для авиапромышленности. Для получения более точных данных необходимо использовать сканеры с более высоким разрешением.

Проблемы с отражающими и прозрачными поверхностями

Особое внимание при сканировании необходимо уделить объектам с отражающими или прозрачными поверхностями, таким как стекло, металл или полированные поверхности. В этих случаях лазерный луч, используемый в большинстве 3D-сканеров, может либо отражаться, либо проникать через объект, не создавая точного отклика от поверхности, что приводит к появлению «пустых» участков на модели.

Для решения этой проблемы требуется использование специализированных методов сканирования, таких как применение дополнительных покрытий на объекте (матовая краска, оклейка малярным скотчем, специализированные спреи для 3D-сканирования (пример представлен на рисунке 1), которые повышают контраст и позволяют сканеру корректно зафиксировать форму.



Рис. 1. Применение специального спрея для 3D-сканирования

Шум в данных и артефакты

После завершения сканирования необходимо провести обработку полученных данных, чтобы они стали пригодными для дальнейшего использования. На этом этапе могут возникать проблемы с «шумом» в данных, что означает наличие лишних точек или артефактов, которые не соответствуют реаль-

ной форме объекта. Эти артефакты могут появляться по разным причинам: из-за погрешностей самого сканера, внешних факторов (движение воздуха, случайные отражения света) или ошибок в захвате данных при сканировании с определенных углов.

Шум в данных может существенно исказить итоговую модель, затруднив ее дальнейшую обработку. Для устранения шума часто требуется применение сложных алгоритмов фильтрации и редукции данных, что может быть трудоемким процессом. В случае сложных или больших моделей это может занять значительное количество времени и ресурсов. Если при сканировании появились участки с недостаточной плотностью точек, может потребоваться дополнительное сканирование или ручная корректировка модели.

Геометрические ошибки: дыры и искажения

Также специалисты в области 3D-сканирования сталкиваются с еще одной проблемой. После получения цельной копии модели на ее поверхности могут иметь место различного рода погрешности: недостающие части (дыры); искажения вследствие программных ошибок; общая шероховатость, вызванная погрешностью устройства [2]. (Пример представлен на рисунке 2) в модели или искажения формы. Это может происходить по разным причинам, например, из-за невозможности сканера захватить определенные участки объекта. Особенно это актуально для сканирования объектов сложной формы или больших объектов, когда часть поверхности остается вне зоны видимости сканера.



Рис. 2. Неполные участки на отсканированной модели

Если объект не был отсканирован с достаточным количеством углов или позиций, на модели могут появляться «дыры» – участки, где отсутствуют дан-

ные о геометрии. В таком случае для корректного переноса модели в необходимый формат, нужно вручную заполнять эти участки. Этот процесс требует значительных временных затрат и точности, особенно, если «дыры» образуются в сложных местах, где форма объекта сильно изгибается или пересекает другие детали.

Кроме того, геометрические искажения, например, когда части модели сливаются или деформируются, могут стать препятствием для успешной печати. В таких случаях необходимо ревизировать скан и вносить корректировки в форму объекта.

Заключение

Процесс 3D-сканирования – это сложная и многогранная задача, которая требует внимательности и тщательной проработки на каждом этапе. Точность и разрешение сканера, проблемы с отражающими и прозрачными поверхностями, шум в данных, геометрические ошибки – все эти аспекты требуют внимательного подхода и решения для получения качественной 3D-модели. Несмотря на существующие сложности, развитие технологий в области 3D-сканирования продолжает совершенствовать этот процесс, позволяя получать более точные и детализированные модели для использования в самых различных областях.

Список используемых источников

1. Борисенко Б., Ярошенко С. 3D-сканирование в интересах 3D-моделирования // Компьютер Price. 2004.
2. Тишкин В. О. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2011, № 1 (71).

Tatarenkov D., Turovatov R. **PROBLEMS OF 3D SCANNING OBJECTS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This report highlights the key issues of the 3D scanning process, which requires special attention at every stage. It discusses in detail the challenges related to the accuracy and resolution of scanners, difficulties in scanning reflective and transparent surfaces, as well as noise reduction and geometric distortions in the data. All these aspects need to be addressed in order to create high-quality 3D models. It is noted that the development of 3D scanning technologies opens up new opportunities for creating accurate and detailed models for various applications.

Key words: 3D scanning, geometric distortions, post-scanning issues.

УДК 004.921
ГРНТИ 81.14.11

ОСОБЕННОСТИ РЕНДЕРА 3D ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СЪЕМОК

Д. А. Татаренков, П. В. Фомин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Появление программ с технологией рендера 3D объектов привело к значительному прогрессу в видеоиндустрии, позволяя создавать реалистичные сцены, которые невозможно реализовать с помощью традиционных съемочных методов. Комбинированная съемка, объединяющая живую съемку с компьютерной графикой, играет ключевую роль в этом прогрессе. 3D рендеринг, являясь неотъемлемой частью комбинированной съемки, позволяет создавать виртуальные объекты, которые органично интегрируются в реальные сцены.

рендеринг, 3D объекты, комбинированная съемка, компьютерное зрение

3D объекты создаются посредством редакторов трехмерной графики в таких программах как Autodesk Maya, Houdini и др. При создании 3D графики важно понимать составляющие, которые будут влиять на качество создаваемых объектов:

– форма объекта – это базовая геометрия создаваемого предмета. В зависимости от сюжета и стиля требуется разная детализация;

– окружение играет большую роль в процессе создания трехмерной графики, поскольку для реалистичного вписывания модели в пространство необходимо учитывать освещение, цвета предметов вокруг объекта и общий стиль сцены;

– материалы модели – из чего состоит объект (стекло, металл, пластик и т.д.). Настройка материалов помогает влиять на сюжет и качество визуализации;

– настройки камеры. Трехмерные модели существуют в абстрактном трехмерном пространстве программы, поэтому, чтобы увидеть их под нужным углом, используется виртуальная камера. Так же как у настоящей камеры, у нее можно настроить глубину резкости, положение, угол обзора, увидеть, какая часть сцены попадет в кадр и от всех этих параметров зависит уровень проработки 3D модели.

Комбинированные съемки

Комбинированные съемки позволяют объединять изображения, полученные с помощью реальной камеры, с компьютерно-генерированными 3D-моделями. Благодаря объединению данных из разных источников, комбинированные съемки позволяют достичь более реалистичного результата, чем просто рендеринг 3D-модели или съемка реальной сцены.

Типы комбинированных съемок:

– визуальные эффекты (комбинирование реальных съемок с компьютерной графикой для создания спецэффектов в кино, телевидении и играх);

– виртуальная реальность (создание интерактивных 3D-окружений, в которые пользователь может погружаться, используя гарнитуры VR);

– дополненная реальность (добавление виртуальных объектов в реальный мир, видимый через камеру устройства).

Комбинированные съемки могут быть более экономичными, чем создание реальных декораций и спецэффектов, а также позволяют легко изменять и редактировать сцены без необходимости проведения повторных съемок.

Рендеринг

Рендеринг является фундаментальной составляющей компьютерной графики. Рендеринг (от англ. rendering – «визуализация») – процесс преобразования трехмерной сцены в двухмерное растровое изображение [1]. Алгоритмы анимации, геометрического моделирования, текстурирования и других областей компьютерной графики должны пропускать свои результаты через процесс рендеринга, чтобы их можно было увидеть, как изображение.

Существует два вида рендеринга: предварительный и в реальном времени. Рендеринг в режиме реального времени используют в интерактивной графике, где необходимо максимально быстро обрабатывать изображение и выводить его на экран в готовом виде. Основная особенность данного вида рендеринга – необходимость высоких вычислительных мощностей. Для обеспечения непрерывной работы интерактивной сцены или игры, 3d-движок должен обрабатывать изображение не менее 20-25 кадров в секунду. Облегчить нагрузку системы может грамотная оптимизация, снижение качества 3d-моделей и текстур или заранее записанная световая и рельефная информация в запеченные текстурные карты. Для рендеринга сложной анимации с большим количеством визуальных эффектов, например в кино, используют предварительный рендер. Скорость предварительного рендера во многом зависит от мощности центрального процессора и сложности создаваемой графики, время рендеринга одного кадра может зани-

мать значительное время, однако это позволяет создавать изображение с высоким уровнем реалистичности и проработки.

Существуют различные техники рендеринга, наиболее распространенными являются растеризация, трассировка лучей и физически корректный рендеринг.

Растеризация – это процесс преобразования геометрических данных, представляющих трехмерные объекты, в двумерные пиксели на экране (см. рис. 1).

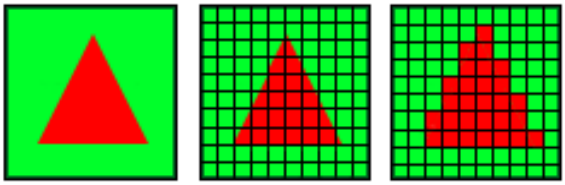


Рис. 1. Растеризация изображения

Преимущество данной техники заключается в высокой скорости рендеринга, простоте реализации, широкой поддержке – растеризация является стандартом для современных графических систем. Недостатками же будут являться ограниченность в детализации и появление артефактов при рендеринге сложных геометрических объектов.

Трассировка лучей – это метод рендеринга, который работает, отслеживая пути отдельных лучей света от источника света через сцену к камере [2]. Для каждого пикселя изображения прослеживается луч, который пересекает сцену, и рассчитывается освещенность этого луча на основе взаимодействия с объектами сцены. В результате получается более точное и реалистичное изображение, чем с помощью традиционных методов рендеринга, таких как растеризация.

Физически корректный рендеринг – это метод рендеринга, который использует модели и уравнения, основанные на физических законах, чтобы обеспечить максимально реалистичное изображение [3]. Он учитывает факторы, такие как отражение, преломление, рассеяние, поглощение и излучение света, чтобы точно моделировать взаимодействие света с объектами.

При выполнении рендера 3D объектов необходимо учитывать ряд особенностей. Одной из наиболее критичных задач является корректная интеграция освещения. Для достижения реалистичности подобраны следующие рекомендации:

– уровень освещения элементов 3D сцены должен соответствовать уровню освещения реальной съемки;

– тени должны быть сгенерированы с учетом источника света и создавать эффект «привязки» объектов к сцене;

– реальные объекты отражают окружающее освещение, что также необходимо учитывать при выборе внешнего вида 3D объектов.

Определение направления света в сцене основывается на анализе теней, бликов и освещенности объектов на видеокадрах. Благодаря этому анализу появляется возможность определить вектор направления света в 3D сцене. Интенсивность света определяет степень освещенности объектов и измеряется в люксах. Для определения интенсивности анализируется контрастность между освещенными и затененными участками на видео с помощью алгоритмов определения яркости. Цвет света определяет цветовой оттенок объектов в сцене и описывается в цветовой модели, например, в RGB или HSV. Анализ цветовых оттенков объектов на видео позволяет определить цвет источника света в 3D сцене, используя алгоритмы цветового анализа.

Не менее важно моделировать физическое взаимодействие между 3D объектами и реальными элементами. Для этого добавляется симуляция динамического поведения объектов под воздействием физики (например, гравитации или столкновений).

Синхронизация виртуальных объектов с реальным видеопотоком представляет собой значительную задачу и для этого применяют ротоскопирование. Ротоскопия – это техника анимации и композитинга, которая включает в себя обрисовывание или отслеживание движений объектов в видеопотоке для создания масок или выделения определенных элементов. С помощью нее возможно выделить конкретные элементы на кадре для обработки или изменения. Этапы выполнения ротоскопии:

1) ключевые кадры, которые определяют движение объекта, выделяются из видеопоследовательности;

2) видеоматериал стабилизируется для устранения дрожания камеры с помощью алгоритмов видеостабилизации;

3) на ключевых кадрах вручную или автоматически создаются маски с помощью инструментов для обработки изображений, которые выделяют контуры объекта;

4) маски между ключевыми кадрами интерполируются с помощью алгоритмов для создания плавного движения объекта;

5) корректируются ошибки и неточности в масках каждого кадра;

6) применяются алгоритмы сглаживания контуров (например, алгоритмы на основе сплайнов, алгоритмы на основе кривых Безье) для создания плавных и естественных линий;

7) созданная последовательность масок используется для рендеринга анимации с использованием графических программ, которые позволяют применять цвета, текстуры, освещение и другие эффекты.

Для точного позиционирования объектов и камеры в пространстве используется матрица преобразования:

$$M = T * R * S \quad (1)$$

где M – матрица преобразования объекта, T – матрица переноса, R – матрица поворота, S – матрица масштабирования.

Определение начальных координат 3D-модели происходит с помощью матрицы переноса. За изменение размера модели отвечает матрица масштабирования. Матрица поворота задает ориентацию 3D-модели, соответствующую объекту в сцене.

Применение и перспективы

Рендеринг 3D-объектов в комбинированных съемках позволяет создавать впечатляющие визуальные эффекты в телевизионных шоу, фильмах и рекламе и т. д. Данная технология применяется для генерации фонов и декораций, интеграции виртуальных персонажей и объектов в сцены, отснятые вживую. Рост вычислительной мощности компьютеров и разработка еще более совершенных алгоритмов рендеринга сделают 3D-модели еще детализирование и реалистичнее.

Заключение

Рендер 3d объектов в задаче комбинированных съемок имеет множество особенностей, требующих учета большого количества факторов. Программы для рендера 3d в объектах позволяют быстро и качественно создавать контент. Важно продолжать исследовать новые методы интеграции и рендеринга для достижения еще более впечатляющих результатов в области комбинированных съемок.

Список используемых источников

1. Фарр М., Джейкоб В., Хамфрис Г. Рендеринг на основе законов физики. От теории к практике. М.: ДМК ПРЕСС, 2023. 1208 с.
2. Хьюз Д., Дам А., Макгуайр М., Склар Д., Фоули Д., Файнер С., Эйкли К. Компьютерная графика: принципы и практика. Аддисон-Уэсли Профессионал, 2013. 264 с.
3. Энджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Аддисон-Уэсли Профессионал, 2012. 778 с.

Tatarenkov D., Fomin P. **FEATURES OF RENDERING 3D OBJECTS FOR COMBINED SHOOTING TASKS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The advent of programs with 3D object rendering technology has led to significant progress in the video industry, allowing you to create realistic scenes that cannot be realized using traditional shooting methods. Combined photography, combining live photography with computer graphics, plays a key role in this progress. 3D rendering, being an integral part of combined shooting, allows you to create virtual objects that seamlessly integrate into real scenes.

Key words: rendering, 3D objects, combined shooting, computer vision.

УДК 004.928
ГРНТИ 19.61.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ ЛИЦА ДЛЯ АНИМАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Д. А. Татаренков, М. Д. Хрипунов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технология захвата движений лица и тела активно используется при создании современного видеоконтента для анимации фотореалистичных трехмерных персонажей. Современные технологии видеопроизводства позволяют отслеживать движения и использовать их для анимации модели персонажа в реальном времени, что значительно упрощает процесс обработки контента во время монтажа.

видеопроизводство, генеративная графика, захват движений, медиаконтент, 3D-технологии

Доступность современных компьютерных технологий привела к распространению трехмерной графики во многих областях, в том числе и в области медиатехнологий, например, она повсеместно используется для создания визуальных эффектов в современном видеопроизводстве. Один из важнейших способов применения трехмерной графики – создание моделей персонажей. Значительно упростить их анимацию позволяет технология захвата движений.

Захват движений – это процесс записи движений реального человека, его мимики, объекта или животного с целью переноса на трехмерную модель. В случае с моделью человека, необходимо анимировать не только движение тела, но также и мимику лица. Принципы захвата движений тела и лица схожи, однако способы реализации имеют значительные отличия.

Как и захват движений тела, захват движений лица основывается на записи движения ключевых точек, из которых в дальнейшем собирается «скелет» трехмерной модели. Главная особенность захвата движений лица в том, что ключевых точек требуется значительно больше, чем при захвате движений тела. Это обусловлено тем, что при анимации лица трехмерной модели человека требуется учитывать достаточно большое количество мышц, существующих на лице реального человека, для передачи полного спектра эмоций [1].

Реализовать захват движений лица можно двумя способами: при помощи вспомогательных маркеров и без них. При использовании маркеров, именно они выступают в качестве ключевых точек. Из-за особенностей захвата движений лица, на актере может располагаться до 350 пассивных маркеров, движения которых записывает одна или несколько камер, снимающих в высоком разрешении. Такой метод не-

эффективен, так как оборудование для записи громоздкое, а эмоции актеров становятся гиперболизированными. Намного эффективнее использовать активные LED-маркеры, движения которых считываются датчиками в реальном времени, но данная технология дорогая и используется преимущественно большими киностудиями.

Захват мимики без использования маркеров основывается на компьютерном зрении, а точнее на активных моделях внешнего вида (active appearance models, AAM), то есть статических моделях, в нашем случае человеческого лица, которые при помощи деформаций подстраиваются под требуемое изображение. Также, используются методы главных компонент и отслеживания собственных значений (eigen tracking). В методе захвата без маркеров ключевыми точками выступают контур губ, ноздри, веки, контур лица, реже зрачки глаз и еще реже язык. Такой способ схож с технологией распознавания лиц, но вместо сравнения компьютером лица из базы данных с лицом на фотографии или кадре видео, готовый контур лица подстраивается под изображение [2].

Технологию захвата мимики лица при помощи сверточных нейронных сетей представила компания Nvidia. Путем обучения нейронной сети в течении 200 эпох, используя 15000 тренировочных и 1800 проверочных фотографий актера с девяти ракурсов, удалось добиться захвата движений лица при помощи только одной камеры в реальном времени. При этом, результат захвата движений лица данным способом не значительно отличается от результата, показанного захватом движений лица при помощи девяти камер, снимающих актера с разных ракурсов [3].

Существует целый ряд программного обеспечения для захвата движений лица, в том числе в реальном времени, например, встроенный инструмент Apple Memoji для iPhone позволяет проводить видео звонки с использованием трехмерного аватара. Однако, подобное ПО предназначено для анимации простых моделей со статичным телом, или без тела вовсе. Полноценная анимация трехмерной модели в реальном времени стала возможна с появлением ПО MetaHuman Animator от компании Epic Games, поддерживающей захват мимики, которую в последствии накладывает на модель человека непосредственно в среде Unreal Engine 5, в которой также возможна анимация тела модели при помощи захвата движений [4].

Для реализации захвата движений лица помимо ПО, требуется оборудование для непосредственной записи актера. Подойдет обычная веб-камера, но лучший результат будет при использовании видеокамеры высокого разрешения, поддерживающей съемку с высокой частотой кадров. Качественное изображение позволит анимировать модель плавно и без ошибок в считывании ключевых точек. Наилучшим вариантом будет Kinect, разработанный компанией Microsoft и имеющий помимо видеокамеры, встроенный датчик глубины, позволяющий наиболее точно отследить ключевые точки на лице актера.

К сожалению, Kinect слишком тяжелый для того, чтобы прикрепить его к голове актера, поэтому использовать его для захвата мимики лица в реальном

времени, параллельно записывая движения тела актера, не эффективно. В данном случае, лучшим решением будет использовать iPhone модели 12 и выше, так как он поддерживает технологию LiDAR, а также на нем доступно программное обеспечение для работы с MetaHuman Animator, что позволит в реальном времени передавать данные, полученные с помощью захвата движений лица в среду Unreal Engine 5, причем одновременно с этим возможен захват движений тела актера, например, при помощи двух Kinect, что позволит в реальном времени полностью анимировать трехмерную модель.

Реализация захвата движений также возможна в среде TouchDesigner, где при помощи облака точек и готовой модели «скелета» лица, а также используя Kinect, возможно создать систему ключевых точек, при помощи которых будет возможно анимировать трехмерную модель.

Анимация трехмерной модели в реальном времени при помощи захвата движений лица может быть использована, например, при съемках видеоконтента с использованием виртуального видеопроизводства, для значительного упрощения процесса наложения трехмерной графики в дальнейшем.

Технология захвата движений лица все еще развивается, но существующих инструментов уже достаточно для того, чтобы анимировать трехмерные модели в реальном времени, сохраняя высокое качество, и при этом значительно облегчая работу с трехмерной графикой.

Список используемых источников

1. Human Figure Animation: A Historical Perspective. URL: https://www.researchgate.net/publication/268484515_Human_Figure_Animation_A_Historical_Perspective (дата обращения 14.11.2024).
2. Ying-li Tian., Lisa Brown, Arun Hampapur, Sharat Pankanti, Andrew Senior, Ruud Bolle. Real World Real-time Automatic Recognition of Facial Expressions // Exploratory Computer Vision Group, IBM T. J. Watson Research Center.
3. Production-Level Facial Performance Capture Using Deep Convolutional Neural. URL: Networkshttps://research.nvidia.com/sites/default/files/publications/laine2017sca_paper_0.pdf (дата обращения 14.11.2024).
4. Официальный сайт Unreal Engine, раздел MetaHuman. URL: https://www.unrealengine.com/en-US/metahuman (дата обращения 14.11.2024)

Tatarenkov D., Khripunov M. **USING FACIAL MOTION CAPTURE TECHNOLOGY TO ANIMATE THREE-DIMENSIONAL MODELS IN REAL TIME.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The technology of capturing facial and body movements is actively used in the creation of modern video content for the animation of photorealistic three-dimensional characters. Modern video production technologies allow you to track movements and use them to animate a character model in real time, which greatly simplifies the process of processing content during editing.

Key words: video production, generative graphics, motion capture, media content, 3D technologies.

УДК 534.21
ГРНТИ 29.37.19

МЕМБРАННЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ TEFRA AUDIO

К. Е. Тафинцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Мембранные акустические системы представляют собой инновационное решение в аудиоиндустрии, основанное на технологии изгибных волн. В статье рассмотрены особенности работы таких систем, их отличия от традиционных динамиков, основные преимущества и технические ограничения. На примере TefraAudio исследуются их конструктивные особенности, перспективы применения и области использования.

DML, мембранные акустические системы, изгибные волны

Современная аудиоиндустрия активно ищет пути улучшения качества звуковоспроизведения и оптимизации акустических систем. Традиционные громкоговорители сталкиваются с рядом ограничений, таких как узкая диаграмма направленности и сложность создания равномерного звукового поля. Одной из инновационных технологий в этой области являются мембранные акустические системы, основанные на применении изгибных волн (Distributed Mode Loudspeakers, DML) [1]. В данной статье представлен обзор технологии на примере компании TefraAudio, включая ключевые характеристики, преимущества и ограничения, а также перспективы применения в различных сферах.

Мембранные акустические системы, такие как TefraAudio, работают на основе технологии изгибных волн (DML). В отличие от традиционных динамиков, которые создают звук путем движения диффузора вдоль оси, DML-устройства используют тонкие пластины-мембраны. На мембрану воздействует преобразователь, который вызывает распространение изгибных волн, создавая звук.

Ключевой особенностью технологии является способность создавать равномерное звуковое поле с широкой диаграммой направленности. Это позволяет добиться высококачественного воспроизведения звука даже в сложных акустических условиях, например, в больших или асимметричных помещениях.

Технология изгибных волн (DML), используемая в TefraAudio, базируется на принципе распределенного возбуждения плоской мембраны. Преобразователь передает энергию в точку на мембране, вызывая образование изгибных волн, которые распространяются по ее поверхности [2], что представлено

на рис. 1. В отличие от традиционных динамиков, которые работают как поршень, DML создает сложные, негармонические колебания, что минимизирует стоячие волны и искажения.

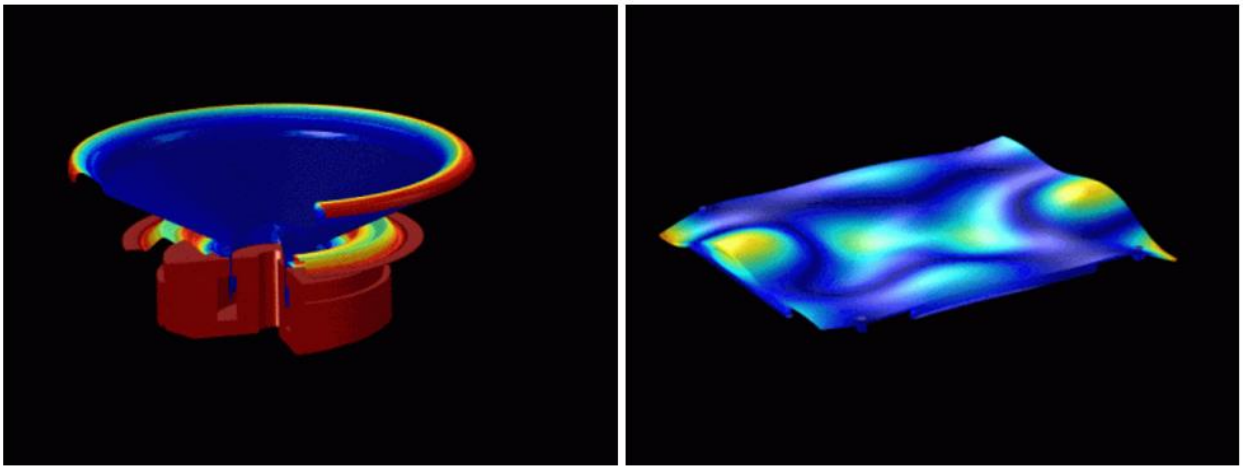


Рис. 1. Принцип работы традиционного динамика (слева) и мембранной акустической системы (справа)

Благодаря распределению колебаний, система создает широкую диаграмму направленности, равномерно излучая звук во все стороны. Такой подход улучшает качество звучания, особенно в сложных акустических условиях.

Важным преимуществом является то, что акустическая мощность панели DPK TST с обеих сторон полезна. Мощность, излучаемая задней стороной, конструктивно суммируется с излучаемой мощностью с передней стороны панели, диаграмма направленности представлена на рис. 2.

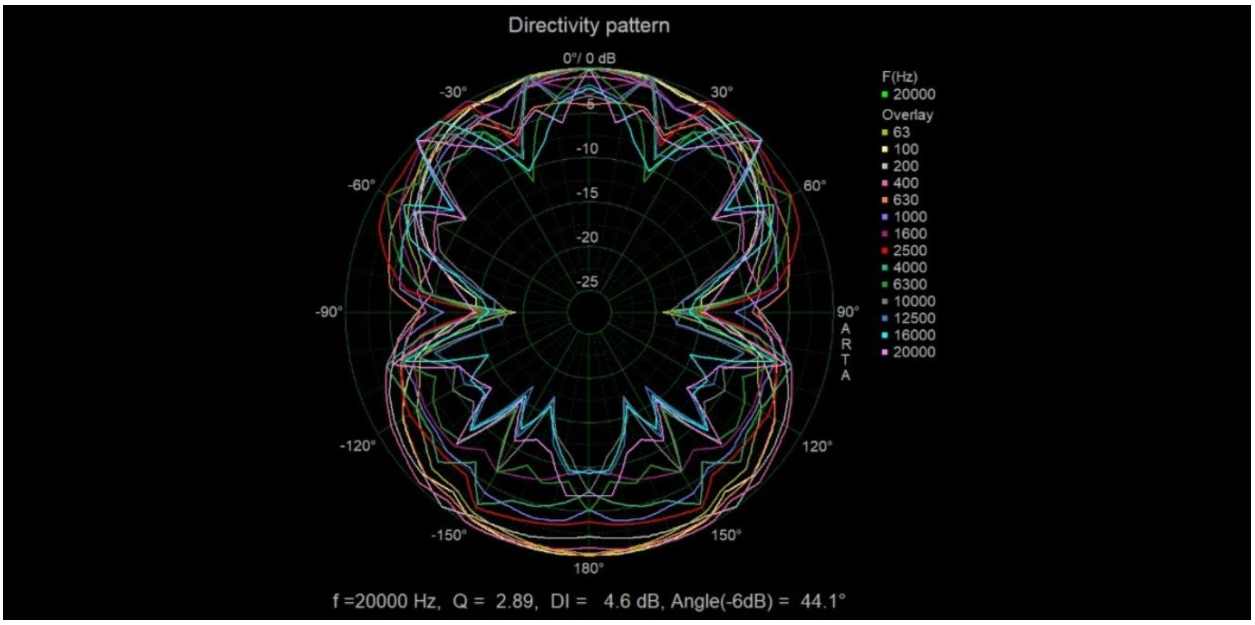


Рис. 2. Диаграмма направленности мембранной акустической системы

Изгибные волны – это тип механических волн, распространяющихся в упругих пластинах за счет их изгибных деформаций. В отличие от продольных

(давления) и поперечных (сдвига) волн, изгибные волны возникают, когда силы изгиба вызывают локальное искривление материала [3].

При движении изгибных волн энергия распространяется неравномерно, вызывая сложные колебательные паттерны, включающие как высокие, так и низкие частоты [4]. Важной особенностью является их дисперсия: скорость волны зависит от частоты, что приводит к разночастотным деформациям мембраны.

В акустике эти волны используются для создания равномерного звукового поля: мембрана в системе DML колеблется по всему объему, генерируя звук, который минимизирует отражения и резонансы. Благодаря композитным материалам мембраны обеспечивается широкий частотный диапазон (60 Гц – 20 кГц) и минимальные нелинейные искажения (менее 1 %), что гарантирует точное и качественное звучание.

Мембранные акустические системы, такие как TefraAudio, отличаются от стандартных динамиков по мощности и способу ее реализации. Их конструкция позволяет достигать эквивалентной громкости при меньшей номинальной мощности. Например, при чувствительности 85–90 дБ, такие системы требуют меньше энергии для создания звукового давления, аналогичного традиционным динамикам с более высокой потребляемой мощностью. Для сравнения, стандартные динамики мощностью 50–100 Вт могут демонстрировать сравнимую громкость с мембранной системой мощностью 20–50 Вт, за счет более эффективного распределения звука и минимизации потерь на резонансах корпуса [1].

Мембранные акустические системы, использующие технологию изгибных волн, представляют собой значительный шаг вперед в развитии акустической индустрии. Пример TefraAudio демонстрирует возможности создания равномерного звукового поля с минимальными искажениями даже в сложных акустических средах. Технология обеспечивает широкий спектр применения, от профессиональных пространств до домашних аудиосистем.

В дальнейшем планируется проведение исследований, направленных на детальный анализ диаграмм направленности мембранных акустических систем. Особое внимание будет уделено моделированию и экспериментальной проверке распространения изгибных волн на мембране, чтобы определить способы оптимизации звукового поля и повышения эффективности этих систем в различных акустических условиях.

Список используемых источников

1. Бучатский А. Н., Дуклау В. В., Ионеску Н. Ю., Колесов А. К., Куликов С. П., Новикова Е. И., Червинская В. А. Медиацентр вуза и пространство «новых медиа» // Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего, 2015. С. 44–61.
2. Обзор акустической системы Tefra Audio Nevis с применением технологии громкоговорителей распределенного типа. URL: https://www.ixbt.com/ds/tefra-audio-nevis-review.html?ysclid=m3j1ap13sa315170913/ (дата обращения 15.11.2024).
3. Чередник В. И., Двоешерстов М. Ю., Чириманов А. П., Петров С. Г. Акустические волны в многослойных структурах // Успехи современного естествознания, 2003. № 4. С. 101.
4. Поляков Н. Е., Савинова И. В. Физические основы распространения упругих волн в твердых телах. Московский университет. 2018.

Tafintsev K. **MEMBRANE ACOUSTIC SYSTEMS: TECHNOLOGY OVERVIEW BASED ON TEFRA AUDIO.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Membrane acoustic systems represent an innovative solution in the audio industry based on bending wave technology. This article examines the operational characteristics of such systems, their differences from traditional loudspeakers, key advantages, and technical limitations. Using TefraAudio as a case study, it explores the structural features, potential applications, and areas of use for these systems.

Key words: DML, membrane acoustic systems, bending waves.

УДК 654.195
ГРНТИ 49.43.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЦЕПЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АУДИОКОНТЕНТА

С. А. Терентьева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье исследованы основные методы перцепционной оценки качества аудиосигналов. Рассмотрена классификация различных методов по особенностям выполнения анализа сигналов. Разобраны и проанализированы общие достоинства и недостатки каждого метода. На основании проведенного анализа выбран метод перцепционной оценки качества для дальнейшей самостоятельной реализации.

перцепционная оценка качества, аудиосигналы, анализ сигналов.

В настоящее время актуальность качественного воспроизведения звука неуклонно возрастает, поскольку от этого зависит эффективность и комфорт использования аудиотехнологий в различных сферах. Оценка качества звучания представляет собой сложную задачу, требующую анализа как объективных параметров звука, так и субъективного восприятия аудиоконтента.

Объективная оценка качества проводится по методу ПМООК (перцепционный метод объективной оценки качества), реализация объективных измерений, при организации которых в той или иной мере учитываются свойства слуховой системы человека, а получаемый результат с достаточной точностью должен предсказывать результаты субъективно-статистических экспертиз, т. е. оценивать воспринимаемое человеком качество в баллах [1].

Метод ПМООК учитывает психоакустические особенности слуховой системы человека. Основной принцип заключается в моделировании физиологических и психических процессов, происходящих при оценке качества аудиосигнала в человеческом мозге. Для моделирования физиологических процессов используется специальный математический подход, а для психических – теория вероятности или искусственные нейронные сети. Процесс вычисления оценки качества разделен на два ключевых этапа: психоакустическая и познавательная модели. Общая схема ПМООК представлена на рис. 1.

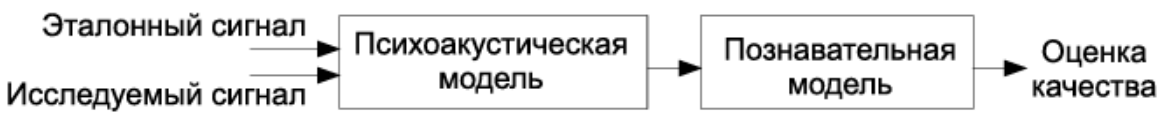


Рис. 1. Общая схема перцепционного метода объективной оценки качества аудиосигнала

Психоакустическая модель учитывает воздействие различных физиологических и психических процессов, происходящих в слуховой системе человека, на качество оценки. Познавательная модель содержит статистические данные, которые учитывают индивидуальные особенности аудитории, включая их уровень квалификации, опыт и музыкальные предпочтения [1].

Существуют различные методы перцепционной оценки качества. Для объективной оценки речевых кодеков в 1996 году был утвержден алгоритм PSQM (Perceptual Speech Quality Measure) [2]. Разработанный стандарт позволил с помощью автоматизированных методологий тестирования на основе моделирования объективно оценить четкость речи и качество передачи в полосе пропускания голоса (300 – 3400 Гц). PSQM основан на алгоритме психоакустического математического моделирования для анализа голосовых сигналов до и после передачи, получая значения ухудшения качества сигнала по шкале от 0 (отсутствие ухудшения) до 6,5 (максимальное ухудшение). Затем этот результат может быть переведен в среднюю оценку мнения (MOS), которая считается общепринятой мерой воспринимаемого качества по числовой шкале от 1 до 5 [3].

У алгоритма PSQM есть ряд ограничений: нет возможности учета сетевых возмущений, свойственных передаче голоса по IP, таких как потеря пакетов, джиттер (разброс задержек) или несогласованность в доставке пакетов. Эти факторы часто приводят к неточным результатам при моделировании высоких нагрузок на сеть, так как не отражают реальные потери в восприятии качества голоса. При попытках воспроизвести условия сетевых сбоев с помощью значительных потерь пакетов показатели PSQM приводят к завышенным значениям MOS, не соответствующим фактическому качеству.

Процедура объективного измерения качества алгоритма PSQM представлена на рис. 2.



Рис. 2. Процедура объективного измерения качества алгоритма PSQM

Алгоритм усовершенствовали и на его смену в 2001 году пришел PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) [4]. Этот алгоритм был разработан для моделирования субъективных тестов для оценки качества голосовой связи, преимущественно пользователей телефонной системы. PESQ является алгоритмом с полной опорой (Full reference), т. е. имеет доступ к исходному сигналу и использует его для разностного анализа. Таким образом, он анализи-

рует каждую выборку речевого сигнала после временного выравнивания соответствующих отрывков опорного и тестового сигнала. Результаты, получаемые с помощью этого алгоритма, представляются в средней оценке мнения (MOS) [3]. Основные недостатки данного алгоритма заключаются в неспособности оценивать речь выше 7 кГц (в то время как популярные кодеки, например, Opus, имеют частоту 8 кГц в широкополосном режиме), и также PESQ не умеет правильно разрешить «искажение времени» (переменная скорость для исправления ошибок).

В 2011 году на смену PESQ пришел новый алгоритм POLQA (Perceptual Objective Listening Quality Prediction) [5]. Данный алгоритм является моделью для прогнозирования качества речи, с помощью цифрового анализа речевого сигнала. Алгоритм получил возможность работы не только в общей полосе телефонии, но и в широкополосных и сверхширокополосных речевых сигналах (50 – 14000 Гц). POLQA также применяет алгоритм FR и работает с разницей опорного и исследуемого сигнала. Анализ сигналов проходит в частотной области после применения функций маскирования, различия между двумя сигналами будут считаться искажениями, которые представляются по шкале MOS [5, 3].

Все предыдущие алгоритмы были предназначены в основном для речевых сигналов, поэтому был разработан метод PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality), позволяющий оценить качество широкополосных кодеков, т. е. качество передачи музыкальных сигналов [6]. PEAQ характеризует воспринимаемое качество звука так же, как это делают эксперты при участии в субъективно-статистической экспертизе в соответствии с ITU-R BS.1116 [7]. PEAQ имеет возможность реализации организации оперативного контроля качества, для которой используется математический аппарат БПФ. Модель отражает основные свойства слуховой системы, различая стадии физиологических и психоакустических эффектов. В первой части модель воспроизводит формирование сигнала, используя дискретное преобразование Фурье и банки фильтров. Во второй части имитируется когнитивная обработка, аналогичная той, что происходит в человеческом мозге. Обобщенная схема проведения оценки по методу PEAQ представлена на рис. 3.

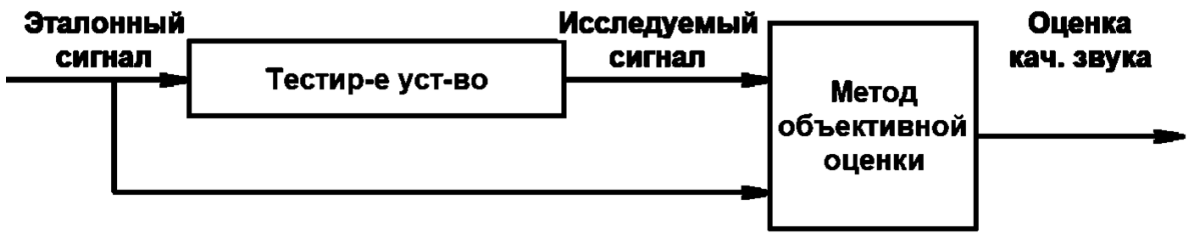


Рис. 3. Обобщенная схема проведения оценки по методу PEAQ

Для наглядного отображения сравнительного анализа описанных методов перцепционной оценки качества сформирована таблица 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная таблица методов перцепционной оценки качества аудиоконтента

Метод	Основное назначение	Познавательная модель	Преимущества	Ограничения
PEAQ	Оценка качества широкополосных аудиосигналов	Основывается на моделировании восприятия разницы между сигналами, включая учет спектральной маскировки, громкости и сенсорных различий	Высокая точность для музыки и аудиовещания	Не подходит для сетевых искажений
PSQM	Оценка качества речи	Ориентирована на спектральные искажения речи, применяя временное выравнивание для синхронизации сигналов	Эффективен для тестирования телефонных систем	Не учитывает потерю пакетов и джиттер
PESQ	Оценка речи в сетевых приложениях	Включает в себя модели восприятия временных и спектральных искажений одновременно, учитывая задержки и шумы	Учет сетевых искажений, таких как джиттер и потеря пакетов	Ограничен только речевыми сигналами
POLQA	Оценка речи в современных широкополосных сетях	Включает сверхширокополосную модель слуха, учитывая восприятие высокочастотных компонентов звука и особенности обработки в сложных условиях	Поддержка ультраширокополосных сигналов, точен в LTE/VoLTE условиях	Требует высоких вычислительных ресурсов

На основании проведенного анализа, можно сформулировать вывод о целесообразности использования метода PEAQ для дальнейшей реализации алгоритмов и разработки программного обеспечения. Метод позволит оценивать не только речевые сигналы, но и музыкальные.

Список используемых источников

1. Аудиотехника. Учебник для вузов / Ю. А Ковалгин, Э. И Вологдин. М.: Горячая линия-Телеком, 2013. 742 с., ил.
2. ITU-T. Recommendation P.861, Objective Quality Measurement of Telephone- Band (300-3400 Hz) Speech Codecs. International Telecommunications Union, Telecommunications Standardization Sector, 1998.
3. ITU-T. Recommendation P.800.1, Mean Opinion Score (MOS) Terminology. International Telecommunications Union, Telecommunications Standardization Sector, 2003.
4. ITU-T. Recommendation P.862, Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), an Objective Method for End-to-End Speech Quality Assessment of Narrow-Band Telephone Networks and Speech Codecs. International Telecommunications Union, Telecommunications Standardization Sector, 2001.

5. ITU-T. Recommendation P.863, Perceptual objective listening quality prediction. International Telecommunications Union, Telecommunications Standardization Sector, 2018.
6. ITU-R. Recommendation BS.1387, Method for Objective Measurement of Perceived Audio Quality. International Telecommunications Union Radiocommunication Assembly, 1998.
7. ITU-R. Recommendation BS.1116-3, Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems. International Telecommunications Union Radiocommunication Assembly, 2015.

Terenteva S. **INVESTIGATION OF PERCEPTUAL METHODS FOR AUDIO CONTENT QUALITY ASSESSMENT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article investigates the primary methods for perceptual evaluation of audio signal quality. A classification of various methods is presented based on the specific characteristics of signal analysis approaches. The general advantages and limitations of each method are discussed and analyzed. Based on this analysis, a perceptual quality evaluation method has been selected for further independent implementation.

Key words: perceptual quality evaluation, audio signals, signal analysis.

УДК 534.31
ГРНТИ 29.37.19

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИММЕРСИВНОГО ЗВУКА ДЛЯ МЕДИАСРЕДЫ

С. Л. Федоров, Р. Т. Хафизов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Иммерсивный звук сегодня становится неотъемлемой частью современной медиаиндустрии, предлагая новые способы создания глубины и объемности аудиоконтента. Благодаря технологиям объемного звучания слушатели и зрители могут ощутить яркий эффект присутствия. Такой подход к звуковому сопровождению активно внедряется в киноиндустрию, игры и виртуальную реальность.

иммерсивный звук, пространственный звук, звуковое оформление, 3D-звук, восприятие звука

Введение

«Эффект погружения» в контексте иммерсивного звука относится к созданию ощущения присутствия, когда звук воспринимается не просто как фоновое сопровождение, а как часть окружающей среды, поглощающей слушателя со всех сторон. Это достигается с помощью технологий, которые позволяют звуку охватывать пространство и направлять его в различные точки вокруг слушателя, создавая иллюзию объемности и глубины.

Психоакустика - наука о восприятии звука, играет ключевую роль в создании иммерсивного звука. Люди способны воспринимать направление и расстояние источников звука благодаря таким феноменам, как интерзвуковые различия (разница во времени и интенсивности звука, достигающего каждого уха), а также эффекту головного затенения, который позволяет локализовать звук в горизонтальной и вертикальной плоскости. Эти принципы позволяют создавать аудиоконтент, который воспринимается как живое и многослойное пространство, поглощающее слушателя в свое окружение.

Существует много тонкостей при обработке аудиоконтента с использованием таких технологий. В зависимости от целей и самой сути контента звуки могут быть «расположены» по-разному. Например, если звукорежиссер работает над звуковым оформлением экшн-сцены в фильме или игре, ему следует

оформить широкую и динамичную картину звуков – ширина сцены передает масштабность происходящего, а динамика – напряжение.

Ключевые технологии создания иммерсивного звука

Одними из самых популярных форматов объемного звучания являются Dolby Atmos и DTS, которые обеспечивают звуковое пространство, в котором звук может двигаться не только по горизонтали, но и по вертикали. Dolby Atmos, например, использует объектно-ориентированный подход, где каждый источник звука воспринимается как независимый объект, размещаемый в трехмерном пространстве, что позволяет создавать более точную и реалистичную звуковую картину. Этой технологии уже более 30 лет. Изначально использовалось 6 каналов аудио по схеме 5.1. Затем развитие технологии позволило использовать Dolby Digital и в домашней электронике. После выхода Dolby Digital появилось еще несколько улучшенных версий, вплоть до актуальной Dolby Atmos с 10 каналами аудио по схеме 9.1. Для полноценного Dolby Atmos необходимы дополнительные потолочные динамики.

DTS также позволяет работать с объектами, но отличается большей гибкостью в настройках системы воспроизведения, что делает его удобным для различных типов звуковых устройств. Эта технология всего на 1 год младше ранее упомянутой и была разработана в качестве альтернативы. Последняя ее версия, DTS: X, является технологией объектно-ориентированного звука, и для ее реализации дополнительные потолочные динамики не нужны, так как она реализуется по схеме 7.1.

Еще одной технологией для записи и воспроизведения объемного звука является бинауральная запись технология, предназначенная для создания 3D-звука при прослушивании через наушники [1]. Суть метода заключается в записи звука с использованием специальных микрофонов, расположенных в ушных каналах модели головы, что позволяет воссоздать точные интерзвуковые различия и эффекты пространственного восприятия. При воспроизведении через наушники такая запись создает иллюзию нахождения звуковых источников вокруг слушателя, даже если они расположены в разных частях окружающего пространства. Принцип работы этой технологии основан на бинауральном эффекте – способностью человека определить источник звука в пространстве, основываясь на акустических деформациях, создающихся при прохождении звука сквозь тело человека. Например, если звук приходит снизу, акустическую деформацию звуковой волны создают наши ноги и туловище. Если источник звука находится сверху, то препятствием становятся голова и уши. Именно эта

деформация, сформировавшаяся в нашем восприятии за тысячи лет эволюции, позволяет мозгу определять направление звука, даже когда мы стоим с закрытыми глазами. Симуляцию таких деформаций и пытаются воссоздать разработчики технологии бинауральной записи, а наушники, поддерживающие такую технологию, не только определяют положение виртуальных источников звука в зависимости от положения головы, но и накладывают на аудиоволну специальные «шероховатости» для создания такого «живого» эффекта присутствия.

Ambisonics – это еще один подход к созданию объемного звука, который использует сферическую модель пространства для записи и воспроизведения звука. В отличие от традиционных технологий, Ambisonics позволяет охватывать весь звуковой спектр, создавая эффект полного погружения и обладая гибкостью в настройке звуковых объектов в трехмерном пространстве. Эта технология широко применяется в виртуальной реальности, где важен высокий уровень интерактивности и точности восприятия окружающего мира, а также в специализированных аудиовизуальных проектах и музыкальных установках [2].

Применение иммерсивного звука в медиаиндустрии

В кино и в телевидении объемный звук играет ключевую роль в создании атмосферы и усилении зрелищности контента. Использование технологий вроде Dolby Atmos позволяет звуковым эффектам перемещаться в пространстве, что делает восприятие фильма более динамичным и насыщенным [3]. Это особенно важно в экшен-сценах или фильмах ужасов, где звук усиливает эмоции, создавая ощущение присутствия в происходящем. Объемный звук также помогает глубже передать атмосферу мира фильма, делая его более реальным и многогранным.

В игровой индустрии иммерсивный звук является неотъемлемой частью создания эффекта присутствия. Он помогает игрокам не только ощущать себя внутри виртуальной реальности, но и ориентироваться в игровом мире. Звуковые эффекты, такие как шаги врага, движения объектов или атмосферные звуки, помогают игрокам сориентироваться в пространстве, улучшая навигацию и повышая уровень взаимодействия с окружающим миром. Это способствует более глубокому погружению в игру и повышению ее реалистичности.

Для виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) создание иммерсивного звука становится особенно важным, поскольку эти технологии предполагают полное погружение пользователя в новый мир. Звук в VR/AR должен быть синхронизирован с визуальными эффектами, чтобы создавать ощу-

щение реальности происходящего. С помощью бинауральных и объемных технологий можно точно воспроизвести звуки, которые окружают пользователя со всех сторон, что позволяет ему ощущать присутствие в созданной среде, будь то прогулка по чуждой планете или взаимодействие с объектами в дополненной реальности.

На концертных и театральных площадках иммерсивный звук также находит свое применение, усиливая восприятие живых выступлений. В таких случаях он помогает создать более глубокое ощущение связи между зрителем и исполнителем. Например, объемный звук может переносить зрителя с одного места на другое, усиливать эмоциональный эффект музыки или театральных постановок, а также создать уникальное аудиовизуальное взаимодействие, которое невозможно воспроизвести с помощью традиционных звуковых технологий.

Вызовы и перспективы

Один из главных вызовов при воспроизведении иммерсивного звука в домашних условиях – это отсутствие необходимого оборудования. Для полного погружения в объемное звучание требуется система с несколькими динамиками, поддерживающая форматы типа Dolby Atmos или DTS. Однако такие системы часто бывают дорогими и требуют специальной настройки. В случае с бинауральным звуком, хотя он доступен через наушники, качество восприятия может зависеть от качества самой записи и оборудования. Также существует проблема ограниченности пространства, где полноценное акустическое распределение звука затрудняется, особенно в условиях малогабаритных помещений.

Будущие тенденции в области иммерсивного звука связаны с развитием устройств для виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR). Технологии VR/AR будут все больше требовать интеграции точного и качественного объемного звука для усиления эффекта погружения. Ожидается рост мобильных решений для воспроизведения иммерсивного звука, таких как улучшенные наушники с бинауральным звучанием, а также усиление качества звука в мобильных устройствах. Вдобавок, будет развиваться использование технологии пространственного звука в разнообразных сферах, от игр и кино до образовательных и медицинских приложений.

Заключение

Иммерсивный звук уже играет важную роль в медиаиндустрии, улучшая восприятие контента и создавая новые уровни взаимодействия с аудиторией. Технологии объемного звучания, бинауральных и Ambisonics записей становятся неотъемлемой частью современных мультимедийных решений. Несмотря на существующие вызовы, такие как дороговизна оборудования и ограничения в домашних условиях, будущее этой технологии обещает большие возможности. С развитием устройств для VR/AR и улучшением мобильных решений иммерсивный звук продолжит расширять границы медиа, предлагая пользователям все более захватывающие и реалистичные аудиовизуальные переживания.

Список используемых источников

1. Как работает пространственный звук? Объясняем. URL: https://rozetked.me/articles/15561-kak-rabotaet-spatial-audio?ysclid=m3d5i5hiqh424766342/ (дата обращения 11.11.2024).
2. Baxter D. Immersive Sound Production. M. R outledge, 2022. 215 p.
3. Fonseca N. All you need to know about 3D AUDIO. Sound particles, 2020. 40 p.

Fedorov S., Khafizov R. **BASICS AND TECHNOLOGIES OF CREATING IMMERSIVE SOUND FOR MEDIA ENVIRONMENTS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Immersive sound has become an integral part of the modern media industry, offering new ways to create depth and volume in audio content. Thanks to spatial sound technologies, listeners and viewers can experience a vivid sense of presence. This approach to sound design is actively being integrated into the film industry, video games, and virtual reality.

Key words: Immersive sound, spatial sound, sound design, 3D sound, audio perception.

1.5. Мультисервисные телекоммуникационные системы и технологии

УДК 004.054
ГРНТИ 49.34.06

АНАЛИЗ СРЕДСТВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ WFM

Т. В. Болотов, С. В. Кисляков, А. В. Лейкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе исследуются средства нагрузочного тестирования, применяемые для оценки производительности и устойчивости систем управления рабочими процессами. Основные выводы и рекомендации могут быть реализованы в практике создания и тестирования систем, что обеспечит их надежность и высокую производительность в условиях реальной эксплуатации.

нагрузочное тестирование, WFM, JMeter, Gatling, производительность

В современных условиях цифровизации и глобализации, системы управления и распределения рабочего времени (WFM) становятся критически важными для организаций. Они позволяют оптимизировать графики работы, управление кадровыми ресурсами и повышать общую производительность бизнеса [1], что представлено на рис. 1. Однако с ростом объемов обрабатываемых данных и увеличением количества пользователей, функционирование таких систем может обеспечиваться только при помощи эффективного нагрузочного тестирования. Например, в компании с тысячами сотрудников, где WFM-система должна обрабатывать запросы на изменения графиков, отпусков и расчетов заработной платы, отказ или замедление работы системы может привести к значительным финансовым потерям.

Основной целью данной работы является изучение и сравнительный анализ существующих средств нагрузочного тестирования, применимо к системам WFM. Задачи включают:

1. Проведение обзора литературы по существующим методам и инструментам нагрузочного тестирования.

2. Выбор и применение нескольких инструментов для тестирования производительности выбранной WFM-системы.

3. Анализ результатов тестирования и предоставление рекомендаций на основе полученных данных.

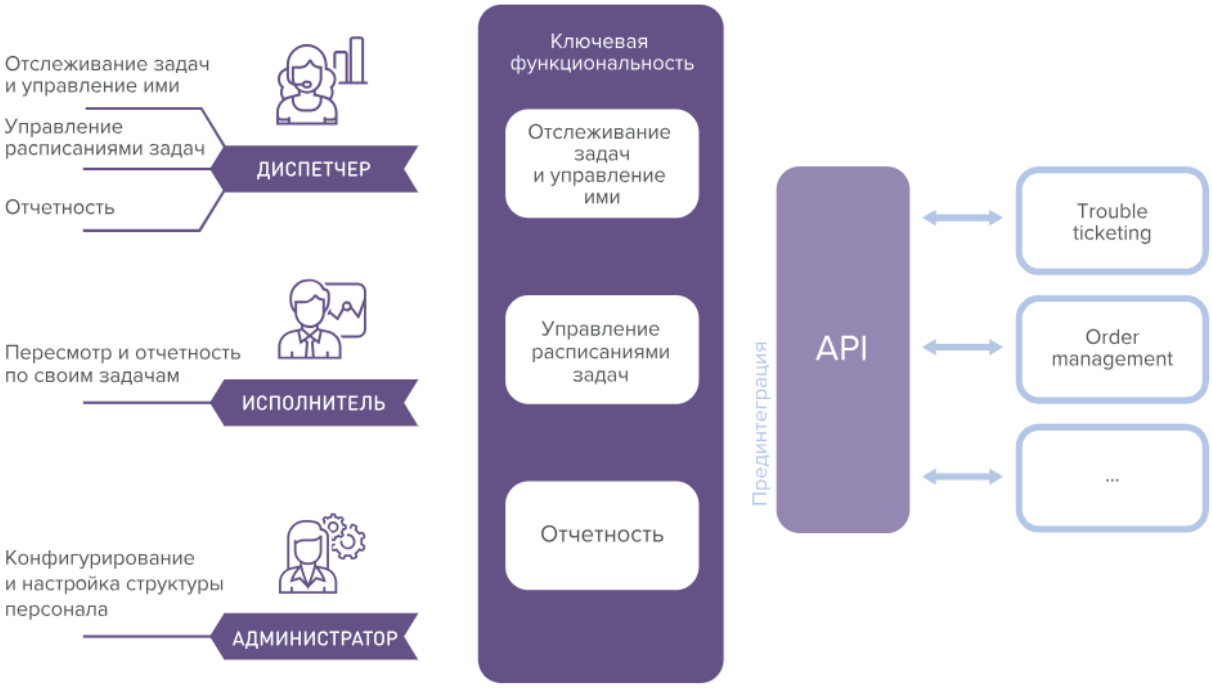


Рис. 1. Функциональная схема системы WFM на примере «АРГУС Workforce Management»

Основные понятия:

– *определение систем управления и распределения рабочего времени* (WFM): WFM-системы (Workforce Management) включают в себя инструменты для планирования, управления и анализа рабочего времени сотрудников;

– *значение и цели нагрузочного тестирования.* Нагрузочное тестирование направлено на проверку работы систем в условиях повышенной нагрузки. Его целью является определение пределов производительности системы, выявление «узких мест» и обеспечение ее надежной работы под максимальной нагрузкой;

– *применение нагрузочного тестирования для систем WFM.* Для WFM-систем, особенно критично проведение нагрузочных тестов для обеспечения высокой надежности и производительности.

Нагрузочное тестирование является одним из ключевых этапов в тестировании программного обеспечения. Этот процесс позволяет проверить стабильность, производительность и эффективность системы при различных уровнях нагрузки. Существует множество методов нагрузочного тестирования, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества. В данной части статьи я рассмотрю основные методы нагрузочного тестирования, их применение и особенности работы [2].

Нагрузочное тестирование (Load Testing). Проверка системы под заданной нагрузкой. Например, с помощью Apache JMeter можно имитировать 500 пользователей, одновременно вводящих данные о своем рабочем времени.

Стресс-тестирование (Stress Testing). Проверка пределов системы путем создания ситуаций сверх нормального рабочего объема. Например, тестирование WFM-системы путем моделирования сценария, когда вся команда одновременно пытается сделать выгрузку отчетов.

Тестирование масштабируемости (Scalability Testing). Определение способности системы увеличивать свою производительность при увеличении ресурсов. Например, использование Gatling для проверки, будет ли система продолжать работать при увеличении числа пользователей с 1000 до 2000.

Тестирование стабильности (Stability Testing). Проверка стабильности системы в ходе длительных тестов с постоянной нагрузкой. Пример - использование Neoload для моделирования нагрузки на WFM-систему в течение 24 часов непрерывной работы.

Особенности нагрузочного тестирования систем WFM: WFM-системы работают с важными паузами, такими как смены, перерывы и отпуска. В них часто заложены сложные алгоритмы учета рабочего времени, обработки данных и расчетов. Поэтому, нагрузочные тесты должны учитывать такие сценарии, как массовое обновление данных, расчет новых графиков работы и т. д. [3].

Для экспериментальной части были выбраны Gatling [4] и Apache JMeter [5], так как оба являются бесплатными или имеют пробные версии. В качестве системы WFM была взята система группы компаний «ПРОТЕЙ». Исходные данные для обоих инструментов были одинаковыми:

1. Number of Threads (количество потоков) = 100.
2. Loop Count (количество итераций) = 15.
3. Ramp-Up Period = 100.

В результате симуляций были получены следующие результаты (рис. 2–5).

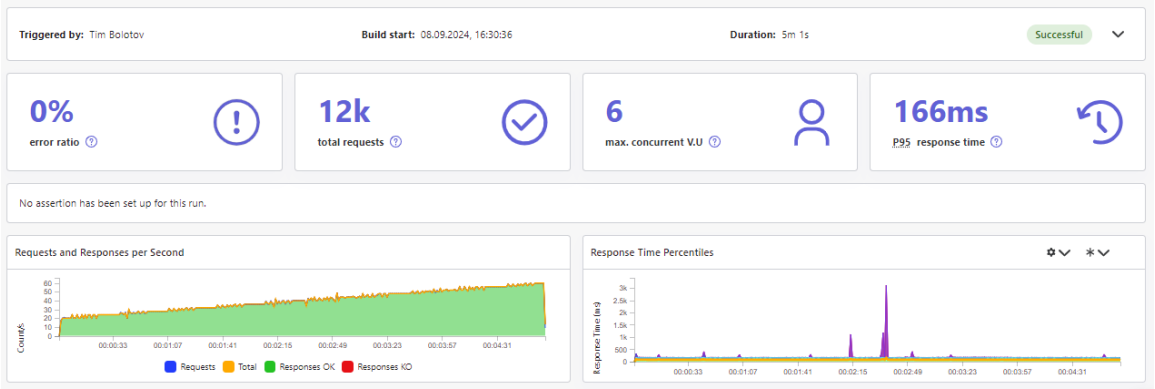


Рис. 2. Результат тестирования системы WFM с помощью инструмента «Gatling»

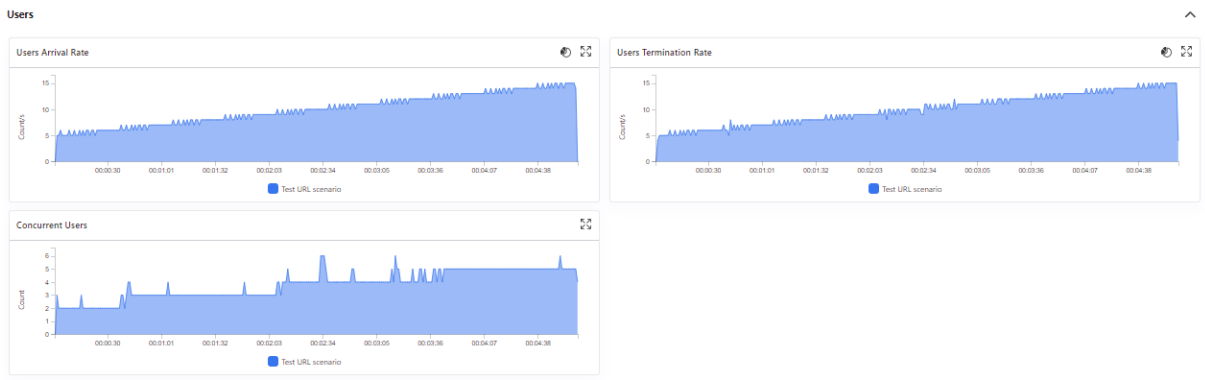


Рис. 3. Результат тестирования системы WFM с помощью инструмента «Gatling». Раздел «Пользователи»

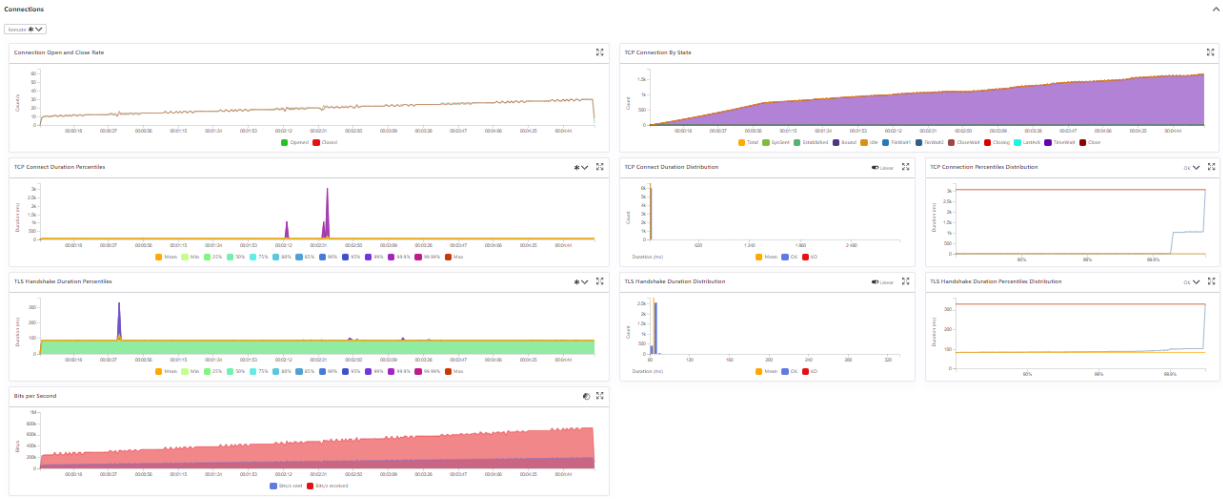


Рис. 4. Результат тестирования системы WFM с помощью инструмента «Gatling». Раздел «Подключения»

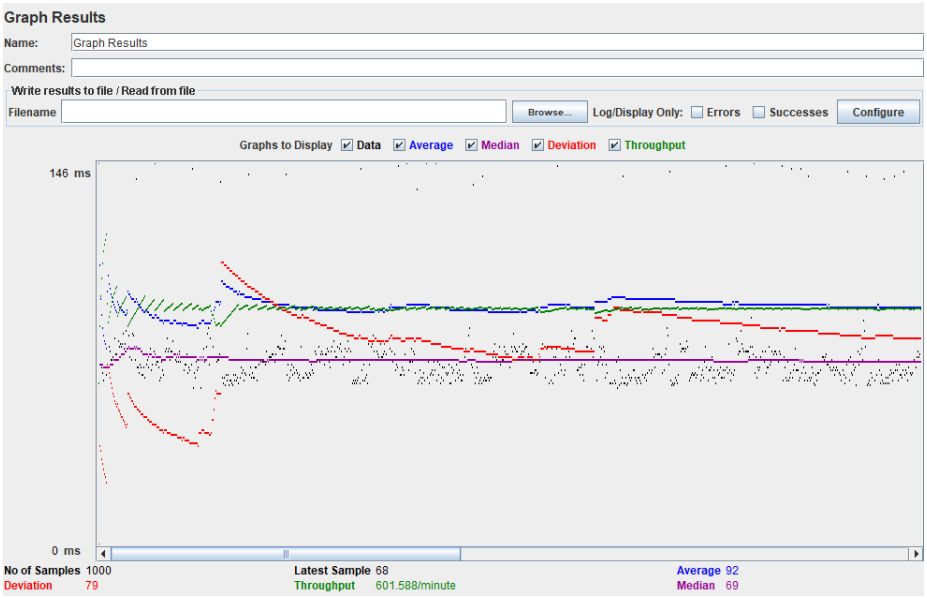


Рис. 5. Результат тестирования системы WFM с помощью инструмента «Gatling». Раздел «Подключения»

Исходя из полученных графиков и результатов, можно сказать, что сервер и сама тестируемая система обладают хорошей производительностью. Это видно на рисунке 5, на 601,588 запросов в минуту отклонение составило всего 79 (для сравнения у Google количество запросов составило 1491,193, а отклонение 577).

Так же из полученных результатов было обнаружено, что «JMeter» обеспечивает лучшую производительность при моделировании большого числа запросов (рис. 5), тогда как «Gatling» предоставляет более детализированные результаты анализа (рис. 2–4).

На основании проделанного исследования при выборе средств для проведения нагрузочного тестирования рекомендуется использовать комбинированный подход, который включает предварительную настройку на «JMeter» и детальное последующее тестирование на «Gatling».

Перспективным направлением может стать использование искусственного интеллекта для автоматизации и оптимизации нагрузочного тестирования WFM-систем.

Список используемых источников

1. АРГУС WFM. Общее описание. URL: https://argustelecom.ru/files/documents/argus-wfm.pdf (дата обращения 15.10.24).
2. OSS-TMM: Guidelines for Improving the Testing Process of Open-Source Software. URL: https://www.researchgate.net/publication/310775976_OSS-TMM_Guidelines_for_Improving_the_Testing_Process_of_Open_Source_Software (дата обращения 16.10.24).
3. Кузнецов Д. Эффективные подходы к нагрузочному тестированию веб-приложений. Издательство Питер, 2019.
4. gatling.io. gatling enterprise cloud.gatling.io [электронный ресурс] (дата обращения 16.10.24).
5. jmeter.apache.org [электронный ресурс] (дата обращения 16.10.24).

Bolotov T., Kislyakov S., Leikin A. **ANALYSIS OF LOAD TESTING TOOLS FOR WFM SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the load testing tools used to assess the performance and stability of workflow management systems. The main conclusions and recommendations can be implemented in the practice of creating and testing systems, which will ensure their reliability and high performance in real-world operation.

Key words: Load testing, WFM, JMeter, Gatling, performance.

УДК 519.876.5
ГРНТИ 20.53.23

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ V2X-СИСТЕМ

А. Г. Владыко, Г. И. Тамбовцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе рассматриваются популярные подходы к моделированию взаимодействий в системах V2X, а также сложности, связанные с их реализацией, с использованием стороннего программного обеспечения. Особое внимание уделяется разработке авторского программного обеспечения, созданного в рамках научно-исследовательской работы. В работе обсуждаются преимущества новой версии разрабатываемого программного обеспечения, включая учет реальных характеристик передачи данных, поддержку более точного моделирования затухания и шума, реализацию пакетной передачи данных и интеграцию с реальными картографическими данными.

VANET, Vehicle-to-Everything, моделирование, программное обеспечение, сравнительный анализ

Введение

В последние десятилетия автомобильная промышленность претерпела стремительный рост, и ее экономическое и социальное влияние продолжает расширяться. Развитие электроники и коммуникационных технологий позволило сделать транспортные средства более интеллектуальными. Современные автомобили, оснащенные бортовыми устройствами (OBU), способны взаимодействовать как с дорожной инфраструктурой, например, с придорожными устройствами (RSU), так и друг с другом. Это формирует обширную коммуникационную сеть, которую разделяют на следующие категории: Vehicle-to-Everything (V2X), Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I). Данные подсистемы считаются одними из ключевых технологий следующего поколения интеллектуальных транспортных систем (ITS). Важной составляющей решения этих проблем является эффективное моделирование V2X систем. Однако на сегодняшний день существует ограниченное количество инструментов, способных обеспечить комплексное моделирование данных систем с учетом современных требований Интернета вещей (IoT). Большинство существующих решений либо имеют ограниченную функциональность, высокую комплексность кода, либо не учитывают специфику IoT устройств и протоколов, что затрудняет проведение детальных исследований и тестирований.

Обзор существующих программных решений

Воспользовавшись сравнительным анализом в [1], опишем наиболее встречаемое программное обеспечение для моделирования V2X систем.

OMNET++ – это модульная и расширяемая среда для моделирования сетей, написанная на языке C++. Она широко используется для моделирования различных типов сетевых протоколов и технологий передачи данных. Благодаря своей модульной архитектуре OMNET++ позволяет пользователям разрабатывать сценарии и гибко настраивать параметры моделирования. Для моделирования V2X взаимодействия требуется использовать ряд дополнительных модулей [2].

SUMO (Simulation of Urban MObility) – используется для моделирования дорожного трафика – движения транспортных средств в городских условиях. Это гибкий инструмент, который позволяет моделировать разные аспекты дорожных сетей, такие как перекрестки, светофоры, потоки движения, и взаимодействие транспортных средств [3].

VEINS – это фреймворк, предназначенный для моделирования V2X систем [4]. VEINS тесно интегрирован с SUMO для моделирования дорожного трафика и OMNET++ для моделирования сетевых взаимодействий между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, такими как RSU.

Вышеперечисленные инструменты интегрируются и взаимодействуют друг с другом. По отдельности невозможно построить достаточную модель. Очень важно отметить связанность между фреймворками/библиотеками между собой, поскольку это значительно повышает сложность в изучении и разработке. Если для SUMO достаточно документации и инструкций, то для VEINS, наоборот – не хватает.

Рассматривая другие программы, можно также упомянуть про связку NetSim и SUMO, а также про AnyLogic в отдельности.

Хоть AnyLogic [5] и является хорошим инструментом для моделирования, но с трудом подходит для решения V2X задач, поскольку требует большого количества модификаций.

NetSim – это специализированная программная платформа для моделирования сетей, которая поддерживает различные типы сетевых технологий, включая V2X. NetSim предоставляет готовые решения для моделирования сетевых протоколов и сценариев, включая взаимодействие транспортных средств и дорожной инфраструктуры. Как OMNET++ и INET, NetSim может моделировать различные типы сетей, такие как 802.11p [6], LTE, 5G и другие. Это полезно для анализа влияния различных типов сетевой инфраструктуры на транспортные системы [7].

Авторское программное обеспечение

Рассматривая описанные выше программы: их доступность и возможность использования, возникает вопрос о сложности и, в ином случае, оптимальности их использования, в сравнении с созданием авторского ПО. Очень важно понимать,

что модульность описанных выше программ, хоть и является преимуществом, но значительно повышает сложность в создании модели, т. к. требует досконального изучения каждого модуля, что зачастую можно приравнять к сложности создания собственного ПО. Один из важных аспектов при моделировании V2X – это реактивность транспортных средств на изменения дорожной ситуации с последующим перестроением маршрута [8].

Таким образом, в рамках научной работы, была создана авторская программа для моделирования V2X систем [9].

Первоначально, в разработанной нами программе использовались упрощенные вероятностные модели для оценки потерь данных, при этом не учитывались реальное затухание сигнала и шум. Размер передачи данных также не учитывался, передача осуществлялась мгновенно с применением комбинации случайного и константного временного интервала. Карты создавались вручную с использованием инструмента Godot–TileMap [10], что ограничивало реализм сценариев моделирования. Кроме того, отсутствовала возможность моделирования связи между RSU и ES; предполагалось, что RSU получает ответ гарантированно через определенный промежуток времени. Движение транспортных средств моделировалось в упрощенном виде: транспортные средства могли двигаться беспрепятственно в любом направлении, без учета создания дорожных заторов. Настройка параметров моделирования была доступна исключительно через интерфейс системы. Среди функционала также предусматривалось построение карты нагрузки («heatmap») и расчет энергозатрат на обработку запроса с использованием случайной величины.

Рассмотрим изменения в текущей версии авторского программного обеспечения, основные элементы которого представлены на рисунке 1.

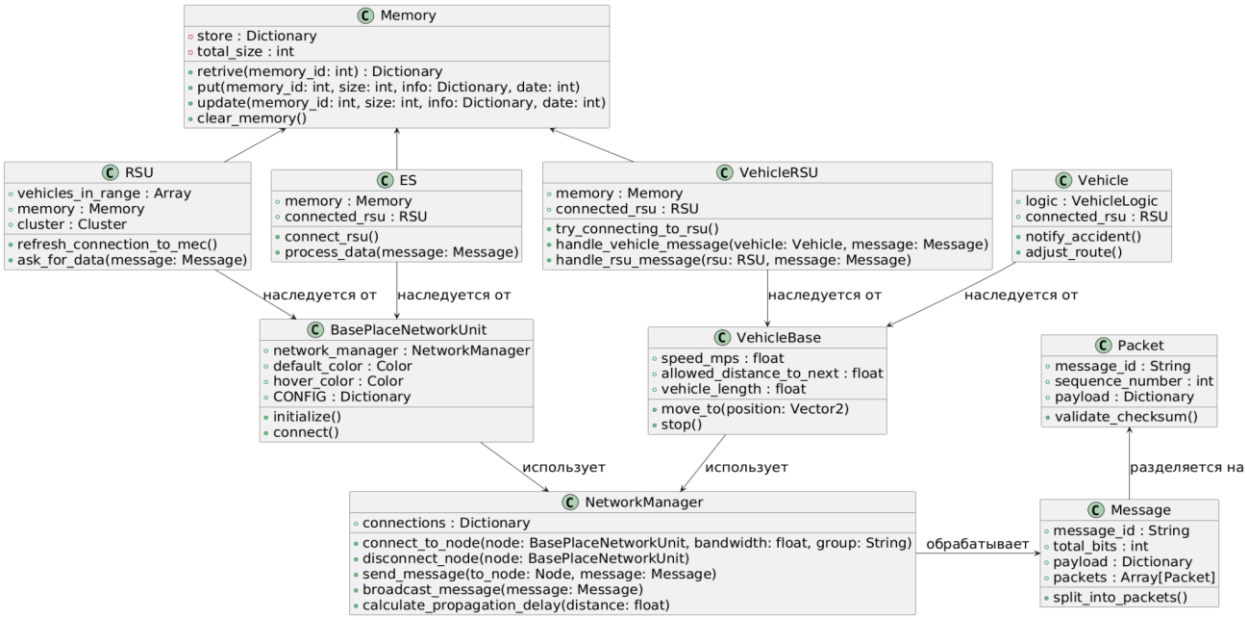


Рис. 1. Основные компоненты авторского ПО и взаимодействие между ними

В обновленной версии программы был реализован учет реальных характеристик передачи данных, включая затухание сигнала и шум. Добавлена поддержка пакетной передачи данных с учетом размера сообщений и создания очередей на принимающей стороне. Графовая модель карты была построена на основе данных OpenStreetMap, что значительно повысило реализм моделирования. Связь между RSU и ES моделировалась с учетом реальной пропускной способности, например, для оптоволокна, что позволило получить более точные значения задержек передачи данных. Движение транспортных средств было улучшено: оно учитывает дорожную разметку и общий трафик, исключая возможность «проходить сквозь» другие транспортные средства. В сценариях также появилась возможность моделирования дорожных инцидентов, а настройка параметров моделирования стала доступной через файл конфигурации, предоставляя пользователям больше гибкости при работе с системой.

Программное обеспечение было реализовано на базе GDScript и Python. В новой версии акцент сделан на модульность системы, что облегчает интеграцию дополнительных решений. Основываясь на опыте работы NetSim и SUMO, взаимодействие между компонентами будет организовано через Socket-соединения. Это позволит в будущем использовать связку: Python для вычислений и Godot для визуализации.

Заключение

В данной статье был проведен анализ существующих подходов и инструментов для моделирования систем V2X, несмотря на широкий функционал этих программ, их использование часто сопряжено с высокой сложностью в адаптации под специфические задачи IoT и V2X систем. Добавление новых протоколов, таких как 802.11bd [11], и учет специфических сценариев взаимодействия, требует сложной адаптации или вовсе невозможны без значительных ограничений, при использовании стороннего программного обеспечения. Для преодоления данных сложностей было разработано авторское программное решение, развитие которого продемонстрировало значительные улучшения от первой к второй версии. Основные изменения включают учет реальных характеристик передачи данных, внедрение пакетной передачи, использование графовой модели карты, а также моделирование дорожных инцидентов и взаимодействий в реальных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по гранту No 24-29-00304.

Список используемых источников

1. Плотников П. В., Владыко А. Г. Анализ подходов к оптимизации V2X-систем: кластеризация, граничные и туманные вычисления // Труды учебных заведений связи, 2024. № 10 (3). С. 7–22. URL: https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-7-22. EDN: TRWNON.
2. SUMO (Simulation of Urban MObility). Официальный сайт. URL: https://eclipse.dev/sumo/ (дата обращения 24.10.2024).
3. OMNET++ Discrete Event Simulator. Официальный сайт. URL: https://omnetpp.org/ (дата обращения 24.10.2024).
4. VEINS: Vehicle in Network Simulation. Официальный сайт. URL: https://veins.car2x.org/ (дата обращения 24.10.2024).
5. AnyLogic: Multimethod Simulation Software. Официальный сайт. URL: https://www.anylogic.com/ (дата обращения 24.10.2024).
6. IEEE 802.11p: стандарт для связи в V2X-системах. Официальный сайт. URL: https://standards.ieee.org/ieee/802.11p/3953/ (дата обращения 24.10.2024).
7. NetSim: Network Simulator. Официальный сайт. URL: https://tetcos.com/software.html (дата обращения 24.10.2024).
8. Plotnikov P. V., Tambovtsev G. I., Vladyko A. G. Evaluating the performance of using mobile roadside units for task offloading in v2x systems. // Proceedings of the Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED, 13–15 November 2024, Moscow, Russian Federation. IEEE.
9. Плотников П. В., Тамбовцев Г. И., Владыко А. Г., Программный модуль моделирования взаимодействия объектов V2X системы. Пат. 2024667125 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (RU). – № 2024664549; заявл. 25.06.2024; опубл. 22.07.2024
10. Godot. Официальный сайт. URL: https://godotengine.org/ (дата обращения 24.10.2024).
11. IEEE 802.11bd: Официальный сайт. URL: https://standards.ieee.org/ieee/802.11p/3953/ (дата обращения 24.10.2024).

Vladyko A., Tambovtsev G. **SOFTWARE FOR V2X SYSTEM SIMULATIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This work explores popular approaches to simulating interactions in V2X systems and the challenges associated with their implementation using third-party software. Special attention is given to the development of custom software created as part of a research project. The work highlights the advantages of the new version of the developed software, including consideration of real data transmission characteristics, support for more accurate modeling of signal attenuation and noise, implementation of packet-based data transmission, and integration with real cartographic data.

Key words: VANET, Vehicle-to-Everything, simulation, software, comparative analysis.

УДК 004.75
ГРНТИ 20.53.19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В БИЛЛИНГОВЫХ СИСТЕМАХ С ПОДДЕРЖКОЙ СТАНДАРТА BCE

В. С. Елагин, В. В. Жаворонкова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

С развитием технологий, внедрением сетей 5G и широким использованием IoT-устройств операторы сталкиваются с необходимостью поддержки этих услуг в роуминге. В ответ на это ассоциация GSMA разработала стандарт BCE для обеспечения межоператорской тарификации роумингового трафика с поддержкой новых типов услуг. Для повышения прозрачности и автоматизации расчетных процессов и формирования межоператорских счетов предлагается использовать технологию блокчейн.

BCE, Billing Charging Evolution, Телекоммуникации, Блокчейн, 5G, IoT

Операторы связи в качестве межоператорской тарификации услуг роуминга до 2018 года использовали стандарт TAP, разработанный некоммерческой ассоциацией GSMA. В его основе заложен принцип обмена детальными данными по вызовам (Call Data Record, далее – CDR) между операторами для использования в роуминговых сценариях. TAP – это формат, который создается оператором, предоставляющим услуги роуминга, и отправляется домашнему оператору визитера. В нем содержатся расходы, которые абонент совершил, находясь в роуминге [1].

В начале времен GSM предоставлял только голосовые вызовы. Это означало, что единственными услугами, которые абонент мог потреблять во время роуминга, были только входящие и исходящие голосовые вызовы, счет за которые выставлялся в конце каждого месяца. По мере развития технологической сети оператора и расширения спектра услуг, стало очевидно, что стандарт TAP не сможет справиться со стремительно растущим трафиком данных в роуминге, концепцией разделения розничной (абонентской) и оптовой (операторской) тарификации, а также необходимости поддержки новых видов трафика [2].

С 2019 года ассоциации GSMA заявила о прекращении развития стандарта TAP и представила новый стандарт BCE – Billing Charging Evolution для сетей нового поколения 5G. Стандарт был разработан для обеспечения оптовых взаиморасчетов, которые будут включать в себя новые модели тарификации, свойственные для услуг 5G и IoT. Основной принцип – работа не с каждым вызовом, а сборка агрегированных данных [2]. Биллинговая система может применять гибкие условия агрегации роумингового трафика, а также при-

менять персональные форматы тарификации, удобные для межоператорского взаимодействия. За счет такого подхода оператор может лучше монетизировать свои услуги. Например, в IoT трафике пакеты содержат очень малый объем информации, и если мы будем оценивать стоимость межоператорского взаимодействия через процедуру TAP – каждая сессия будет содержать настолько малый объем данных, что в процессе сверки стоимость такого обмена будет достигать нулевую стоимость [3].

BCE стандарт содержит в себе следующие форматы файлов.

UDR – Usage Data Report. При роуминговом соглашении обслуживающая сторона может предоставить отчет о данных об использовании (UDR), состоящий из агрегированных данных об использовании за определенный период и по каждой услуге. Он не тарифицирован и не содержит никакой коммерческой информации. [4].

BSR – Billing Statement Report. В конце роумингового процесса обслуживающая сторона должна предоставить документ о выставлении счетов, как указано в соглашении. Это протарифицированный файл для выставления счетов, в котором суммируются расходы и налоги за период выставления счетов. Это XML-файл, содержащий подробную информацию об использовании и соответствующих расходах [4].

DDR – Detailed Data Record [4]. Детальные данные, которые переводятся из формата CDR в структуру, понятную биллинговой системе. DDR используются только для формирования UDR, либо отправляются партнеру в случае значительного расхождения в процессе сверки роумингового трафика.

Основные этапы:

1. Биллинговая система получает от партнерского оператора CDR и формирует стандартизированный агрегированный файл (Usage Data Report) по использованным визитерами услугам (вызовы, интернет, IoT и т. д.).

2. В системе происходит валидация на проверку соответствия роуминговому соглашению, проверка правил тарификации и агрегации. Целью проверки служит определение, верно ли собраны услуги в агрегированный файл, не внесены ли сторонние абоненты в список, не принадлежащие домашнему оператору.

3. В случае, если файл неверно сформирован, происходит Reject и Dispute процессы. Система запрашивает детальные данные по услугам (DDR) и на их основе сравнивает корректность выставленных агрегированных данных (UDR) с запросом на пересчет услуг.

4. Если были сформированы правильные данные об услугах, система формирует биллинговый счет (BSR), который отправлен оператору визитера.

5. Оператор инициирует проверку счета на наличие расхождений тарифных планов, проверку структуры и установку даты оплаты.

6. После получения подтверждения, система формирует электронный EID счет, который содержит необходимую коммерчейскую информацию по оплате межоператорской тарификации.

Для работы такого сложного процесса существует интерфейс технического обмена BCE, необходимый для поддержания коммерческого соглашения.

Все стороны роумингового взаимоотношения обязаны определить набор услуг с определенными моделями тарификации в соглашении, чтобы опередедлить тарифы, которые будут применяться к межоператорскому трафику. В нем будет содержаться коммерческая информация для составления отчетов BCE и периодичности выставления счетов [2].

Представители каждой стороны обязаны согласовать коммерческую модель с набором правил, которые будут применяться к роумингову трафику, и набор технических параметров, регулирующих обмен отчетами BCE и определяющих процесс выставления счетов. Этот интерфейс будет служить в качестве справочной информации, определяющий правила обмена файлами между партнерами [4].

При разработке биллинговых систем с поддержкой стандарта BCE, многие разработчики отметили, что для автоматизации процессов BCE в качестве интерфейса подходит такая технология, как блокчейн. С помощью смарт-контрактов можно выполнять корректные расчеты в режиме реального времени. Также за счет прозрачности технологии можно ожидать более эффектные разрешения спорных ситуаций между операторами [3]. Пример архитектуры биллинговой системы с поддержкой блокчейна и стандарта BCE приведен на рисунке 1.

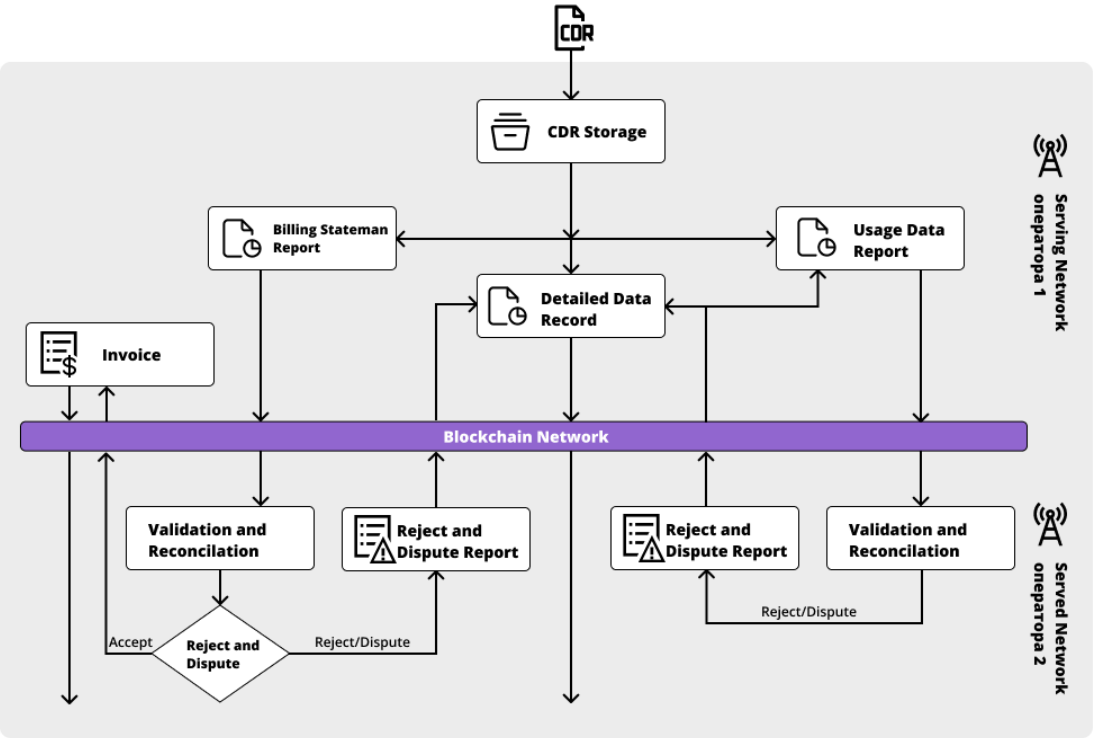


Рис. 1. Применение блокчейна в BCE

Основным преимуществом использования блокчейна в такой инфраструктуре является то, что с помощью смарт-контрактов можно оптимизировать процессы расхождения, который возникают в межоператорских взаиморасчетах. При получении входных файлов мы формируем транзакцию на добавление информации о необходимом оптовом платеже. После сверки ВСЕ файлов в соответствии с прописанным в смарт-контракте роуминговом соглашении транзакция либо отвергается, либо заносится в блок и вносится в общую базу операторских счетов. Причиной возникновения споров между операторами чаще всего являются несоответствие тарифов между двумя сторонами, с помощью блокчейна можно исключить эту проблему засчет единого распределенного реестра [3].

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что перспективы развития роуминга демонстрируют стремление операторов к оптимизации процессов взаиморасчетов с помощью использования новых технологий. Применение ВСЕ позволяет операторам автоматизировать систему расчетов, обеспечивая более высокую точность и гибкость в тарифных отношениях, что особенно актуально в условиях растущей конкуренции и изменения потребительских предпочтений на фоне использования интернет-трафика. В добавок, биллинговая система с поддержкой ВСЕ стандарта также упрощает обработку роуминговых данных и позволяет лучше управлять оценкой трафика, что способствует повышению эффективности.

Также следует отметить преимущества использования блокчейна в системах с поддержкой ВСЕ. Технология предоставляет уникальные возможности для создания прозрачных и безопасных транзакций в виде финансовых отчетов. Благодаря внедрению смарт-контрактов и децентрализованных сетей операторы минимизируют вероятность ошибок и повышает доверие в отношении партнеров, снижая риски мошенничества и обеспечивая быстрое разрешение споров. Эти преимущества делают технологию наиболее востребованной для разработки современных решений по поддержке роуминга.

Интеграция этих взаимодополняющих технологий открывает операторам пути к получению стратегических конкурентных преимуществ на рынке. Совместное использование стандарта ВСЕ и блокчейна позволяет не только упростить межоператорское взаимодействие, но и существенно сократить операционные расходы, влияющие на увеличение прибыли. В условиях стремительного развития телекоммуникационных технологий и усиления глобальной мобильности абонентов, операторы, внедряющие эти технологии, гарантируют быструю адаптацию к изменениям рынка.

Список используемых источников

1. GSMA. International roaming explained // gsma.com, 2012. URL: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/wp-content/uploads/2012/09/Asia-International-roaming-explained-English.pdf (дата обращения 12.11.24).
2. Tomia Global. Billing and Charging Evolution. URL: https://tomiaglobal.com/billing-and-charging-evolution (дата обращения 12.11.2024).
3. TAdviser. Nexign Billing and Charging Evolution (BCE). URL: https://www.tadviser.ru/index.php/ %D0 %9F %D1 %80 %D0 %BE %D0 %B4 %D1 %83 %D0 %BA %D1 %82:Nexign_Billing_and_Charging_Evolution_ %28BCE %29 (дата обращения 18.11.2024).
4. GSMA. Billing and Charging Evolution // gsma.com., 2023. URL: https://www.gsma.com/get-involved/working-groups/interoperability-data-specifications-and-settlement-group/billing-and-charging-evolution/ (дата обращения 12.11.24).

Elagin V., Zhavoronkova V. **APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN BCE BILLING SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

With the development of technology, the introduction of 5G networks and the widespread adoption of IoT devices, operators have been forced to support these services in roaming. In recognition of this, the GSMA has developed the BCE standard to enable inter-operator charging of roaming traffic with support for new types of services. It is proposed to use blockchain technology to increase transparency and automate settlement and inter-operator billing processes.

Key words: BCE, Billing Charging Evolution, Telecommunication, blockchain, 5G, IoT.

УДК 621.396.99
ГРНТИ 49.33.29

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫМИ ПОСТАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

В. С. Елагин, А. А. Кузичкин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Оцениваются требования к пропускной способности сети передачи данных системы видеонаблюдения с пространственно-разнесенными постами видеонаблюдения для наихудших условий пропуска видеотрафика от внутренних и внешних видеокамер. Приведена методика определения требуемой пропускной способности сети передачи данных на примере системы видеонаблюдения большого корабля.

система видеонаблюдения, мультикаст, кольцевая структура сети передачи данных

Рассматриваются системы видеонаблюдения с пространственно-распределенными постами видеонаблюдения (СВНПР). Такие системы видеонаблюдения используются на крупных судах различного назначения [1,2], на железнодорожных составах [3] специального назначения, а также на объектах позиционных районов вооруженных сил.

В общем случае рассматриваемая система видеонаблюдения состоит из нескольких постов видеонаблюдения, объединенных сетью передачи данных, построенной, как правило, по топологии «кольцо». Каждый отдельный пост видеонаблюдения обеспечивает видеоконтроль за обстановкой внутри и снаружи поста. В системе видеонаблюдения имеется центральный пост, который собирает наиболее важную видеоинформацию от отдельных постов видеонаблюдения, на основании которой осуществляется управление работой отдельных постов наблюдения и принимаются решения по изменению режимов работы системы, в интересах которой развернута данная система видеонаблюдения.

В отличие от традиционных систем видеонаблюдения рассматриваемая система обладает следующими важными особенностями:

1. В системе видеонаблюдения нет центра, куда стекаются для отображения на экранах видеосмотровых устройств видеопотоки полного разрешения от всех камерных установок;

2. Практически все видеопотоки от камерных установок постов видеонаблюдения отображаются на экранах видеосмотровых устройств, расположенных в том же посту видеонаблюдения. В штатном режиме с этих же видеосмотровых устройств осуществляется управление камерными установками;

3. На центральном посту управления системой видеонаблюдения должны отображаться по запросу видеопотоки от любой камерной установки системы, кроме того, с центрального поста системы в приоритетном порядке должно быть реализовано управление любой камерной установкой.

Примерный состав системы видеонаблюдения рассматриваемого типа приведен на рис. 1, где использованы следующие обозначения: ПВН – пост видеонаблюдения; ЦПВН - центральный пост видеонаблюдения; ЗКУ - камерная установка наружная; ВКУ - камерная установка внутренняя оптического диапазона: ИКВКУ - камерная установка внутренняя инфракрасного диапазона; СПН - световой прибор наружный; УВС – устройство видеосмотровое; СО - серверное оборудование; АРМО - автоматизированное рабочее место.

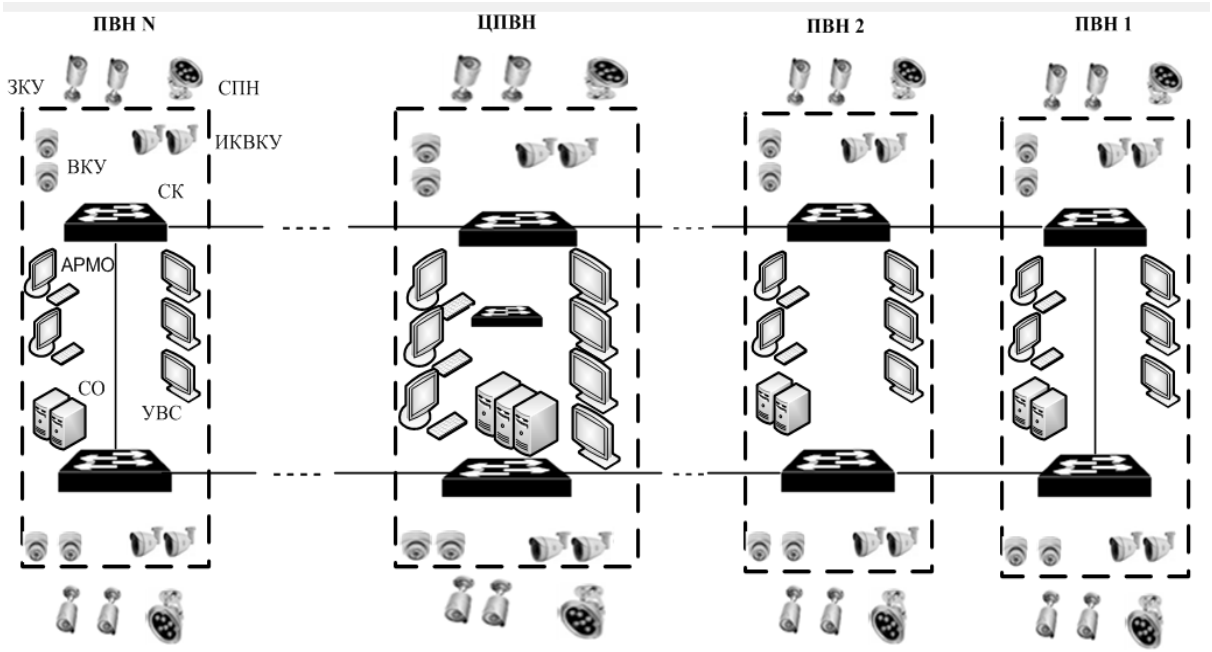


Рис. 1. Аппаратный состав системы видеонаблюдения с пространственно-разнесенными постами наблюдения

В работе рассматривается частный случай СВНПР – система видеонаблюдения большого корабля. Для определения предельных значений необходимой пропускной способности каналов сети передачи данных системы видеонаблюдения были приняты следующие предположения и допущения:

– количество ВКУ, ведущих видеонаблюдение в оптическом диапазоне, совпадает с количеством ВКУ инфракрасного диапазона;

– в Центральном посту размещено 5 УВС;

– все ЗКУ работают в оптическов диапазоне;

– видеопотоки полного (FHD) и малого (SD) разрешения от ВКУ оптического и ИК-диапазонов отображаются, в основном, на УВС, размещенных в тех же блоках помещений (герметичных отсеках), что и ВКУ. Исключение со-

ставляют потоки, которые запрашиваются для отображения на УВС Центрального поста;

– для определенности будем считать, что Центральный пост и сети передачи данных (СПД) размещены в блоке 4.

Для оценки требуемой пропускной способности СПД, при которой выполняются все стоящие перед СВНПР задачи, была предложена и использована следующая методика.

1. На основе схемы поблочного размещения оборудования СПД составлялась схема соединений составных частей СПД с указанием объемов трафика, пропускаемого по всем каналам СПД.

2. Для различных режимов работы составных частей СПД определялись наихудший режим работы и наихудший вариант размещения составных частей СВНПР по блокам помещений (отсекам), при которых наблюдается наибольший объем трафика, проходящий по каналам СПД. Фиксировался участок сети, по которому должны быть переданы видеопотоки с максимальной суммарной скоростью передачи. Величина этой максимальной скорости передачи и является искомым значением требуемой пропускной способности СПД.

3. Путем натурного моделирования определялись предельные возможности каналов СПД по пропуску видеопотоков и сигналов диагностики и управления, циркулирующих в СВНПР.

4. Найденное значение максимального объема трафика (наихудший случай) сравнивалось с предельными возможностями каналов сети по пропуску трафика. По результатам сравнения выносилось решение о возможности выполнения задач, стоящих перед СВНПР.

Исходные данные для оценки требуемой пропускной способности СПД: передача мультисервисной информации (видео, телеметрия и управление) в СПД реализована на основе следующих принципов: технология передачи данных - Ethernet; топология сети передачи данных – «звезда-кольцо»; метод передачи IP-трафика – мультикаст.

Исследуемая схема СПД приведена на рис. 2, на котором схематично приведены 18 сетевых коммутаторов, образующих кольцо передачи данных. В прямоугольниках показано количество ВКУ и ИКВКУ в каждом блоке помещений.

Нетрудно убедиться, что наибольшая информационная нагрузка на каналы МСПД создается при размешении УВС, на которых отображаются видеопотоки от ЗКУ, в последнем блоке объекта. Для получения верхней оценки требуемой пропускной способности МСПД будем рассматривать гипотетический случай размещения этих УВС в блоке №9.

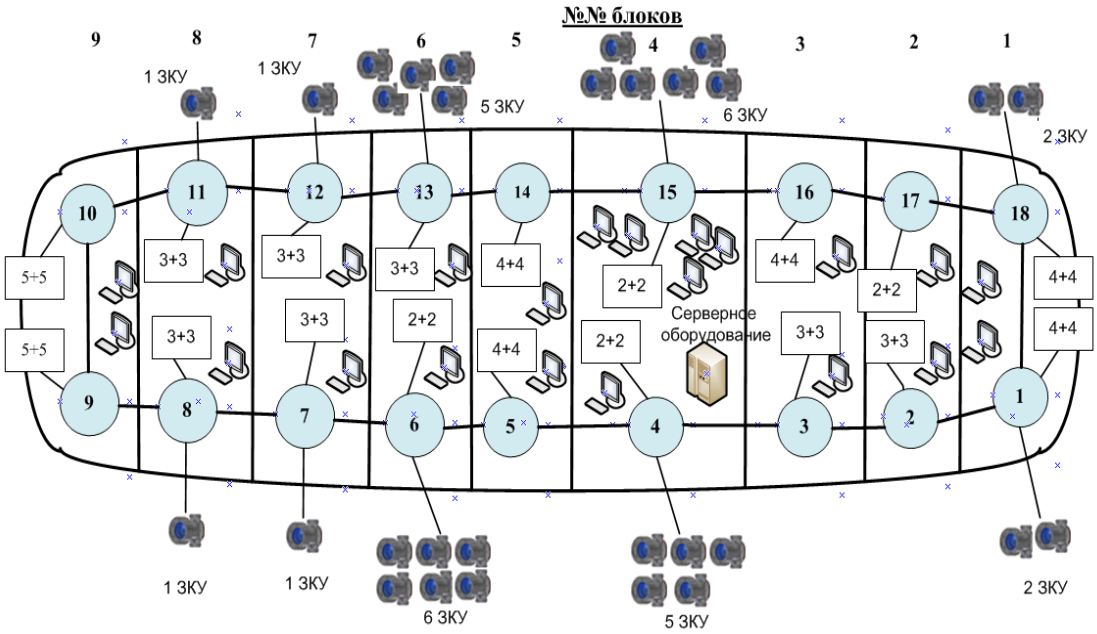


Рис. 2. Схема подключения и количественный состав ЗКУ и ВКУ при равномерном распределении КУ между сетевыми коммутаторами своего блока

В таблице 1 приведены результаты расчета нагрузки для участков СПД с наибольшим видеотрафиком при использовании в качестве ВКУ и ЗКУ видеокамер оптического диапазона со стандартными объективами и кодером H.264.

ТАБЛИЦА 1. Загрузка видеопотоками наиболее нагруженных видеотрафиком участков СПД

Участок сети	Состав видеопотоков (вид КУ, разрешение, кадровая частота, кодер сжатия)	Скорость передачи одного видеопотока, Мбит/с	Кол-во видеопотоков	Суммарная скорость передачи потоков, Мбит/с
3-4	ЗКУ,FHD,25 к/с, H.264	5	2	10,00
	ЗКУ,FHD,1к/с, H.264	0,256	2	0,51
	ЗКУ, SD, 25 к/с, H.264	0,512	2	1,02
	ВКУ,FHD,25к/с, H.264	5	5	25,00
	ВКУ,SD,25к/с, H.264	0,512	10	5,12
	ВКУ,FHD,1к/с, H.264	0,256	10	2,56
	ИКВКУ,CIF,1к/с, H.264	0,128	10	1,28
	ИТОГО			**45,50**
8-9	ЗКУ,FHD,25 к/с, H.264	5	15	75
	ЗКУ, SD, 25 к/с, H.264	0,512	15	7,68
	ИТОГО			**82,68**
11-10	ЗКУ,FHD,25 к/с, H.264	5	15	75
	ЗКУ, SD, 25 к/с, H.264	0,512	15	7,68
	ИТОГО			**82,68**

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

В рассматриваемом случае наибольший видеотрафик наблюдается на участках сети между 8 и 9, а также 11 и 12 блоками помещений. Видеопотоки, идущие на УВС центрального поста (участок 3-4), значительно уступают по нагрузке на сеть видеопотокам в крайний блок помещений.

При построении СПД на базе коммутаторов с гигабитными портами рассматриваемая сеть позволяет передавать без искажений видеопотоки от всех камерных установок системы. При использовании в ВКУ и ЗКУ кодера H.264 требуемая пропускная способность СПД не превышает 82,68 Мбит/с. Как показало макетирование, в этом случае запас по пропускной способности сети превышает 292 Мбит/с.

Список используемых источников

1. Как системы видеонаблюдения обеспечивают безопасность на борту судна – Медиа Палуба, 03.04.2024. URL: https:// https:// https://paluba.media/news/72931/ (дата обращения 13.11.2024).
2. Основные принципы построения системы видеонаблюдения на судне. URL: https://video.tcb-spb.ru/o-kompanii/nashi-raboty/45-nashi-raboty/109-montazh-videonabl yudeniya-na-korable/ (дата обращения 13.11.2024).
3. Камеры видеонаблюдения в поездах. URL: http://aladox.com/info/articles/kamery-videonablyudeniya-v-poezdakh/ (дата обращения 13.11.2024).

Elagin V., Kuzichkin A. **DISTRIBUTION OF THE BANDWIDTH OF THE DATA TRANSMISSION NETWORK OF A VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM WITH SPATIALLY SPACED VIDEO SURVEILLANCE POSTS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The requirements for the bandwidth of the data transmission network of a video surveillance system with spatially spaced video surveillance posts for the worst conditions for passing video traffic from internal and external video cameras are evaluated. The method of determining the required bandwidth of the data transmission network is given using the example of a video surveillance system of a large ship.

Key words: video surveillance system, multicast, ring structure of the data transmission network.

УДК 654.1
ГРНТИ 50.41.23

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАМНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ

В. С. Елагин, С. А. Поляков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Современные сетевые устройства играют ключевую роль в построении высокоэффективных и надежных телекоммуникационных систем. В связи с постоянно растущей нагрузкой на сети, вызванной развитием облачных технологий, Интернета вещей (IoT) и виртуализации, возрастает необходимость мониторинга и предсказания состояния аппаратно-программных комплексов для поддержания их работоспособности. Прогнозирование состояний сетевых устройств позволяет не только предотвращать потенциальные сбои, но и оптимизировать производительность и затраты на обслуживание.

методы прогнозирования, инфокоммуникационная инфраструктура, сетевые устройства

Введение

Любая ошибкая, сбой в инфокоммуникационной инфраструктуре может привести к хаосу и убыткам компании. При этом общие законы надежности сложных систем гласят следующее: чем больше в системе элементов, тем больше вероятность сбоя или отказа. Сейчас в мире существует очень много примеров финансовых потерь и даже краха некоторых корпораций и банков из-за отказов их информационных систем, к примеру компания British Airways потеряла около 80 миллионов фунтов стерлингов из-за глобального сбоя в ИТ-инфраструктуре. Исследования в области корпоративных сетей показывают, что значительная часть инцидентов вызвана ошибками конфигурации, устаревшими сетевыми компонентами или недостаточной скоростью обновлений и патчей [1]. Например, компании в США и Европе сталкиваются с частотой сбоев, вызванных устаревшим оборудованием, в 10–15 % случаев в год. Частота отказов может колебаться от 2 до 5 значительных инцидентов на 100 устройств в год в глобальных корпоративных сетях.

Процесс мониторинга и управления сетевыми ресурсами сети усложняется в связи с использованием компаниями различных технологий передачи данных. Методы анализа состояния оборудования, применимые для одного вида телекоммуникационных технологий или оборудования одного произво-

дителя, не применимы для другого вида телекоммуникационных технологий или оборудования другого производителя. В данной статье мы рассмотрим основные методы анализа и прогнозирования состояния устройств и их плюсы и минусы.

Основные методы прогнозирования

Прогнозирование состояния сетевых устройств может базироваться на различных подходах, включая традиционные статистические методы и современные алгоритмы машинного обучения (ML). Рассмотрим наиболее распространенные методы прогнозирования.

1. Статистические методы

Прогнозирование состояния серверов видеоконференцсвязи требует применения различных подходов, включая статистические методы, методы машинного и глубокого обучения, а также вероятностные графические модели. Статистические методы, такие как анализ временных рядов, широко используются для прогнозирования и анализа данных в различных приложениях [2].

Для статистических моделей требуется последовательность данных, измеренных с регулярными временными интервалами (временные ряды). Основные показатели, которые нужно отслеживать на аппаратно-программном комплексе для предотвращения отказа оборудования:

Примеры собираемых данных:

– *загрузка процессора (CPU usage)* – процент использования процессора на устройстве;

– *загрузка памяти (RAM usage)* – объем используемой оперативной памяти;

– *сетевая активность* – объем трафика, проходящего через сервер, задержки, скорость передачи данных, потери пакетов;

– *температурные данные:* показатели температуры процессора и других компонентов сервера.

Для того, чтобы использовать статистические методы, нам потребуются некоторые утилиты, такие как top, htop, или специализированные инструменты мониторинга серверов, такие как Zabbix, Prometheus, Grafana (для определения загрузки процессора, памяти и других системных показателях в реальном времени), Nagios, SolarWinds или Wireshark собирают данные о сетевой активности и задержках (для мониторинга сетевого состояния), различные лог-файлы, которые генерирует устройство (они содержат информацию о ано-

малиях и системных событиях, которые можно использовать для дальнейшего анализа.

2. Машинное обучение и глубокое обучение

Алгоритмы машинного обучения, такие как деревья решений, случайные леса и нейронные сети, стали более популярными для прогнозирования в условиях, когда данные являются сложными и нелинейными [3]. Эти методы способны выявлять скрытые зависимости, что делает их эффективными для прогнозирования аппаратно-программного состояния сложных систем.

Методы машинного обучения требуют больших объемов данных, включающих как временные ряды, так и контекстные параметры, такие как состояние сети, конфигурация сервера и события. Важно собирать как структурированные, так и неструктурированные данные.

Примеры собираемых данных:

– метрики производительности (загрузка процессора, памяти, диска и сети);

– логи работы программного обеспечения (ошибки, сообщения об успехах/неудачах, события на уровне приложений);

– события и действия пользователей (частота подключения/отключения пользователей, продолжительность сессий);

– системные данные – статус виртуальных машин (если используется виртуализация), состояние хранилища данных;

– история сбоев и отказов (предыдущие случаи отказов серверов, перегрев, аварийные перезагрузки и т. д.).

Все перечисленные выше данные могут собираться чаще всего при использовании API мониторинга. Большинство современных серверов предоставляют этот мониторинг для доступа к метрикам производительности и состояния системы. Например, с помощью SNMP, HTTP/HTTPS, MQTT. Это является основным и часто используемым методом.

3. Данные для моделей обнаружения аномалий

Для моделей обнаружения аномалий (например, Isolation Forest или One-Class SVM) важно собирать как нормальные, так и аномальные данные для обучения модели, чтобы она могла отличить типичное поведение от отклонений.

Примеры собираемых данных:

– типичные параметры работы сервера (загрузка процессора, памяти и сети в нормальных условиях, когда сервер работает без сбоев);

– аномальные параметры (данные о необычно высоких задержках, резких скачках использования ресурсов, перегрузках, перегревах, обрывах видеосвязи);

– аварийные события (журналы о сбоях, перегрузках, отказах оборудования, внезапных отключениях сессий видеоконференций);

– ошибки в работе программного обеспечения (ошибки в логах, свидетельствующие о критических сбоях в программном обеспечении).

Для обнаружения аномалий важно иметь доступ к историческим данным, которые фиксируют как нормальное, так и аномальное поведение устройства.

Вероятностные графические модели, такие как байесовские сети, предлагают гибкость в моделировании сложных зависимостей между переменными и устойчивость к неполным данным [4]. Эти методы особенно полезны в условиях неопределенности, например, при оценке риска отказа оборудования.

Заключение

В данной статье были описаны методы прогнозирование состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств. Сейчас это важный аспект управления сетевой инфраструктурой. Внедрение методов машинного обучения и статистических подходов позволяет снизить вероятность отказов, повысить эффективность и обеспечить высокую надежность сетевых систем. Тем не менее, остаются нерешенные задачи, связанные с качеством данных и изменяющимися условиями эксплуатации устройств, которые требуют дальнейших исследований.

Список используемых источников

1. Ahmed M., Mahmood A. N., & Hu J. A survey of network anomaly detection techniques. // Journal of Network and Computer Applications, 2016. URL: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.11.016 (дата обращения 15.10.2024)
2. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel, G. C., & Ljung G. M. Time series analysis: Forecasting and control. Wiley. 2015.
3. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature, 2015. URL: https://doi.org/10.1038/nature14539 (дата обращения 15.10.2024).
4. Koller D., Friedman N. Probabilistic graphical models: Principles and techniques. MIT Press, 2009.

Elagin V., Polyakov S. **RESEARCH OF MODELS FOR PREDICTING THE STATE OF HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF NETWORK DEVICES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Modern network devices play a key role in building highly efficient and reliable telecommunication systems. Due to the ever-increasing load on networks caused by the development of cloud technologies, the Internet of Things (IoT) and virtualization, there is an increasing need to monitor and predict the state of hardware and software complexes to maintain their operability. Predicting the state of network devices allows you not only to prevent potential failures, but also to optimize performance and maintenance costs.

Key words: Forecasting methods, network devices, infocommunication infrastructure.

УДК 004.75
ГРНТИ 49.33.01

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ КОНТАКТ-ЦЕНТРОВ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАЗРЕЗЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЙ ПРИМЕНЕНИЯ

А. В. Лейкин, А. В. Хайдаров
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Сегодня контактный центр представляет собой архитектурно усложненную систему массового обслуживания с множеством функций, о которых десять лет назад никто не знал и не понимал то, как можно внедрить их в инфраструктуру и приложения. В одной модели контактного центра могут поместиться как обычные звонки через SIP-телефонию, сообщения посредством SMTP через выделенный POP сервер, так и сообщения с различных мессенджеров и сайтов. Сейчас на рынке существует множество вендоров с различными функциональными решениями, которые создают конкурентноспособную экосистему для дальнейшего развития системы массового обслуживания в рамках контактных центров, основывающихся на базисных принципах.

контактный центр, СМО, IVR

Традиционное представление о контактном центре

В обычном представлении контактный центр должен представлять собой готовый продукт для предоставления оперативного решения проблем клиента или ответа на его вопросы через обработку телефонных звонков, так, как показано на рисунке 1.



Рис. 1. Схема базовой СМО для КЦ

Данное представление одноуровневое и основывается на СМО типа *M/M/n*, где количество звонков следуют пуассоновскому распределению (*M*), время обслуживания экспоненциально (*M*) и задано число операторов (*n*). Все вышеописанное – это первый базис, с которого начинается проектирование любого контактного центра.

Второй базис – это внедрение интерактивной автоматизированной телефонной системы [1], позволяющей абонентам получать нужную информацию

до попадания в очередь к операторам, или самому выбирать, в какую очередь необходимо направить вызов, исходя из отправленных данных (DTMF).

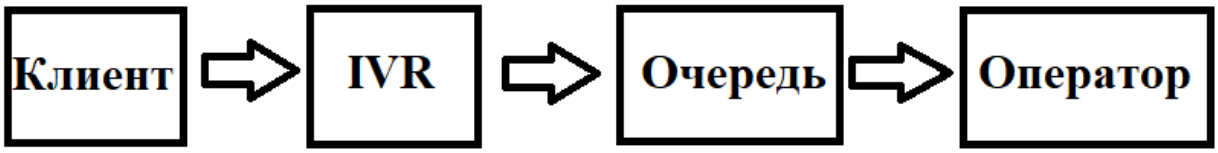


Рис. 2. Схема улучшенной модели СМО

С приходом данной системы стало возможно построение двухуровневого этапа обслуживания и обработка большего числа звонков, на которое максимальное число вызовов в очереди и обслуживающее их число операторов не были рассчитаны. Тип СМО – *M/M/n/m*, где количество звонков следуют пуассоновскому распределению (*M*), время обслуживания экспоненциально (*M*), число операторов (*n*) и число вызовов в очереди (*m*) задано каким-то значением. Схема отражена на рисунке 2.

Третий базис – это переход от классической системы обработки вызовов, где фигурируют телефонный звонок клиента и телефон оператора, к мультиплатформенной, как показано на рисунке 3.

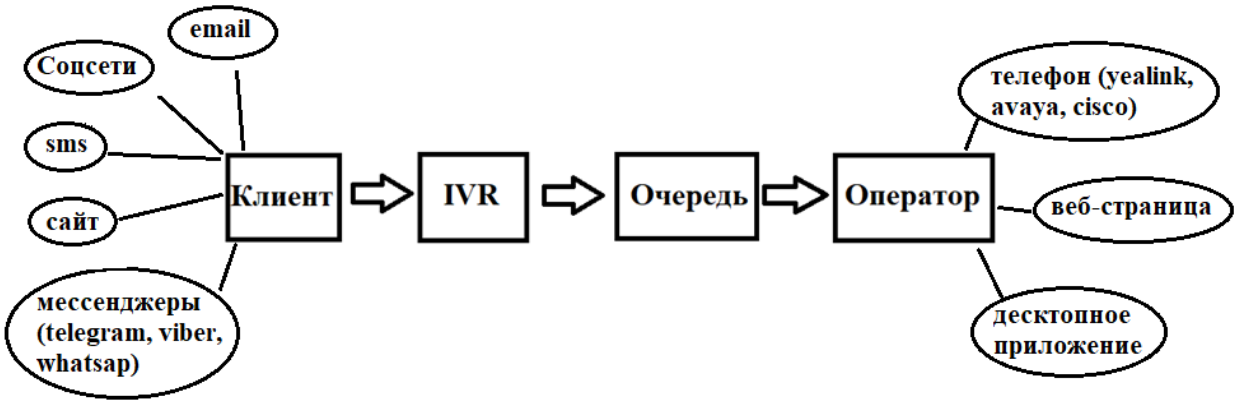


Рис. 3. Функциональная схема современного контактного-центра

В современный контактный центр абонент может обратиться практически с любого устройства или приложения и получить обратный ответ от оператора, на которого распределился, а последний, в свою очередь, может обработать обращение в разных рабочих окружениях. Рассмотрим типовые элементы КЦ на рисунке 4.

Абонентский доступ: оборудование, используемое для совершения вызовов или посылки сообщения со стороны клиента.

Сетевой доступ: оборудование, принимающее различный сетевой трафик в виде SIP пакетов, WebRTC трафика или преобразованных аналоговых сигналов.

Функционирующие элементы ЦОВ'а: установленное программное обеспечение на серверах заказчика, образующее кластер для передачи данных между собой и управления логикой обработки вызова внутри КЦ при принятии внешнего вызова.

Внешние системы: оборудование или программные приложения, интегрируемые в ЦОВ для обеспечения различного функционала, не предусматривающий в стандартной реализации КЦ.

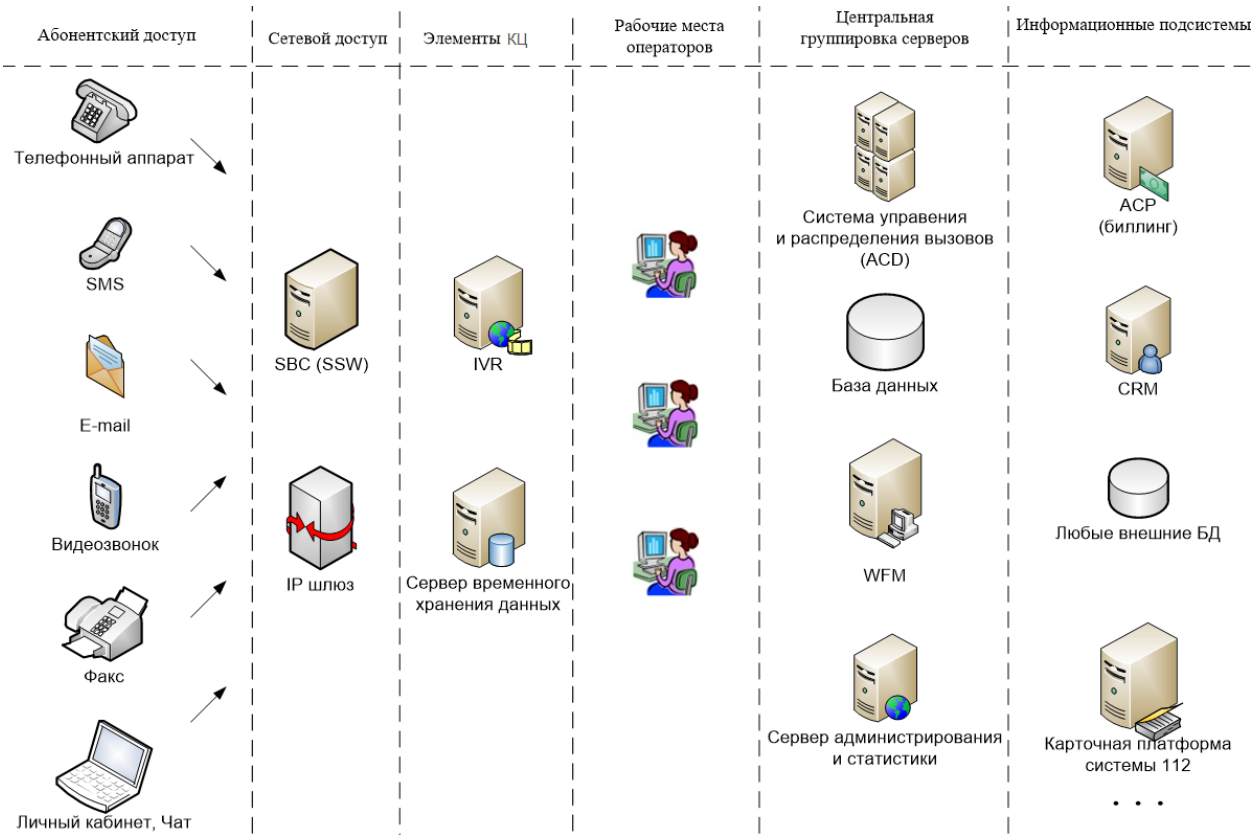


Рис. 4. Общая модель современного контакт-центра

Модели СМО

Самые распространенными математическими моделями для контактных центров являются модели Эрланга [2].

Модель Эрланга А (*M/M/1*) – система с очередностью обслуживания. Вызов ставится в очередь, но таймер ожидания не превышает среднее время обслуживания. Если канал СПД освобождается, то находящийся первым в очереди вызов занимает его. Вероятность отказа в такой системе, согласно общей формуле Эрланга, выражено в формуле 1, где λ – количество звонков в час; Т – среднее время разговора в секундах.

$$P_A = \sum_{Z=N}^{\infty} \frac{\lambda T}{Z!} e^{-\lambda T} \quad (1)$$

Модель Эрланга B (*M/M/n*) – система с отказами, когда при занятости всех n обслуживающих приборов вызов получает отказ по формуле 2.

$$P_B = \frac{(\lambda T)^N}{N! \sum_{Z=0}^{N} \frac{(\lambda T)^Z}{Z!}} \quad (2)$$

Модель Эрланга C (*M/M/n/m*) – система с ожиданием. Данная модель является самой подходящей для описания работы контакт-центра, так как здесь добавляется число очереди, которое понижает шанс получить отказ, а вероятность постановки в очередь согласно формуле 3.

$$\frac{\frac{(\lambda T)^N}{N!*(N-\lambda T)}}{N! \sum_{Z=0}^{N-1} (\frac{(\lambda T)^Z}{Z!} + \frac{(\lambda T)^N}{N!*(N-\lambda T)})} \quad (3)$$

Все три модели в той или иной степени могут быть использованы для анализа работы КЦ и прогнозирования нагрузки, однако они не включают в себя IVR и его усовершенствованной версии с использованием распознавания речи и модуля на основе модели искусственного интеллекта для формирования ответов на заданные вопросы клиента.

При использовании такой внедренной системы компания-заказчик способна существенно снизить расходы на количество операторов [3] в связи с понижением нагрузки и исключением вызова, в большинстве случаев, на первом этапе обработки.

Для того, чтобы описать состояние системы в произвольный момент времени, используется цепь Маркова с непрерывным временем, где $n_i(t)$ – число клиентов на *i* - этапе обслуживания, $m(t)$ – число клиентов в очереди к оператору. Считается по формуле 4.

$$n(t) = \{n_i(t), m(t)\}^T \quad (4)$$

При дальнейшем использования математических преобразований, системы дифференциальных уравнений Колмогорова для распределения вероятностей и методов моментов получаем систему уравнений [4], где $m_i(t)$ – определяет среднее число запросов клиентов, находящихся на обслуживании на первой, второй, третьей фазе и в очереди перед третьей фазой в произвольный момент времени *t* , как показано в формуле 5.

$$\begin{aligned} m'_1(t) &= -\mu m_1(t) + \lambda \\ m'_2(t) &= -\mu p_1 m_1(t) - \mu m_2(t) \\ m'_3(t) &= \mu p_2 m_2(t) - \mu_3 m_3(t) + s\tilde{\mu} m_4 \\ m'_4(t) &= \tilde{\mu} m_4(t) - \mu q_1 m_1(t) + \mu q_2 m_2(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Заключение

В современных реалиях система массового обслуживания претерпела множество изменений, связанных с мультиплатформенностью и интеграциями различных (как проприетарных, так и открытых) решений для использования в моделях работы контактных центров. Хотя сейчас и наблюдается тенденция перехода от классических КЦ в виде ЦОВ с живыми операторами к применению автоматизированных систем на базе ИИ, в том числе с самообучающимися моделями, однако основная базисная концепция остается неизменной.

Есть как простые модели контактных центров, работающих без IVR – где абонент позвонил по контактному номеру и связался с оператором – так и более сложные, с использованием современных технологий, нацеленные на максимизацию прибыли и уменьшения расходов.

Список используемых источников

1. Макаров А. Нагрузочное IVR-тестирование крупных колл-центров // ПерфомансЛаб, 2021. URL: https://www.performance-lab.ru/blog/vazhnost-ivr-testirovaniya-i-kak-ono-rabotaet (дата обращения 09.11.2024).
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / пер. И. И. Грушко; г. М.: Машиностроение, 1979. С. 107–126.
3. Aksin Z., Armony M., Mehrotra V. The Modern Call Center: A Multi-Disciplinary Perspective on Operations Management Research. Production and Operations Management, 2007. Vol. 16. PP. 665–688. DOI:10.1111/j.1937-5956.2007.tb00288.x.
4. Носова М. Г., Дегтярева М. В. Построение и анализ модели контакт-центра как системы массового обслуживания с многоуровневым IVR и нетерпеливыми запросами. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019.

Leykin A., Khaidarov A. **ANALYSIS OF CONTACT CENTRE MODELS AS A MASS SERVICE SYSTEM IN THE CONTEXT OF MODERN APPLICATION REALITIES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Today a contact center is an architecturally complex mass service system with many functions, which ten years ago nobody knew about and did not understand how to implement them in infrastructure and applications. One contact center model can accommodate both regular calls via SIP-telephony, messages via SMTP through a dedicated POP server, and messages from various messengers and websites. Now there are many vendors in the market with different functional solutions, which create a competitive ecosystem for further development of mass service system within contact centers based on basic principles.

Key words: Contact Center, Mass Service System, IVR.

УДК 539.219.3
ГРНТИ 47.01.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ (УЗС) В ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

О. И. Пантюхин, О. В. Понамарев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются методы моделирования и оценки ультразвуковой диффузии в производстве операционных усилителей для сетей передачи мультимедийных данных. Разработана интерактивная программа в среде MATLAB, учитывающая основные параметры, влияющие на процесс образования диффузии методом ультразвуковой сварки. В полученных результатах проводится оценка смоделированных показателей перемычек на основе их электрического сопротивления и механической прочности. Представленные методики позволят наглядно определить влияние различных условий и параметров на скорость и распределение диффузии, а также оценить надежность и качество созданных соединений. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего анализа работы операционных усилителей и косвенного улучшения качества сетевых технологий.

ультразвуковая диффузия, операционные усилители, моделирование, MATLAB, ультразвуковая сварка, электрическое сопротивление, механическая прочность, мультимедийные сети, надежность соединений, сетевые технологии

Технологии передачи данных играют важную роль во всех сферах деятельности человека, от бизнеса и образования до медицины и развлечений. Современные сетевые технологии, такие как LTE, 5G, оптоволоконные коммуникации, требуют оперативной и надежной передачи мультимедийных данных, что обусловлено возросшими требованиями к пропускной способности и минимальной задержке сигнала. Операционные усилители (ОУ) являются фундаментальной составляющей в системах связи на физическом уровне передачи данных, поэтому должны отвечать ряду требований, таким как заданные электрические и конструкционные параметры, габариты, а характеристики должны быть в приемлемых узких пределах [1]. ОУ используются в различных устройствах и системах, включая маршрутизаторы, коммутаторы, а также системы, реализующие архитектуру IMS (IP Multimedia Subsystem), тем самым обеспечивая стабильную и эффективную передачу мультимедийных данных [2].

При производстве полупроводниковых приборов выверена теория, связывающая их электрические характеристики с конструкцией, и свойствами применяемых материалов. Ультразвуковая диффузия способна создавать прочные и надежные соединения. Подложки из материалов, таких как кремний, медь или алюминий, обеспечивают стабильную основу для рассеивания. Проволоки из алюминия и золота выбраны за их хорошие проводящие свойства и высокую пластичность.

Для реализации модели распространения диффузии была разработана интерактивная программа в среде MATLAB, учитывающая основные параметры, влияющие на процесс образования диффузии методом УЗС. В процессе разработки был создан пользовательский интерфейс с использованием инструментов MATLAB для разработки графических интерфейсов, таких как uicontrol и figure, который позволяет вручную задавать параметры моделирования.

Частота и амплитуда ультразвука должны быть оптимальными, для обеспечения необходимой энергии перемещения атомов в материале. Давление и температура создают необходимые условия для деформации в зоне контактирования, которая обеспечивает механический контакт соединяемых материалов и разрушение оксидных и адсорбированных поверхностных пленок. Геометрия капилляра также важна для равномерного распределения ультразвуковых волн и эффективного соединения материалов [3]. В свою очередь, качество созданных соединений оценивается по их электрическому сопротивлению и механической прочности. Механическая прочность зависит от давления и скорости диффузии, что позволяет оценить надежность соединений и их способность выдерживать эксплуатационные нагрузки [4].

На рисунке 1 изображен интерфейс пользователя, где предусмотрены выпадающие списки для выбора материалов подложки и проволоки, текстовые поля для ввода значений частоты, амплитуды, давления, температуры и геометрических параметров капилляра. Также имеется кнопка для запуска моделирования. Такой интерфейс позволяет пользователям легко изменять параметры моделирования и мгновенно получать результаты.

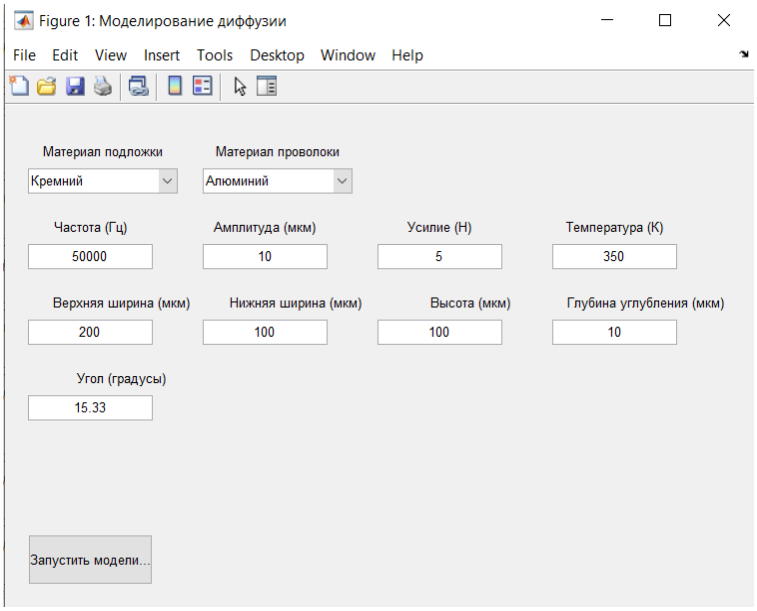


Рис. 1. Пользовательский интерфейс с вводимыми параметрами

Отдельно был разработан код для моделирования процесса диффузии, который выполняет расчеты на основе заданных параметров и визуализирует

процесс в реальном времени. Результат моделирования заданных параметров изображен на рисунке 2. В ходе моделирования использовались различные библиотеки MATLAB, такие как meshgrid для создания сетки координат, surf для визуализации поверхностей, а также функции для работы с массивами данных.

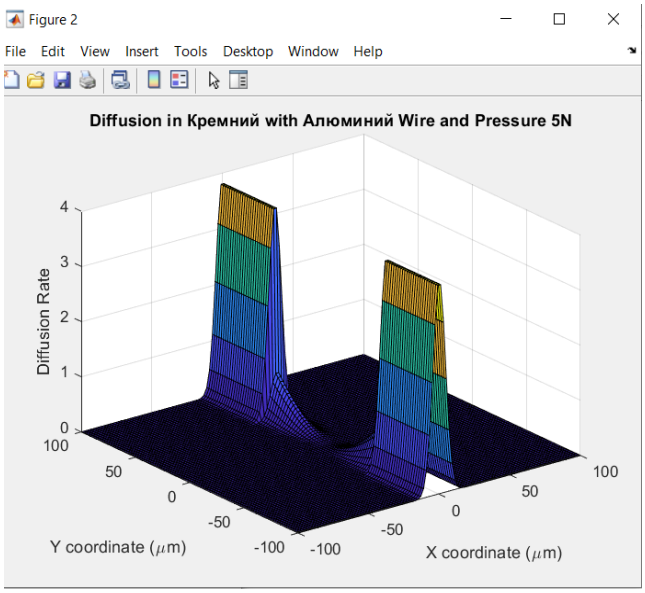


Рис. 2. Симуляция процесса образования сварного соединения

Моделирование процесса было основано, исходя из основных параметров: контактное давление (P), мощность ультразвуковой системы, амплитудой колебания, временем сварки и геометрических параметров капилляра [5, 6].

$$\mathrm{P}= \mathrm{A}*\frac{1+f}{1-\varepsilon} * \sigma_T * d * D \ ,$$

где A – коэффициент, характеризирующий изменение напряжений при деформации проволоки;

f – приведенный коэффициент трения между инструментом, проволокой и подложкой;

ε – относительная деформация;

σ_T – предел текучести материала проволоки при температуре деформации;

d – диаметр проволоки;

D – диаметр инструмента;

На втором этапе проводится оценка качества перемычек, созданных в процессе ультразвуковой диффузии. Основными параметрами оценки являются электрическое сопротивление и механическая прочность перемычек. Для этого были разработаны соответствующие модели и формулы, а также использованы библиотеки MATLAB для реализации вычислений и визуализации.

Электрическое сопротивление перемычек рассчитывается на основе удельного сопротивления материала проволоки и скоростей диффузии, полученных на первом этапе. Механическая прочность перемычек оценивается с учетом давления и скорости диффузии. Скорость диффузии и давление, примененное при ультразвуковой сварке, влияют на структурные свойства материала. Для моделирования влияния скорости диффузии $D(t)$ на прочность используется следующая зависимость:

$$\sigma = k \cdot D(t)^n,$$

где k – эмпирический коэффициент, зависящий от материала;

n – показатель степени, определяющий влияние скорости диффузии на прочность.

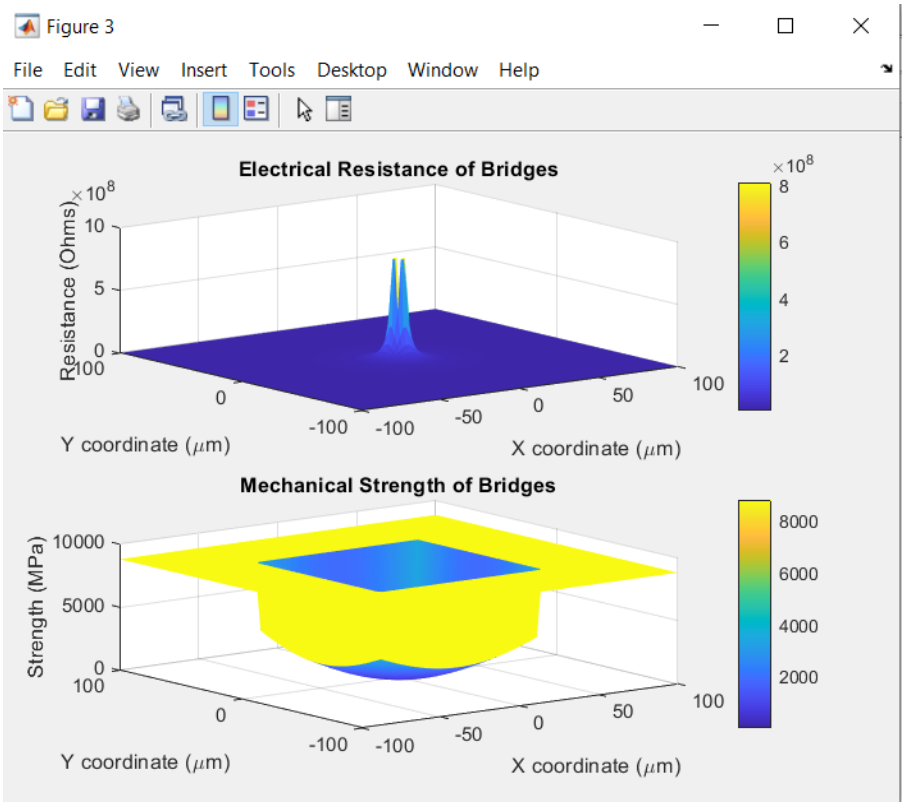


Рис. 3. Диаграмма распределения электрического сопротивления и механической прочности

Из рисунка 3 видно распределение электрического сопротивления по координатам X и Y. Ярко выражен пик сопротивления в центре, что свидетельствует о высокой плотности диффузии или наличии дефектов в этой области, которые могут привести к нежелательному увеличению сопротивления в центре перемычки. В нижней диаграмме можно наблюдать распределение механической прочности и ее неравномерность, с более высокой прочностью на периферии и сниженной в центре.

Исследования параметров ультразвуковой диффузии, а также способов ее моделирования является необходимым для поиска оптимальных решений, при создании ОУ. Оптимизация методов и параметров моделирования ультразвуковой диффузии позволит улучшить качество производимых операционных усилителей, а также повысить надежность и эффективность сетевых технологий.

Список используемых источников

1. Производство полупроводниковых приборов / пер. с англ. под ред. канд. техн. наук Г. Д. Глебова. М.: Государственное научно-техническое издательство ОБОРОНГИЗ, 1962. С. 356.
2. Горшков Б. И. Радиоэлектронные устройства: Справочник. М.: Радио и связь, 1984. 400 с.
3. Mason W. P. Physical Acoustics and the Properties of Solids. New York: D. Van Nostrand Company, 1958. P. 399.
4. Sofiyah Hamid, Selvakumar Mariappan, Jagadheswaran Rajendran et al. Micromachines. A State-of-the-Art Review on CMOS Radio Frequency Power Amplifiers for Wireless Communication Systems. MDPI, 2023. URL: https://www.mdpi.com/2072-666X/14/8/1551 (дата обращения 04.08.2024).
5. Шмаков М. В. Микросварка при производстве микросборок гибридных интегральных схем // Технологии в электронной промышленности. 2006, № 5. С. 68–74.
6. Кундас С. П.., Ланин В. Л., Достанко А. П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники в 2-х т. Минск: Беспринт, 2003. Т. 2. С. 14–65.

Pantyukhin O., Ponamarev O. **MODELING THE ULTRASONIC WELDING PROCESS (UWP) IN OPERATIONAL AMPLIFIERS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper discusses modeling and evaluation methods of ultrasonic diffusion in the production of operational amplifiers for multimedia data transmission networks. An interactive program was developed in MATLAB, taking into account key parameters that affect the diffusion formation process through ultrasonic welding. The obtained results include an assessment of simulated bridge parameters based on their electrical resistance and mechanical strength. The presented methodologies provide a clear understanding of the impact of various conditions and parameters on the rate and distribution of diffusion, as well as an evaluation of the reliability and quality of the created connections. The research outcomes can be utilized for further analysis of operational amplifier performance and for indirect improvement of network technology quality.

Key words: ultrasonic diffusion, operational amplifiers, modeling, MATLAB, ultrasonic welding, electrical resistance, mechanical strength, multimedia networks, connection reliability, network technologies.

УДК 004.75
ГРНТИ 50.47.29

ВНЕДРЕНИЕ CI/CD ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ TEAMCITY И GITLAB

Р. И. Пупцев, П. Д. Царев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье подробно рассматривается концепция CI/CD, которая включает процессы непрерывной интеграции (CI) и доставки (CD) в разработке программного продукта. Эти процессы позволяют автоматизировать тестирование, сборку и деплой, минимизируя ручные операции и снижая вероятность ошибок. Пайплайн CI/CD обеспечивает ускоренное и слаженное взаимодействие между командами разработчиков, тестировщиков и DevOps-специалистов, что особенно актуально для крупных компаний, использующих методологии Agile и Scrum. Рассматриваются также популярные инструменты для создания пайплайнов, такие как GitLab и TeamCity, с описанием их ключевых возможностей. GitLab сочетается с любыми приложениями, позволяет локально развернуть свои сервисы и предлагает множество функций для эффективной работы с кодом и документацией. TeamCity, в свою очередь, поддерживает параллельное выполнение процессов и настраиваемые зависимости между сборками, что повышает гибкость пайплайна. Статья подчеркивает преимущества CI/CD, включая сокращение рутинных задач для разработчиков, ускорение выпуска обновлений и улучшение контроля за качеством продукта.

Концепция CI/CD, continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, GitLab, TeamCity, Agile, Scrum, pipeline

Введение

В повседневной жизни разработчика ежедневно встречаются рутинные и атомарные задачи. Впоследствии эти задачи становятся настолько клишированные, что возникает необходимость автоматизировать процесс работы, чтобы не тратить время и при многоповторных задачах не допускать ошибок. Однако в современном мире для избегания рутинных задач, была разработана концепция CI/CD, позволяющая в полном объеме автоматизировать процесс разработки. Аббревиатура интерпретируется как «continuous integration» и «continuous delivery» либо же как «continuous deployment». Каждая часть отвечает за выполнение определенного ряда задач, так, в CI входит: синхронизированная разработка единого года, автоматизированное тестирование [1], локальная сборка. В свою очередь CD часть отвечает за доставку проверенного программного кода и развертывания приложения. По статистике крупной мировой компании по разработке программного обеспечения Radixweb, суммарный объем всех инструментов для непрерывной интеграции в 2022 году составил примерно 970 миллионов долларов, также предполагается, что среднего-

довой прирост составит примерно 18 % и к 2031 году приблизительно окажется около 377 миллионов долларов [2]. Концепция CI/CD способствует лучшему взаимодействию между командами разработчиков, тестировщиков и системных администраторов (DevOps), создавая более слаженный процесс разработки. Более того, при концепции CI/CD очень удобно проследить, на каком моменте была зафиксирована ошибка или баг, какой отдел допустил неточность или же погрешность – это имеет место быть, при условии, что большая компания использует Agile и Scrum методологии [3–5].

В общей сути данная концепция реализуется в так называемых pipeline (пайплайнах) или конвейерах. Они представляют собой последовательную цепочку определенных шагов, называемых build step. Каждый шаг представляет собой выполнения какого-либо определенного действия: запуск проверки, добавление коммита в ветку гит репозитория, сборку приложения, выполнения кастомного скрипта, развертывания приложения и т. д.

Основные инструменты для создания CI/CD пайплайна (конвейера)

Перейдем к рассмотрению инструментов TeamCity и GitLab. Итак, TeamCity – это продукт, разработанный компанией JetBrains, позволяющий создать свой пайплайн. Главными преимуществами данного инструмента является: высокая самооптимизация пайплайнов, т. е. при запуске конвейера в TC автоматически реализуется механизм инкрементальнольного сборочного тестирования, позволяя запускать только те задачи, которые действительно подвергались изменениям (коммитам) в исходном программном коде. Так же в TC реализовано кеширование зависимостей, т. е. при повторном запуске конвейера, те шаги, которые не подвергались изменению, не будут заново собираться, а стянут информацию со сборочного агента TC, тем самым это ускорит процесс сборки и позволит сэкономить сетевые ресурсы. В TC присутствует возможность распараллелить сборочные задачи, посредством наличия нескольких сборочных агентов, т. е. параллельно могут собираться несколько пайпланов.

А теперь разберем, почему же в качестве системы контроля версии предпочтителен именно GitLab. В GitLab реализован широкий набор функций, позволяющий использовать единый интерфейс и не прибегать к дополнительным сервисам. Например, есть возможность отслеживать прогресс поставленных задач команде или определенному сотруднику, также проводить код ревью. GitLab реализует удобные внутренние политики безопасности, позволяющие гибко распределять роли внутри системы. У GitLab открытый исходный код, что позволяет локально развернуть данный сервис. GitLab поддерживает интеграцию с огромным количеством других стеков технологий и инструментов, в том числе и с TeamCity.

Практическое применение концепции CI/CD с помощью GitLab и TeamCity

Для добавления новой функции в веб-приложение обычно создается отдельная ветка в системе контроля версий в GitLab. В этой ветке разрабатывается функционал, который сначала тестируется локально. Когда работа завершена, разработчик формирует merge request (MR) и отправляет его на код-ревью старшему разработчику или ревьюеру. После одобрения изменения сливаются с основной веткой, и обновленный код собирается, пушится в хранилище и уже потом разворачивается на виртуальной машине в dev – окружении. А для того, чтобы все это не делать вручную, применим на практике концепцию CI/CD. Итак, пайплайн для команды разработчиков: главная задача настроить автоматизированный процесс, позволяющий автоматически сохранять и применять любые коммиты в репозитории из GitLab для веб-приложения. Рассмотрим из каких шагов сборки будет состоять конвейер (рис. 1).

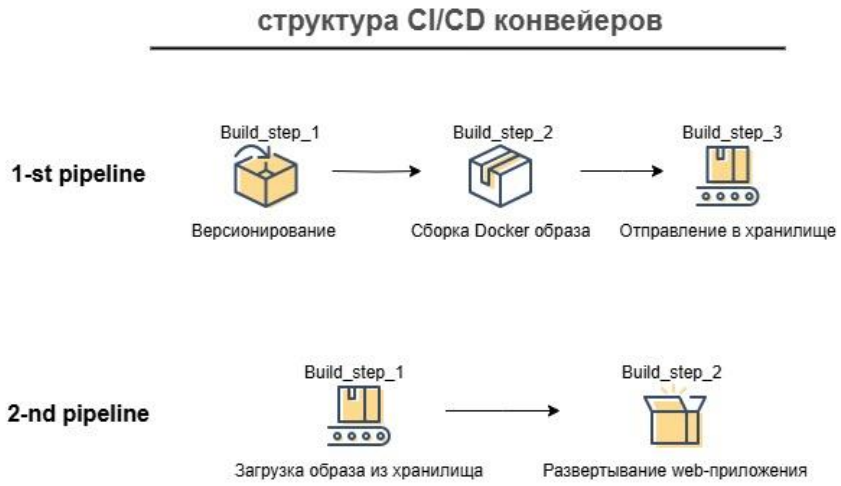


Рис. 1. Последовательность шагов сборки в двух конвейерах

Как видно из данного изображения, вся концепция будет содержать 2 пайплайна. Первый пайплайн отвечает за создание dockerimage (докер образа) определенной версии (в зависимости от номера коммита) и выгрузки его в удаленное хранилище (Harbor). Второй пайплайн отвечает за доставку и развертывание определенной версии образа на целевой виртуальной машине. В нашей концепции будет 2 пайплайна, в расчете на то, чтобы команда всегда могла выбрать более предпочтительную версию приложения или в случае чего произвести откат на предыдущую версию. В рамках данной статьи мы рассмотрим практическое применение первого пайплайна.

Проанализируем реализацию взаимосвязи TeamCity и GitLab. Рассмотрим несколько возможных вариантов и выберем подходящий для пайплайна:

1. Напрямую монтировать репозиторий GitLab в TC, посредством создания VCS Root. Данный способ позволит нам в реальном времени отслеживать все изменения в TC. С помощью этого способа можем настроить правила вы-

бора всех веток или конкретно интересующих, с помощью структуры: (`+:refs/heads/*`).

2. Использовать вебхуки GitLab для триггера сборок в TC. Это означает, что, когда будет происходить изменение в GitLab, будет отправляться HTTP POST-запрос на заранее настроенный URL TeamCity, таким образом пайплайн сможет автоматически запускать сборку.

3. Интеграция при помощи GitLab CI/CD. В самом GitLab опишем конфигурационный файл trigger_for_TC.yml, который будет запускать сборки TeamCity через REST API. Таким образом мы сможем использовать GitLab CI в качестве триггера (рис. 2).



Рис. 2. Пример YAML файла для запуска сборки в TeamCity

Из вышеперечисленных вариантов, самым подходящим будет первый вариант, по нескольким причинам:

– возможность выбирать из какой ветки GitLab производить сборку образа, т. к. в ходе эксплуатации web-приложения будут появляться новые доработки и под каждую из них будет создаваться отдельная ветка git для тестирования;

– все изменения, которые происходят в репозитории, автоматически актуализируются в TC.

Далее реализуем шаги сборки первого пайплайна уже в самом TeamCity и увидим, как на практике состоит пайплайн (рис. 3).

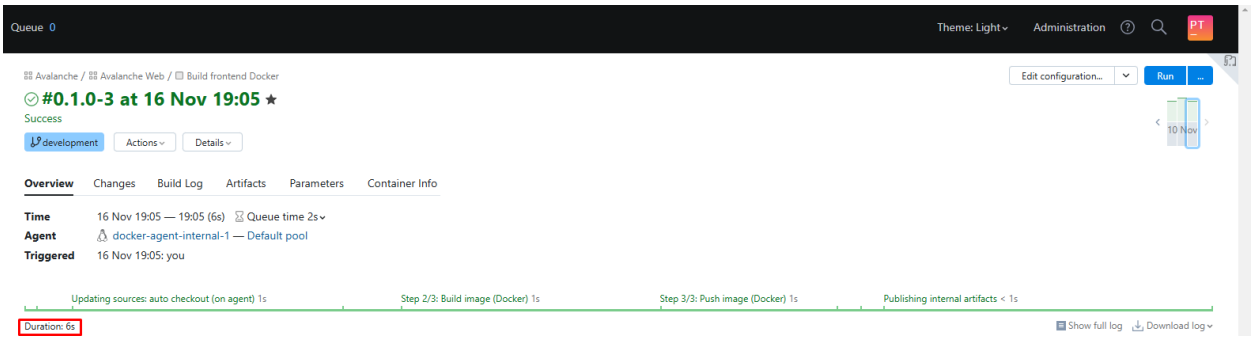


Рис. 3. Сборка пайплайн

Как видим, интеграция репозитория и все шаги сборки успешны. Первый шаг позволяет нам протегировать образ, создав своего рода версионирование посредством номера каждого коммита. Второй шаг создает сборку Dockerimage, а третий отправляет собранный образ в хранилище под своим тегом. В качестве

хранилища используется локально развернутый Harbor. После того, как за нас «машина» Build Agent выполнила сборку пайплайна, собранный образ тут же появляется в хранилище, (см. рис. 4). Заметим, что сборка заняла всего лишь 6 секунд, что доказывает ликвидность концепции CI/CD.

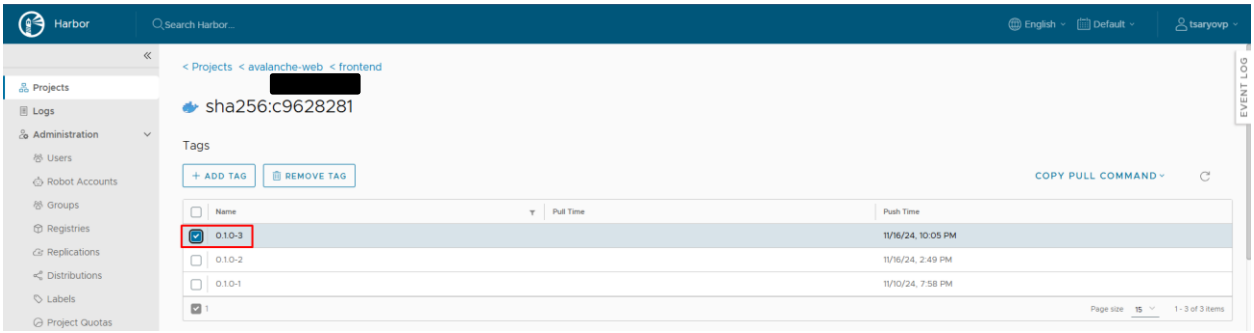


Рис. 4. Наличие образа в registry хранилище

На этом этапе первая часть пайплайна завершена, а вторая часть в рамках данной статьи не будет рассмотрена. Подведем итог: с помощью связки TeamCity и GitLab команда получает возможность масштабировать процессы, тем самым оптимизируя и улучшая качество работы, и минимизирует риск откатов системы, поскольку концепция CI/CD регулярно выполняет функции мониторинга.

Список используемых источников

1. Automated-testing // TeamCity docs. URL: https://www.jetbrains.com/ru-ru/teamcity/ci-cd-guide/automated-testing/ (дата обращения 24.11.2024).
2. Top DevOps Stats That You Cannot Miss in 2024 // Software Development Company. URL: https://radixweb.com/blog/devops-statistics#CI/CD (дата обращения 24.11.2024).
3. GitLab docs. URL: https://docs.gitlab.com/ (дата обращения 24.11.2024).
4. Shore J., Shane W.. Agile. Проектирование и разработка. Символ-Плюс, 2014.
5. Sutherland Jeff. Scrum. Революционный метод управления проектами. Манн, Иванов и Фербер, 2016.

Pupcev R., Tsarev P. **IMPLEMENTATION OF CI/CD PROCESSES USING TEAMCITY AND GITLAB.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article takes a detailed look at the CI/CD concept, which includes continuous integration (CI) and continuous delivery (CD) processes in software development. These processes allow you to automate testing, building, and deploying, minimizing manual operations and reducing the likelihood of errors. The CI/CD pipeline ensures accelerated and coordinated interaction between teams of developers, testers, and DevOps specialists, which is especially important for large companies using Agile and Scrum methodologies. Popular tools for creating pipelines, such as GitLab and TeamCity, are also considered, with a description of their key features. GitLab is compatible with any applications, allows you to locally deploy your services, and offers many features for efficient work with code and documentation. TeamCity, in turn, supports parallel execution of processes and customizable dependencies between builds, which increases pipeline flexibility. The article highlights the benefits of CI/CD, including reducing routine tasks for developers, accelerating the release of updates, and improving product quality control.

Key words: CI/CD concept, continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, GitLab, TeamCity, Agile, Scrum, pipeline.

Секция 1.6. Оптоэлектронные технологии (фотоника) в инфокоммуникациях

УДК 621.373.8
ГРНТИ 49.44

ОДНОМОДОВЫЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ СИСТЕМ DWDM

И. Д. Акимова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассмотрены методы перестройки длины волны одномодовых лазерных источников. Основное внимание уделено лазерам с внешним резонатором ECL, которые могут обеспечить большой диапазон перестройки. Проведен расчет параметров лазера ECL, построенного по схеме Литтмана-Меткалфа, показано, что этот лазер может использоваться для волоконно-оптических систем связи с технологией плотного спектрального мультиплексирования DWDM.

волоконно-оптическая система связи, технология плотного спектрального мультиплексирования DWDM, одномодовый лазерный диод, перестраиваемый лазерный диод, лазерный диод с внешним резонатором ECL

С ростом трафика в современных сетях повышение пропускной способности оптических волокон (ОВ) становится одной из ключевых задач для телекоммуникационной отрасли. Одним из основных способов увеличения скорости передачи данных по одному ОВ является применение технологии плотного спектрального мультиплексирования DWDM. Системы DWDM позволяют объединить в одном ОВ несколько высокоскоростных цифровых оптических сигналов (спектральных каналов), каждый из которых формируется передатчиком, работающим на своей длине волны.

Для систем DWDM с большим числом спектральных каналов находят применение передатчики с лазерами, перестраиваемыми по длине волны. В полной мере преимущества таких передатчиков проявляются в реконфигурируемых, пакетно-ориентированных оптических сетях. Один универсальный

лазерный модуль в зависимости от диапазона перестройки может заменить от 8 до 100 передатчиков с фиксированными длинами волн.

В настоящее время существуют различные методы перестройки длины волны излучения лазера, которые по характеру воздействия можно разделить на термические, электрические и механические. Термический способ перестройки применяется, например, в лазерах с распределенной обратной связью DFB, а электрический – в лазерах с распределенными брэгговскими отражателями DBR. Однако наиболее широкий диапазон перестройки длины волны можно получить в лазерах с внешним резонатором (External Cavity Laser, ECL).

На рис. 1 представлена конструкция лазера ECL, построенного по схеме Литтмана-Меткалфа [1, 2]. Длина волны в этом ECL перестраивается механическим способом. Внешний резонатор ECL образован неподвижной дифракционной решеткой и подвижным зеркалом, управляемым приводом микроэлектромеханической системы (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS). Угол падения излучения из лазерного усилителя на решетку выбирается большим. Генерация осуществляется на длине волны, которая в результате дифракции на решетке падает на зеркало вдоль нормали к его поверхности. Поворачивая зеркало, можно перестраивать длину волны. Такая схема обеспечивает большой диапазон перестройки и узкий спектр, что делает его применимым для систем DWDM.

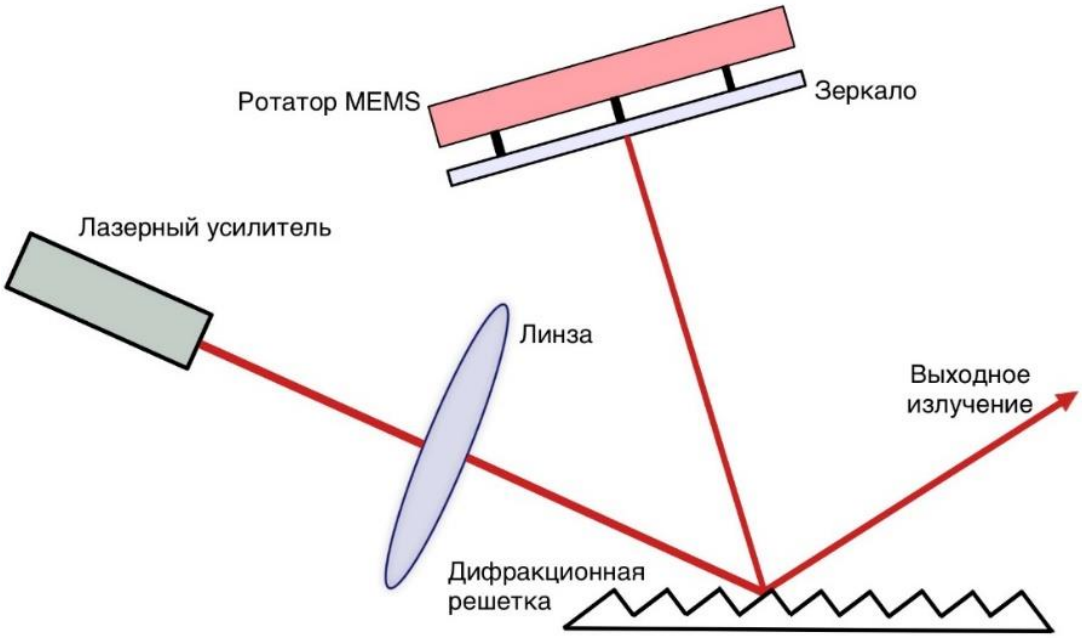


Рис. 1. Конструкция ECL с подвижным зеркалом и дифракционной решеткой

Рассчитаем параметры ECL-лазера, построенного по данной схеме и предназначенного для перестройки частоты с шагом 400 ГГц ($\Delta\lambda = 3{,}22$ нм) в

С-диапазоне. Частоту центрального спектрального канала примем равной 193,1 ТГц, что соответствует длине волны λ_0 = 1552,52 нм.

Найдем минимальную необходимую разрешающую силу решетки R по выражению:

$$R = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} = \frac{1552{,}52}{3{,}22} = 482{,}15 \quad (1)$$

Примем для дальнейших расчетов $R = 500$ и определим необходимое число штрихов на поверхности решетки. Для порядка дифракции $m = 2$ получаем

$$N = \frac{R}{m} = 250 \text{ штрихов} \quad (2)$$

Пусть решетка имеет длину L= 0,5 мм, тогда ее период d будет равен:

$$d = \frac{L}{N} = \frac{0{,}5}{250} = 2 \text{ мкм} \quad (3)$$

Зададим угол падения луча на решетку, например $\varphi_0 = 85°$, тогда угол дифракции φ_k для излучения с длиной волны λ можно найти по формулам

$$d(\sin\varphi_0 - \sin\varphi_k) = m\lambda \quad (4.1)$$

$$\sin\varphi_k = \arcsin(\sin\varphi_0 - \frac{m\lambda}{d}) \quad (4.2)$$

Результаты расчетов углов дифракции для 11-ти спектральных каналов, симметрично расположенных вокруг длины волны λ_0 представлены в таблице 1:

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета углов дифракции и углов поворота подвижного зеркала

Номер канала	Длина волны λ, нм	Угол дифракции φ_k, град	Угол поворота зеркала для перестройки на длину волны λ с длины волны λ_0
1	1536,44	-32,7006	-1,1017
2	1539,66	-32,9199	-0,8824
3	1542,88	-33,1396	-0,6627
4	1546,09	-33,3600	-0,4423
5	1549,31	-33,5808	-0,2215
6	λ_0 =1552,52	-33,8023	0
7	1555,74	-34,0243	0,2220
8	1558,96	-34,2470	0,4446

Номер канала	Длина волны λ, нм	Угол дифракции φ_k, град	Угол поворота зеркала для перестройки на длину волны λ с длины волны λ_0
9	1562,17	-34,4702	0,6679
10	1565,38	-34,6940	0,8917
11	1568,60	-34,9184	1,1161

Из таблицы 1 видно, что углы дифракции соседних каналов отличаются на величину, примерно равную 0,22 градуса. С таким шагом необходимо поворачивать зеркало при перестройке с одного канала на другой (рис. 2).

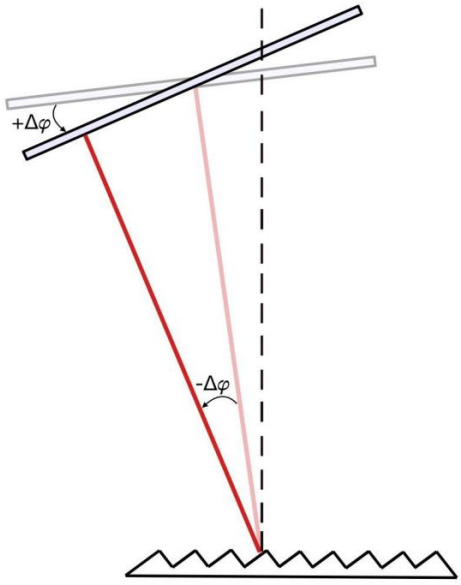


Рис. 2. Поворот зеркала при перестройке длины волны

Предположим, что шаг поворота зеркала составляет ровно 0,22 градуса. Оценим погрешность установки новой длины волны при перестройке зеркала с таким шагом по выражению:

$$\delta\lambda = \left|\frac{\lambda - \lambda_{\text{расчетное}}}{\lambda}\right| \cdot 100\ \%,$$

где λ – требуемое значение длины волны спектрального канала, $\lambda_{\text{расчетное}}$ – значение длины волны, полученное при перестройке с указанным шагом поворота зеркала.

Рассчитанные значения погрешностей установки для каждого спектрального канала приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Погрешность установки длины волны при перестройке

λ, нм	δλ
1536,44	0,011
1536,44	0,007
1542,88	0,004
1546,09	0,002
1549,31	0,001
1552,52	0,002
1555,74	0,005
1558,96	0,008
1562,17	0,013
1565,38	0,019
1568,60	0,027

Из табл. 2 видно, что для всех рассмотренных каналов погрешность перестройки не превышает 0.03 %. Также видно, что погрешность медленно растет с удалением спектрального канала от центральной длины волны.

Таким образом, можно утверждать, что при обеспечении шага поворота зеркала с точностью до сотых долей градуса можно получить хорошую перестройку по длине волны с шагом 3,22 нм.

Список используемых источников

1. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитрисва С. А. и Слепова Н. Н. М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. 576 с.
2. Наний О. Е. Оптические передатчики с перестраиваемой длиной волны излучения для DWDM сетей связи // LIGHTWAVE Russian Edition. 2006. № 3.

Akimova I. **SINGLE-MODE TUNABLE LASER SOURCES FOR DWDM SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper covers the methods of wavelength tuning of single-mode laser sources. The main attention is paid to lasers with an external cavity resonator (ECL), which can provide a wide tuning range. The parameters of ECL are calculated using the Littman-Metcalfe scheme, and it is shown that this laser can be used for fiber-optic communication systems with dense wavelenght division multiplexing technology.

Key words: fiber-optic communication system, DWDM, single-mode laser diode, tunable laser diode, laser diode with external resonator ECL.

УДК 621.375
ГРНТИ 49.33.29

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ В ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Д. П. Андреев, С. Ф. Глаголев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Широкий выбор полупроводниковых оптических усилителей расширяет возможности их применение в современных системах оптической связи. Наиболее эффективным представляется использование полупроводниковых усилителей как бустеров и предусилителей в интегральном исполнении с лазерными источниками и фотоприемниками соответственно. Представленные в докладе типовые рабочие характеристики полупроводниковых оптических усилителей позволяют оптимизировать параметры систем связи с их использованием.

оптическая связь, коэффициент усиления, спектральный диапазон, полупроводниковые оптические усилители, DWDM, скорость передачи данных

Оптические системы связи отличает высокая информационная емкость: большая дальность передачи данных без регенерации при высокой скорости символьной последовательности. Одно из направлений развития оптической связи – расширение типов систем и спектральной области. Наряду с волоконно-оптическими системами используются оптические системы для передачи данных в открытом пространстве. Если для волоконно-оптических систем связи в наибольшей степени подходят оптические усилители (ОУ) на волокнах, легированных ионами эрбия (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA), то для других систем требуются усилители, работающие в других спектральных диапазонах. Несмотря на то, что рамановские ОУ (Raman Amplifiers, RA) также могут перекрыть широкий спектральный диапазон рабочих длин волн, их применение рационально в протяженных линиях связи с длиной оптоволоконного тракта десятки и сотни километров. Для систем связи в свободном пространстве и бортовых устройств как по функциональному признаку, так и по стоимостному критерию они уступают полупроводниковым оптическим усилителям [1–5].

Полупроводниковые оптические усилители (ПОУ, Semiconductor Optical Amplifiers, SOA) имеют много преимуществ по сравнению с эрбиевыми оптическими усилителями:

– широкий диапазон рабочих длин волн (400 …2000 нм);
– большую ширину усиливаемых длин волн (до 100 нм);

– большую максимальную выходную мощность (более 500 мВт) и высокую энергетическую эффективность, т. е. большое отношение максимальной выходной оптической мощности к потребляемой электрической мощности;

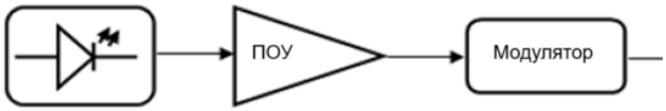
– малые габариты;

– низкую цену при крупносерийном производстве.

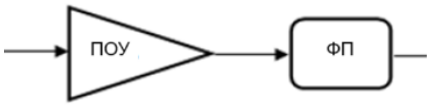
Полупроводниковые оптические усилители представляют собой компактные устройства и легко интегрируются с другими устройствами, например с лазерами и модуляторами в качестве усилителей мощности (бустеров) или с фотодиодами (ФД) в качестве предварительных ОУ. Они могут выполнять роль функциональных элементов в системах обработки сигналов в полностью оптических сетях связи будущего.

Основные применения ПОУ: бустеры и предусилители.

Усилитель мощности (Post amplifier or booster) усиливает до максимальной мощности сигнал передатчика (источник излучения плюс модулятор) для увеличения дальности передачи (рис. 1а). Основное требование к этому усилителю – обеспечить максимальную выходную мощность, а не максимальный коэффициент усиления, поскольку входной сигнал относительно большой.



а)



б)

Рис. 1. Полупроводниковый оптический усилитель – усилитель мощности (а) и предусилитель (б)

Предусилитель (Preamplifier) позволяет значительно повысить чувствительность приемника (фотоприемник, ФП), рис. 1б. Подобно использованию усилителей-бустеров, предварительное усиление может повысить качество передачи информации.

Наибольшую ширину усиливаемых длин волн (до 100 нм) обеспечивают ПОУ, аналогичные лазерным источникам. Они обеспечивают высокий коэффициент усиления слабого сигнала, могут использоваться в системах со спектральным уплотнением. Для целей подавления флуктуаций мощности входного сигнала в системах связи в свободном пространстве обычно используется режим насыщения. Если применяется одноканальный режим работы (или малое число каналов в узком спектральном окне), могут использоваться спектрально-селективные полупроводниковые оптические усилители.

При использовании ПОУ следует учитывать и их особенности. Так, коэффициент усиления ПОУ, как правило, зависит от состояния поляризации входного излучения. В режиме усиления сигналов со спектральным уплотнением в ПОУ могут возникать перекрестные помехи за счет перекрестной фазовой модуляции, четырехволнового смешения. Это особенно важно для многоканального сигнала DWDM. К недостаткам также можно отнести относительно высокий коэффициент шума и низкую выходную мощность, а также технологические трудности при изготовлении ПОУ с низкой (менее 10^{-4}) отражательной способностью входных и выходных окон. Из-за этого ПОУ теряют линейность и испытывают уменьшение коэффициента усиления.

Одним из основных рабочих характеристик ПОУ является его коэффициент усиления *G* (Gain). Коэффициент *G* зависит от входной мощности оптического сигнала. К числу наиболее важных рабочих характеристик ПОУ относятся:

– коэффициент усиления слабого сигнала;

– насыщение усиления (уровень входного сигнала, при котором коэффициент усиления уменьшается на 3 дБ);

– зависимость коэффициента усиления от тока накачки (смещения).

Как показано на рис. 2, типовая характеристика коэффициента усиления *G(P)* ПОУ была определена, когда входная мощность *P* изменялась от -60 до +10 дБм [3–5]. Ток смещения ПОУ поддерживался на уровне 0,3 А.

В плоской ненасыщенной области зависимости *G(P)*, показанной на рис. 2, ПОУ имеет постоянный коэффициент усиления слабого сигнала *G* = 32 дБ без каких-либо нелинейных эффектов [5]. Предварительный ПОУ должен работать в этой области.

С увеличением уровня входного сигнала свыше *P* = -18 дБм, носители в активной области истощаются, что приводит к снижению коэффициента усиления ПОУ. Входная мощность насыщения, при которой *G* уменьшается на 3 дБ составляет -22 дБм. ПОУ мощности работает при больших входных мощностях.

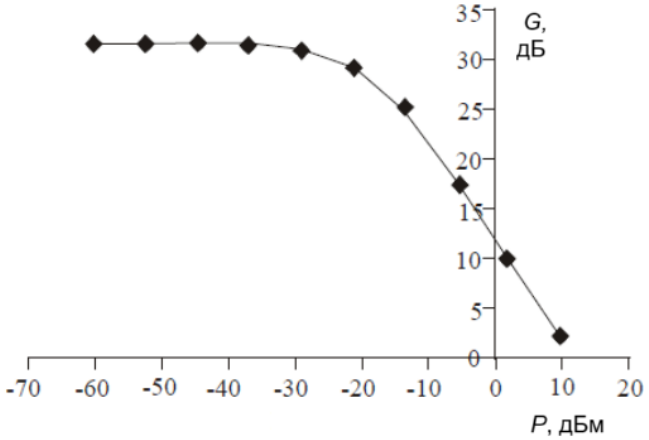


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления *G* ПОУ от уровня мощности входного оптического сигнала *P*

В высокоскоростных системах оптической связи важное значение имеет влияние скорости передачи данных *B* (Bit rate) на коэффициент усиления при малом входном сигнале.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента усиления *G* при малом входном сигнале от скорости передачи данных для тока накачки 0,25 А и уровне входной мощности *P* = -25 дБм. Скорость передачи изменялась в пределах от *B*=1 до 100 Гбит/с.

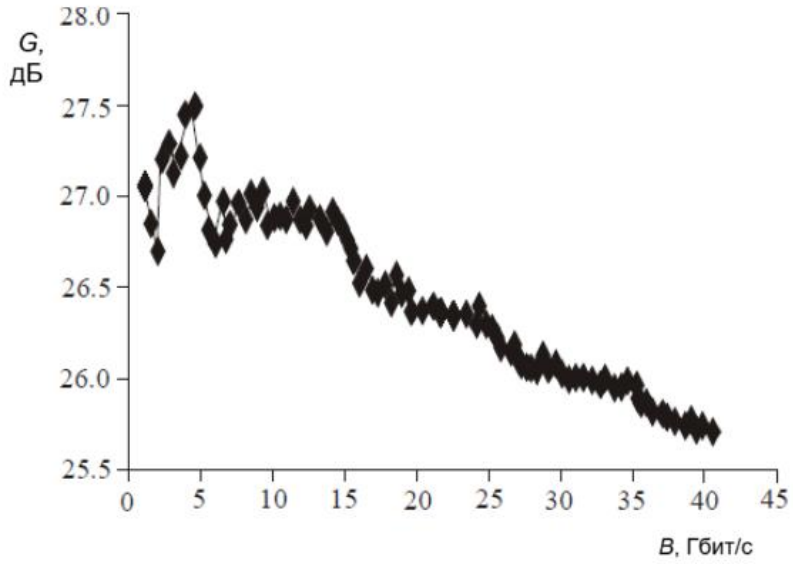


Рис. 3. Зависимость коэффициента усиления *G* от скорости передачи данных B при мощности входного сигнала -25 дБм

Видно, что при изменении скорости передачи от *B* от 1 до 40 Гбит/с максимальное усиление ПОУ изменялось от 27,5 дБ до 25,2 дБ (не более чем на 3 дБ) [5]. На более высоких скоростях передачи возникали флуктуации в спектре усиления и снижение коэффициента усиления ПОУ. Это связано с тем, что нарушается режим стационарной инверсии населенности в активной области усилителя.

Таким образом, полупроводниковые оптические усилители подходят как для волоконно-оптических систем связи, так и для оптических систем передачи данных в свободном пространстве. Преимущество полупроводниковых оптических усилителей в высоком коэффициенте усиления слабого сигнала и удобстве интеграции с лазерными источниками, модуляторами, фотоприемниками.

Использование полупроводниковых оптических усилителей в режиме насыщения позволяет сглаживать флуктуации входного оптического сигнала и тем самым повысить качество передачи информации (уменьшить вероятность ошибки, Bit Error Rate, BER). Коэффициент усиления зависит от тока накачки. При увеличении тока накачки наблюдается рост коэффициента уси-

ления ПОУ и выход на режим насыщения при меньших уровнях входного сигнала.

На высоких скоростях следования оптических символьных импульсов (скорость передачи данных *B* от 5 до 40 Гбит/с) наблюдается небольшой спад коэффициента усиления и его стабильность, как следствие возможного нарушения стационарного распределения инверсии населенности в активной области полупроводникового оптического усилителя. Таким образом, подбирая рабочие параметры полупроводниковых оптических усилителей, можно оптимизировать функционирование оптической системы передачи данных с их использованием.

Список используемых источников

1. Abisayo A. Optically Amplified Free-space Optical Communication Systems. University of Nottingham. 2013. 193p.
2. Kaiheng Zou, Kai Pang. High-capacity free-space optical communications using wavelength- and mode-division-multiplexing in the mid-infrared region // Nature Communications, 2022. Vol. 13. 7662.
3. Rani A., Dewra S. Semiconductor optical amplifiers in optical Communication system – Review // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2013. Vol. 2. № 10. PP. 2710–2719.
4. Sunil P Singh. Semiconductor optical amplifier: An overview // International Journal of Applied Research. 2016. Vol. 2 (1). PP. 959–965.
5. Johni R., Forsyth D., Tariq K. Effects on Semiconductor Optical Amplifier Gain Quality for Applications in Advanced All-optical Communication Systems // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014. № 7 (16). PP. 3414–3418.

Andreev D., Glagolev S. **APPLICATION OF SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER IN OPTICAL COMMUNICATIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

A diverse selection of semiconductor optical amplifiers enhances the potential for their application in contemporary optical communication systems. The most efficient approach is to employ semiconductor amplifiers as boosters and preamplifiers in a unified design with laser sources and photodetectors, respectively. The typical performance parameters of semiconductor optical amplifiers, as outlined in the report, provide a framework for fine-tuning the parameters of communication systems when incorporating these devices.

Key words: DWDM, optical communication, gain, spectral range, semiconductor optical amplifiers, bit rate.

УДК 681.7.068
ГРНТИ 29.31.27

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С СЕМЬЮ ПОЛЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ СЕРДЦЕВИНАМИ

Е. И. Андреева[1], А. В. Бурдин[1, 2, 3], М. А. Орлов[1], М. С. Хаджаев[4]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
[3]АО «Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»
[4]Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми

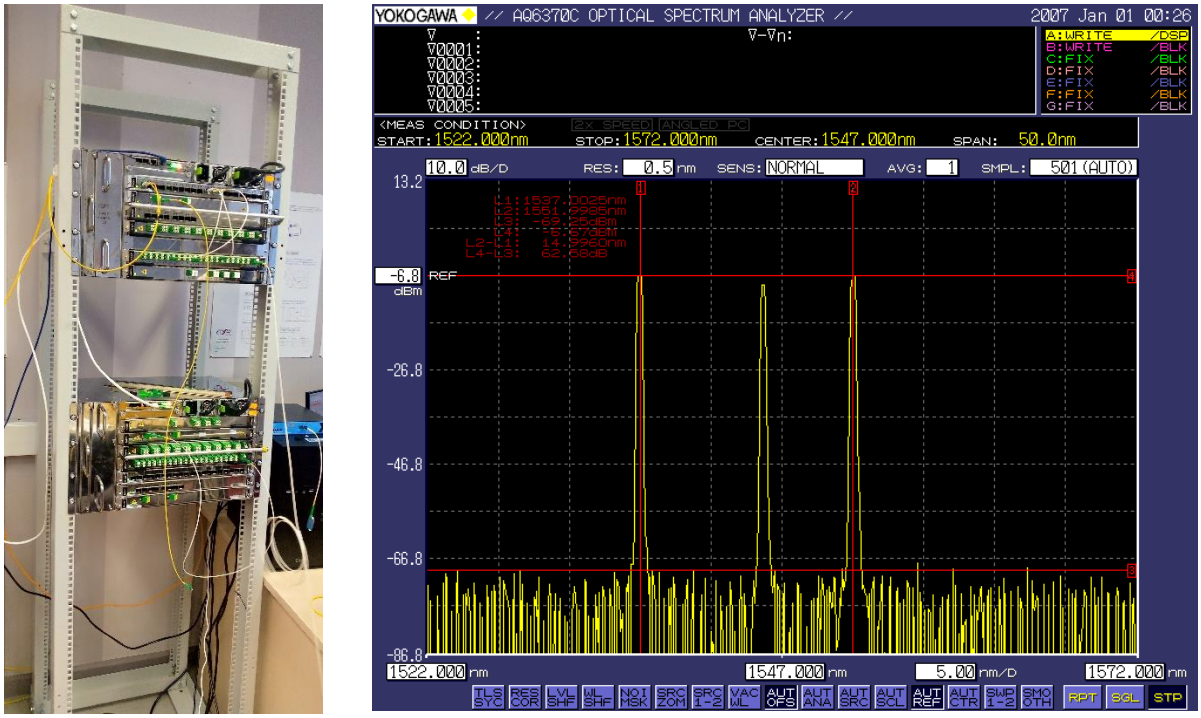
В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных для кварцевого микроструктурированного оптического волокна с 7 сердцевинами, легированными оксидом германия и наведенной закруткой 130, 300 и 730 об/метр. Были измерены спектральные отклики как одиночных, так и групповых каналов системы спектрального уплотнения коммерчески доступной телекоммуникационной системы спектрального мультиплексирования и включении разработанного микроструктурированного волокна длиной 2 м в различные участки лабораторной волоконно-оптической линии связи малой дальности.

волокно с несколькими полыми сердцевинами; закрученное микроструктурированное оптическое волокно; полая кольцевая сердцевина, легированная оксидом германия

Целью работы стало исследование раннее успешно изготовленного образца кварцевого микроструктурированного оптического волокна (MOF) с 7 сердцевинами, легированными оксидом германия GeO_2 (пример конструкции – 7 легированных оксидом германия полых кольцевых сердцевин (HRC) [1, 2]) и наведенным закруткой порядка 130 и 300 оборотов на метр. Предполагается, что такие скрученные микроструктурированные волокна могут рассматриваться как новый сложный волоконно-оптический элемент с уникальными свойствами и потенциалом для применения в устройствах управления как собственными, так и модами орбитального углового момента (OAM) [3] для применения в оптических сетях и волоконно-оптических датчиках.

Экспериментальная установка для измерения спектральной характеристики 3-х 10 Гбит/с каналов WDM группы оптических сигналов представлена на рис. 1а. В качестве лабораторного оптоволокна использовалась катушка длиной 10 км с SMF, соединенная шнурами LC (для подключения к оптиче-

скому мультиплексору WDM (MUX)) и FC (для подключения к оптическому анализатору спектра (OSA)). Все три подключаемых трансивера с малым форм-фактором (SFP) (каналы 10 Гбит/с на длинах волн λ= ~1537,00 нм, ~1545,70 нм и ~1552,10 нм) подключены к MUX патч-кордами SMF LC. На рис. 1б показан скриншот измеренного OSA эталонного спектрального отклика 3-канального группового оптического сигнала WDM после распространения по SMF длиной 10 км.



а) б)

Рис. 1. Измерение эталонной спектральной характеристики: а) экспериментальная стойка с оборудованием системы WDM; б) измеренная эталонная спектральная характеристика 3-канального группового оптического сигнала WDM после распространения по SMF длиной 10 км.

На следующем этапе были проведены измерения спектрального отклика группового сигнала 3-х 10 Гбит/с WDM-канала при включении в него образца HRC MOF длиной 2 м, легированного 7-GeO_2, с наведенной закруткой 300 об/метр на приемном конце (рис. 2). 7-HRC MOF было соединено с выходом вышеупомянутой катушки длиной 10 км с SMF, а также пигтейлом с LC шнуром через режим соединения "AUTO MM" с помощью дугового сплайсера Fujikura FSM-50S. Результаты измерений спектрального отклика, наложенные на эталонные характеристики и приведенный к нормированному виду представлены на рис. 3.

Как и ожидалось, поскольку разработанное и изготовленное кварцевое закрученное 7-GeO_2-легированное HRC MOF не формирует нелинейных эффектов, поэтому его включение в звено не повлияло на расположение пиков длин волн канала WDM на оси длин волн: не было обнаружено никаких сдвигов, а некоторая разница между максимальными длинами волн опорного и исследуемого откликов была меньше собственной ошибки OSA / пространственного разрешения по оси λ. Здесь можно отметить только дифференциальное затухание между каналами. Распределение мощности между каналами, в соответствии с исходными эталонными спектральными характеристиками, было распределено следующим образом (рис. 1 (б)): максимум соответствовал каналу «3», в то время как канал «2» был связан с наименьшей мощностью (на 1,01 % меньше по сравнению с каналом «3»), а канал «1» уступал «3» на 0,02 %. Включение витой 7-HRC MOF в приемную часть перераспределило мощность между каналами (рис. 3). Максимум остался за каналом «3», а минимум теперь соответствует каналу «1» со снижением мощности до 3,88 % по сравнению с «3». Канал «2» также характеризуется снижением мощности на 2,43 %.

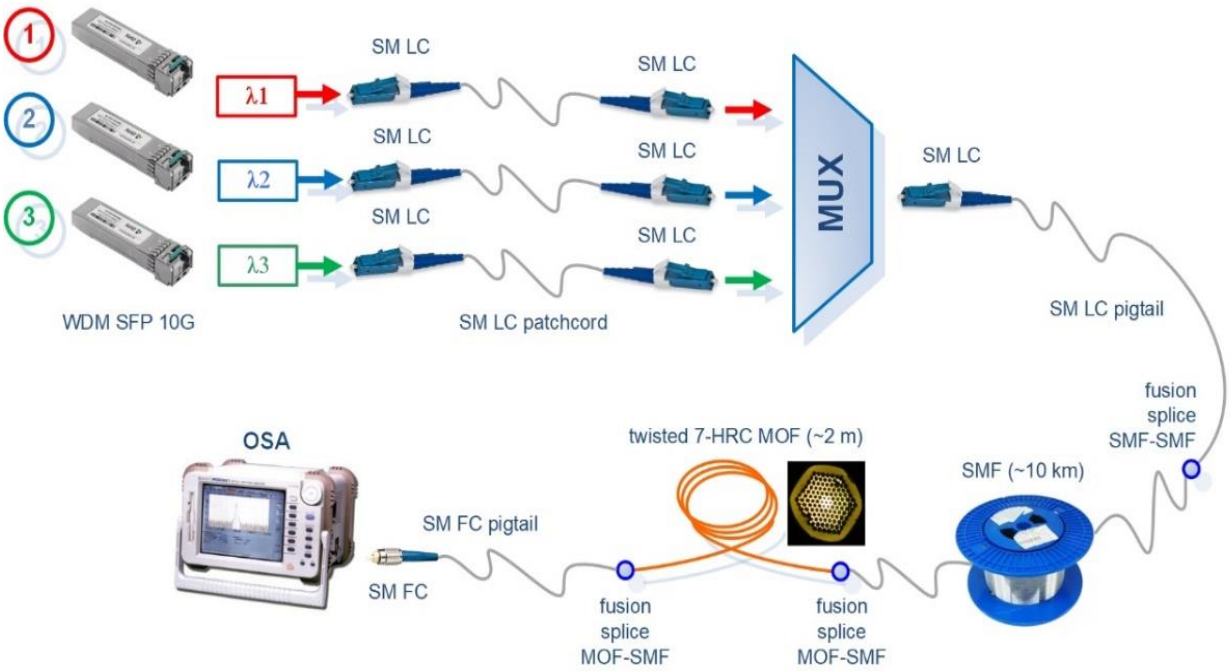


Рис. 2. Экспериментальная установка для измерения спектральной характеристики 3-канального группового оптического сигнала после распространения на расстояние 10 км через SMF с включением закрученного 7-HRC MOF длиной 2 м на приемном конце

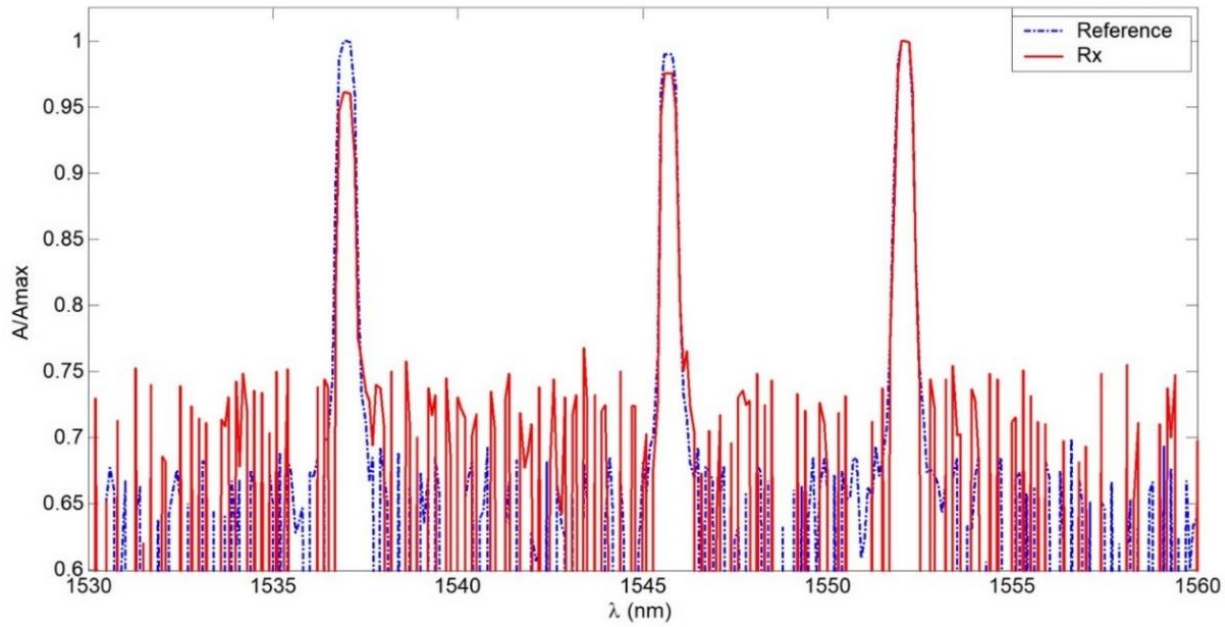


Рис. 3. Нормированные эталонные и измеренные спектральные отклики при включении 7-HRC MOF на приемном конце

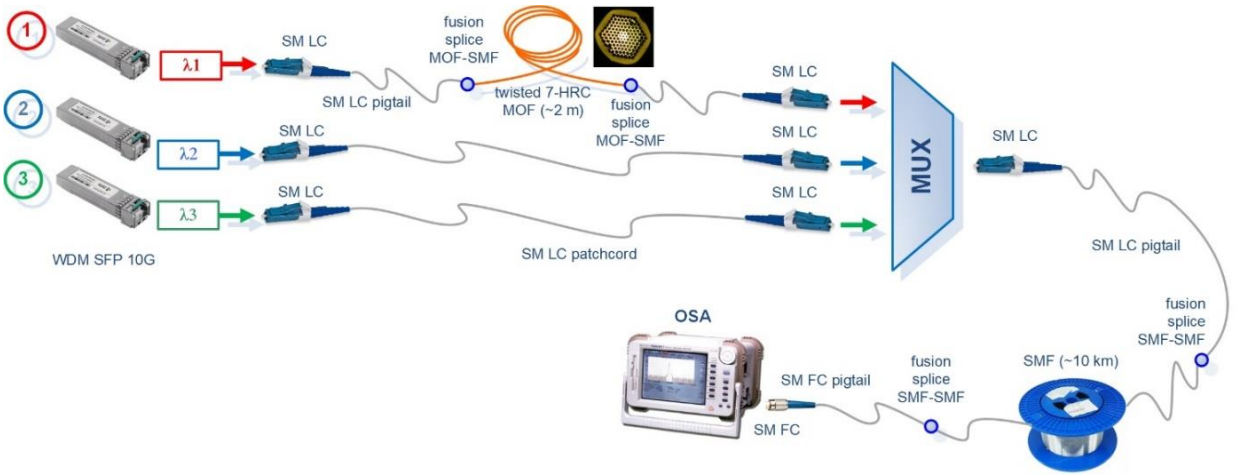


Рис. 4. Экспериментальная установка для измерения спектральной характеристики 3-канального группового оптического сигнала после распространения на расстояние 10 км через SMF с включением закрученного 7-HRC MOF длиной 2 м на передающем конце

Следующий набор измерений был направлен на исследование спектральных откликов группового оптического сигнала 3-х WDM каналов при включении закрученного 7-HRC MOF на конце передатчика (рис. 4). Здесь испытуемый образец 7-HRC MOF длиной 2 м был соединен пигтейлами LC с SMF с обеих сторон также дуговым сплайсером Fujikura FSM-50S в режиме соединения "AUTO MM" и поочередно подключен к соответствующим выходному порту передатчика WDM-канала и входному порту мультиплексора WDM. В качестве лабораторного оптоволоконного тракта вновь использовалась упомянутая выше катушка с SMF длиной 10 км, соединенная пигтейлами из LC и FC

шнуров. Результаты измерений спектрального отклика, нормированные и наложенные на эталонные характеристики, приведены на рис. 5.

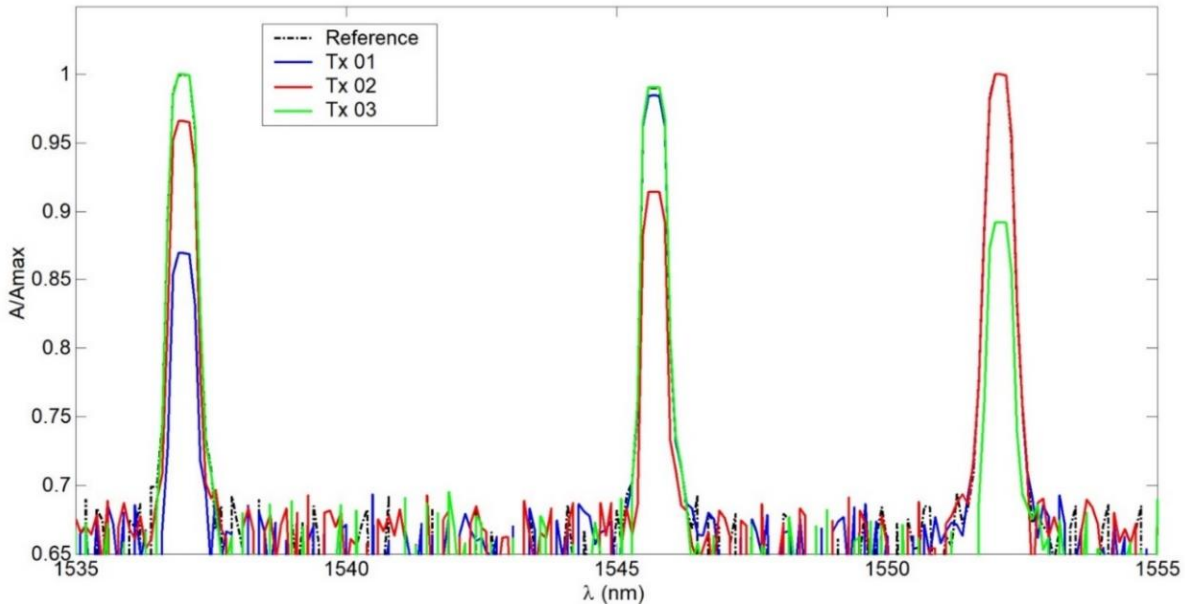


Рис. 5. Нормированные эталонные и измеренные спектральные отклики при включении 7-HRC MOF на передающем конце

Согласно результатам измерений, включение 7-HRC MOF в передающую часть канала не повлияло на позиционирование пиков длин волн WDM-канала. Как и ожидалось, 7-HRC MOF снизил мощность канала по сравнению с эталонными значениями: на 13,05 % для канала «1», 8,60 % – для канала «2» и 0,79 % – для канала «3». Кроме того, было выявлено некоторое влияние на соседние каналы. Например, включение 7-HRC MOF в передающий конец канала «2» также снизило мощность канала «1» на 3,42 % по сравнению с эталонным максимальным значением, соответствующим каналу «3», в то время как на эталонном отклике эта разница составляет всего 0,02 %, как уже упоминалось выше. То же самое было замечено и для канала «1»: здесь включение 7-HRC MOF в канал «1» также повлияло на мощность канала «2», уменьшив ее на 1,53 % по сравнению с эталонным 1,01 %.

Таким образом, детальное исследование свойств, представленных закрученных кварцевых 7- GeO_2-легированных HRC MOF для использования в измерениях, датчиках, лазерных системах, телекоммуникациях и т. д. – требует их адаптации к этим приложениям, а также проведения дополнительных серий тестов и экспериментов в будущих работах.

Список используемых источников

1. Li Sh., Wang Ji. Multi-orbital-angular-momentum multi-ring fiber for high-density space-division multiplexing. IEEE Photonics Journal, 2013. Vol. 5 (5). PP. 7101007-1 – 7101007-7.

2. Wang Yi., Liu Yu., Zhao We., Yang J., Geng W., Fang Yu., Bao Ch., Ren Yo., Wang Zh., Liu Ya.-G., Pan Zh., Yue Ya. Multi-ring-air-core fiber supporting numerous radially fundamental OAM modes. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2022. Vol. 40 (13). PP. 4420–4428.
3. Vigneswaran Dh., Rajan M. S. M., Biswas B., Grover A., Ahmed K., Paul B. K. Numerical investigation of spiral photonic crystal fiber (S-PCF) with supporting high order OAM modes propagation for space division multiplexing applications, Optical and Quantum Electronics 53, 2021. PP. 78-1 – 78-11.

Andreeva E., Bourdine A., Orlov M., Khadjaev M. **INVESTIGATION OF OPERATION CONDITIONS OF QUARTZ MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS WITH SEVEN HOLLOW RING CORES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I."
Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
Samarkand branch of Tashkent University of Information Technology named after Mukhammad al-Khwarizmi

This work presents results of experimental studies performed for a quartz microstructured optical fiber with 7 cores doped with germanium oxide and induced twist of 130, 300 and 730 rounds per meter. The spectral responses of both single and group wavelength-division multiplexing channels of a commercially available telecommunication wavelength-division multiplexing system were measured when a 2 m microstructured optical fiber was inserted into different sections of a short-range laboratory fiber optic link.

Key words: multi hollow ring core fiber, twisted microstructured optical fiber, silica GeO2-doped supporting elements.

УДК 004.056.55
ГРНТИ 29.05.15

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОТОКОЛЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

М. В. Антонцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Стремительное развитие квантовых технологий явило миру надвигающуюся проблему – современные методы асимметричного шифрования, такие как RSA, с появлением общедоступных квантовых компьютеров перестанут обеспечивать защиту передаваемых данных. Подобная тенденция вынудила криптографическое сообщество искать новые способы передачи конфиденциальных данных. Одним из таких способов является передача шифрованных данных по открытому каналу, ключ к дешифрации которых передается по закрытому каналу с помощью протоколов квантового распределения ключей. В данной статье будут рассматриваться последние наработки в вышеупомянутой области.

Квантовое распределение ключей, квантовая механика, протоколы шифрования, криптография

Протокол Twin-Field Quantum Key Distribution (TF-QKD)

Протокол TF-QKD был впервые предложен в 2018 году Фумихиро Луси, Масато Курода, и Масаки Тамаки, а также группой исследователей во главе с Марко Лусио [1]. Основным достоинством является передача распределенных ключей на большие расстояния, превышающие возможности традиционных квантовых протоколов, таких как BB84 и MDI-QKD. Основное преимущество TF-QKD заключается в том, что он преодолевает так называемую *границу Плоба (PLOB bound)*, которая ограничивает эффективность передачи ключей из-за потерь в оптическом канале.

Основные особенности применения протокола TF-QKD:

1. *Использование третьей стороны (Чарли).* Именно на этом звене происходят основные измерения, однако доступа к информации оно не имеет.
2. *Интерференция одиночных фотонов.*
3. *Метод передачи на основе разности фаз.*
4. *Скорость передачи ключа* уменьшается пропорционально квадратному корню из коэффициента потерь в канале, а не экспоненциально, как это происходит в большинстве других схем.

Принцип передачи ключа следующий: стороны-участницы (Алиса и Боб) отправляют слабые когерентные световые импульсы к Чарли, который, в свою очередь, фиксирует фазовую интерференцию сигналов, но не знает, какие биты закодированы в этих сигналах. Это значит, что даже если Чарли окажется

злоумышленником, он не сможет получить информацию о передаваемом ключе. Алиса и Боб случайным образом выбирают фазы своих сигналов. Если разница фаз между сигналами соответствует заранее согласованному значению, Чарли регистрирует успешную интерференцию. На основе этого Алиса и Боб могут извлечь бит ключа. После получения сигналов и интерференции стороны используют классические алгоритмы для коррекции ошибок и усиления приватности, чтобы получить финальный секретный ключ. Функциональная схема работы протокола изображена на рисунке 1.

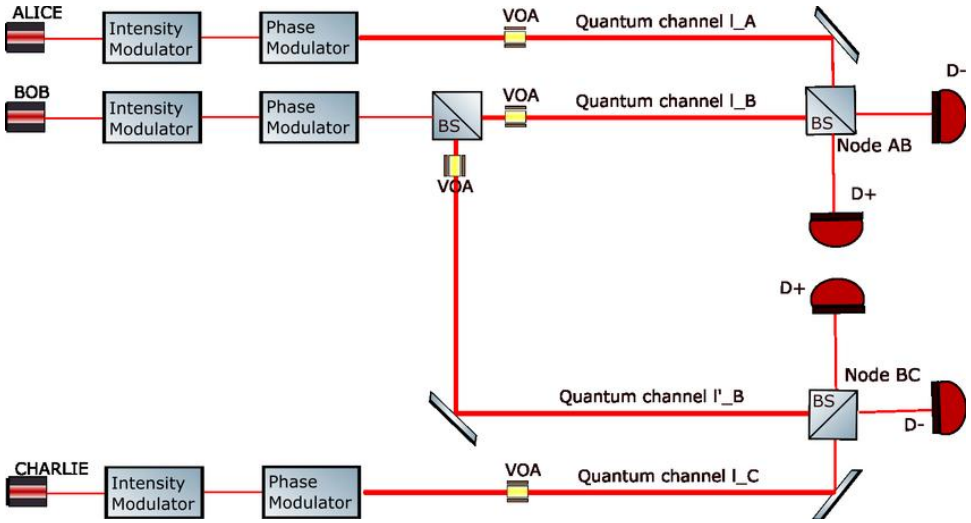


Рис. 1. Протокол TF-QKD

Следует отметить некоторые моменты.

1. Наиболее корректно протокол работает лишь при *бинарном кодировании*. С многомерными состояниями возникают противоречия и систематические ошибки, которые препятствуют реализации безопасности протокола [2].

2. Экспериментально была достигнута *дальность передачи* более чем в 1000 километров. Однако протокол более оптимизирован для средних дистанций в районе 200-500 км, имея при этом скорость передачи в 111,74 кбит/с, что прекрасно подходит для передачи ключей между городами [3].

3. TF-QKD требует *высокоточной синхронизации фаз* между удаленными сторонами. Даже небольшие флуктуации фаз могут привести к значительным ошибкам в измерениях, что снижает вероятность успешного извлечения ключа. Для компенсации фазовых флуктуаций требуются сложные системы стабилизации, что увеличивает стоимость и сложность оборудования.

Протокол Continuous-Variable Quantum Key Distribution (CV-QKD)

CV-QKD отличается от традиционных квантовых протоколов, таких как BB84, тем, что вместо дискретных переменных, таких как поляризация фотонов, для кодирования данных используются непрерывные переменные, такие как *амплитуда* и *фаза* световых импульсов (рис. 2). Этот подход позволяет

обрабатывать информацию с использованием *классических фотонов*, что делает систему более устойчивой и совместимой с существующими телекоммуникационными технологиями [4].

Одной из главных особенностей CV-QKD является использование *квантового шума* (например, флуктуаций вакуума) для безопасной передачи данных. Протокол использует *смешанное состояние*, состоящее из квантовых и классических данных, что позволяет более эффективно справляться с шумами канала и повышать *пропускную способность* по сравнению с другими методами распределения ключей.

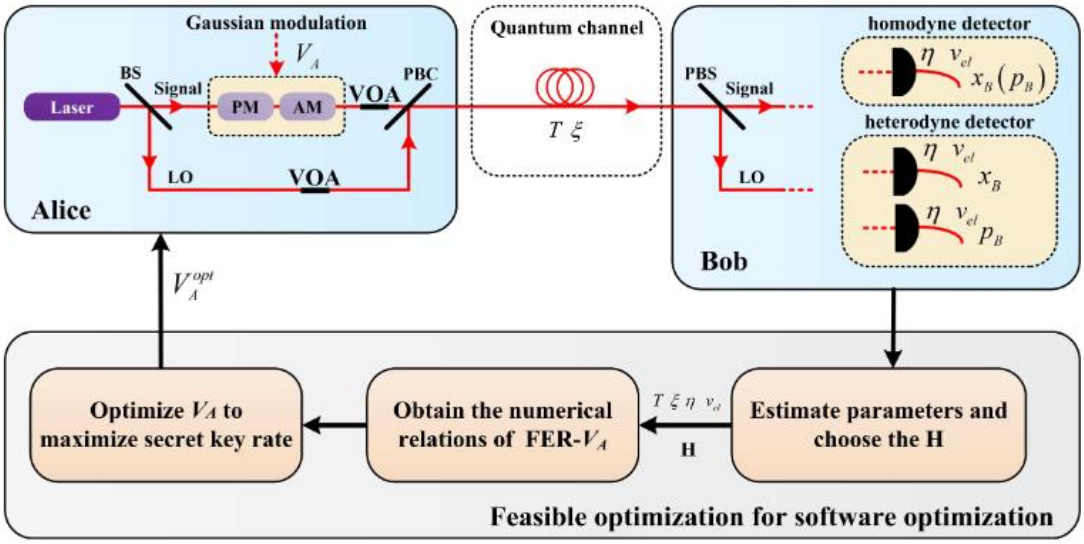


Рис. *2*. Протокол CV-QKD

Принцип работы CV-QKD:

1. *Подготовка данных*. Отправитель (Алиса) генерирует световые импульсы с определенными значениями амплитуды и фазы, которые кодируют ее битовую информацию. Алиса отправляет эти импульсы через квантовый канал к получателю (Бобу).

2. *Передача данных*. Импульсы проходят через канал связи, который может подвергаться помехам и потерям. Отметим, что квантовый характер импульсов защищает их от взлома на промежуточных этапах, так как любое вмешательство в состояние фотонов приводит к их заметному искажению.

3. *Измерения и декодирование*. Боб принимает импульсы и измеряет их параметры – амплитуду и/или фазу – с использованием оптических детекторов (гомодинных, либо гетеродинных приемников). Боб и Алиса используют открытый канал для определения кодировки, а также открывают некоторую часть переданных бит для определения нормального уровня шумов и помех канала.

4. *Коррекция ошибок*. Из-за шума в канале и потенциальных вмешательств данных, Алиса и Боб могут использовать методы коррекции ошибок для согласования их ключей.

Ключевые особенности:

1. Передача осуществляется с помощью стандартных телекоммуникационных компонентов, таких как лазеры и модуляторы, что позволяет достигать высоких скоростей передачи данных и легко интегрироваться в существующие оптические сети.

2. Несмотря на то, что CV-QKD более устойчив к шуму по сравнению с дискретными методами, на большие расстояния квантовый шум и потери на длинных расстояниях все еще остаются проблемой.

3. Точность в измерениях амплитуды и фазы критична для корректного функционирования протокола. Даже малые ошибки в измерениях могут привести к некорректным ключам и уязвимостям.

4. Главной угрозой для данного метода является наличие у злоумышленника квантового повторителя (ретранслятора). В связи с этим нарушитель может долго не быть обнаруженным из-за «прозрачного» присутствия.

5. Современные эксперименты показали, что с использованием оптоволоконных связей и подходов по компенсации потерь, возможно достичь дальности до 200-300 км [5].

6. В системах CV-QKD можно достичь скоростей в несколько мегабит в секунду, что значительно выше, чем в большинстве традиционных квантовых протоколов.

Протокол Device-Independent Quantum Key Distribution (DI-QKD)

Аппаратно-независимое квантовое распределение ключей применяется в случае, когда отсутствует полное доверия к оборудованию, используемому для передачи и приема данных. Этот протокол способен обнаруживать любые попытки вмешательства со стороны злоумышленников, даже если оборудование, используемое для распределения ключей, не является идеальным. Это достигается за счет использования *неравенств Белла* для проверки наличия квантовой запутанности между частицами, которые используются для передачи ключей [6].

Проверка неравенства Белла в протоколе DI-QKD является энергоемким процессом, поскольку требует большого числа квантовых измерений и высокой степени корреляции для получения статистически значимого результата. Причины:

1. *Требования к числу измерений*. Для того чтобы достоверно подтвердить нарушение неравенства Белла, Алисе и Бобу необходимо провести множество независимых измерений запутанных частиц. Чем выше требования к уровню безопасности, тем большее количество измерений потребуется.

2. *Сложность обработки данных*. После измерений необходимо обработать значительный объем данных, чтобы вычислить корреляции и определить, нарушено ли неравенство Белла. Это требует вычислительных ресурсов и времени.

3. *Чувствительность к шуму*. Запутанные состояния очень чувствительны к шуму и потерям в канале передачи. Поэтому для успешной проверки необходимо поддерживать высокое качество оптического или иного квантового канала. Любой шум может привести к снижению корреляций, необходимых для нарушения неравенства Белла, что потребует дополнительных ресурсов для фильтрации и анализа данных.

Поскольку DI-QKD требует высокого уровня запутанности и стабильных квантовых каналов, его реализация на больших расстояниях является технологически сложной задачей. Тем не менее, эксперименты показывают, что протоколы DI-QKD могут достигать расстояний порядка сотен метров до нескольких десятков километров при использовании современных оптических технологий. Скорость генерируемого ключа ниже по сравнению с традиционными протоколами QKD (например, BB84), из-за необходимости многократного измерения запутанных частиц и обработки большого количества данных для нарушения неравенств Белла.

Список используемых источников

1. Tamaki K., Lo H.-K., Wang W., Lucamarini M. Information theoretic security of quantum key distribution overcoming the repeaterless secret key capacity bound. URL: https://arxiv.org/pdf/1805.05511
2. Mueller R., Zahidy M., Oxenløwe L. K., Forchhammer S., Bacco D. On High-Dimensional Twin-Field Quantum Key Distribution. [Электронный ресурс]. https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2405.04207
3. Yang Liu, Wei-Jun Zhang, Cong Jiang, Jiu-Peng Chen, Di Ma, Chi Zhang. 1002 km Twin-Field Quantum Key Distribution with Finite-Key Analysis. URL: https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2402.00005
4. Nitin Jain, Hou-Man Chin, Hossein Mani. Practical continuous-variable quantum key distribution with composable security. URL: https://arxiv.org/pdf/2110.09262
5. Yichen Zhang, Ziyang Chen, Stefano Pirandola, Xiangyu Wang. Long-Distance Continuous-Variable Quantum Key Distribution over 202.81 km of Fiber. URL: https://harvest.aps.org/v2/journals/articles/10.1103/PhysRevLett.125.010502/fulltext
6. Zhang W., van Leent T., Redeker K. Experimental device-independent quantum key distribution between distant users. URL: https://arxiv.org/pdf/2110.00575

Antontsev M. **MODERN PROTOCOLS QUANTUM KEY DISTRIBUTION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The rapid advancement of quantum technologies has brought forth an imminent challenge: modern asymmetric encryption methods, such as RSA, will no longer ensure the security of transmitted data once quantum computers become widely accessible. This trend has pushed the cryptographic community to seek new methods for securely transmitting confidential information. One such approach is the transmission of encrypted data over an open channel, with the decryption key delivered over a secure channel using quantum key distribution (QKD) protocols. This article explores the latest developments in the aforementioned field.

Ke ywords: quantum key distribution, quantum mechanics, encryption protocols, cryptography.

УДК 004.712
ГРНТИ 49.44

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖЕБНЫХ КАНАЛОВ В DWDM-СИСТЕМАХ НА ФИЗИЧЕСКОМ И ЛОГИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Е. Д. Бессонова, С. Н. Лукиных, С. В. Пономарев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Ежегодно возрастающее количество устройств, задействованных в получении услуг инфокоммуникационной сети, во многом определяет параметры и потребности магистральных линий, которые в свою очередь, как правило, представляют собой DWDM-системы. В связи с отсутствием конкурентной технологии, и, как следствие, повсеместным использованием данного технологического решения в магистральных сетях, остро стоит вопрос управления и безопасности в течение эксплуатационного срока линии. Реализация которого, системой контроля и мониторинга, происходит по средствам служебных каналов DWDM-системы.

организация служебных каналов DWDM-систем, оптический контрольный канал (OSC), длина волны 1510 нм, мониторинг оптической сети, управление DWDM

Организация, по определению, это структура, по которой работает та или иная система, ее внутреннее устройство. Оговоримся, что под содержимым служебного канала – понимаются все те данные, что требуются системе управления (NMS, EMS) для контроля компонентов оптической сети. Организация служебного канала разделяется на уровень физической реализации и логический уровень.

Физический уровень

На данном этапе необходимо затронуть физические параметры необходимые и используемые для реализации служебных каналов в DWDM-системах, а именно: формат трафика, длину волны, тип коррекции ошибок и топологию для реализации.

На уровне OTN существует два способа организации служебных каналов, название которых утверждено ITU-T в рекомендации G.709 и трактуется как: OSC (Optical Supervisory Channel) [1].

1. Реализация OSC по технологии Out-Of-Band на длине волны 1510 нм: В этом подходе служебный канал выделяется на фиксированной длине волны 1510 нм, которая находится в оптическом S-диапазоне, вне стандартного рабочего диапазона каналов DWDM-систем. Так как OSC-трафик обычно имеет низкую пропускную способность (2 Мбит/с), FEC на уровне транспортного оборудования может не использоваться или быть минимальным. Например Hamming Code, который применяется как упрощенный вариант FEC для очень низкоско-

ростных каналов. Касаемо формата трафика, поддерживаемого OSC при данной реализации, возможно использование следующих типов: Ethernet, SDH/SONET, Протоколы управления. В последнем случае подразумеваются протоколы верхнего уровня, такие как OSPF-TE (для маршрутизации), SNMP, FTP (для логов) или собственные протоколы вендоров. Особенность и преимущество данного подхода в том, что топология подразумевает изоляцию от рабочих каналов DWDM. Так как использование 1510 нм позволяет избежать интерференции с основными каналами, обеспечивая стабильность передачи. На приемной стороне канал 1510 нм легко фильтруется при помощи стандартных оптических фильтров, а на передающей стороне задействован мультиплексор, совмещающий сгенерированный OSC-трафик блоком управления с клиенским трафиком в общем линейном сигнале. Недостатком выбранного инженерного решения является то, что длина волны 1510 нм подвержена затуханию на длинных участках оптического волокна, без возможности усиления оптическим усилителем EDFA.

2. Реализация OSC по технологии In-Band на длине волны из стандартного диапазона каналов для DWDM-систем. В подходе In-Band служебный канал OSC передается на одной из длин волн, в диапазоне C-диапазона (1528–1565 нм) или L-диапазона (1565–1625 нм), чтобы она могла быть усилена стандартными EDFA. Данная длина волны используется исключительно для передачи служебных данных, таких как управление и мониторинг, оставаясь в пределах рабочего спектра DWDM-системы. Как и технология Out-Of-Band, In-Band поддерживает Ethernet, SDH/SONET и все те же протоколы управления. Поддерживается следующий ряд видов технологий для коррекции ошибок GFEC, EFEC (Enhanced FEC), SD-FEC (Soft Decision FEC).

Главным достоинством In-Band является возможность усиления OSC с помощью EDFA, но взамен, для реализации необходимо потерять в клиентском трафике и отдать одну отдельную длину волны. Схема организации подразумевает наличие специализированных мультиплексоров и встроенных блоков управления. Несмотря на вышеописанные минусы, данный способ реализации является лидирующим технологическим решением при организации служебных каналов DWDM-систем.

Логический уровень

Организация служебного канала на уровне идеи может принципиально отличаться при смене логического уровня. Таким образом существуют In-Band GCC (General Communication Channel) и Out-Of-Band GRE решения.

In-Band GCC представляет собой интеграцию служебного трафика в структуры OTN на уровнях OTUk или ODUk. Каналы GCC0, GCC1 и GCC2 выделяются для передачи данных управления и мониторинга внутри основного трафика. Эта реализация позволяет передавать OSC без необходимости

использования дополнительных длин волн, что делает ее экономически выгодной и минимизирует сложность архитектуры сети. Сигналы OSC инкапсулируются в специально зарезервированные области OTN-фрейма, что обеспечивает строгую интеграцию с протоколами сетевого управления, такими как GMPLS и SNMP [2]. Однако такой подход имеет ограничения: в случае сбоев или деградации основного канала трафик OSC может быть нарушен, что снижает надежность управления (ITU-T G.709, 2020).

С другой стороны, реализация OSC через Out-of-Band GRE подразумевает использование отдельного физического канала, обычно на фиксированной длине волны в диапазоне, не пересекающемся с клиентским трафиком DWDM. Технология GRE позволяет инкапсулировать служебный трафик в стандартизированный формат и передавать его по выделенной длине волны, что обеспечивает полную независимость от состояния основных каналов. Преимущество этого подхода заключается в высокой устойчивости и изоляции управления, так как служебные данные не подвержены воздействию ошибок клиентского трафика [3]. Однако использование Out-of-Band требует выделения отдельной длины волны, что может увеличивать затраты, особенно в условиях плотных DWDM-систем.

Выбор между In-Band GCC и Out-of-Band GRE часто зависит от требований к архитектуре сети. In-Band GCC эффективен в условиях ограниченности спектральных ресурсов и высокой интеграции трафика, но более уязвим к сбоям. Out-of-Band GRE обеспечивает большую надежность за счет физической изоляции, но требует дополнительных спектральных и аппаратных ресурсов. Таким образом, оптимизация выбора подхода для OSC базируется на балансе между затратами и требованиями к надежности и производительности сети.

Список используемых источников

1. ITU-T Recommendation G.709 (2020). Interfaces for the Optical Transport Network (OTN). International Telecommunication Union.
2. Rao M., Liu Y., Zhang X. Advances in Optical Transport Networks. Springer, 2020.
3. Chen L., Wang H., Xu J. Encapsulation Techniques in Modern Optical Networks. Wiley, 2021.

Bessonova E., Lukinih S., Ponomarev S. **ORGANIZATION OF SERVICE CHANNELS IN DWDM SYSTEMS AT THE PHYSICAL AND LOGICAL LEVEL.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The use of different implementation methods for the Optical Supervisory Channel (OSC) in DWDM systems provides flexibility in network management and monitoring. Implementing OSC on a dedicated wavelength, such as 1510 nm, ensures separation from data channels and minimizes interference. Alternatively, embedding OSC as the sixtieth channel within the DWDM spectrum allows efficient utilization of spectral resources. Analytical evaluation highlights the trade-offs between isolation, attenuation, and resource efficiency for each method. These approaches enable reliable operation, real-time diagnostics, and effective management of high-capacity optical networks.

Key words: DWDM systems, Optical Supervisory Channel (OSC), 1510 nm wavelength, Optical network monitoring, DWDM management.

УДК 535.14
ГРНТИ 29.05.15

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОВЕДЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ В ОПТИЧЕСКИХ СХЕМАХ С ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ СВЕТОДЕЛИТЕЛЕМ И ЯЧЕЙКОЙ ФАРАДЕЯ

Г. Р. Бразовский, М. С. Былина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Квантовые технологии в настоящее время активно развиваются. Для покрытия потребности в квалифицированных специалистах необходимо производить своевременное теоретическое и практическое обучение, в которое входят и лабораторные работы. В работе представлена лабораторная работа по исследованию поведения одиночных фотонов в оптических схемах с поляризационным светоделителем и ячейкой Фарадея.

виртуальная лабораторная установка, квантовая оптика, квантовые явления, интерферометр Маха-Цендера, вектор состояния

Развитие квантовых технологий – одно из приоритетных направлений научно-технического развития России. На данный момент уже наблюдается нехватка соответствующих кадров, для покрытия которой необходимо производить своевременное теоретическое и практическое обучение. Высокая стоимость и низкая доступность необходимого оборудования вызывает затруднения при создании физической лаборатории.

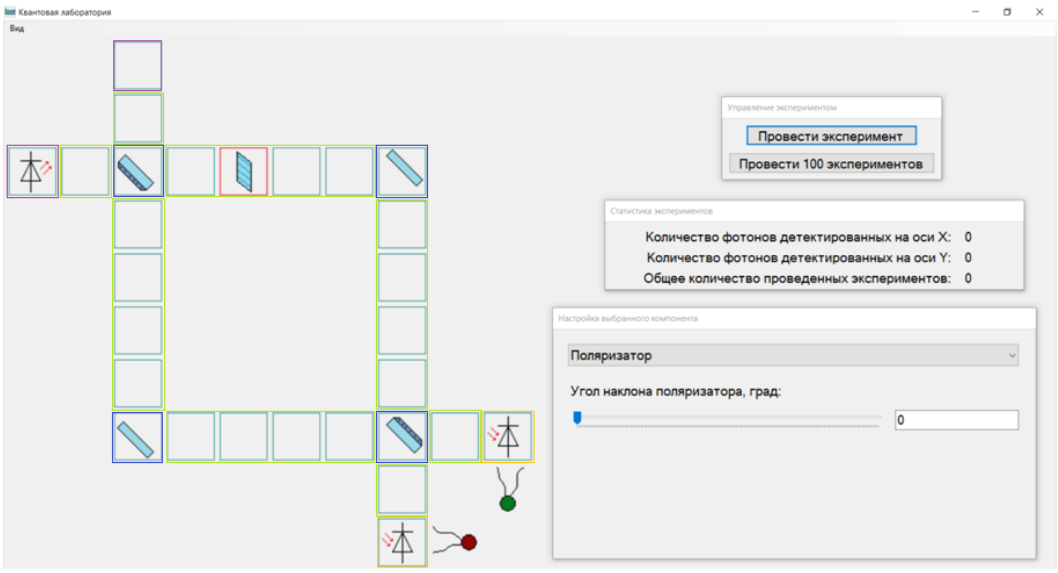


Рис. 1. Пользовательский интерфейс виртуальной лабораторной установки

Решением может стать виртуальная лабораторная установка, созданная на кафедре ОКСС в СПБГУТ [1] (рисунок 1). Основой установки является математическая модель интерферометра Маха-Цендера, состоящего из двух непрозрачных (НЗ) и двух полупрозрачных (ППЗ) зеркал (синие клетки). ППЗ,

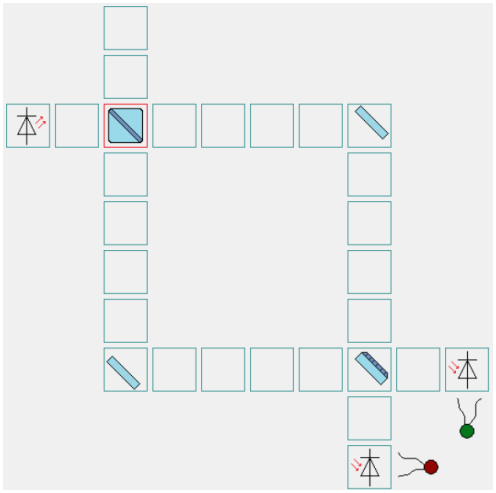
которые могут быть заменены на поляризационные светоделители (ПС) [1, 2]. Для проведения исследований устанавливается источник излучения (ИИ) (фиолетовые клетки), и два фотоприемника (ФП) (желтые клетки).

Студент собирает оптическую схему, устанавливая в свободные клетки (выделенные зеленым цветом) следующие компоненты: поляризатор (П), фильтр (Ф), фазовращатель (ФВ) и вращатель поляризации (ячейка Фарадея) (ЯФ). Параметры компонентов можно настраивать [2, 3].

Рассмотрим одну из лабораторных работ «Исследование влияния ПС и ЯФ на поведение единичных фотонов в оптических схемах», в которой студенту предлагается исследовать зависимости: 1) вероятностей срабатывания ФП от азимута γ поляризации ИИ; 2) вероятностей детектирования и поглощения поляризатором фотона от угла поворота β азимута поляризации в ЯФ.

Схема для первого исследования приведена на рисунке 2а. Фотон с азимутом поляризации γ, попадая на ПС, переходит в состояние суперпозиции. Двигаясь далее по схеме, он отражается от НЗ и попадает на ППЗ. Так как две составляющие суперпозиции разделены по поляризации, интерференции не происходит, и вероятности срабатывания ФП равны. Далее предлагается убрать второе ППЗ и повторить измерения. При этом вероятности срабатывания ФП изменятся.

а



б

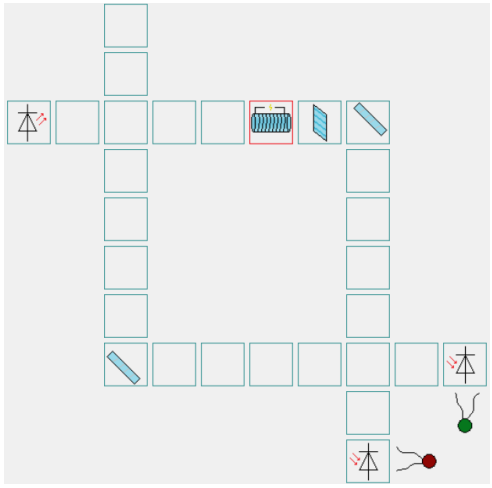


Рис. 2. Схемы, исследуемые в лабораторной работе

Схема для второго исследования приведена на рисунке 2б. Фотон с азимутом поляризации γ проходит через ЯФ, где его азимут изменяется на угол β и принимает значение $\gamma + \beta$, и поляризатор, отражается от НЗ и попадает на ФП. В зависимости от угла установки поляризатора α фотон может пройти через него или поглотиться им с некоторой вероятностью.

Перед выполнением работы студенты проводят предварительные расчеты. Для примера представим расчет для первого исследования. Вектор состояния фотона $|s_0\rangle$ на выходе ИИ [4]:

$$|s_0\rangle = (\sin(\gamma) \quad \cos(\gamma) \quad 0 \quad 0)^T \tag{1}$$

Матрицы преобразования ПС PBS, НЗ M и ППЗ BS имеют вид:

$$PBS = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, BS = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Векторы состояния $|s_1\rangle$, $|s_2\rangle$ и $|s_3\rangle$ на выходе PBS, НЗ и ППЗ соответственно:

$$|s_1\rangle = PBS \cdot |s_0\rangle = (\sin(\gamma) \quad 0 \quad 0 \quad \cos(\gamma))^T \quad (3)$$

$$|s_2\rangle = M \cdot |s_1\rangle = (0 \quad -\cos(\gamma) \quad -\sin(\gamma) \quad 0)^T \quad (4)$$

$$|s_3\rangle = BS \cdot |s_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin(\gamma) \quad -\cos(\gamma) \quad -\sin(\gamma) \quad \cos(\gamma))^T \quad (5)$$

Вероятности срабатывания детекторов P_X, P_Y:

$$P_X = |(1 \quad 0 \quad 0 \quad 0)|s_3\rangle|^2 + |(0 \quad 1 \quad 0 \quad 0)|s_3\rangle|^2 = \frac{1}{2}(\sin(\gamma))^2 + \frac{1}{2}(-\cos(\gamma))^2 \quad (6)$$

$$P_Y = |(0 \quad 0 \quad 1 \quad 0)|s_3\rangle|^2 + |(0 \quad 0 \quad 0 \quad 1)|s_3\rangle|^2 = \frac{1}{2}(-\sin(\gamma))^2 + \frac{1}{2}(\cos(\gamma))^2 \quad (7)$$

Из (6) и (7) видно, что в схеме на рисунке 2а всегда $P_X = P_Y$.

В отчет по работе входят предварительный расчет, результаты исследований и выводы.

Список используемых источников

1. Бразовский Г. Р., Былина М. С., Исупов А. И. Виртуальная лабораторная установка с интерферометром Маха-Цендера для изучения квантовых явлений // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 4. С. 365–370.
2. Бразовский Г. Р., Былина М. С., Исупов А. И. Лабораторная работа по исследованию влияния поляризаторов на единичные фотоны в интерферометре Маха-Цендера // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 4. С. 454–458.
3. Бразовский Г. Р., Былина М. С., Исупов А. И. Лабораторная работа по исследованию влияния фильтра и фазовращателя на поведение одиночных фотонов в интерферометре Маха-Цендера // Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; Сборник лучших докладов: в 2 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. С. 299–304.
4. Чернов П. С. Квантовая механика: конспект лекций (избранные вопросы). Пенза: Издательство Пензенского университета, 2013. 126 с.

Brazovskii G., Bylina M. **VIRTUAL LABORATORY WORK ON THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF SINGLE PHOTONS IN A OPTICAL CIRCIUTS WITH A POLARIZING BEAM SPLITTER AND A FARADAY CELL.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Quantum technologies are currently actively developing. To cover the need for qualified specialists, it is necessary to provide timely theoretical and practical training, which includes laboratory work. The paper presents a laboratory work on the study of the behavior of single photons in optical circuits with a polarizing beam splitter and a Faraday cell.

Key words: laboratory setup, interference, quantum optics, Mach-Zehnder interferometer, state vector.

УДК 621.39, 681.7
ГРНТИ 49.44.31

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ АПОДИЗИРОВАННОЙ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

М. С. Былина, А. В. Корицкая, И. Р. Романов, В. Ю. Шишкина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Аподизация показателя преломления волоконной брэгговской решетки (ВБР) позволяет улучшить ее спектр отражения за счет подавления боковых лепестков. В работе представлена методика расчета спектральных характеристик аподизированных ВБР. Методика основана на разбиении аподизированной ВБР длиной L на m фрагментов длиной ΔL = L / m, каждый из которых можно считать однородной ВБР. Приведены результаты расчета ВБР с аподизацией показателя преломления косинусоидальной и гауссовской функциями.

волоконная брэгговская решетка, аподизация показателя преломления, аподизированная волоконная брэгговская решетка, матрица передачи, теория связанных мод

Волоконная брэгговская решетка (ВБР) представляет собой область сердцевины оптического волокна, в которой создано периодическое изменение показателя преломления (ПП). ВБР широко используются в качестве избирательных зеркал, оптических фильтров, а также чувствительных элементов для датчиков температуры и деформации [1, 2].

ВБР длиной L с постоянным периодом Λ и одинаковой вдоль всей длины глубиной Δn модуляции ПП называют однородной (рис. 1). Такая решетка отражает часть падающего излучения, причем спектр отраженного излучения сосредоточен вблизи длины волны Брэгга λ_B. В [1–3] приведены аналитические выражения для расчета спектральной характеристики отражения однородной ВБР.

Однако реальные ВБР, разрабатываемые для практических применений, обычно не являются однородными. Параметры неоднородной ВБР зависят от координаты z вдоль волокна. Решетки с зависимостью $\Lambda(z)$ называют чирпированными и применяют, например, для компенсации хроматической дисперсии. Решетки с зависимостью $\Delta n(z)$ называют аподизированными. Применение аподизированных ВБР позволяет уменьшить нежелательные боковые лепестки в спектре отражения и скорректировать форму спектра отражения [4]. Находят применение также ВБР с дискретными фазовыми сдвигами, спектр отражения которых может иметь несколько резонансных длин волн [5].

Для получения спектров отражения и пропускания неоднородной ВБР необходимо решать дифференциальные уравнения для связанных мод в неоднородной структуре [6], что является непростой математической задачей. В [4] рассматривается упрощенная методика получения спектров неоднородной ВБР, основанная на представлении ее совокупностью однородных участков.

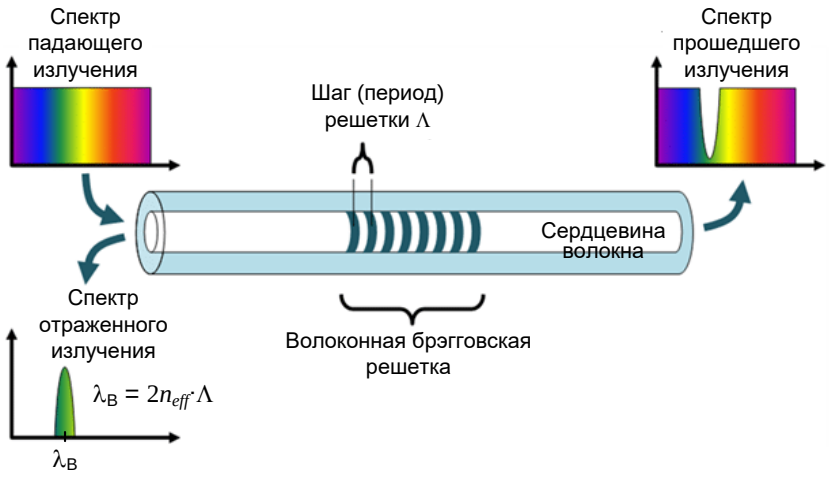


Рис. 1. Однородная ВБР

Применим эту методику к расчету аподизированной ВБР, ПП которой $n(z)$ изменяется по закону:

$$n(z) = n_0 + \Delta n(z) \cdot cos(2\pi z/\Lambda), \quad (1)$$

где n_0 – среднее значение ПП, z – координата вдоль ВБР, $\Delta n(z)$ – глубина модуляции ПП.

Разобьем ВБР на M участков одинаковой длины $\Delta z = L / M$. Будем считать, что каждый участок представляет собой однородную ВБР с глубиной модуляции ПП $\Delta n_j = \Delta n(z_j)$, где $z_j = 0.5\Delta z \cdot (2j - 1)$ – координата центра j-го участка ($j = 1, 2, \ldots M$).

Излучение в каждом сечении ВБР может быть представлено вектором $\begin{pmatrix} A_+ \\ A_- \end{pmatrix}$, где A_+ и A_- – нормированные комплексные амплитуды двух связанных мод, распространяющихся в прямом и обратном направлении соответственно. Введем матрицу передачи ВБР $\boldsymbol{F}$:

$$\begin{pmatrix} A_{M+} \\ A_{M-} \end{pmatrix} = \boldsymbol{F} \begin{pmatrix} A_{0+} \\ A_{0-} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\begin{pmatrix} A_{0+} \\ A_{0-} \end{pmatrix}$ – вектор входного воздействия на решетку, $\begin{pmatrix} A_{M+} \\ A_{M-} \end{pmatrix}$ – вектор выходного излучения. Поскольку входным воздействием является излучение, падающее на решетку, то есть распространяющееся в прямом направлении, будем считать $A_{0+} = 1$ и $A_{0-} = 0$. Поскольку решетка отражательная, вектор выходного излучения определяется в сечении $z = 0$.

Спектр отражения решетки можно рассчитать по выражению:

$$R = \left|\frac{A_{M+}}{A_{M-}}\right|^2. \quad (3)$$

Представим матрицу F решетки произведением матриц отдельных ее участков:

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_M} \cdot \boldsymbol{F_{M-1}} \cdot \ldots \cdot \boldsymbol{F_1}. \quad (4)$$

$$\boldsymbol{F_j} = \begin{pmatrix} A & B \\ B^* & A^* \end{pmatrix}. \quad (5)$$

где * означает операцию комплексного сопряжения, а коэффициенты A и B определяются выражениями [2–4]:

$$A = s_j\, cosh(s_j \Delta z) - i \cdot \Delta k_j\, sinh(s_j \Delta z), \quad (6)$$

$$B = -i \cdot \Omega_j\, sinh(s_j \Delta z). \quad (7)$$

В (6) и (7) входят параметры однородного участка решетки – коэффициент связи мод Ω_j и волновая расстройка Δk_j:

$$\Omega_j = \frac{\pi \cdot \Delta n_j}{\lambda} \cdot \eta,\ \Delta k_j = \frac{2\pi \cdot n_j}{\lambda} - \frac{\pi}{\Lambda}, \quad (8)$$

где η – доля мощности моды в сердцевине волокна. Через Ω_j и Δk_j определяется параметр s_j:

$$s_j = \sqrt{\Omega_j^2 - \Delta k_j^2}. \quad (9)$$

Для ВБР, записанной в одномодовом стандартном волокне с радиусом сердцевины r_c и числовой апертурой NA, η можно рассчитать по выражению [2]:

$$\eta = 1 - \frac{1}{V^2}, \quad (10)$$

где $V = 2\pi r_c \cdot NA / \lambda$ – нормированная частота волокна.

Рассмотрим два вида аподизации ВБР – косинусоидальной (11) и гауссовой (12) функциями:

$$\Delta n_j = 0.5 \cdot \Delta n \left[1 + cos\left(\frac{\pi(z-0.5L)}{L/a}\right)\right]_{max}, \quad (11)$$

$$\Delta n_j = \Delta n\, exp\left[\frac{-4\, ln\, 2 \cdot (z-0.5L)^2}{(L/a)^2}\right]_{max}, \quad (12)$$

где Δn_{max} – максимальная глубина модуляции ПП в центре ВБР, a – безразмерный коэффициент, определяющий относительную ширину функции аподизации.

Параметры одномодового волокна и ВБР для дальнейших расчетов приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры волокна и ВБР

Параметр	Значение
ПП сердевины волокна n_c	1.449
Радиус r_c сердцевины волокна, мкм	4.1
Числовая апертура волокна NA	0.12
Максимальная глубина модуляции ПП Δn_{max}	0.001
Номинальная длина волны Брэгга λ_B, мкм	1.55
Длина ВБР L, мм	3.0
Количество однородных участков M	50

На рис. 2 представлены результаты расчетов спектров отражения ВБР, аподизированных косинусоидальной, а на рис. 3 – гауссовой функцией.

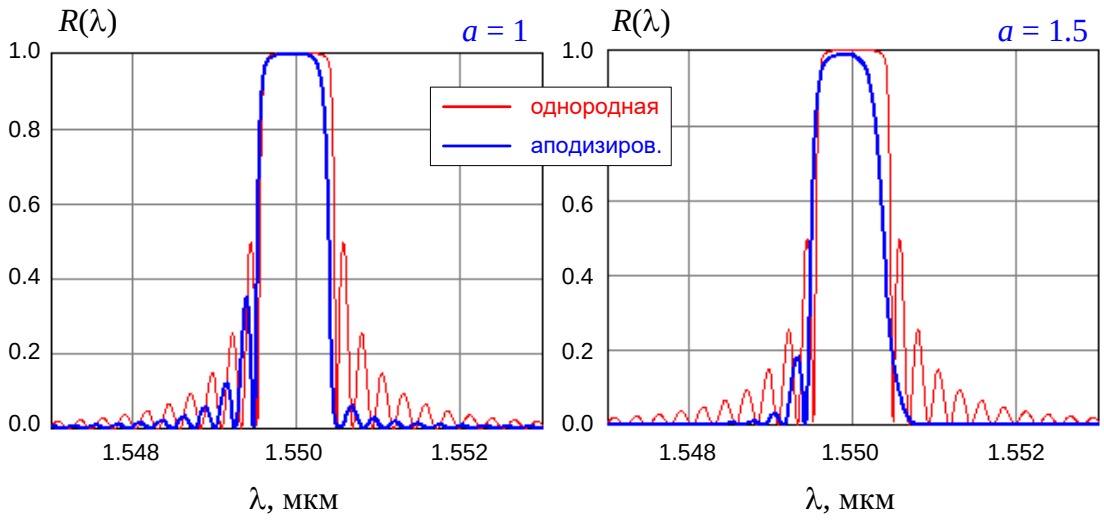


Рис. 2. Спектры отражения ВБР, аподизированных косинусоидальной функцией

Для сравнения на рис. 2 и 3 приведен спектр отражения однородной ВБР такой же длины L с глубиной модуляции ПП Δn_{max}. Из рис. 2 и 3 видно, что аподизация позволила уменьшить амплитуды боковых лепестков и немного сузить полосу отражения. Спектр отражения приобретает при этом небольшую асимметрию. Эффективность подавления боковых лепестков возрастает с увеличением a, однако при этом снижается коэффициент отражения на длине волны Брэгга.

Таким образом, аподизация позволяет получить ВБР со спектром отражения без боковых лепестков, однако для получения высокого коэффициента от-

ражения длину аподизированной решетки необходимо увеличить по сравнению с аналогичной однородной решеткой.

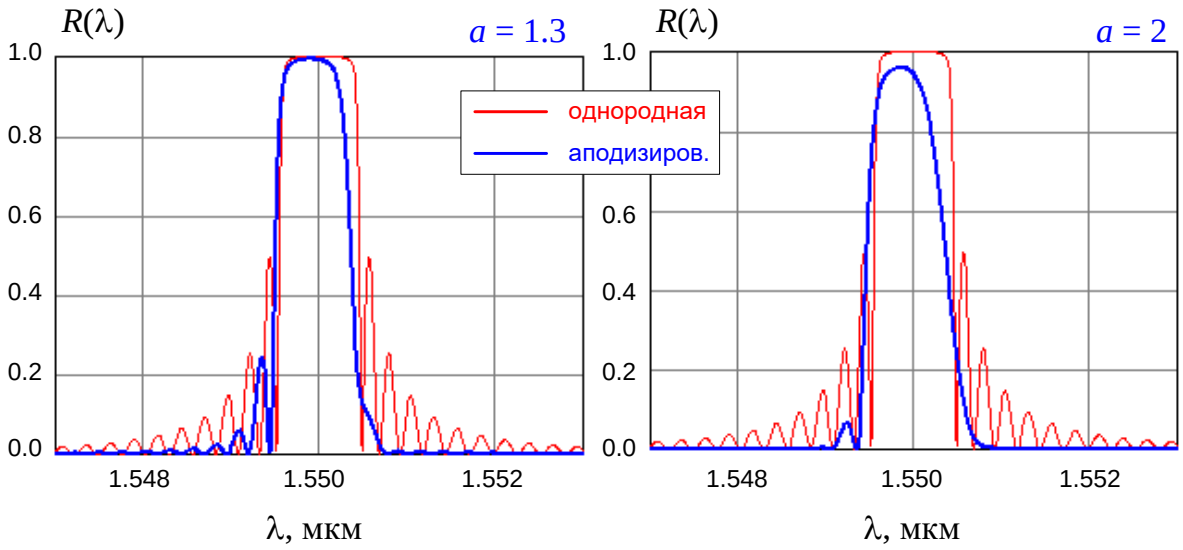


Рис. 3. Спектры отражения ВБР, аподизированных гауссовой функцией

Список используемых источников

1. Варжель С. В. Волоконные брэгговские решетки. СПб: ИТМО, 2015. 65 с.
2. Былина М. С., Корицкая А. В. Современные волоконно-оптические датчики температуры / 77-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна» (СВ-2023). Спец. вып. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 105–110.
3. Довольнов Е. А., Кузнецов В. В., Миргород В. Г., Шарангович С. Н. Мультиплексорное и усилительное оборудование многоволновых оптических систем передачи: учеб. пособие. – 3-е изд., доп.– Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2016. 156 с.
4. Erdogan T. Fiber Grating Spectra / Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 8, August 1997. PP. 1277-1294.
5. Agrawal G. P., Radic S. Phase-Shifted Fiber Bragg Gratings and their Application for Wavelength Demultiplexing / IEEE Photonics Technology Leters,1994. Vol. 6, № 8. PP. 995–997.
6. Sipe J. E., Poladian L., Martijn de Sterke C. Propagation through nonuniform grating structures / Journal of the Optical Society of America, 1994. Vol. 11. № 4. PP. 1307-1320.

***Bylina M., Koritskaya A., Romanov I., Shishkina V.* METHOD FOR CALCULATING THE REFLECTION SPECTRUM APODIZED FIBER BRAGG GRATING.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The apodization of the refractive index of the fiber Bragg grating (FBG) makes it possible to improve its reflection spectrum by suppressing the side lobes. The paper presents a method for calculating the spectral characteristics of apodized FBGs. The technique is based on splitting the apodized FBG of length L into m fragments of length ΔL = L / m, each of which can be considered a homogeneous FBG. The results of calculating the FBG with apodization of the refractive index by cosine and Gaussian functions are presented.

Key words: fiber Bragg grating, apodization of the refractive index, apodized fiber Bragg grating, transmission matrix, theory of mode coupling.

УДК 621.391.63
ГРНТИ 49.44.31

СРАВНЕНИЕ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ВОСС С ЭРБИЕВЫМИ И РАМАНОВСКИМИ ОПТИЧЕСКИМИ УСИЛИТЕЛЯМИ

Н. С. Васильев, С. Ф. Глаголев, Г. Р. Лыков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Работа посвящена сравнительному анализу однопролетных многоканальных волоконно-оптических систем связи (ВОСС) с технологией DWDM и энергетическим приемом, использующих эрбиевые (EDFA) и рамановские оптические усилители (ОУ). Исследования проводились с помощью имитационного моделирования в программе OptiSystem. Критерием сравнения была максимальная длина однопролетной ВОСС, обеспечивающая высокое качество связи. Максимальная достигнутая длина пролета составила 215 км (затухание 43 дБ) для 4-х канальной ВОСС с ОУ EDFA и 350 км (затухание 70 дБ) для ВОСС с рамановскими ОУ. Это доказывает значительное преимущество однопролетных ВОСС, использующих ОУ Рамана. В ходе исследований были определены оптимальные мощности попутной и встречной накачек для ВОСС с ОУ Рамана

волоконно-оптическая система связи (ВОСС), оптическое волокно (ОВ), эрбиевый оптический усилитель (EDFA), оптический рамановский усилитель, мощность накачки, коэффициент усиления, шум-фактор, однопролетная ВОСС

Цель исследования

В данной работе проведено сравнение однопролетных цифровых ВОСС с энергетическим приемом (ЭП), использующих для компенсации потерь в пролете либо эрбиевые, либо рамановские оптические усилители (ОУ). Во всех сравниваемых ВОСС используются одномодовые оптические волокна (ОВ), бинарная амплитудная модуляция (АМ) с линейным кодом NRZ или RZ, т. е. без возврата или с возвратом к нулю. Для компенсации хроматической дисперсии (ХД) в них используются аппаратные средства, например, модули с ОВ для компенсации дисперсии (DCF). Эти ВОСС обладают рядом достоинств: простота и экономичность технической реализации, малая чувствительность к изменениям длины волны (частоты), фазы и состояния поляризации излучения. Они могут использоваться с некогерентными сравнительно широкополосными и дешевыми источниками излучения с прямой модуляцией по интенсивности. Однако канальная скорость передачи таких ВОСС обычно ограничена величиной B_c = 10 Гбит/с, но количество каналов может достигать N = 96 и даже более. Это обеспечивает достаточно большую суммарную скорость передачи информации по одному ОВ $B_\Sigma = N\,B_c$ = 960 Гбит/с. Основным крите-

рием сравнения двух схем реализации однопролетных ВОСС была выбрана максимальная длина пролета, при которой безусловно обеспечивается высокое качество связи. Например, коэффициент ошибок BER < 10^{-12}, а *Q*-фактор больше 7. Отметим, что задачи увеличения длины однопролетного участка возникают, например, при строительстве ВОСС в малонаселенной местности, для организации подводной связи между прибрежными населенными пунктами, островами, нефтедобывающими платформами и т. п. [1].

Исследование однопролетной ВОСС с эрбиевыми ОУ

На рис. 1 показана схема исследования. Она содержит 4 передатчика Tx с бинарной АМ со скоростью передачи B_c= 10 Гбит/с, частота несущей 1 передатчика ν_1 = 193.1 ТГц, интервал между каналами $\Delta\nu$ = 50 ГГц. Излучения передатчиков объединяются в мультиплексоре (WDM Mux) с полосой $\Delta\nu_{Mux}$ = 20 ГГц. Для полной предкомпенсации ХД в первом оконечном пункте (ОП1) используется ОВ типа DCF. Многоканальный сигнал усиливается в бустере и поступает в волоконно-оптический линейный тракт (ВОЛТ), использующий стандартное одномодовое ОВ. Во втором оконечном пункте (ОП2) ослабленный сигнал усиливается в предварительном ОУ (ПОУ) и разделяется по отдельным каналам с помощью демультиплексора (WDM Demux) с полосой $\Delta\nu_{DeMux}$ = 20 ГГц. В фотоприемных устройствах Rx используются p-i-n фотодиоды (ФД). Для контроля и измерения используются приборы: оптические анализаторы спектра (OSA), осциллографы (OTDV) и измерители мощности, а также электрические осциллографы и анализаторы битовых ошибок [1].

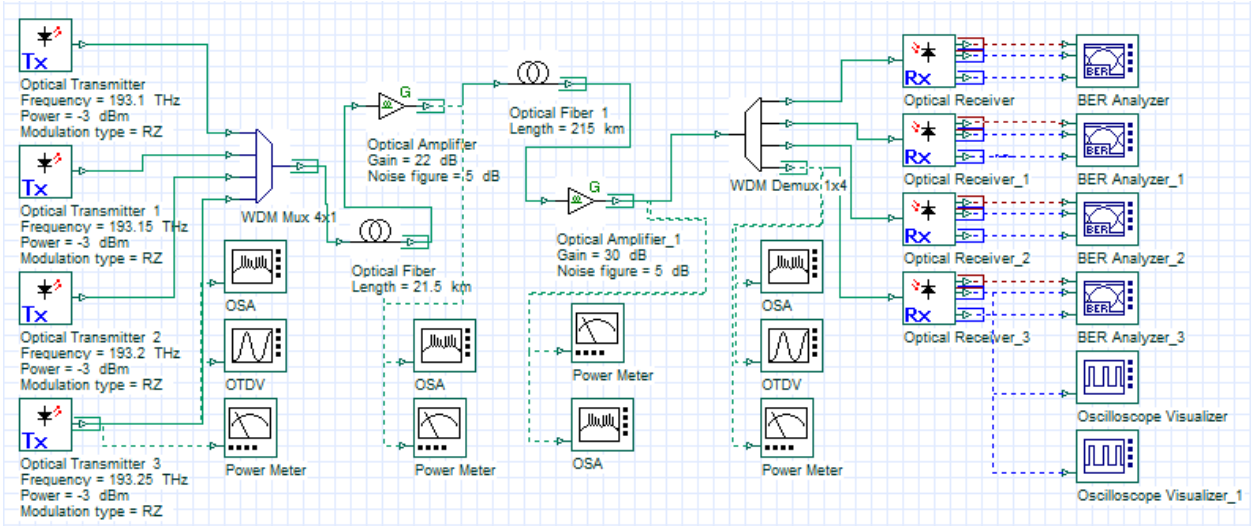
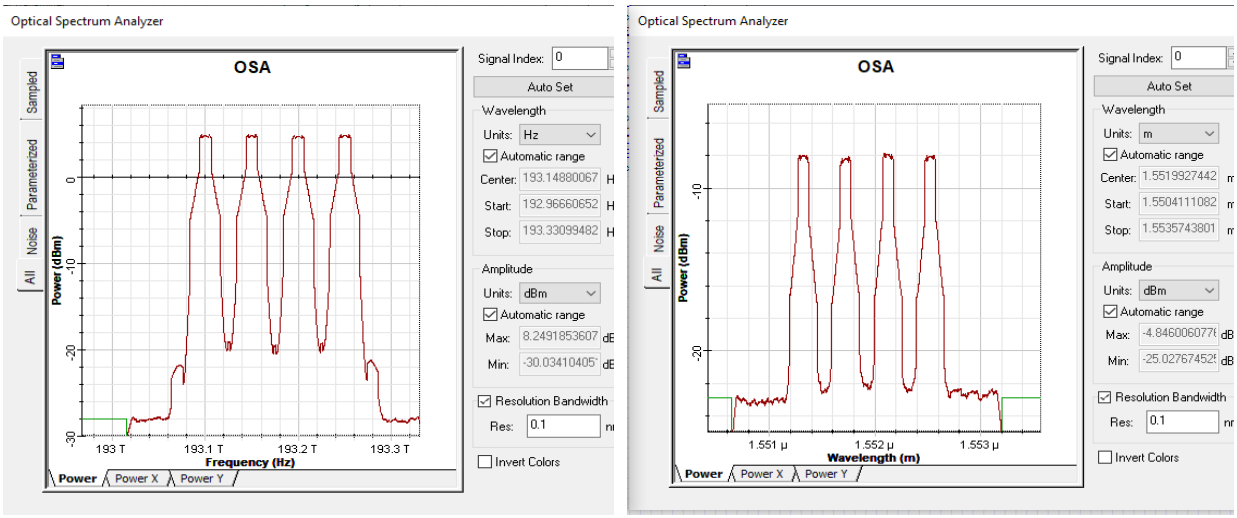


Рис. 1. Схема однопролетной ВОСС с эрбиевыми ОУ

ТАБЛИЦА 1. Однопролетная ВОСС с эрбиевыми ОУ.

Длина пролета L, км	Код	Уров. ср. вх. мощн. p_0, дБм	Уров. макс. вх. мощн. p_{0m}, дБм	Уров. ср. мощн. ФП p_0, дБм	OSNR, дБ	Q-фактор
205	NRZ	11.6	5.4	-10.4	17.3	7.5
215	NRZ	13.3	7.0	-10.9	17.0	5.5
215	RZ-50	14.5	7.0	-10.5	17.0	7.5

Результаты исследований однопролетной ВОСС с эрбиевыми ОУ представлены в таблице 1. Максимальная достигнутая длина пролета составила 215 км. Показано, что RZ кодирование обеспечивает более высокое качество связи и большую максимальную длину пролета. На рис. 2 показаны спектрограммы сигнала на входе и выходе ВОЛТ. На входной спектрограмме виден небольшой всплеск, обусловленный четырехволновым смешением в компенсирующем ОВ [1].



Вход ВОЛТ OSNR = 25 дБ, RZ-50 Выход ВОЛТ OSNR = 15 дБ, Q = 7.5

Рис. 2. Спектрограммы сигналов на входе и выходе ВОЛТ с эрбиевыми ОУ

Исследование однопролетной ВОСС с рамановскими ОУ

На рис. 3 показана схема исследования. Схема передающей и приемной частей однопролетных ВОСС на рис. 1 и 3 практически полностью идентичны. Рассмотрим отличия схем. В схему ОП1 добавлен источник попутной рамановский накачки (Pump Laser) с длиной волны λ_p=1450 нм и смеситель излучения накачки и сигнала (Pump Coopler), а в схему ОП2 вместо эрбиевого ПОУ добавлен рамановский ОУ со встречной накачкой (Raman Amplifier). Фактически весь ВОЛТ представляет собой рамановский ОУ с двунаправленной

накачкой. Результаты исследований приведены в таблице. [2, 3]. Результаты исследований однопролетной ВОСС с рамановскими ОУ представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Однопролетная ВОСС с рамановскими ОУ

Длина пролета L, км	Код	Уров. ср. вх. мощн. p_0, дБм	Уров. макс. вх. мощн. p_{0m}, дБм	Уров. ср. мощн. ФП p_0, дБм	OSNR, дБ	Q-фактор
330	NRZ	12	5	-6.3	15	7.5
350	NRZ	13.3	6.5	-6.8	15	6.5
350	RZ-50	13.0	4.5	-6.7	14.5	8.0

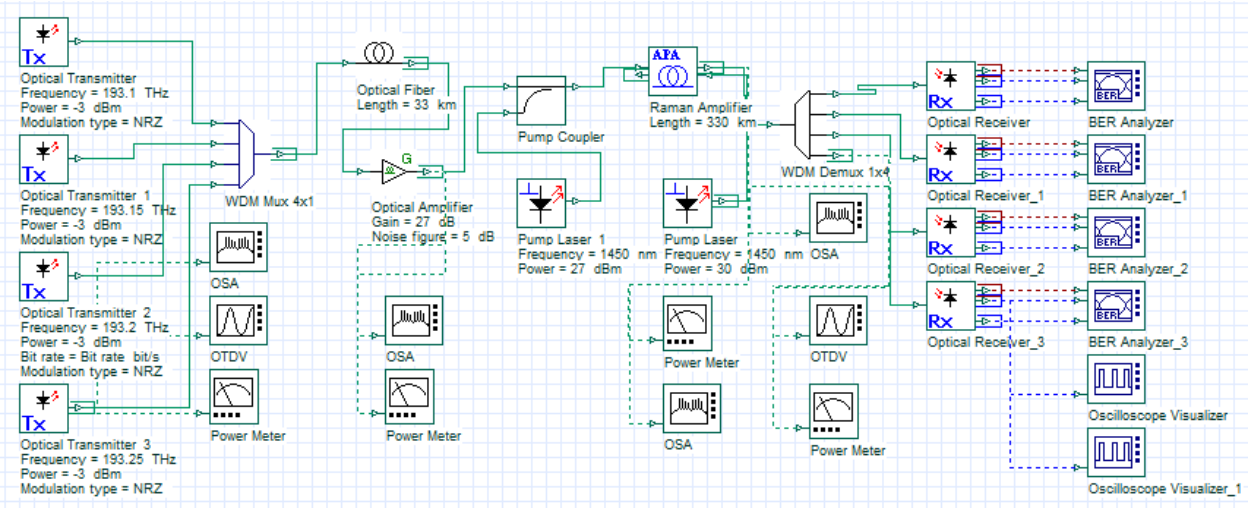
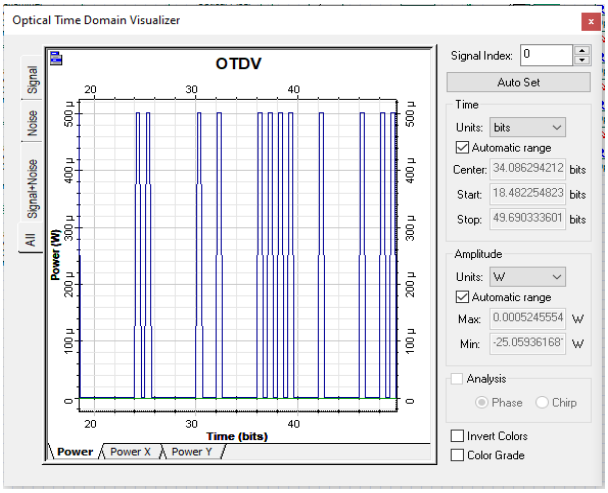
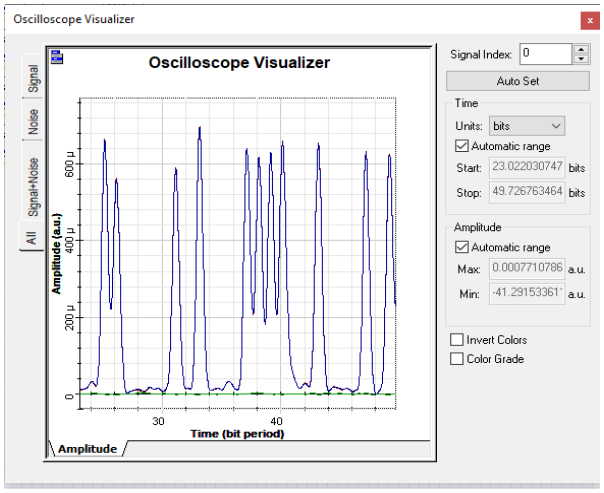


Рис. 3. Схема однопролетной ВОСС с рамановскими ОУ

Согласно схеме рис. 3, максимальная достигнутая длина пролета ВОСС с рамановскими ОУ составила 350 км. Это более чем на 100 км превышает длину пролета ВОСС с эрбиевыми ОУ. По-видимому, это связано с меньшим уровнем шумов усиленного спонтанного излучения (УСИ) в рамановских ОУ. Показано, что RZ кодирование обеспечивает более высокое качество связи и большую максимальную длину пролета. На рис. 4 и 5 показаны входные и выходные сигналы 4 канала при RZ-50 и NRZ кодировании для расстояния 350 км [1].

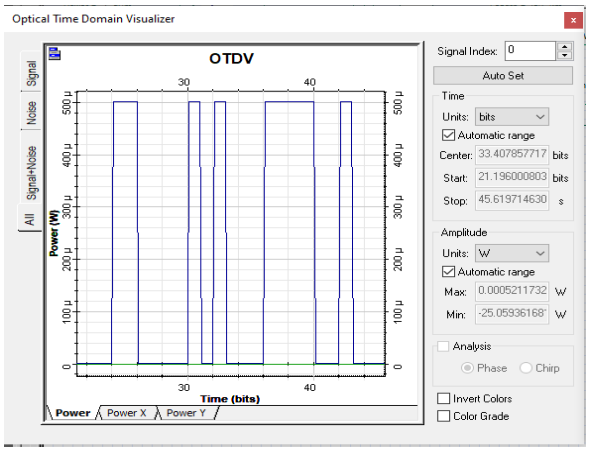


Входной оптический сигнал 4 канала

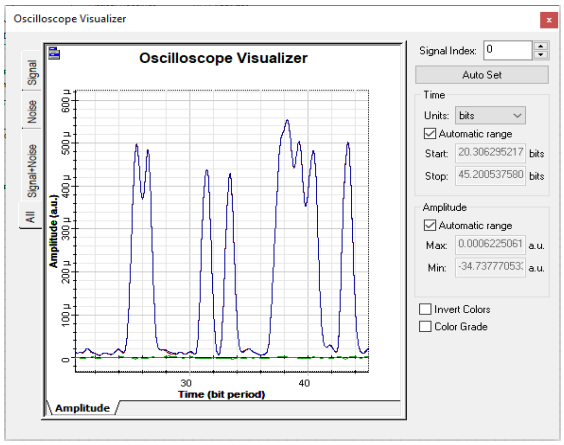


Электр. сигнал на входе регенератора 4 канала

Рис. 4. Входной и выходной сигналы однопрол. ВОСС с линейным кодированием RZ-50



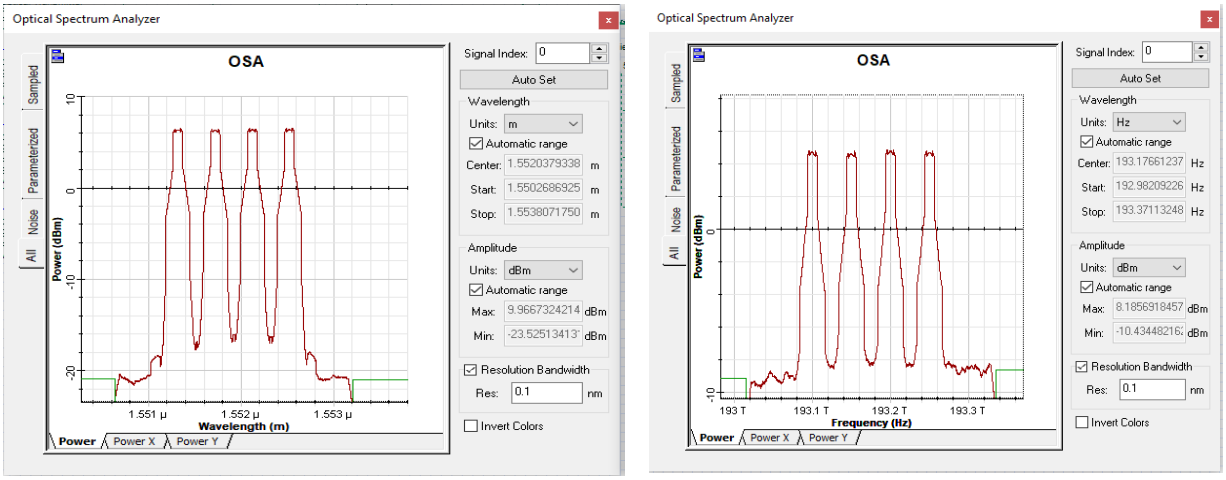
Входной оптический сигнал 4 канала ВОСС



Электрический сигнал на входе регенератора

Рис. 5. Входной и выходной сигналы однопрол. ВОСС с линейным кодированием NRZ

Видно, что выходные сигналы искажены, но могут быть восстановлены в регенераторе, при высоком качестве связи (Q больше 7). На рис. 6 показаны спектрограммы сигнала на входе и выходе ВОЛТ с рамановскими ОУ.



Вход ВОЛТ OSNR = 25 дБ, RZ-50 Выход ВОЛТ OSNR = 14 дБ, Q = 8

Рис. 6. Спектрограммы сигналов на входе и выходе ВОЛТ

Выводы

1. Использование рамановских ОУ позволяет значительно увеличить длину пролета однопролетной ВОСС до 350 км (затухание 70 дБ) по сравнению с длиной пролета 215 км (затухание 43 дБ) при использовании эрбиевых ОУ.

2. Эта работа будет продолжена для однопролетных ВОСС с большим количеством каналов, канальной скоростью до 100 Гбит/с и больше, с новыми многоуровневыми форматами модуляции сигналов.

Список используемых источников

1. Трещиков В. Н., Листвин В. Н., DWDM системы. М.: Техносфера, 2021. 420 с.
2. Андреев В. А., Дашков М. В. Рамановские усилители на волоконно-оптических линиях передачи. М.: Ириас, 2008.
3. OptiSystem User’s Reference – Optical Communication System Design Software, 2014 .

***Vasilyev N., Glagolev S., Likov G.* COMPARISON OF SINGLE-SPATH VOSS WITH ERBIUM AND RAMAN OPTICAL AMPLIFIERS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The report is devoted to a comparative analysis of single-mode multichannel fiber-optic communication systems (FOCS) with DWDM technology and power reception using erbium (EDFA) and Raman optical amplifiers. The studies were carried out using simulation modeling in the OptiSystem program. The comparison criterion was the maximum length of a single-span, providing high quality communication. The maximum achieved span length was 215 km (attenuation 43 dB) for a 4-channel FOCS with EDFAs and 350 km (attenuation 70 dB) for FOCS with Raman optical amplifiers. This proves the significant advantage of single-span FOCS using Raman optical amplifiers. During the research, the optimal powers of co-propelled and counter pumping for FOCS with Raman optical amplifiers were determined.

Key words: fiber-optic communication system (FOSS), optical fiber (OF), erbium optical amplifier (EDFA), optical Raman amplifier, pump power, gain, noise factor, single-span FOSS.

УДК 621.373.826
ГРНТИ 29.33.15

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Н. С. Васильев, В. П. Клименко, В. В. Наумова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Работа посвящена разработке системы стабилизации длины волны лазерного излучения, стабильность длины волны лазерного излучения определяемая девиацией Аллана σ находится на уровне 10^{-12} при времени усреднения 1с. Представлен компактный твердотельный лазер Nd:YVO_4/KTP/I_2 стабилизированный по линиям поглощения йода. Проведено сравнения стабильности частоты лазерного излучения по значению девиации Аллана с высоко стабилизированными аналогами.

твердотельный лазер Nd:YVO_4/KTP/I_2, девиация Аллана, стабилизация, длина волны, оптический переход I_2, высокоточные измерения.

Введение

В большом количестве областей с развитием технологий неизбежно повышаются требования к точности измерений для определения различных параметров [1–3]. Одними из наиболее точными являются оптические измерения [3–6]. Для их реализации необходима стабильная работа источника лазерного излучения. Основным параметром лазера, который требует высокой стабилизации, является длина волны [7–8]. Особенно это важно в стандартах частоты, гравиметрических измерениях и других областях метрологии [9–11]. Необходимо отметить, что в гравиметрии и ряде близких к нему измерениях в основном применяются интерференционные методы для высокоскоростной регистрации сигналов [11–13]. В нашей работе будет рассматриваться задача, связанная со стабилизацией длины волны лазерного излучения для гравиметрии.

В лазерных интерферометрах абсолютных баллистических гравиметров (АБГ), схема которого представлена на рис. 1, применяются большей частью стабилизированные по частоте гелий-неоновые лазеры на длине волны 633 нм (красная область видимого спектра) и, в последнее время, твердотельные лазеры на длине волны 532 нм.

Преимуществами твердотельных лазеров являются:

– более короткая длина волны (что повышает разрешение при измерении, так как длина волны задает шаг шкалы измерения перемещений - чем меньше шаг (деление шкалы), тем больше разрешение);

– большая мощность излучения (что также увеличивает разрешение при измерении перемещении из-за увеличения соотношения сигнал/шум интерференционного сигнала);

– более низкий уровень частотных шумов, т. е. большая стабильность частоты на коротких интервалах времени (что важно при измерении интерференционного сигнала с быстро меняющейся частотой).

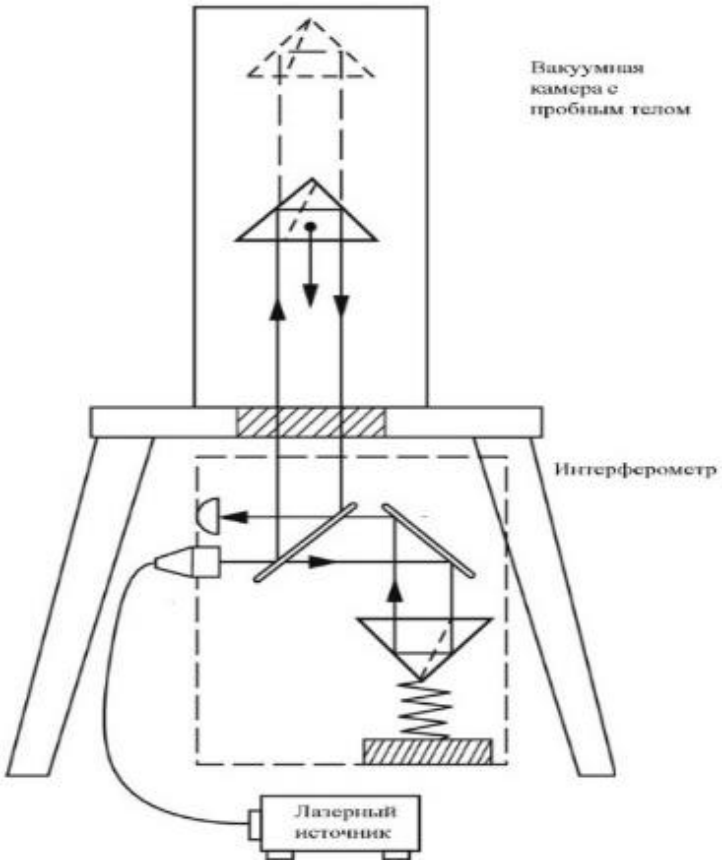


Рис. 1. Общая схема лазерно-интерференционного абсолютного баллистического гравиметра с макроскопическим пробным телом

Лазеры такого типа обладают стабильностью частоты порядка 10^{-12} за время усреднения 1с, что является очень хорошим показателем для высокоскоростной регистрации сигналов интерферометрическим методом.

В данной работе был создан стабилизированный лазер оригинальность конструкции, которого обеспечивает компактность и малый вес (80×116×130 мм) при массе около 1,5 кг. Этот параметр весьма критичен для использования в транспортируемых лазерных интерферометрах абсолютных баллистических гравиметрах. Обычно подобные лазерные системы собираются на оптических столах и относятся скорее к стационарным установкам.

Конструкция лазера

На рис. 2 представлена оптическая схема разработанного лазера.

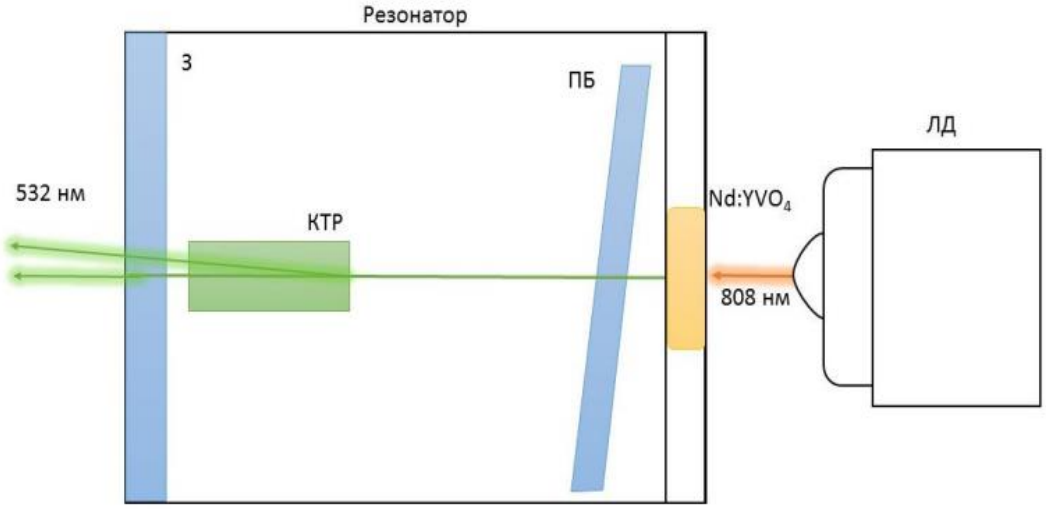


Рис. 2. Оптическая схема лазерного резонатора Nd:YVO4/KTP с выходным излучением 532 нм

Продольная оптическая накачка осуществляется лазерным диодом (ЛД) на длине волны 808 нм. ЛД вместе с согласующей оптикой смонтирован на элементе Пельтье, для точного согласования линии излучения с линией поглощения активной среды *Nd:YVO₄*. *Nd:YVO₄/KTP* лазер генерирует на основной частоте 1064 нм, которая удваивается с помощью внутрирезонаторного нелинейного кристалла – *KTP(KTiOPO₄)*. Резонатор располагается на элементе Пельтье, который поддерживает его рабочую температуру. На выходе резонатора имеется два луча на 532 нм, один из которых используется для системы стабилизации частоты. Оптическая длина линейного резонатора составляет около 17 мм, что соответствует межмодовому интервалу частот около 10 ГГц. Одномодовая генерация на одной частоте обеспечивается в диапазоне около 400 ГГц (вдоль линии люминесценции) двулучепреломляющим интерференционным фильтром Лио, образованным двулучепреломляющим кристаллом *KTP* и пластинкой Брюстера.

Оптический блок содержит твердотельный лазер, выходную согласующую оптику, отпаянную ячейку с молекулярным йодом и оптическую балансную схему для регистрации субдоплеровских однородноуширенных насыщенных линий поглощения.

Для стабилизации частоты используется метод третьей гармоники [14, 15] с частотой модуляции 3,3 кГц. Электронный блок питания, пять систем контроля температуры лазерных элементов и йодного элемента, а также сервоэлектроника стабилизации частоты.

Лазерная частотная стабильность. Девиация Аллана.

Сравнение стабильности частоты производилось между *He-Ne/I_2* лазером, работающим на длине волны 633 нм и компактным лазером *Nd:YVO₄/KTP/I_2*, работающим на длине волны 532 нм.

Метод измерения нестабильности частоты осуществляется во временной области и заключается в измерении частоты биений между двумя лазерами с помощью фотоприемника, осциллографа и частотомера.

Для определения стабильности частоты воспользуемся формулой (1)

$$\sigma = \frac{\lambda}{c}\left(\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{(\Delta\lambda_i - \Delta\lambda_{i-1})^2}{2(n-1)}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \quad (1)$$

где $\Delta\lambda_i$ это разность длин волн между двумя лазерами, стабилизированными на одной длине волны $\lambda.\sigma$ значение девиации Аллана которое вычисляется путем измерения n раз $\Delta\lambda_i$ через равные промежутки времени $t_i = t_0 + i\Delta t$

Сравнение лазеров аналогов приведено на рис. 3.

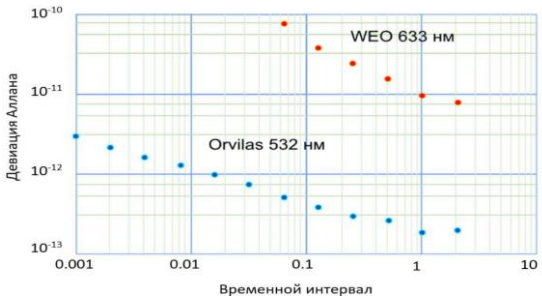


Рис. 3. Кратковременная стабильность частоты малогабаритного лазера *Nd:YVO₄/KTP/I_2* на 532 нм и *He-Ne/I_2* лазера на 633 нм

Лучшая стабильность частоты *Nd:YVO₄/KTP/I_2* лазера обусловлена рядом преимуществ по сравнению с *He-Ne* лазерами с внутрирезонаторной I_2 ячейкой. Во-первых, в лазере *Nd:YVO₄/KTP/I_2* отсутствует высоковольтное источник питания, а так же шумы газового разряда. Во-вторых, линии поглощения молекулярного йода более узкие и сильные на 532 нм, чем на 633 нм, поэтому для получения сигнала на 532 нм можно использовать внешнюю однопроходовую ячейку вместо многоходовой внутрирезонаторной ячейки, применяемую в *He-Ne* лазерах.

Вывод

Итогом работы является система стабилизации длинны волны лазерного излучения, которая позволила обеспечить следующую характеристику стабильности длины волны. Проведенные сравнения разработанного лазера с аналогами по метрологическим (стабильность частоты) и техническим (мощ-

ность лазера, размеры и масса) характеристикам, показали его возможность заменить существующие системы в действующих гравиметрах. Результаты работы могут быть полезны для разработчиков и исследователей, занимающихся созданием и применением твердотельных лазеров в других измерительных системах.

Список используемых источников

1. Bourdine A., Pashin S., Praporshchikov D., Zaitseva E., Bylina M. Method for estimation of reflection on fiber optic connection based on ferrule end-face photo-image analysis // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Сер. "Optical Technologies for Telecommunications 2020". 2021. P. 1179319.
2. Davydov V., Reznikov B., Dudkin V. Energies.New optical system for long distance control of electrical energy flows. 2023. Vol. 16. № 3. P. 1040.
3. Davydov R., Zaitceva A., Davydov V., Isakova D., Mazing M. New methodology of human health express diagnostics based on pulse wave measurements and occlusion // Test Journal of Personalized Medicine. 2023. Vol. 13. № 3. P. 443.
4. Витушкин Л. Ф., Гусев Ю. И., Карпешин Ф. Ф., Новиков Ю. А., Орлов О. А. Два механизма возбуждения ядра тория 229t h лазером как пролог к созданию ядерно-оптических часов // Метрология. 2022. № 3. С. 9.
5. Давыдов В. В., Порфирьева Е. В., Давыдов Р. В. Неразрушающий метод контроля эластичности стенок вен и артерий человека // Дефектоскопия. 2022. № 9. С. 56-67.
6. Былина М. С., Семенов А. Б. Возможности односторонних измерений оптической подсистемы скс при тестировании по уровню tier 2 // Фотон-экспресс. 2022. № 5 (181). С. 12–14.
7. Давыдов В. В., Гребеникова Н. М., Смирнов К. Я Оптический метод контроля состояния текущих сред с низкой прозрачностью и крупными вкраплениями // Измерительная техника. 2019. № 6. С. 37–43.
8. Былина М. С., Глаголев С. Ф., Доценко С. Э. Метод управления дисперсией для поддержания квазисолитонного режима распространения импульсов в высокоскоростной волоконно-оптической системе связи // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 4. С. 16–26.
9. Витушкин Л. Ф., Кривцов Е. П., Наливаев В. В., Орлов О. А. Колокация абсолютного баллистического и относительного криогенного гравиметров во фгуп "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" // Альманах современной метрологии. 2020. № 4 (24). С. 255–259.
10. Витушкин Л. Ф., Карпешин Ф. Ф., Кривцов Е. П., Кролицкий П. П., Наливаев В. В., Орлов О. А., Халеев М. М Государственный первичный специальный эталон ускорения для гравиметрии гэт 190-2019 // Измерительная техника. 2020. № 7. С. 3–8.
11. Naumova V., Orlov O. Compact solid-state laser with diode optical pumping and high frequency stability // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. 2023. Т. 16. № S3.2. PP. 120–124.
12. Витушкин Л. Ф., Кривцов Е. П., Кролицкий П. П., Наливаев В. В., Орлов О. А., Халеев М. М. Государственный первичный специальный эталон единицы ускорения в области гравиметрии гэт 190-2023: воспроизведение и передача единицы в условиях воздействия геофизических факторов // Измерительная техника. 2024. № 1. С. 4–11.

13. Витушкин Л. Ф., Орлов О. А. Абсолютный баллистический гравиметр АБГ-ВНИИМ-1 разработки ВНИИМ имени Д. И.Менделеева // Гироскопия и навигация. 2014. № 2 (85). С. 95–101.
14. Попов А. К. Субдоплеровская нелинейная лазерная спектроскопия // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 102–109.
15. Летохов В. С., Чеботаев В. П. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: Наука, 1990. 512 с.

Vasiliev N., Klimenko V., Naumova V. **DEVELOPMENT OF A WAVELENGTH STABILIZATION SYSTEM LASER RADIATION FOR HIGH PRECISION MEASUREMENTS IN INTERFEROMETRY.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The work is devoted to the development of a laser radiation wavelength stabilization system, the laser radiation wavelength stability is at the level of 10-12 with an averaging time of 1 s. A compact solid-state Nd:YVO4/KTP/I2 laser stabilized by iodine absorption lines is described. A comparison of the laser radiation frequency stability by the Allan deviation σ value with highly stabilized analogs is carried out.

Key words: solid-state Nd:YVO4/KTP/I2 laser, Allan deviation, stabilization, wavelength, I2 optical transition, high-precision measurements.

УДК 535.8
ГРНТИ 47.35.41

ИССЛЕДОВАНИЕ АТАКИ С ВРЕМЕННЫМ СДВИГОМ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ НА СИСТЕМУ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ

М. Е. Геллерт, В. И. Егоров, Б. А. Наседкин, В. В. Чистяков
Университет ИТМО

Данная работа посвящена изучению уязвимостей систем квантового распределения ключей на боковых частотах, которые связаны с использованием режима стробирования в детекторах одиночных фотонов. В работе показана возможность злоумышленника контролировать данные, регистрируемые приемником. Полученные результаты могут помочь в выявлении уязвимостей и разработке стратегии защиты для систем квантового распределения ключей.

квантовые технологии, квантовое распределения ключей, квантовый взлом, детектор одиночных фотонов

В условиях стремительного развития информационных технологий защита данных становится критически важной задачей. В этой связи, криптография и безопасные методы передачи данных приобретают все большую актуальность, обеспечивая надежную защиту личной информации, финансовых транзакций и других конфиденциальных данных. Классическая криптография обеспечивает защиту этой информации, однако защищенность систем классической криптографии базируется на ограниченности вычислительных мощностей злоумышленника. Данный факт не позволяет считать такие системы абсолютно безопасными, однако существуют системы квантового распределения ключей (КРК) безопасность, в которых гарантируется фундаментальными законами квантовой механики. Данная технология представляет собой генерацию на стороне отправителя и получателя секретного ключа, используемого в дальнейшем для шифрования сообщения. Генерация производится за счет передачи квантовых состояний между отправителем и получателем.

Теоретически любое вмешательство в квантовый канал со стороны злоумышленника и попытки получить доступ к информации о ключе неизбежно приводят к увеличению квантовой частоты ошибок (QBER) и к обнаружению злоумышленника. Однако несмотря на тот факт, что ряд систем КРК с теоретической точки зрения являются безопасными [1, 2], практические реализации данных систем имеют уязвимости, которыми может воспользоваться злоумышленник с целью извлечения распределяемой информации [3, 4].

Одной из технических уязвимостей системы квантового распределении ключей является чувствительность детектора одиночных фотонов (ДОФ) к времени попадания импульсов на детектор. Это связано с тем, что системы КРК работают в импульсном режиме, где ожидаемое время прибытия фотонов синхронизируется с окнами чувствительности детектора, работающего в режиме стробирования. Также детектор чувствителен к количеству фотонов в импульсе. Изменяя среднее чисто фотонов в импульсе, злоумышленник способен управлять вероятностью срабатывания детектора получателя. Используя обе эти уязвимости детектора у злоумышленника появляется возможность вызывать у получателя срабатывание и отсутствие срабатывания ДОФ. В представленной работе исследуется использование данной уязвимости для проведения атаки с временным сдвигом на систему квантового распределения ключей на боковых частотах.

Квантовое распределение ключей на боковых частотах (КРК БЧ) – это класс систем, в которых квантовые состояния генерируется на отстоящих частотах оптического спектра. Данные боковые частоты возникают в результате модуляции в электрооптическом модуляторе [5].

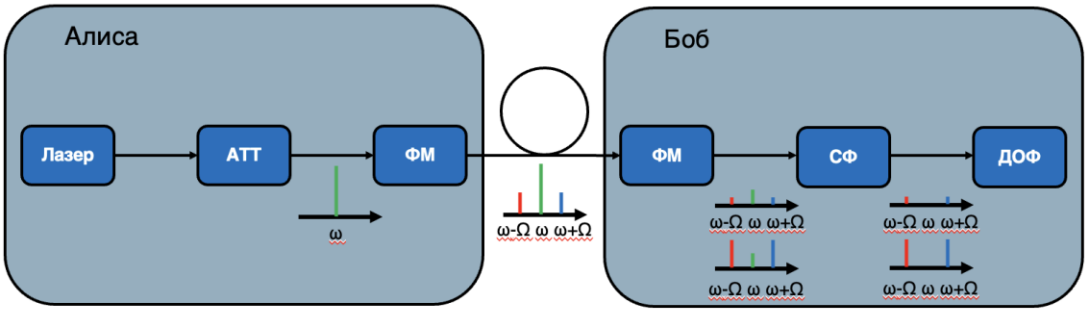


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема системы квантового распределения ключей на боковых частотах. АТТ – аттенюатор, ФМ – фазовый электрооптический модулятор, ДОФ – детектор одиночных фотонов.

Исследование систем квантового распределения ключей на боковых частотах в данной работе было выбрано в связи с тем фактом, что системы КРК БЧ активно развиваются в России, а также являются одними из самых перспективных систем для внедрения в существующие телекоммуникационные линии связи.

Предлагаемая атака представляет собой атаку с перехватом и повторной отправкой сигнала. Однако основной целью злоумышленника является не восстановление исходных состояний, а подготовка световых импульсов, детектируемых получателем контролируемым злоумышленником способом, не вызывая при этом в системе изменений, способных привести к обнаружению. Такая

атака называется атакой с ложными состояниями [6, 7]. Таким образом, в данной атаке злоумышленник подготавливает и отправляет получателю излучение с определенным временным сдвигом и количеством фотонов на боковых частотах так, что в случае конструктивной интерференции провоцировать срабатывания ДОФ получателя.

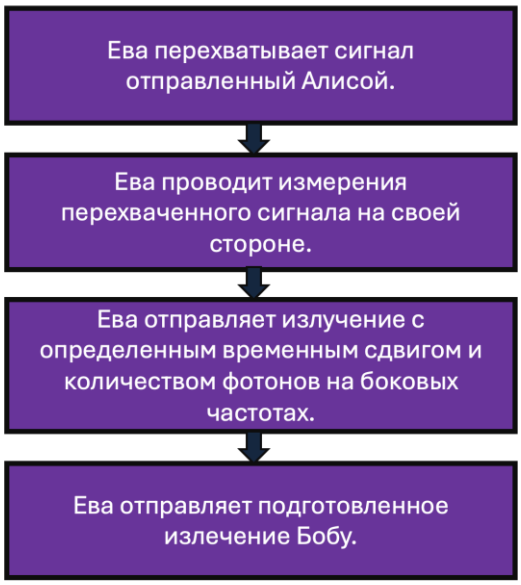


Рис. 2. Алгоритм проведения атаки с временным сдвигом

Для реализации атаки злоумышленнику необходимо отправить излучение, состоящее из центральной и боковых частот. Мощность излучения на боковых частотах подбирается таким образом, что после модуляции, проводимой получателем в случае конструктивной интерференции, вероятность срабатывания ДОФ стремится к значениям, установленным в системе, в случае же деструктивной интерференции была близкой к уровню темновых срабатываний ДОФ.

Применение как временного сдвига, так и увеличения количества фотонов на боковых частотах при атаке не только позволяет более гибко управлять вероятностью срабатывания детектора. Ключевым фактором является суперлинейность детекторов, основанных на лавинных фотодиодах. В таких детекторах скорость возрастания функции отклика от количества фотонов на границе окна чувствительности значительно выше [8, 9], что делает их более уязвимыми к манипуляциям со стороны злоумышленника. Это значит, что функция вероятности детектирования будет также возрастать быстрее. Иначе говоря, небольшое изменение мощности оптических импульсов приводит к значительному изменению вероятности срабатывания детектора. Данный факт используется для увеличения разницы в вероятности срабатывания для случая конструктивной и деструктивной интерференции.

Для поиска оптимального значения временного сдвига и количества фотонов были проведены экспериментальные работы, в ходе которых была измерена поверхность, иллюстрирующая зависимость вероятности детектирования от данных величин. На рис. 3 представлены результаты проведенных измерений.

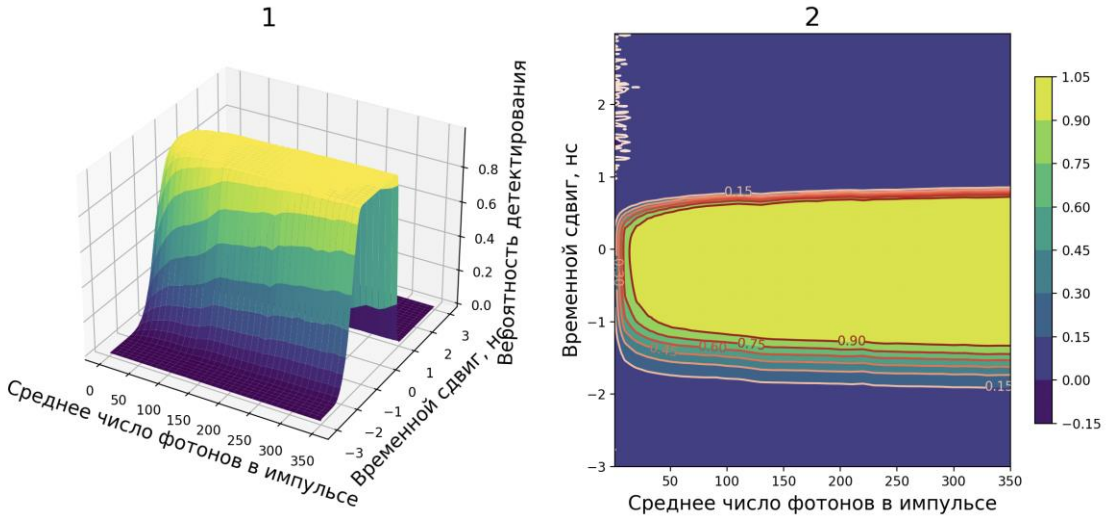


Рис. 3. График зависимости вероятности срабатывания детектора от среднего числа фотонов в импульсе и временного сдвига. 1 – трехмерное представление, 2 – контурный график

Для подтверждения возможности реализации атаки с использованием временного сдвига на систему КРК БЧ в данной работе было проведено моделирование на языке Python. Целью данного моделирования было проиллюстрировать возможность применения атаки с использованием временного сдвига на систему КРК БЧ. Чтобы продемонстрировать эффективность данного метода, необходимо показать значительное различие в вероятности срабатывания детектора при конструктивной и деструктивной интерференции. Это достигается путем выбора оптимального временного сдвига t = 0.6 нс и среднего числа фотонов в импульсе n = 350 фотонов.

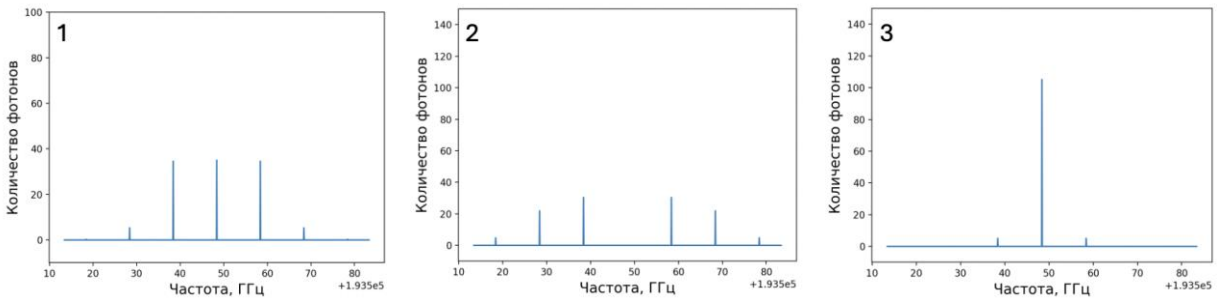


Рис. 4. Результаты моделирования. 1 – спектр излучения, посланного подслушивающим устройством, 2 – спектр излучения на стороне Боба в случае конструктивной интерференции, 3 – спектр излучения на стороне Боба в случае деструктивной интерференции

Таким образом, в рамках работы была предложена и разработана атака с временным сдвигом на систему квантового распределения ключей на боковых частотах. Полученные результаты показали возможность управления детектором одиночных фотонов получателя за счет изменения временного сдвига и количества фотонов в импульсе. Также были выбраны оптимальные значения t, n для проведения атаки. Используя выбранные значения, было проведено моделирование показавшее, возможность управления ДОФ получателя таким образом чтобы в случае конструктивной интерференции происходило наиболее вероятное срабатывание, а в случае деструктивной интерференции вероятность срабатывания была минимальной. В результате моделирования вероятность детектирования в случае конструктивной интерференции – 62 %, в случае деструктивной интерференции – 0.8 %.

Авторы выражают благодарность за предоставленное оборудование организации ООО «Нордлэйз».

Список используемых источников

1. Pirandola S., Andersen U. L., Banchi L., [et al.]. Advances in quantum cryp- tography // Advances in optics and photonics. 2020. Vol. 12. № 4. PP. 1012–1236.
2. Gleim A., Egorov V., Nazarov Y.V., [et al.]. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 pro- tocol with a strong reference // Optics express. 2016. Vol. 24. № 3. PP. 2619–2633.
3. Vakhitov A., Makarov V., Hjelme D.R. Large pulse attack as a method of conventional optical eavesdropping in quantum cryptography // Journal of modern optics. 2001. Vol. 48. № 13. PP. 2023–2038.
4. Huang A., Li R., Egorov V., [et al.]. Laser-damage attack against optical attenuators in quantum key distribution // Physical Review Applied. 2020. Vol. 13. № 3. PP. 034017.
5. Амнон Ярив П. Ю. Оптические волны в кристаллах. 1987.
6. Makarov V., Hjelme D. R. Faked states attack on quantum cryptosystems // Journal of Modern Optics. 2005. Vol. 52. № 5. PP. 691–705.
7. Gerhardt I., Liu Q., Lamas-Linares A., [et al.]. Full-field implementation of a perfect eavesdropper on a quantum cryptography system // Nature commu- nications. 2011. Vol. 2. № 1. P. 349.
8. Lydersen L., Jain N., Wittmann C., [et al.]. Superlinear threshold detectors in quantum cryptography // Physical Review A. 2011. Vol. 84. № 3. P. 032320.
9. Wiechers C., Lydersen L., Wittmann C., [et al.]. After-gate attack on a quan- tum cryptosystem // New Journal of Physics. 2011. Vol. 13. № 1. P. 013043.

Gellert M., Egorov V., Nasedkin B., Chistiakov V. **RESEARCH OF A TIME SHIFT ATTACK ON A SUBCARRIER WAVE QUANTUM KEY DISTRIBUTION SYSTEM.**

ITMO University

This paper is focused on the study of subcarrier wave quantum key distribution system loopholes, which are associated with the use of gating mode in single photon detectors. The paper shows the possibility of an eavesdropper to control the data recorded by the receiver. The obtained results can help in identifying loopholes and developing a countermeasures for quantum key distribution systems.

Key words: Quantum technologies, quantum key distribution, quantum hacking, single photon detector.

УДК 535.8
ГРНТИ 47.35.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 90-ГРАДУСНОГО ОПТИЧЕСКОГО ГИБРИДА НА ИЗБЫТОЧНЫЙ ШУМ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Р. К. Гончаров, Ф. М. Гончаров, Ф. Д. Киселев
Университет ИТМО

Квантовое распределение ключа на непрерывных переменных позволяет безопасно распределить ключ между двумя участниками, при этом стойкость системы гарантируется законами квантовой механики. Оценка избыточного шума является важным этапом протокола. В настоящей работе получено выражение для вносимого шума 90-градусным оптическим гибридом, что позволяет точнее оценивать избыточный шум, и, как следствие, повышает безопасность системы.

Квантовое распределение ключа на непрерывных переменных, избыточный шум, 90-градусный оптический гибрид, CMRR

Система квантового распределения ключа на непрерывных переменных (КРК НП) является перспективным направлением развития квантовых коммуникаций [1]. Ключевой особенностью данной системы является когерентное детектирование [2], основанное на интерференции слабого сигнального излучения и сильного локального осциллятора (ЛО). После интерференции излучение детектируется двумя фотодиодами, а фототоки вычитаются. Такая система из двух фотодиодов и вычитательной схемы называется балансным детектором. При этом разностный сигнал пропорционален квадратурной составляющей электромагнитного поля, которая несет в себе закодированную информацию, поскольку в КРК НП отправитель посылает получателю квантовые когерентные состояния [3]:

$$|\alpha_i\rangle = |q_i + ip_i\rangle,$$

где p и q – квадратурные составляющие электромагнитного поля.

Описанный метод детектирования носит название гомодинного детектирования и позволяет измерить лишь одну из двух квадратур (p или q) поля в зависимости от внесенной фазовой задержки 0 или $\pi/2$ в одно из плеч перед балансным детектором. Для измерения двух квадратур одновременно применяется двойное гомодинное детектирование (далее будем называть его гетеродинным), при котором и сигнальное излучение, и ЛО предварительно разде-

ляются на светоделителях, а затем проводится гомодинное детектирование для каждой пары сигнала и ЛО, при этом в одном из случаев вносится задержка π/2. Устройство, принимающее на вход сигнал и ЛО, проводящее вышеописанное преобразование и имеющее две пары выходов, которые подключаются к двум балансным детекторам, называется 90-градусным оптическим гибридом (рисунок 1).

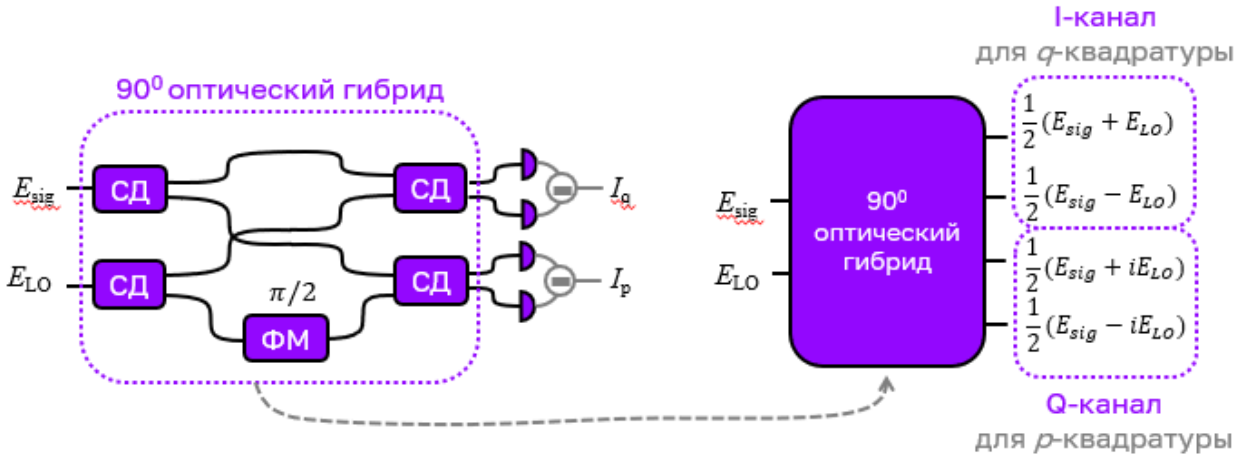


Рис. 1. Схема гетеродинного детектирования и 90-градусного оптического гибрида. СД – светоделитель, ФМ – фазовый модулятор

Безопасность систем КРК основывается на том, что потенциальный нарушитель в случае попытки подслушать информацию из квантового канала, неизбежно будет вносить дополнительный шум (ошибки), поскольку передаваемые состояния света являются квантовыми, при этом измерить и повторное отправить такое же состояние невозможно из-за теоремы о запрете клонирования [4]. Поэтому необходима оценка шумовых компонент, вносимых различными составляющими системы КРК НП при ее работе, чтобы точно оценивать, является ли шум системы естественным или же часть его вносится нарушителем [5]. Основной характеристикой оценки производительности КРК НП является скорость генерации секретного ключа, которая зависит от вносимого шума различных компонент КРК НП.

Одной из составляющих избыточного шума является шум, вносимый коэффициента ослабления синфазного сигнала (CMRR – от англ. common mode rejection ratio). В настоящей работе рассматривается теоретическая оценка шума, вносимого разбалансировкой 90-градусного оптического гибрида, определяемой величиной $\mathrm{CMRR_{hyb}}$, который рассчитывается как (в дБ) [6]:

$$\mathrm{CMRR_{hyb}} = -20\log_{10}\frac{P_{1j}-P_{2j}}{P_{1j}+P_{2j}}, \quad (1)$$

где P_{ij} – мощность на выходе i-порта, когда излучение запускается в j-порт.

В литературе [5] уже рассматривалось влияние шума, вызываемого CMRR, однако учитывался только CMRR детектора $\mathrm{CMRR_{det}}$, определяемого как (в дБ)

$$\mathrm{CMRR_{det}} = -20\lg\left|\frac{G}{G_s}\right|,$$

где G – усиление разностного сигнала, G_s – усиление синфазной компоненты. При этом для вывода формулы избыточного шума, вносимого CMRR, использовалось предположение, что 90-градусный гибрид является идеально сбалансированным. В таком случае данный избыточный шум дается выражением:

$$\xi_{\mathrm{CMRR}} = \frac{\mu}{4\mathrm{CMRR}_{\mathrm{det}}^2}\left(\frac{hfV_A^2}{4\tau P_{\mathrm{LO}}}\mathrm{RIN_{sig}}B_{\mathrm{sig}} + \frac{\tau}{hf}P_{\mathrm{LO}}\mathrm{RIN_{LO}}B_{\mathrm{LO}}\right), \qquad (2)$$

где μ – параметр, равный 1 при гомодинном детектировании и 2 при гетеродинном, h – постоянная Планка, f – центральная частота излучения, V_A – дисперсия модуляции (измеряется в единицах дробового шума), τ – длительность импульса, P_{LO} – мощность ЛО, $\mathrm{RIN_{sig}}$ и $\mathrm{RIN_{LO}}$ – относительный шум интенсивности сигнала и ЛО, B_{sig} и B_{LO} – полоса сигнала и ЛО. Стоит отметить, что данная формула использует значения CMRR, выраженное в разах.

В данной работе формула (2) была пересмотрена, и получено выражение, которое учитывает несбалансированность 90-градусного оптического гибрида, то есть его CMRR (рассчитываемый по формуле (1)):

$$\xi_{\mathrm{CMRR}} = \left(\frac{1}{\mathrm{CMRR}_{\mathrm{hyb}}^{q\ 2}} + \frac{1}{\mathrm{CMRR}_{\mathrm{hyb}}^{p\ 2}} + \frac{1}{2\mathrm{CMRR}_{\mathrm{det}}^2}\right)\left(\frac{hfV_A^2}{4\tau P_{\mathrm{LO}}}\mathrm{RIN_{sig}}B_{\mathrm{sig}} + \frac{\tau}{hf}P_{\mathrm{LO}}\mathrm{RIN_{LO}}B_{\mathrm{LO}}\right),$$

где q и p у $\mathrm{CMRR_{hyb}}$ означают пары выходов, подключаемые к двум балансным детекторам. Таким образом, становится возможно более точно оценить избыточный шум. На рисунке 2а) представлена зависимость избыточного шума от CMRR без учета 90-градусного оптического гибрида и с учетом (при $\mathrm{CMRR^q_{hyb}} = \mathrm{CMRR^p_{hyb}} = \mathrm{CMRR_{det}}$). Как можно видеть, избыточный шум для полной модели выше. Также аналогичный результат продемонстрирован на графике, представленном на рисунке 2б). Здесь сравниваются зависимости вносимого избыточного шума от CMRR детектора при различных значениях CMRR гибрида, в том числе при $\mathrm{CMRR^q_{hyb}} = \mathrm{CMRR^p_{hyb}} = \infty$, что означает идеальный оптический гибрид. При высоких значениях CMRR детектора (более 30 дБ) вносимый шум с учетом гибрида может отличаться от модели без его учета более, чем на порядок.

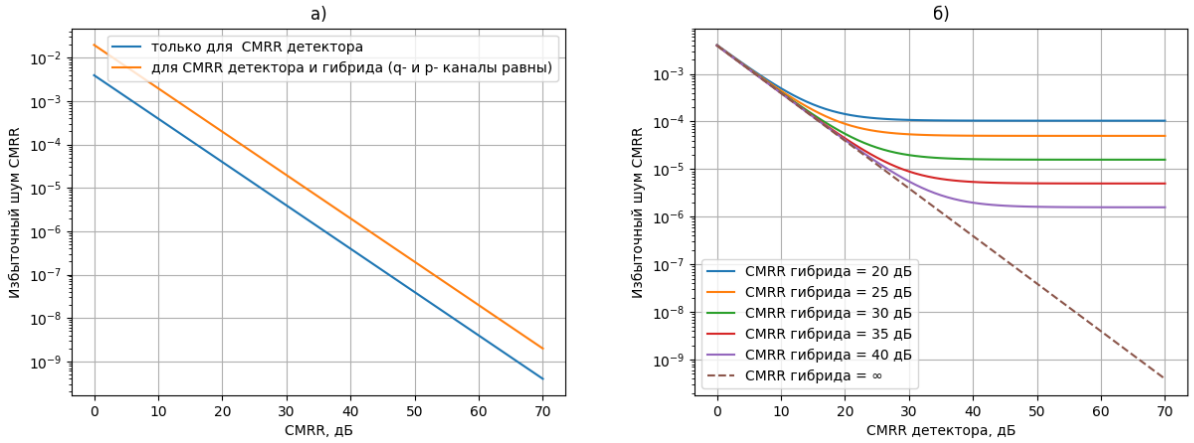


Рис. 2. Графики зависимости избыточного шума от CMRR, демонстрирующие а) сравнение результатов расчета, полученных только для CMRR детектора и CMRR детектора и гибрида; б) сравнение шума, вносимого CMRR детектора при различных значениях CMRR гибрида

Параметры, использованные для моделирования, приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Перечень параметров для моделирования

Параметр	Значение	Название параметра
μ	2	параметр гомо-/-гетеродинирования
f	193,4 ТГц	центральная частота излучения
V_A	6 ед. др. шума	дисперсия модуляции
τ	4 нс	длительность импульса
P_{LO}	8 мВт	мощность ЛО
RIN_{sig}	$10^{-14,5}$ Гц$^{-1}$	относительный шум интенсивности сигнала
RIN_{LO}	$10^{-14,5}$ Гц$^{-1}$	относительный шум интенсивности ЛО
B_{sig}	10 кГц	полоса сигнала
B_{LO}	10 кГц	полоса ЛО

Таким образом, в настоящей работе дополнена математическая модель избыточного шума от CMRR, которая позволяет учесть помимо CMRR детектора также CMRR 90-градусного оптического гибрида. Данный результат позволяет проанализировать влияние CMRR на вносимый шум, а, следовательно, понять оптимальные требования системы КРК НП к 90-градусному оптическому гибриду. Кроме того, более точная модель шума позволяет точнее оценить производительность системы и потенциальный шум злоумышленника, что повышает ее безопасность.

Список используемых источников

1. Goncharov R. et al. The Rationale for the Optimal Continuous-Variable Quantum Key Distribution Protocol // Optics. 2022. Vol. 3. №. 4. PP. 338–351.
2. Hirano T. et al. Quantum cryptography using pulsed homodyne detection //Physical review A. 2003. Vol. 68. №. 4. P. 042331.
3. Jain N. et al. Practical continuous-variable quantum key distribution with composable security // Nature communications. 2022. Vol. 13. №. 1. P. 4740.
4. Wootters W. K., Zurek W. H. A single quantum cannot be cloned // Nature. 1982. Vol. 299. №. 5886. PP. 802–803.
5. Laudenbach F. et al. Continuous-variable quantum key distribution with gaussian modulation–the theory of practical implementations // Advanced Quantum Technologies. 2018. Vol. 1. №. 1. P. 1800011.
6. Yasui T., Sugisaka J., Hirayama K. Structural Optimization of an Optical 90 Degree Hybrid Based on a Weaklyguided 4x4 Multimode Interference Coupler Using a Parallelized Real-coded Micro-genetic Algorithm // The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES). 2021. P. 526–532.

Goncharov F., Goncharov R., Kiselev F. **90° OPTICAL HYBRID INFLUENCE ON EXCESS NOISE OF CONTINUOUS-VARIABLE QUANTUM KEY DISTRIBUTION.**

ITMO University

Continuous-variable quantum key distribution allows to distribute the key between two participants, while the system's security is guaranteed by the laws of quantum mechanics. Excess noise estimation is an important stage of the protocol. In this study, an expression for the noise introduced by a 90-degree optical hybrid is obtained, which leads to more accurate estimation of the system’s excess noise, and, thus, increases the security.

Key words: continuous-variable quantum key distribution, excess noise, 90-degree optical hybrid, CMRR.

УДК 621.39, 681.7
ГРНТИ 49.44.31

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ДЛЯ СИСТЕМЫ CWDM

И. А. Данилькевич
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Интереференционные фильтры на основе тонкопленочных структур TFF широко используются в системах грубого спектрального уплотнения CWDM для выделения отдельных каналов. В работе проанализированы возможности создания перестраиваемого фильтра TFF для системы CWDM. Перестройка достигается изменением угла наклона тонкопленочной структуры относительно направления падающего на фильтр излучения.

оптический фильтр, технология грубого спектрального мультиплексирования CWDM, перестраиваемый интерференционный тонкопленочный фильтр TFF, коэффициент отражения

Оптический фильтр представляет собой устройство, характеристики отражения и пропускания которого зависят от длины волны излучения. Оптические фильтры используются для выделения каналов в системах спектрального мультиплексирования (Wavelength Division Multiplexing, WDM). На их основе создаются как мультиплексоры WDM (MUX WDM) – как терминальные, так и предназначенные для ввода/вывода каналов [1].

Для создания мультиплексоров в системах грубого спектрального мультиплексирования (Coarse WDM, CWDM) широко применяются интерференционные фильтры на основе тонкопленочных структур (Thin-Film Filter, TFF). Тонкопленочная структура представляет собой прозрачную подложку с нанесенными на нее слоями покрытий (пленок) с различными показателями преломления (ПП) [2]. Конструкция фильтра представлена на рисунке 1.

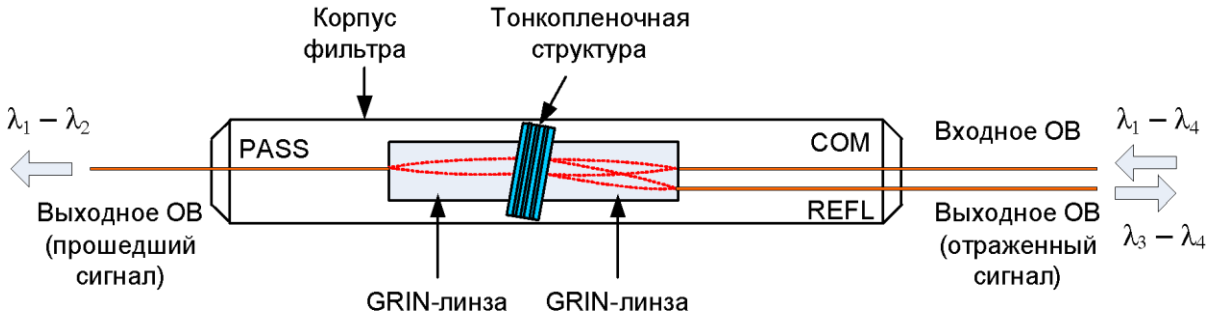


Рис. 1. Конструкция интерференционного фильтра TFF

TFF имеет 3 порта – COM (общий), PASS (транзитный) и REFL (порт отражения). Излучение со спектром λ_1–λ_4 вводится в фильтр TFF через порт COM, коллимируется GRIN-линзой (цилиндрическая линза с параболическим профилем ПП) и попадает на тонкопленочную структуру. Тонкопленочная структура обладает селективными свойствами пропускает излучение со в полосе λ_1–λ_2 и отражает излучение в полосе λ_3–λ_4. Прошедший и отраженный свет фокусируется GRIN-линзами в порты PASS и REFL соответственно. Чтобы отраженное излучение не попадало назад в порт COM, тонкопленочная структура устанавливается под углом к оптической оси TFF [3].

Рассмотрим TFF на основе периодической тонкопленочной структуры, период которой состоит из двух пленок с ПП n1 и n2 (рис. 2). Расположение полос пропускания и отражения TFF зависит от периода структуры Δ, ПП ее слоев (n1, n2), общей толщины структуры L и угла падения светового пучка θ.

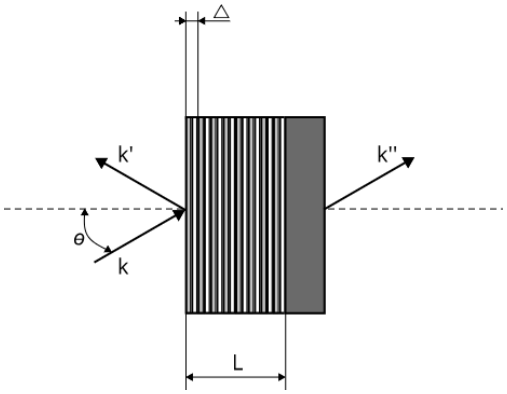


Рис. 2. Принцип работы интерференционного фильтра: *k, k',* k'' – волновые векторы падающей, отраженной и прошедшей световых волн соответственно; θ – угол падения волны; L, Δ – толщина и период структуры

Методика расчета функции отражения фильтра подробно изложена в [3]. Для рассматриваемого TFF с периодом Δ, числом слоев N и разностью ПП соседних слоев Δn зависимость коэффициента отражения от длины волны λ может быть рассчитана по выражению:

$$R(\lambda) = \frac{K^2}{\sqrt{K^2-\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}\cdot coth\left(\sqrt{K^2-\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}\cdot N\cdot\Delta\right)^2+\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}. \quad (1)$$

В выражение (1) входят следующие параметры:

– волновое число структуры

$$k(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\frac{n1^2+(n1+\Delta n)^2}{2}}; \quad (2)$$

– фазовое рассогласование

$$\Delta\beta(\lambda) = 2 \cdot k(\lambda) \cdot cos(\theta) - \frac{2\pi}{\Delta}; \quad (3)$$

– коэффициент связи мод K рассчитывается по-разному для поляризации света перпендикулярно K_s и параллельно K_p плоскости падения

$$K_s(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda \cdot cos(\theta)} \sqrt{\frac{2}{n1^2 + (n1+\Delta n)^2}\left[(n1+\Delta n)^2 - n1^2\right]} \quad (4)$$

$$K_p(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda \cdot cos(\theta)} \sqrt{\frac{2}{n1^2 + (n1+\Delta n)^2}\left[(n1+\Delta n)^2 - n1^2\right]} \cdot cos(2\theta). \quad (5)$$

Если угол падения для падающего на структуру излучения равен θ, то для получения спектра отражения с центральной длиной волны λ необходимо создать структуру с периодом:

$$\Delta(\lambda) = \frac{2\pi}{2 \cdot k(\lambda) \cdot cos(\theta)}. \quad (5)$$

Результат расчета функций отражения при разном количестве N слоев TFF при нормальном падении светового пучка (θ = 0) на структуру представлен на рисунке 3. Расчет проведен для света, поляризованного перпендикулярно плоскости падения. Из рисунка видно, что при возрастании N увеличивается коэффициент отражения на центральной длине волны.

Результаты расчета функций отражения при поляризации света перпендикулярно и параллельно плоскости падения представлены на рисунке 4. Угол падения для обоих случаев принимался равным θ = 0.125π. Видно, что спектры отражения немного отличаются. Для излучения, поляризованного перпендикулярно плоскости падения, больше коэффициент отражения на центральной длине волны и шире спектр отражения.

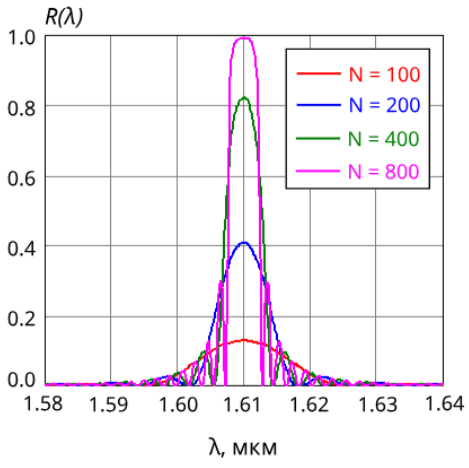


Рис. 3. Спектр отражения от фильтра при разном количестве слоев N в структуре

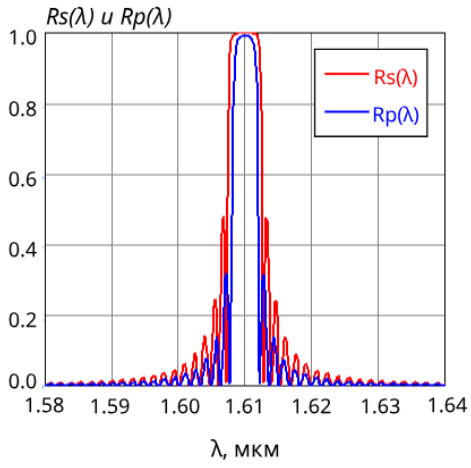


Рис. 4. Спектр отражения от фильтра при разной поляризации света

Рассмотрим возможность перестройки центральной длины волны в спектре отражения TFF путем изменения угла наклона тонкопленочной структуры по отношению к оптической оси фильтра. Из (5) следует, что изменение угла θ приведет к изменению оптической толщины структуры и смещению центральной длины волны в спектре отражения.

Выберем период структуры Δ таким, чтобы при падении на нее излучения под углом $\theta_0 = 0.25\pi$ центральная длина волны в спектре отражения составила $\lambda_0 = 1430$ нм (один из каналов CWDM). Из (5) следует, что $\Delta = 665$ нм. Из (5) и (2) получаем, что для получения другой центральной длины волны λ_1 в спектре отражения структуру необходимо разместить под углом θ_1:

$$\theta_1 = arccos\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0} \cdot cos(\theta)\right). \quad (6)$$

Определим углы наклона тонкопленочной структуры для перестройки фильтра на соседние длины волн CWDM. Расчеты по выражению (6) показывают, что для канала 1410 нм угол должен составлять 0.2544π, для канала 1390 нм – 0.2588π, для канала 1450 нм – 0.2455π.

Результаты расчета функции отражения от фильтра при и указанных углах падения светового пучка представлен на рисунке 5. Число слоев в структуре было принято равным $N = 1000$.

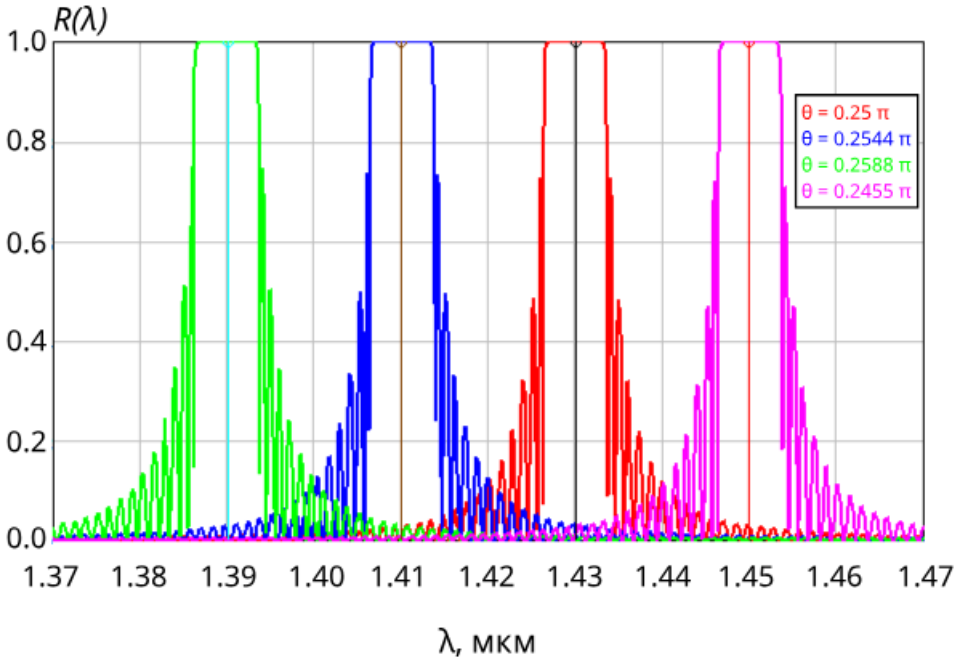


Рис. 5. Спектр отражения от фильтра при разных углах падения светового пучка

Из рис. 5 видно, что изменением угла наклона θ тонкопленочной структуры относительно оптической оси TFF можно добиться его перестройки на необходимые длины волн.

Список используемых источников

1. Christi K. Madsen, Jianh Zao. Optical Filter Design and Abalysis. New York: JONH WILEY & SONS, INC, 1999. 405 p.
2. Macleod H. A. Thin-Film Optical Filters – Third Edition. London: Institute of Physics Publishing, wholly owned by The Institute of Physics, 1986. 2001. 631 p.
3. Мультиплексорное и усилительное оборудование многоволновых оптических систем передачи: учеб. пособие / Е. А. Довольнов, В. В. Кузнецов, В. Г. Миргород, С. Н. Шарангович. 3-е изд., доп. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2016. 156 с.

Danilkevich I. **TUNABLE INTERFERENCE OPTICAL FILTER FOR CWDM SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Interference filters based on thin-film TFF structures are widely used in CWDM coarse spectral compaction systems to isolate individual channels. The paper analyzes the possibilities of creating a tunable TFF filter for the CWDM system. The adjustment is achieved by changing the angle of inclination of the thin-film structure relative to the direction of radiation incident on the filter.

Key words: Optical filter, CWDM coarse spectral multiplexing technology, tunable interference thin-film filter TFF, reflection coefficient.

УДК 535
ГРНТИ 29.31.15

ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ АТАКИ «ТРОЯНСКИЙ КОНЬ»

А. О. Исмагилов, А. В. Козубов, Б. А. Наседкин, О. А. Соломатин
Университет ИТМО

В последнее время активное развитие получает технология квантового распределения ключей. В рамках защиты от атаки "Троянский конь" важной частью является уровень изоляции волоконно-оптических элементов, на который могут влиять температурные условия. Поэтому в целях повышения защищенности передаваемых данных необходимо установить зависимость влияния температуры на свойства элементов.

квантовое распределение ключей, квантовый взлом, атака «Троянский конь»

Благодаря системам квантового распределения ключей и их развитию стала возможным передача данных с высокой степенью защищенности. Стойкость в них обеспечивается законами квантовой механики. Однако существует ряд атак на подобные системы, которые основываются на использовании сторонних каналов утечки информации за счет уязвимостей в технической реализации [1].

Одной из подобных атак является «Троянский конь». При ее реализации происходит зондирование модулятора, который выполняет кодирование информации, и анализ отраженного от мест соединения оптических элементов излучения [2]. Для защиты от такого воздействия в оптическую схему системы устанавливаются пассивные оптические компоненты, которые ослабляют зондирующие импульсы до заранее заданного уровня. Для определения требуемой величины ослабления зондирующих импульсов проводится исследование спектральных характеристик используемых компонентов. Однако такие исследования обычно проводятся для фиксированных температур [3]. Отсутствие учета изменений изоляции вследствие изменения температуры окружающей среды при оценке возможности реализации атаки «Троянский конь» может привести к появлению неучтенных побочных каналов, при помощи которых нарушитель может извлекать информацию о формируемых последовательностях.

В качестве объекта исследований был выбран волоконно-оптический изолятор без сохранения поляризации, максимальная изоляция которого приходится на 1550 нм при нормальных условиях. Принцип его работы строится на эффекте Фарадея. В свою очередь, характеристики магнитооптических сред зависят от температуры. Поэтому температурные условия влияют на изолиру-

ющие свойства компонентов и количество информации, доступной нарушителю через сторонние каналы утечки.

Для исследования зависимости изоляционных свойств от температуры была собрана экспериментальная схема, изображенная на рис. 1. Установка состоит из генератора суперконтиннума со спектральным диапазоном излучения 1000-2000 нм, климатической камеры, позволяющей изменять температуру от -20°C до +5°C, а также спектроанализатора.

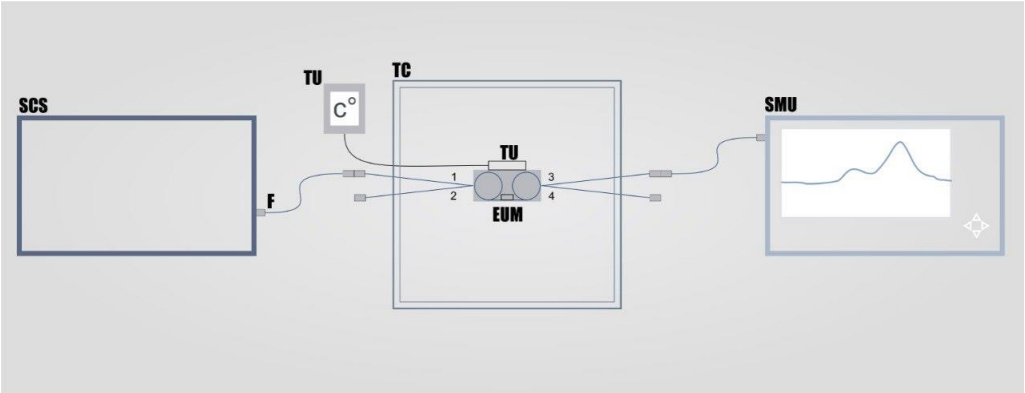


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. SCS – генератор суперконтинуума, TC – климатическая камера, SMU – спектроанализатор, TU – термометр

Полученные спектры пропускания при прямом и обратном распространении излучения через изолятор для различных температур представлены на рис. 2.

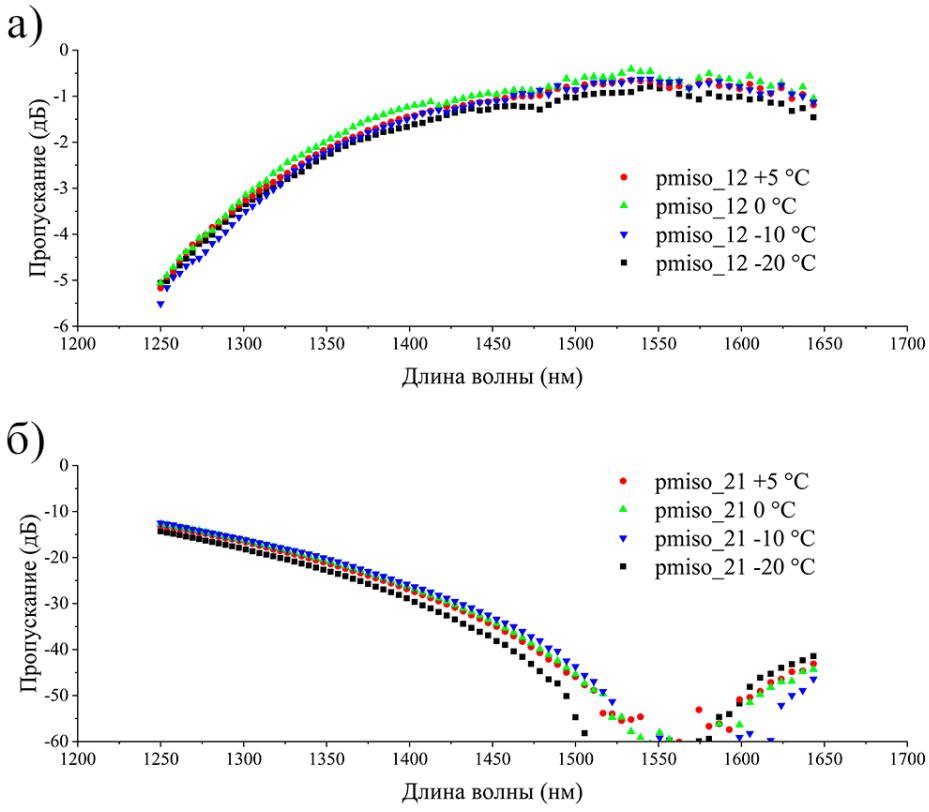


Рис. 2. Спектры пропускания а) при прямом и б) при обратном распространении излучения для изолятора без сохранения поляризации в диапазоне 1250 – 1650 нм

При прямом подключении пропускание исследуемого изолятора в диапазоне температур от -20°C до +5°C не претерпевает значительных изменений. В то же самое время, для случая обратного распространения зондирующего излучения можно наблюдать, что при охлаждении до -10 °C минимум пропускания сдвигается в сторону больших длин волн, а пропускание увеличивается в диапазоне меньших длин волн. При этом дальнейшее охлаждение изолятора привело уже к смещению минимума пропускания в противоположную сторону и пропускание увеличилось в длинноволновой области рассмотренного диапазона. Таким образом можно сделать предположение об изменении знака постоянной Верде магнитооптического материала, использованного в исследуемом изоляторе.

Таким образом можно заключить, что при охлаждении исследуемого изолятора степень его изоляции изменялась. При этом в зависимости от температуры охлаждения изоляция изменялась в выгодном для нарушителя ключе для -10°C в коротковолновой области, а для -20°C – в длинноволновой. Наблюдаемые изменения могут приводить к успешной реализации атаки «Троянский конь» и требуют учета при анализе стойкости системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (Паспорт № 2019-0903).

Список используемых источников

1. Jain N., Stiller B., Khan I., Elser D., Marquardt Ch., Leuchs G. Attacks on practical quantum key distribution systems (and how to prevent them) // Contemporary physics. 2008. Vol. 7. Iss. 4. PP. 10–15.
2. Jain N., Stiller B., Khan I., Makarov V.V., Marquardt Ch., Leuchs G. Risk analysis of Trojan-horse attacks on practical quantum key distribution systems // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2014. Vol. 21. Iss. 3. PP. 168–177.
3. Sushchev I. S., Bulavkin D. S., Bugai K. E., Sidelnikova A. S., Dvoretskiy D. A. Trojan-horse attack on a real-world quantum key distribution system: Theoretical and experimental security analysis // Physical Review Applied. 2024. Vol. 22. Iss. 3. P. 034032.

Ismagilov A., Kozubov A., Nasedkin B., Solomatin O. **INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES ON THE POSSIBILITY OF A TROJAN-HORSE ATTACK.**

ITMO University

Recently, the technology of quantum key distribution has been actively developing. As part of the protection against Trojan-horse attack an important part is the isolation level of fiber-optic elements, which can be influenced by temperature conditions. Therefore, in order to increase the security of the transmitted data, it is necessary to establish the dependence of the influence of temperature on the properties of the elements.

Key words: quantum key distribution, quantum hacking, Trojan-horse attack.

УДК 621.38:535
ГРНТИ 29.31.29

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОГЕРЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА С ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ ВВОДА СИГНАЛОВ

С. А. Рогов, П. А. Ходукин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Приведены результаты расчета выходных сигналов когерентного оптического анализатора спектра с пространственным интегрированием при подаче на его вход двух близких по частоте сигналов. Показано, что разрешающая способность спектроанализатора при вводе сигналов с помощью жидкокристаллической матрицы должна определяться с учетом когерентной добавки в выходном сигнале спектроанализатора, в отличие от разрешающей способности по критерию Рэлея.

системы когерентной оптической обработки сигналов, оптический анализатор спектра, жидкокристаллтческий пространственный модулятор света, разрешающая способность, критерий Рэлея.

При определении разрешающей способности оптических анализаторов спектра с пространственным интегрированием обычно используется критерий Рэлея [1], согласно которому два гармонических сигнала считаются разрешимыми, если максимум спектра сигнала одной частоты совпадает с первым минимумом спектра сигнала второй частоты. В когерентных анализаторах спектра с пространственным интегрированием на выходе регистрируется интенсивность спектра суммы входных сигналов, которая отличается от суммы интенсивностей спектров первого и второго сигналов, используемых в критерии Рэлея на дополнительное интерференционное слагаемое, зависящее от разности начальных фаз входных сигналов. Из-за этой добавки может измениться или вообще пропасть провал между максимумами спектров гармоник, используемый как признак разрешения по критерию Рэлея.

При использовании для ввода сигналов жидкокристаллического пространственного модулятора света [2], спектры входных сигналов складываются во время регистрации на одной несущей частоте света с постоянной разностью фаз, поэтому для правильного определения разрешающей способности таких спектроанализаторов нужно учитывать интерференционную добавку в спектре.

Можно показать, что при двух гармонических входных пространственных сигналов, имеющих одинаковую амплитуду и пространственные частоты ξ_1 и ξ_2 и начальные фазы φ_1 и φ_2, интенсивность суммарного спектра на выходе

когерентного оптического спектроанализатора, регистрируемая квадратичным фотоприемником, с точностью до постоянной величины, будет равна:

$$|U(\xi)|^2 = \left\{\frac{\sin\left[\pi X\left(\xi\text{-}\xi_1\right)\right]}{\pi X\left(\xi\text{-}\xi_1\right)}\right\}^2 + \left\{\frac{\sin\left[\pi X\left(\xi\text{-}\xi_2\right)\right]}{\pi X\left(\xi\text{-}\xi_2\right)}\right\}^2 + \\ + 2\,\frac{\sin\left[\pi X\left(\xi\text{-}\xi_1\right)\right]}{\pi X\left(\xi\text{-}\xi_1\right)}\,\frac{\sin\left[\pi X\left(\xi\text{-}\xi_2\right)\right]}{\pi X\left(\xi\text{-}\xi_2\right)}\cos\left(\varphi_2-\varphi_1\right). \quad (1)$$

где X – длительность входных пространственных сигналов (размер апертуры оптического анализатора спектра).

На графиках рис. 1–7 приведен вид выходных сигналов спектроанализатора (1) при разной величине разности входных частот $\Delta\xi = \xi_2\text{-}\xi_1$ для трех значений $\cos\left(\varphi_2-\varphi_1\right)$, равных 1 (штриховые графики), 0 (сплошные кривые) и -1 (пунктирные кривые) . Для удобства построения графиков начало частотной оси смещено в среднюю точку между максимумами первого и второго слагаемыми выражения (1), а частоты отложены по оси x в масштабе $\Delta x = \pi X \Delta\xi$, так что новая переменная x и частота ξ связаны следующим соотношением: $x = \pi X\left(\xi - \frac{\xi_1+\xi_2}{2}\right)$. По построенным графикам для случаев $\Delta x = 0{,}5\pi;\ 0{,}75\pi;\ \pi;\ 1{,}25\pi;\ 1{,}5\pi;\ 1{,}75\pi;\ 2\pi$, можно выбрать расстояние между максимумами Δx, обеспечивающее приемлемое разрешение выходных спектров, а соответствующее разрешение в единицах пространственной частоты $\Delta\xi$ можно найти по выбранному Δx из формулы: $\Delta x = \pi X \Delta\xi$. В приведенных графиках случай $\cos\left(\varphi_2-\varphi_1\right) = 0$ соответствует выходным сигналам спектроанализатора без учета когерентной добавки в спектре, как при определении разрешения по критерию Рэлея.

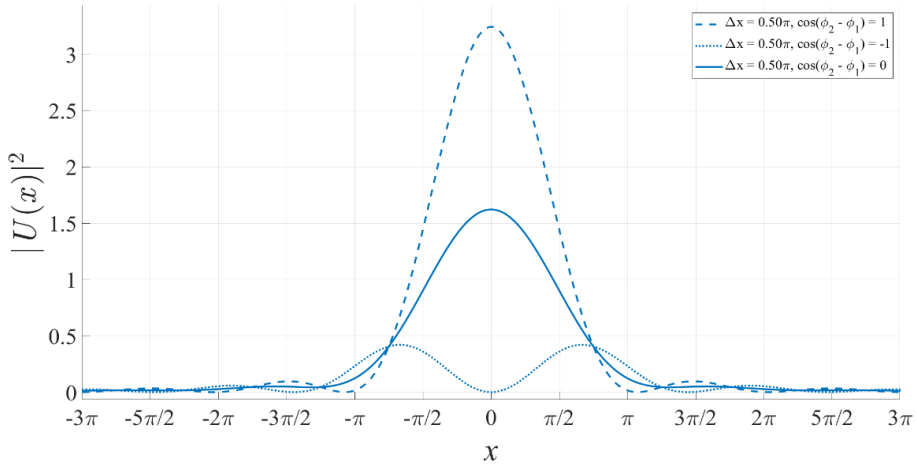


Рис.1. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 0{,}5\pi$

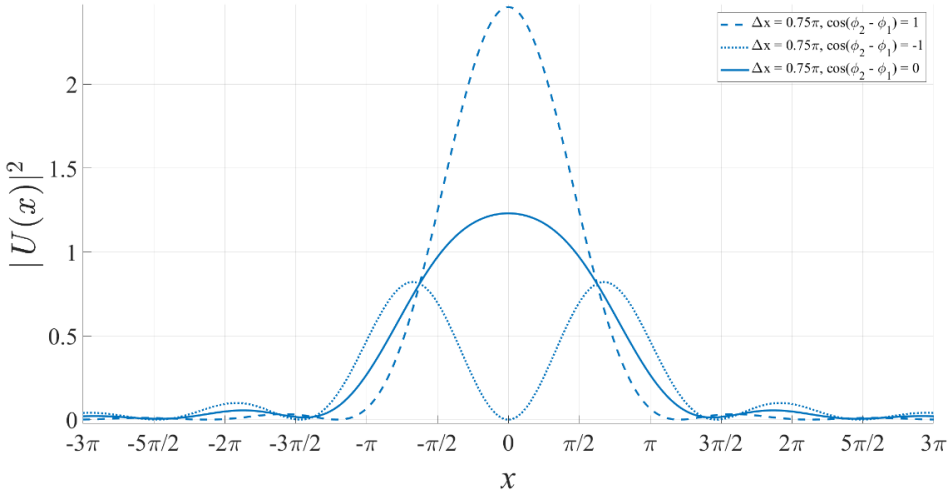


Рис. 2. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 0{,}75\pi$

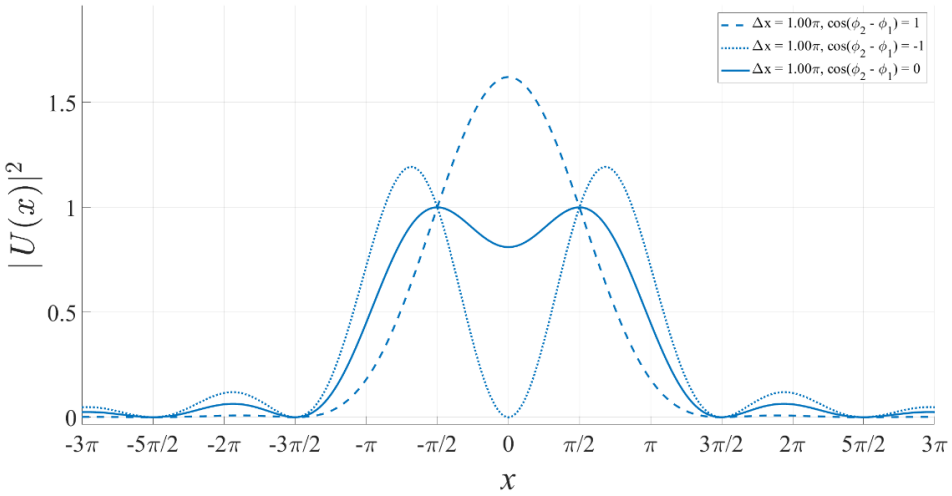


Рис. 3. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = \pi$

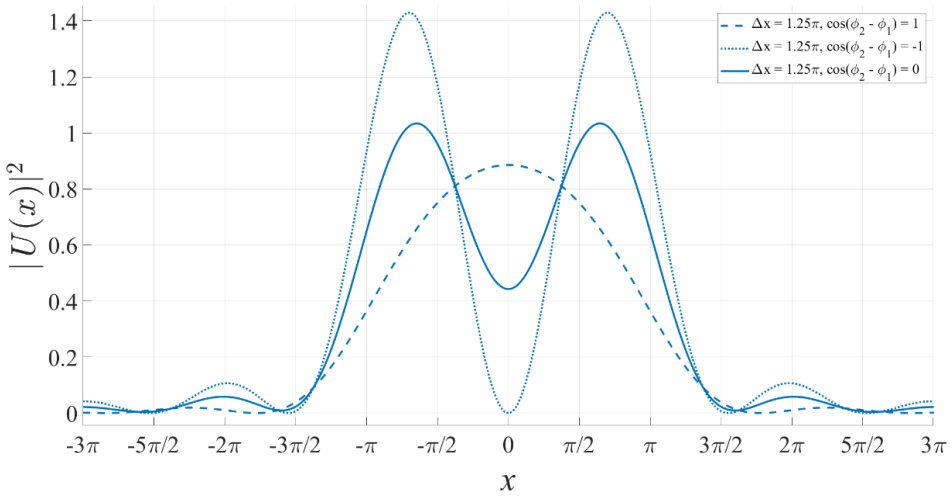


Рис. 4. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 1{,}25\pi$

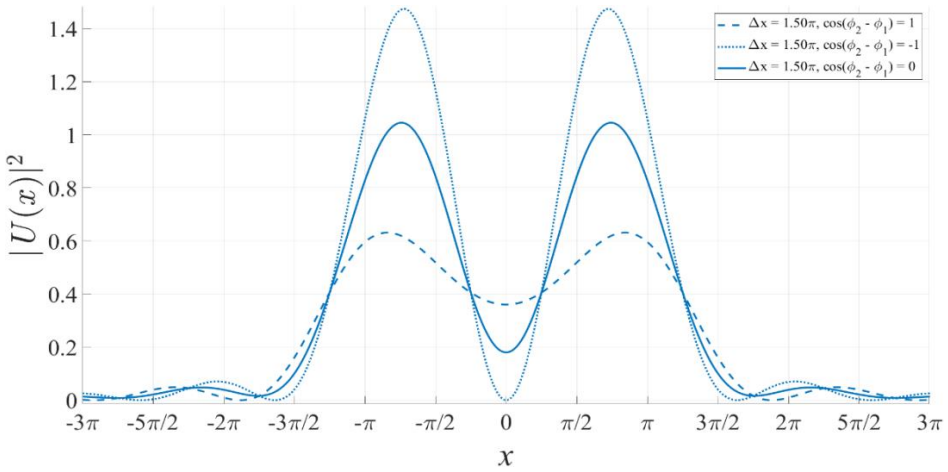


Рис. 5. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 1{,}5\pi$

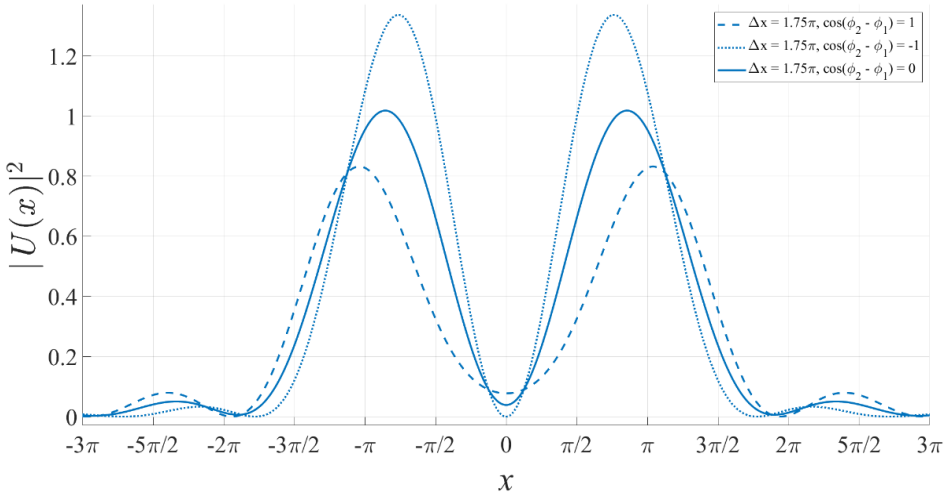


Рис. 6. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 1{,}75\pi$

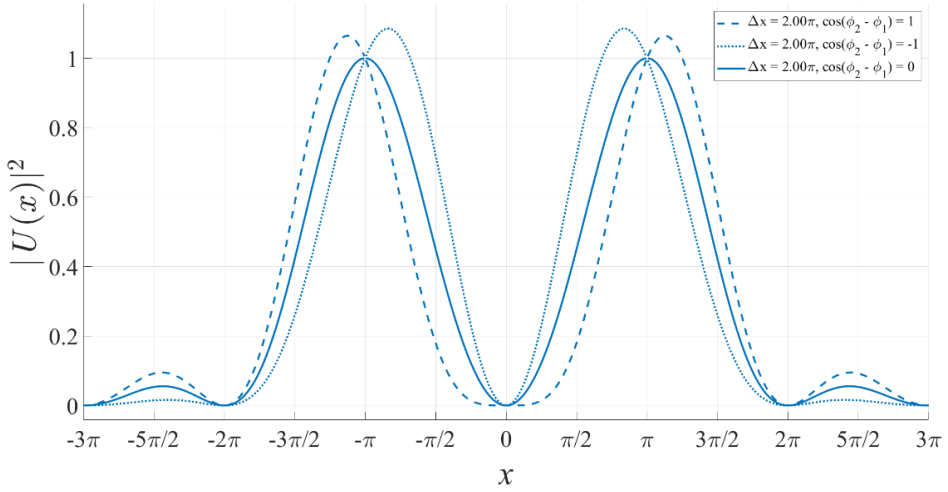


Рис. 7. Выходные сигналы спектроанализатора при $\Delta x = 2\pi$

Из приведенных на рис. 1–7 графиков можно сделать следующие выводы.

1. При разности координат между максимами, равной $\Delta x = \pi$, соответствующей критерию Рэлея, разрешение в когерентном анализаторе спектра может нарушаться при некоторой разности фаз между анализируемыми сигналами.

2. При Δx больше, чем примерно $1{,}5\pi$, провал между максимумами не превышает величины 0,8, как при использовании критерия Рэлея.

3. Если в анализаторе спектра регистрировать выходные сигналы при разной величине $\varphi_2 - \varphi_1$, то возможно получение сверх разрешения двух частот, т. к. при $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$, между максимумами всегда наблюдается провал до нулевого уровня. Однако при Δx меньше, чем примерно $0{,}5\pi$, сами максимумы существенно уменьшаются, что препятствует их обнаружению в присутствии шумов.

4. При величине Δx больше, чем примерно 2π, не только наблюдается хороший провал между максимумами, но и мало меняются сами максимумы по величине и положению при всех значениях $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$.

Таким образом, с учетом когерентной добавки в выходном сигнале спектроанализатора, разрешение двух гармонических сигналов всегда наблюдается при разности частот в 1,5–2 раза больше, чем по критерию Рэлея. При этом возможно получение сверхразрешения до величины разности частот примерно в 2 раза меньшей, чем по критерию Рэлея.

Список используемых источников

1. Ли Дж. Н., Вандерлугт Э. Акустооптические методы обработки сигналов и вычислений // ТИИЭР: Пер. с англ., Т. 77, № 10, С. 158–193.

2. Кузьмин М. С., Рогов С. А. Оптический фурье-процессор с жидкокристаллическим устройством ввода информации // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 3. С. 23–29.

Rogov S., Khodukin P. **RESOLUTION POWER OF COHERENT OPTICAL SPECTRUM ANALYZERS WITH LIQUID CRYSTAL MATRIX FOR SIGNAL INPUT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The results of calculation of the output signals of a coherent optical spectrum analyser with spatial integration when two signals close in frequency are fed to its input are presented. It is shown that the resolving power of the spectrum analyser when signals are input by means of a liquid crystal matrix should be determined taking into account the coherent additive in the output signal of the spectrum analyser, in contrast to the resolving power by Rayleigh criterion.

Key words: coherent optical signal processing systems, optical spectrum analyser, liquid crystal spatial light modulator, resolving power, Rayleigh criterion.

УДК 654.078
ГРНТИ 49.13.13

АКТИВНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МАРКЕР С УВЕЛИЧЕННОЙ ГЛУБИНОЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ ФИКСАЦИИ И ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРАСС ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

М. А. Толмачев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрены принципы фиксации и обнаружения подземных коммуникаций. Проведен анализ существующих интеллектуальных маркеров и глубины их обнаружения. Проанализированы варианты частей данного маркера позволяющие увеличить срок службы маркера. Осуществлены экспериментальные исследования подтвердившее результаты расчетов. Разработан прототип активного интеллектуального маркера с увеличенной дальностью обнаружения.

трассопоисковые устройства, интеллектуальный маркер, маркер, маркероискатель, подземные коммуникации, оптические кабели.

Развитие инфраструктуры ведет к росту числа кабельных линий и подземных коммуникаций. В городской среде обслуживание и ремонт осложняется без ведения электронных систем учета, в которых указаны характеристики их залегания, а пересечение и близкое их расположение усложняют поиск и обнаружение конкретных коммуникаций.

На данный момент наиболее перспективным методом поиска трасс без металлических составляющих является использование специальных устройств – маркеров. Электронные маркеры имеют простую конструкцию, резонансный LC–контур, заключенный в пластиковый корпус (рис. 1). Технология электронной маркировки состоит в зондировании поверхности специальным прибором. Сигнал от прибора вызывает в маркере колебания определенной частоты, с помощью которых он идентифицируется с поверхности [1].



Рис. 1. Виды маркеров компании 3M

Интеллектуальные маркеры дают возможность абсолютной идентификации промаркированного подземного объекта. Они не только указывают на положение объекта в пространстве, но и сопоставляют ему уникальный серийный номер, а также благодаря RFID-чипу с энергонезависимой памятью позволяют записать и впоследствии считать всю важную информацию об объекте (тип, материал, глубина, владелец и т. п.).

Однако основным недостатком всех интеллектуальных маркеров является глубина их закладки в грунт. В среднем у всех интеллектуальных маркеров глубина обнаружения на 25-30 % меньше по сравнению с пассивными маркерами, например для шарового маркера 1401-XR Scotchmark EMS II с 1.6м у пассивного и 1.2м у интеллектуального Scotchmark 1421-XR/ID. Данная проблема связана с питанием микросхемы RFID. Для увеличения глубины обнаружения была проведена работа по разработке активного маркера с химическим источником питания и микроконтроллером, выполняющим функции RFID метки. На рис. 2 представлена катушка интеллектуального маркера 3M Scotchmark 1428-XR/ID с RFID чипом.

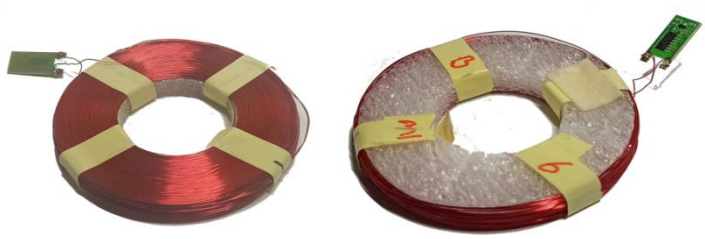


Рис. 2. Катушка маркера 3M 1428-XR/ID с RFID чипом

Главный критерией выбора источника питания для маркера – это длительный срок службы, низкий саморазряд, высокая емкость и температурный диапазон от -20°C. Основными источниками были выбраны литиевые батареи на литий-тионилхлориде ($Li\text{-}SOCl_2$) и литий-диоксидмарганце ($Li\text{-}MnO_2$), как самые подходящие по критериям.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики литиевых батарей

Электрохимическая система	Литий-тионилхлоридная ($Li\text{-}SOCl_2$)		Литий-диоксидмарганцевая ($Li\text{-}MnO_2$)	
Форм-фактор	Цилиндрический		Цилиндрический	
Номинальное напряжение, В	3,6		3,0	
Конструкция батарейки	Бобинная (максимальная энергия)	Спиральная (максимальная токоотдача)	Бобинная (максимальная энергия)	Спиральная (максимальная токоотдача)
Температурный диапазон, °C	-55…85	-55…80	-40…85	-40…70

Электрохимическая система	Литий-тионилхлоридная ($Li-SOCl_2$)		Литий-диоксидмарганцевая ($Li-MnO_2$)	
Саморазряд, % в год	<1	2	1	2
Срок хранения (нормальные условия), лет	До 20…35	До 15…20	До 10…15	До 10
Энергоемкость	++++	+++	++	+
Пассивация	Есть		нет	

Согласно таблице 1, батарейки с литий-тионилхлоридной электрохимической системой обладают наилучшими характеристиками по энергоемкости, сроку хранения, температурному диапазону и номинальному напряжению [2]. Однако этим элементам также свойственно явление пассивации. Пассивация – это естественный процесс, который происходит с литий-тионилхлоридной батарейкой при длительном хранении. В результате химической реакции на поверхности анода образуется защитная пленка из кристаллов хлорида лития. Эта пленка замедляет саморазряд батареи и позволяет ей храниться без потери своих свойств в течение многих десятков лет.

Однако слишком толстый слой пассивации может привести к снижению эффективности работы батареи, поэтому иногда требуется принудительная депассивация – процесс, при котором защитная пленка разрушается, чтобы восстановить нормальную работу батареи. В случае работы устройства в режиме микротоков производители рекомендуют выполнять депассивацию с периодичностью раз в 1-2 недели, подключая внешнюю нагрузку на 3-5 секунд, ток депассивации зависит от типоразмера элемента и его конструкции.

Исходя из полученных данных, была выбрана батарея FANSO TECHNOLOGY ER18505H бобинной конструкции, типоразмера 4/3AA и емкостью 4.1Ач.

Главным критерием выбора микроконтроллера является низкое энергопотребление в режиме ожидания, доступность среды разработки и возможность питания в диапазоне работы батареи от 2В до 3.6В.

Выбор был сделан на серию микроконтроллеров STM32L, а именно на STM32L0. Базовая серия семейства включает микроконтроллеры в компактных корпусах. Объем флеш-памяти составляет до 64 КБ, оперативной памяти – до 8 КБ, а EEPROM – до 2 КБ. Базовый набор периферии включает 16-битные таймеры, сторожевые таймеры, часы реального времени, компараторы, 12-битный многоканальный АЦП с частотой выборки до 1,14 MSPS и последовательные интерфейсы (USART, I2C, SPI). Четыре канала прямого доступа к памяти (DMA) также входят в состав ядра.

Для реализации маркера был выбран микроконтроллер STM32L010F4P6. Основным его преимуществом является сверхнизкое потребление в режиме ожидания до 300нА, без включенной периферии и контактов. Однако для пассивации батареи требуется пробуждение раз 1.5 недели, из-за чего возрастает общее потребление. Включенная периферия микроконтроллера в режиме ожидания потребляет до 1.7мкА.

Для правильной работы активного маркера в схеме должны присутствовать следующие части: блок вывода микроконтроллера из режима ожидания, блок приема и передачи сигнала.

Вывод микроконтроллера из режима ожидания, происходит по появлению низкого уровня на одном из входов. Для этого была разработана схема на транзисторах (рис. 3), потребляющая всего 1.85мкА. Однако ее преимуществом является возможность считывать данные, полученные от маркероискателя, что позволяет уменьшить количество элементов на плате.

На схеме присутствует микросхема SN74LVC1G66DBVR являющаяся аналоговым переключателем. Данная микросхема используется для того, чтобы исключить влияние блока во время передачи данных и падении напряжения на батареи ниже 2В, то есть переход в режим пассивного маркера с увеличенной глубиной обнаружения.

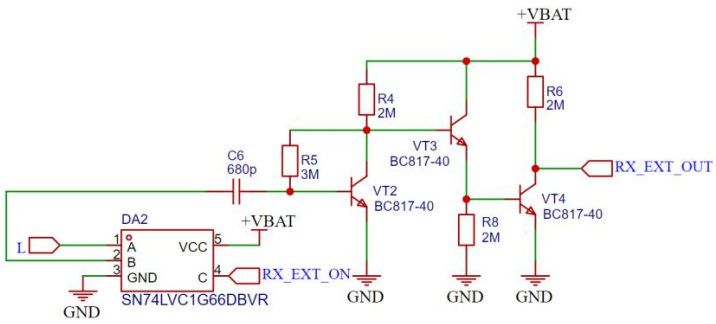


Рис. 3. Схема пробуждения микроконтроллера

При разработке схем приема и передачи учитывалось, что в режиме ожидания они будут отключены, для снижения энергопотребления и подключаются только после пробуждения микроконтроллера. Однако элементы для них все равно выбирались с низким энергопотреблением, а именно операционный усилитель LMV321IDBVR с потреблением 50мкА на канал. В связи с тем, что блок пробуждения микроконтроллера так же используется для чтения данных, общее энергопотребление блока приема сигнала равна 100мкА. Операционный усилитель используется для выделения тактового сигнала с катушки.

Схема передачи данных представляет собой биполярный PNP транзистора для модуляции сигнала на катушке, путем подачи питания на нее.

Схема выделения частоты и передачи представлены на рис. 4.

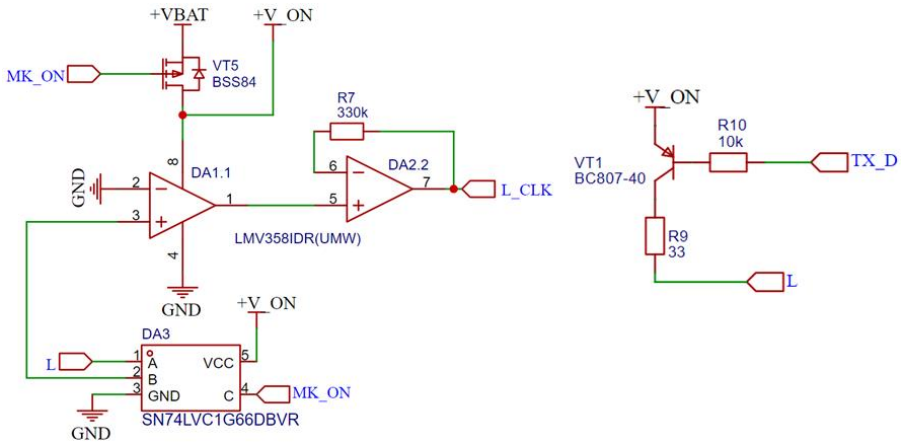


Рис. 4. Схема выделения частоты и передачи данных

Расчет жизни батареи был проведен в программе STM32CubeMX. Исходя из потребления схемы, в программу расчета времени жизни батареи были добавлены 1.9мкА. Время работы МК от батареи составляет более 55 лет, включая расход энергии на саморазряд. Однако при считываниях 1–2 в год, срок жизни батареи падает до 50 лет, что все равно больше время жизни оптических линий связи в два раза. Отчет по времени жизни батареи представлен на рис. 5.

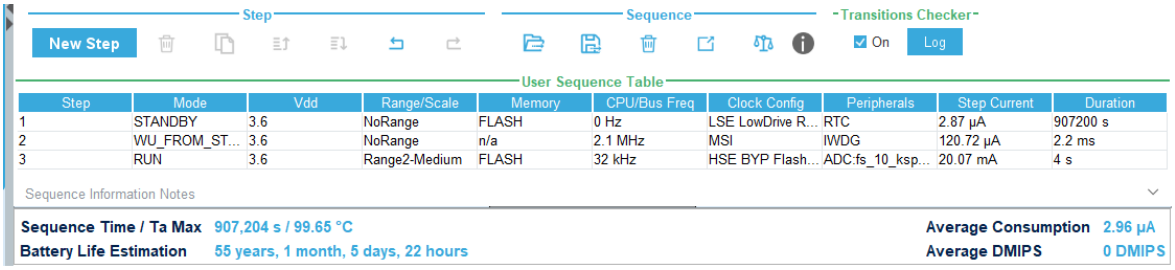


Рис. 5. Расчет расхода батареи

Используя данные при анализе маркера с увеличенной дальностью действия [3], маркер имеет особую конструкцию позволяющую умесить в поплавок батарею и печатную плату с микроконтроллером. Составные части шарового маркера представлены на рисунке 6.



Рис. 6. Конструкция активного интеллектуального маркера

Благодаря полученным данным, при разработке маркера с увеличенной дальностью действия активный интеллектуальный маркер имеет до 50 % большую глубину залегания за счет наличия внутреннего источника питания. Так же основным преимуществом является срок службы и равен сроку службы интеллектуальных и пассивных маркеров. Полученные данные так же можно применить, для реализации маркеров других форм фактором.

Таким образом, активный интеллектуальный маркер является, отличим вариантом для абсолютной идентификации промаркированного подземного объекта в условиях плотной городской среды, а также в местах, где необходима закладка маркера на большую глубину.

Список используемых источников

1. Трассопоиск и маркировка. URL:https://www.3mrussia.ru/3M/ru_RU/company-ru/all-3m-products/~/All-3M-Products/-/-/?N=5002385+8709315+8710662+8711017&rt=r3 (дата обращения 11.11.2024).
2. Секреты депассивации литиевых батареек FANSO EVE Energy. https://www.compel.ru/lib/164575 (дата обращения 11.11.2024).
3. Толмачев М. А. Повышение чувствительности устройств для фиксации и обнаружения подземных трасс оптических кабелей связи // 78-я Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодух ученых «Студенческая весна-2024». СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 2. С. 121–126.

Tolmachev M. **ACTIVE INTELLIGENT MARKER WITH INCREASED DETECTION DEPTH FOR FIXING AND DETECTING UNDERGROUND OPTICAL COMMUNICATION CABLES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The report discusses the principles of fixing and detecting underground utilities. The analysis of existing intelligent markers and the depth of their detection is carried out. The variants of the parts of this marker are analyzed to increase the service life of the marker. Experimental studies have been carried out that confirmed the results of the calculations. A prototype of an active intelligent marker with an extended detection range has been developed.

Key words: tracerouting devices, intelligent marker, marker, marker finder, underground communications, optical cables.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И РОБОТОТЕХНИКА

2.1. Микроволновая техника: материалы, компоненты, устройства

УДК 544.6
ГРНТИ 31.15.33

МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЙ КОМПОЗИТ ПОЛИПИРРОЛА И ПОЛИИМИДА КАК ТЕРМОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

В. М. Беляев[1], Р. Г. Исмагилов[1], К. Л. Левин[1,2], Т. В. Шеламова[1]
[1]Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
[2]Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС

Современные технологии требуют постоянного совершенствования материалов, используемых в различных областях, включая электронику, связь и защиту от электромагнитных излучений. Одним из перспективных направлений является разработка композитных материалов, обладающих высокими экранирующими свойствами.

композит полипиррола и полиимида, термостойкий материал, микроволновое электромагнитное экранирование

С ростом использования беспроводных технологий и микроволнового оборудования, защита от электромагнитного излучения становится все более актуальной. Полипиррол (ПП), как проводящий полимер, обладает способностью эффективно поглощать электромагнитные волны, что делает его идеальным компонентом для создания экранирующих материалов. Композиты на основе полипиррола и полиимида (ПИ), который обеспечивает термостойкость и механическую прочность, стабильность и долговечность материала в различных условиях эксплуатации, демонстрируют улучшенные экранирующие свойства в диапазоне микроволн.

Композиты ПП и ПИ находят широкое применение в различных областях, включая защиту электроники, антенн и других устройств, подверженных воздействию микроволнового излучения. Их высокая эффективность в экранировании и термостойкость делают их идеальными для использования в аэрокосмической, автомобильной и телекоммуникационной отраслях.

Электрохимический метод синтеза композита полипиррола и полиимида позволяет точно контролировать условия синтеза и обеспечивать равномерное распределение полипиррола, в том числе металлического серебра, в матрице полиимида [1,2]. Добавление серебра в полиимидные матрицы значительно улучшает проводящие свойства получаемых материалов, что делает их подходящими для применения в электронике и других областях.

В данной статье описывается метод, позволяющий получить композиты на основе ПИ, обладающими повышенными электропроводящими и экранирующими свойствами.

Электрохимический метод

Приготовление композитов на основе ПИ осуществлялось электрохимическим методом. Ключевой особенностью ПИ, позволяющей использовать его в электрохимическом процессе, является проницаемость ПИ пленки, приготовленной определенным образом, для ионов электролита, проводящего полимера и серебра. Для осуществления процесса полимер-предшественник ПИ в виде полиамидокислоты (ПАК) наносили на электропроводящий электрод электрохимической ячейки. Имидизацию, то есть превращение ПАК непосредственно в термостойкий полимер, проводили химически, обрабатывая застывшую пленку ПАК в растворе, включающем пиридин и уксусный ангидрид. После имидизации электропроводящий электрод оказывался покрыт пленкой ПИ.

Для проведения электрохимического эксперимента использовали трехэлектродную электрохимическую ячейку, состоящую из рабочего электрода, хлорсеребряного электрода сравнения и противоэлектрода.

Для проведения эксперимента ячейку заполняли раствором, содержащим: 1. Мономер пиррола, гексафторфосфат калия в ацетонитриле для электроосаждения полипиррола; 2. Тетрафторборат серебра и гексафторфосфат калия в ацетонитроле для восстановления серебра с образованием металлических слоев. В том и другом случае гексафторфорсфат калия выполнял функцию фонового электролита, обеспечивающего достаточно высокую электропроводность раствора. В первом случае противоэлектродом являлась платинированная проволока, а рабочий электрод служил анодом. Во втором случае, противоэлектродом являлась серебряная проволока, а рабочий электрод ис-

пользовался в качестве катода. Раствор и электрод заменялся после каждого из проведенных экспериментов, а ячейка пред проведением нового эксперимента ополаскивалась ацетонитрилом. Таким образом удавалось получить сэндвичевую композитную структуру, обладающую проводящими свойствами.

Состав соединения изучен с помощью инфракрасной спектроскопии с Фурье преобразованием. Характеристические пики определяли на диапазоне от 4 до 4000 $см^{-1}$ при сканах образца в атмосфере азота. Фоновый спектр записывали в тех же самых условиях в отсутствии образца, и вычитали из рабочего спектра. нанесения ПП (рис. 1), показывают, что: 1) присутствие ПП выражается в появлении имидного пика при 1780$см^{-1}$ (отмеченного "1" на рисунке), который является признаком дополнительной имидизации, вызванной полипирролом; 2) плечо ПАК при 1550 – 1580 $см^{-1}$ (обозначенное "2") исчезает; 3) интенсивность центрального пика при 500 – 620 $см^{-1}$ (обозначенного "3") триплета значительно увеличивается, указывая на сдерживание вращения вокруг карбонильной σ связи. Изменения 1 и 2 указывают на то, что присутствие ПП влияет на переход в имид, сдвигая равновесие полиимид ↔ изоимид в сторону ПИ.

Таким образом показано, что электрохимический процесс действительно приводит к образованию композита, сопровождающегося дополнительной имидизацией, по-видимому, не до конца законченной химическим методом.

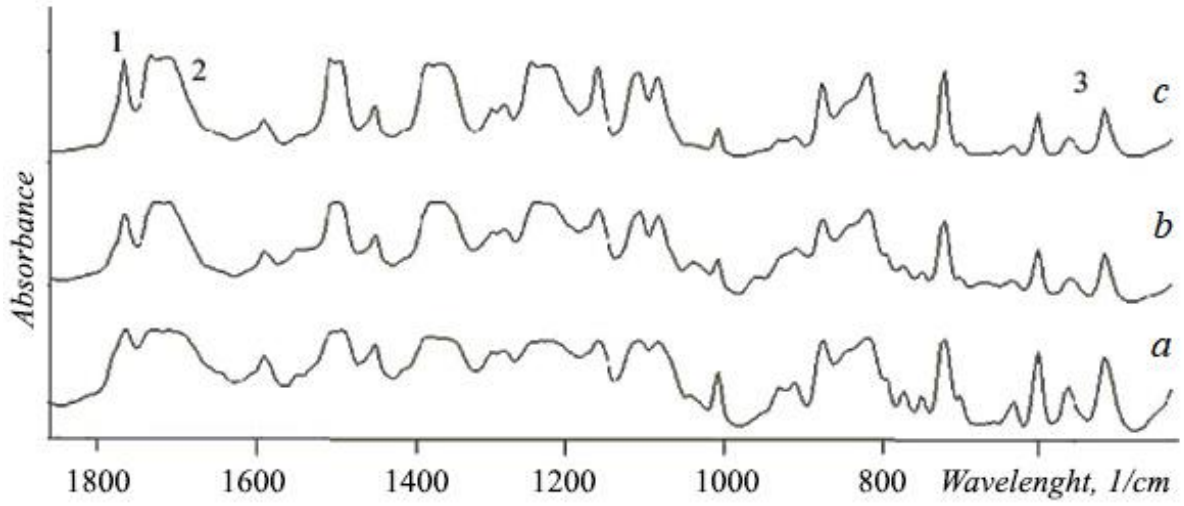


Рис. 1. Инфракрасные спектры ПП/ПИ композита при различных временах нанесения ПП, (a) контрольный образец (без ПП), (b) 60 с (c) 180 с, (плотность тока 1 мА/см2).

Время имидизации 30 мин.

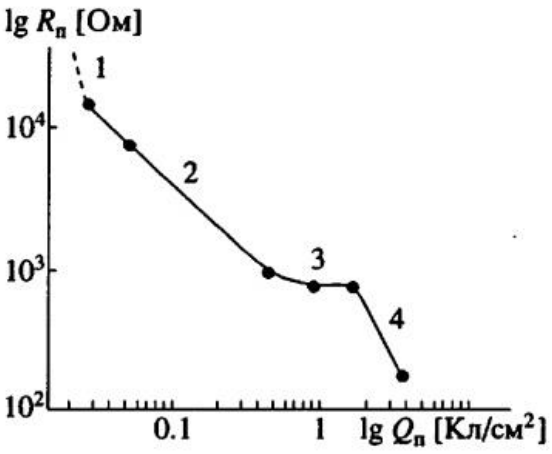


Рис. 2. Зависимость логарифма электрического сопротивления композита с полипирролом от количества электричества, затраченного на полимеризацию.

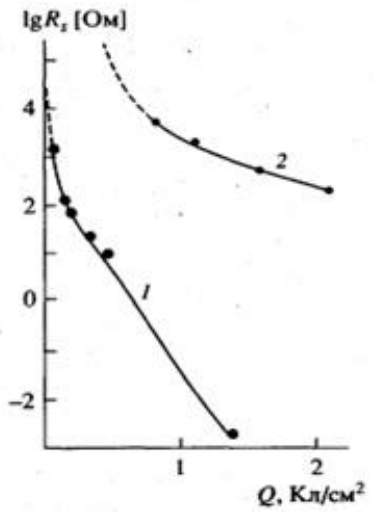


Рис. 3. Зависимость логарифма электрического сопротивления композита с серебром от прошедшего количества электричества.
1. Поверхностный слой.
2. Объемный слой.

Обсуждение

Электропроводность полученных пленок исследовали четырехточечным методом. Результаты показаны на рис. 2 и 3. Видно, что как присутствие проводящего полимера, так и металлического серебра существенно снижают поверхностное сопротивление пленок, в случае ПП его наименьшее значение составило 10^2 Ом/квадрат, а в случае с серебром на 4 порядка меньше – 10^4 Ом/квадрат при толщине пленок 30+/-10 мкм. Таким образом, удается добиться перекрывания широкого диапазона сопротивлений (более 6 порядков), способного обеспечить достаточно эффективное радиоволновое поглощение в широкой области частот и интенсивностей.

Выводы

Металлизированный композит полипиррола и полиимида обладает большим потенциалом для применения в высоких технологиях, таких как защита от электромагнитного излучения и создание проводящих слоев в микроэлектронике.

Исследование этих композитов открывает новые горизонты для разработки эффективных решений в области защиты от электромагнитного излучения, что особенно актуально в условиях стремительного роста использования беспроводных технологий и увеличения уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды.

Список используемых источников

1. Левин К. Л., Згонник В. Н., Фролов В. И. Электрохимическое получение и свойства композита полипиррола и полиимида // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1993. Том 35. № 10. С. 1705–1707.
2. Левин К. Л., Фролов В. И., Боярчук Ю. М., Борисова Т. И. Электрохимическое получение проводящих металлических слоев серебра в полиимидных пленках и исследование электропроводности, а также ИК-спектров композитов // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1999. Том 41. № 2. С. 363–367.

Belyaev V.[1], Ismagilov R.[1], Levin K.[1,2], Shelamov T.[1] **METALLIZED COMPOSITE OF POLYPYRROLE AND POLYIMIDE AS A HEAT-RESISTANT MATERIAL FOR MICROWAVE ELECTROMAGNETIC SHIELDING.**

[1]Budyonny Military Academy of the Signal Corps
[2]Branch of Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P. Konstantinov of National Research Centre «Kurchatov Institute» - Institute of Macromolecular Compounds

Modern technologies require constant improvement of materials used in various fields, including electronics, communications and protection from electromagnetic radiation. One of the promising areas is the development of composite materials with high shielding properties.

Key words: Composite of polypyrrole and polyimide, heat-resistant material, microwave electromagnetic shielding.

УДК 621.914
ГРНТИ 29.35.01

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА МАГИСТРАНТОВ КАК ЭТАП В НАПИСАНИИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Э. Ю. Седышев, С. И. Федоров
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эта работа включает описание алгоритма и краткий отчет о технологической практике для магистрантов первого курса, обучающихся по профилю «Микроволновая техника. Объемные интегральные схемы». В рамках практики студенты рассчитывают, моделируют и изготавливают макет СВЧ-устройства (или элемента) для дальнейшего эксперимента.

СВЧ, ЧПУ, макетирование, прототипирование

Описываемая далее технологическая практика задумана как практика ознакомления магистрантов с производственным процессом изготовления микроволновых устройств. Данная учебная форма задумывалась как подобие реального технологического процесса, где студент прорабатывает идеи масштабного макетирования, масштабное макетирование рассмотрено как в классической литературе [1], так и (более подробно) в публикациях направления подготовки [2].

Идея технологической практики, проводимой во 2 семестре магистратуры рабочего учебного плана профиля, состояла в предоставлении возможности учащимся создать (сразу же после расчета и моделирования), за достаточно короткий промежуток времени (две недели), макет устройства (элемента, системы) с характеристиками, которые будет легко измерить и сравнить с расчетными.

Для начала было необходимо выбрать программу для создания 2D эпюра устройства. Подразумевалось также, что программы, используемые магистрантами, должны быть доступными для быстрого изучения в рамках прохождения практики, однако они также должны обладать достаточной функциональностью для реализации произвольного микроволнового устройства.

Для создания эпюра печатной платы предполагается использование программы Sprint layout (SL). Данная программа обладает достаточным набором функций для выполнения поставленных задач. Также в ходе работы использовалась программа с открытым кодом – KiCAD. Данное ПО обладает намного

большим функционалом, чем SL (многие функции на практике просто не используются), однако, как было заявлено ранее, в отличии от SL данная программа является ПО с открытым кодом.

Для формирования кода с расширением *.NC была использована программа FlatCam, которая также является ПО с открытым кодом. Данное ПО также достаточно просто в обращении и изучении, однако обладает возможностью очень точной настройки проекта.

По итогу прохождения практики магистранты рассчитали, а также произвели и измерили макеты своих устройств (рис. 1), которые будут являться частью отчетных материалов в их магистерской диссертации.

Основными требованиями к изготовлению плат были: время и точность. Время изготовления первых макетов, для которых использовалось минимальное количество необходимых фрез, составило порядка 45 минут. При наработке опыта и оптимизации структур самими магистрантами предполагается, что один макет будет изготавливаться за 20–30 минут. Из вышесказанного следует, что за два академических часа возможно выполнить макеты устройств (с достаточно сложной геометрией) для группы в 3–5 человек и как следствие уместить расчет устройства и его непосредственное измерение в рамках практики.



Рис. 1. Изготовленные устройства

Оценим качество изготовления макетов и погрешность изготовления.

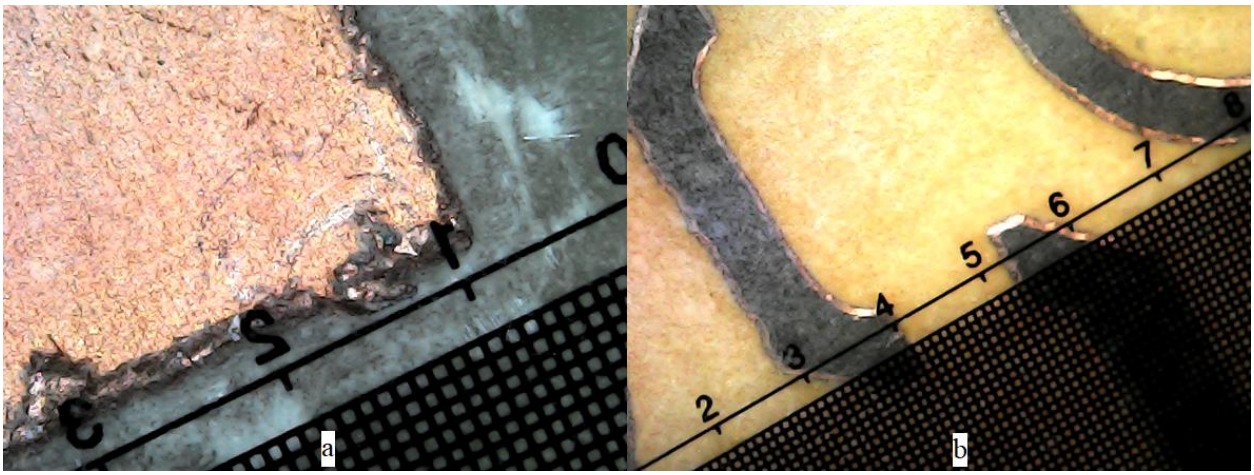


Рис. 2. Оценка погрешности (большое деление – 1мм)

В ходе изготовления устройств было использовано два набора фрез, для платы-1 (рис. 2a) и платы-2 (рис. 2b). После анализа изготовленных устройств стало очевидно, что второй набор обладал явным преимуществом, т. к. после обработки края полосков были ровнее и снятие металлизации происходило более равномерно.

Погрешность при производстве плат была вызвана тремя причинами: отличие реальных характеристик фрез от заявленных, вибрации станка, деформация подложки при установке на рабочее поле.

После более точного анализа стало ясно, что основные погрешности возникают именно из-за изгиба заготовки. Если погрешности, вызванные первыми двумя причинами, составляют порядка 50…100 мкм (≈ 2 %), что является вполне допустимым при изготовлении, например, 50 Ом-ных линий на частотах порядка 1…5 ГГц на подложках с диэлектрической проницаемостью около 4, однако изгиб заготовки, в свою очередь, вызывает погрешности порядка 1-2мм или 20-30 % от самих линий. Данная проблема в большой степени может быть решена некоторыми модификациями станка ЧПУ и предполагается, что она будет решена в кротчайшие сроки.

Стоит отметить, что, даже учитывая данные погрешности, первые изготовленные образцы расходились с расчетной моделью не так серьезно. Например, в случае полоскового фильтра центральная частота сместилась лишь на 15 МГц, а ширина полосы отличалась на 10 МГц.

Данная технология хороша сама по себе для быстрого макетирования или аккуратного прототипирования, однако интеграция аддитивных технологий может помочь в дальнейшем реализовывать также структуры с более сложной геометрией или различные вспомогательные устройства.

Список используемых источников

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Д. М. Сазонов. М.: Высш. шк., 1988. 430 [2] с.: ил.
2. Седышев Э. Ю. Масштабное макетирование объемных интегральных схем СВЧ-диапазона // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. I Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. СПб.: СПбГУТ, 2012. №. 64. С. 20-24.

Sedyshev E., Fedorov S. **TECHNOLOGICAL PRACTICE OF MASTER'S STUDENTS AS A STAGE IN WRITING A GRADUATE QUALIFICATION WORK.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper includes an algorithm description and a brief report on technological practice for first-year undergraduates studying in the field of «Microwave technology. Volumetric integrated circuits». As part of the practice, students calculate, simulate and produce a prototype of a microwave device (or element) for further experimentation.

Key words: Microwave, CNC, breadboarding, prototyping.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ МОДИФИКАЦИИ ПЛОСКИХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

С. И. Федоров
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эта работа предлагает некоторый краткий обзор основных особенностей использования спиральных антенн, и тенденций по их модификации для улучшения различных характеристик структуры. В конце предлагается способ исполнения структуры, в основе которого лежит видоизмененное уравнение Архимедовой спирали.

СВЧ, спиральная антенна, сверхширокополосная антенна

Антенны с широкой рабочей полосой находят свое применение в различных радиотехнических системах, будь то телекоммуникационные системы, радиолокация и т. д. Также дополнительно к требованиям о ширине рабочей полосы зачастую выставляются дополнительные требования к помехозащищенности, в связи с этим, например, в мобильных системах, также явным преимуществом обладают антенные системы, способные излучать электромагнитную волну (ЭМВ) с круговой поляризацией (КП).

Спиральная антенна является одновременно как широкополосной, так и антенной круглой поляризации. Спиральные антенны можно разделить на несколько подкатегорий [1, 2]:

– эквиугольные или логарифмические спирали;

– архимедова спираль;

– спиральные антенны, расположенные на поверхности конусов и других объемных тел;

– синусоидальные или зигзагообразные антенны и т. д.

Далее говоря о спиральных антеннах, речь будет в основном идти о плоских спиральных антеннах, так как именно им зачастую отдают предпочтение разработчики при проектировании устройств из-за понятного выигрыша в массогабаритных показателях по сравнению с объемными структурами.

Стоит отметить, что основные идеи о принципах работы спиральных структур либо описаны в классических работах [3, 4] или обобщены в литературе по тематике [1, 2].

Помимо вышеуказанных достоинств, спиральные антенны также обладают и рядом выраженных недостатков, например, относительно невысокими значениями усиления, слабой направленностью, а также ярко выраженной частотной зависимостью направления максимума диаграммы направленности (ДН) при использовании немодифицированных структур.

Таким образом, модифицируя спиральную структуру, инженер сперва старается устранить основные недостатки при ее использовании. Главным недостатком скорее является слабая направленность антенны. При работе спиральная антенна излучает ЭМВ в обе стороны параллельно нормали плоскости антенны, таким образом половина энергии направляется не к некоторому приемнику, а от него. Логичным решением являлось бы разместить спиральную антенну над плоскостью земли из идеального проводника (ИПЗ) на расстоянии $\lambda_р/4$, однако такой способ размещения структуры непременно влияет на широкополосные характеристики антенны. Ясно также, что чем меньше расстояние между спиралью и ИПЗ, тем более выраженным становится влияние земли, и тем менее широкополосной становится структура, сперва приобретая характеристику подобную резонансной антенне, и при некотором значении полностью переставая излучать [5].

В связи с вышесказанным, очень часто в публикациях по теме помимо крайне интересных, но редко воспроизводимых модификаций, как в [5], встречается вполне понятное и простое решение: спиральная структура располагается на некотором возвышении над землей и между структурой и ИПЗ размещается слой поглотителя для устранения переотражения [6]. Данное решение непременно приводит к потерям усиления в 3 dB, однако позволяет сохранить широкополосные свойства антенны, а также сделать зависимость ДН от частоты менее выраженной.

Также важным для решения вопросом при проектировании структуры является способ питания антенны. Различные способы питания могут являться более выгодными при решении конкретной инженерной задачи [7]. Однако, так как зачастую используются именно комплементарные структуры с двумя плечами спирали и сдвигом питания в 180°, в литературе часто можно встретить питание подобных антенн коаксиальным кабелем с симметрирующим переходом из коаксиальной линии в двухпроводную [4,6]. Однако стоит заметить, что каждый конкретный случай требует отдельного рассмотрения. Так, например, подобное исполнение питания в миллиметровом диапазоне может быть заменено на питание посредством излучающих щелей в интегрированном волноводе, если подобный способ подвода сигнала является более предпочтительным [8].

Также явным трендом является минимизация занимаемой антенной площади. Помимо непосредственной модификации геометрии спирали, также применяются и различные решения с использованием комбинированных подложек и т. п. [9].

Наша идея по минимизации занимаемой площади с потенциальным расширением полосы пропускания в сторону нижних частот заключается в модификации геометрии самой спирали: в дополнении обычного уравнения Архимедовой спирали некоторым множителем схожим по форме с уравнением кардиоиды (рис. 1).

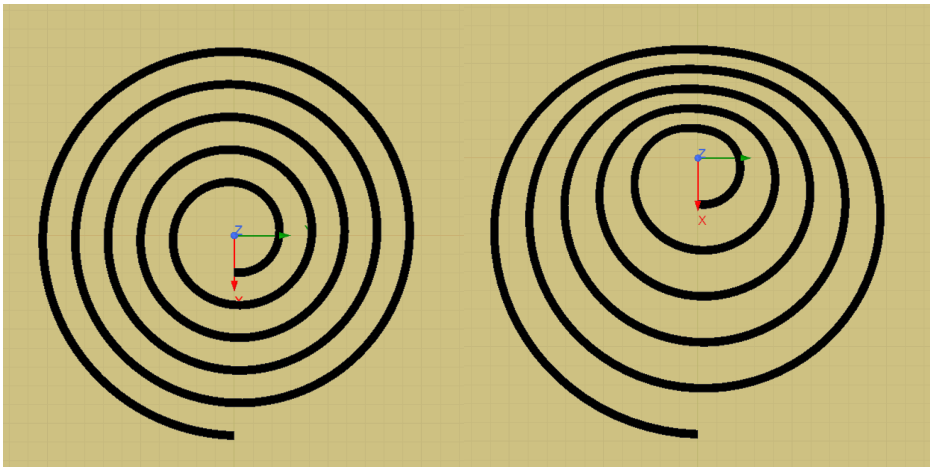


Рис. 1. Спираль Архимеда и модифицированная спираль

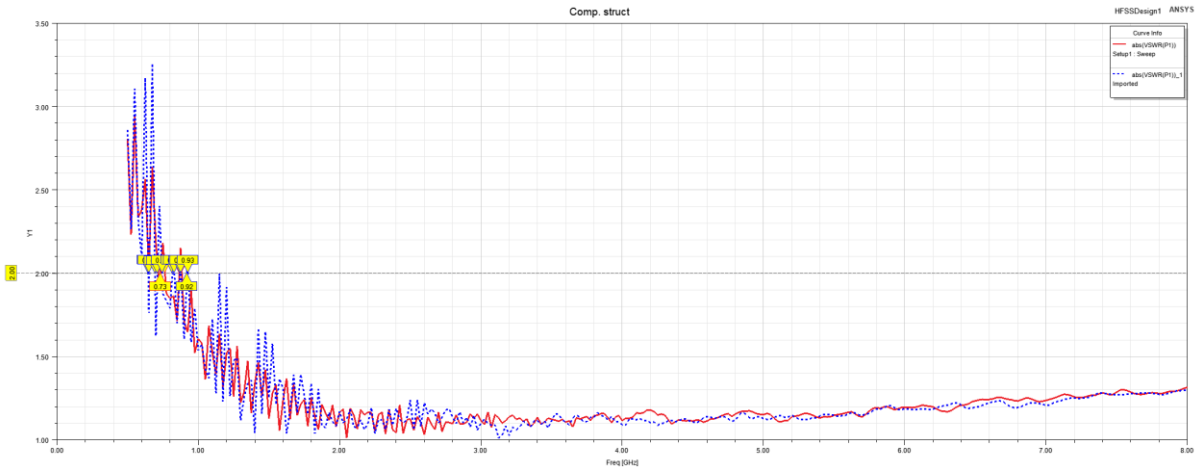


Рис. 2. КСВН моделей (сплошная линия - спираль Архимеда,
пунктир - модифицированная спираль)

Потенциально данная модификация может позволить размещать на одинаковой площади спирали большей длины. Однако данное изменение непременно повлияет ДН в различных диапазонах частот. Развитие данной идеи будет представлено в последующих публикациях. Первые результаты моделиро-

вания показали минимальное различие между классической спиралью и модифицированной спиралью тех же размеров (рис. 2).

Список используемых источников

1. Юрцев О. А., Рунов А. В., Казарин А. Н. Спиральные антенны. М.: Сов. радио, 1974. 224 с.
2. Stutzman W. L., Gary A. T. Antenna theory and design. John Wiley & Sons, 2012.
3. Kaiser J. The Archimedean two-wire spiral antenna," in IRE Transactions on Antennas and Propagation. 1960. Vol. 8. № 3. PP. 312–323.
4. Werntz P. C., Stutzman W. L. Design, analysis and construction of an Archimedean spiral antenna and feed structure. Proceedings. IEEE Energy and Information Technologies in the Southeast', Columbia, SC, USA, 1989. Vol 1. PP. 308-313.
5. Bell and Iskander. A low-profile Archimedean spiral antenna using an EBG ground plane // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2024. Vol. 3. PP. 223–226.
6. Chen L.-L., Chang L., Chen Z.-Z. and Qiu Q.-N. Bandwidth-Enhanced Circularly Polarized Spiral Antenna With Compact Size // IEEE Access, 2020. Vol. 8. PP. 41246–41253.
7. Serhir M., Guinvarc'h R. A Low-Profile Cavity-Backed Dual-Polarized Spiral Antenna Array // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013. Vol. 12. PP. 524–527.
8. Zhu Q., Ng K. -B., Chan C. H. Printed Circularly Polarized Spiral Antenna Array for Millimeter-Wave Applications // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017. Vol. 65. № 2. PP. 636–643.
9. Shih T. -Y., Behdad N. A Compact, Broadband Spiral Antenna with Unidirectional Circularly Polarized Radiation Patterns // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2015. Vol. 63. № 6. PP. 2776–2781.

Fedorov S. **FUNDAMENTAL FEATURES OF USE AND TRENDS IN THE MODIFICATION OF PLANAR SPIRAL ANTENNAS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper offers a brief overview of the main features of using spiral antennas and trends in their modification to improve various structural characteristics. Finally, a method for implementing the structure based on a modified Archimedean spiral equation is proposed.

Key words: Microwave, spiral antenna, ultra-wideband antenna.

2.2. Проектирование и технология радиоэлектронных средств

УДК 621.317.757
ГРНТИ 47.14.17

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА И ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Д. Д. Баженов, А. Н. Коробейников, Ю. Е. Марончук, Ю. А. Никитин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Современные предприятия радио- и электротехнической направленности невозможно представить без лабораторий или стендов для тестирования и отладки электронных устройств. Такие стенды часто включают в себя лабораторный блок питания, генератор сигналов, осциллограф, спектроанализатор, а также физические документы для фиксации результатов испытаний. Однако подобное оснащение занимает значительное рабочее пространство и усложняет учет. Цель статьи – представить измерительный комплекс, который объединяет функции ключевых приборов, снижает занимаемые габариты и оптимизирует рабочий процесс на предприятиях.

разработка РЭА, осциллограф, функциональный генератор, спектроанализатор, блок питания

Тестирование и отладка электронных устройств играют ключевую роль в процессе разработки и производства современной радио- и электротехнической аппаратуры. Надежность и эффективность выпускаемых устройств во многом определяются качеством измерений и полнотой анализа ее характеристик. Для этих целей предприятия используют специализированные лабораторные стенды, включающие широкий спектр измерительных приборов: лабораторные блоки питания, генераторы сигналов, осциллографы, спектроанализаторы и другое оборудование.

Однако подобное оснащение имеет ряд существенных недостатков. Оно занимает значительное рабочее пространство и не всегда может быть подключено к персональному компьютеру с ограниченным количеством USB портов, что вынуждает вносить данные вручную. Кроме того, при поломке зачастую нет возможности оперативно вернуть прибору работоспособность.

В ответ на эти вызовы возникает потребность в разработке компактного и универсального электроизмерительного комплекса, способного объединить в себе функции нескольких приборов. Такое устройство позволяет не только сократить габариты оборудования, но и оптимизировать рабочие процессы за счет единой системы управления и обработки данных, а модульность позволит быстро заменять поврежденные части и гибко настраивать конфигурацию прибора под специфичные задачи.

Ранее уже был создан первый прототип (рис. 1), однако, на этапе тестирования были выявлены недочеты, в связи с которыми было принято решение переработать принципиальную схему и саму конфигурацию устройства. Например, добавить такие функции как интеграция второго канала осциллографа, двухканального генератора сигналов, а также регулируемых выводов питания. Кроме того, следующий прототип будет состоять из большего числа модулей.

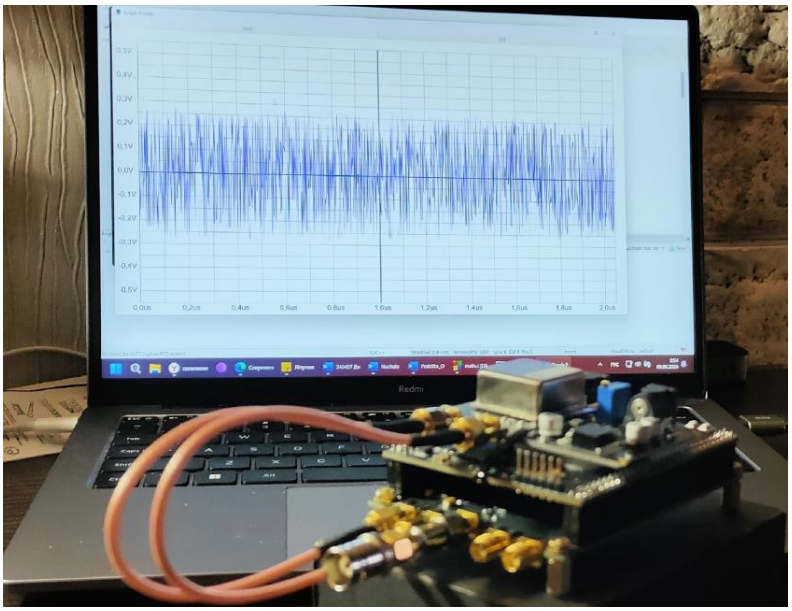


Рис. 1. Прототип устройства, разработанный в рамках бакалаврской дипломной работы

Обновленная версия не только исправит ошибки прошлого прототипа, но и станет более универсальной. Модульная структура устройства обеспечит удобство эксплуатации, позволяя оперативно заменять поврежденные модули и адаптировать прибор под конкретные задачи.

Тем не менее, комплекс остается в стадии совершенствования. В будущем планируется работа по следующим направлениям:

– программное обеспечение. Будет проведена разработка интерфейса для полной интеграции прибора с ПК, включая автоматизацию обработки данных и их сохранение в электронном виде;

– удобство. Для повышения удобства работы в полевых условиях будет выполнено снижение габаритов и веса устройства;

– набор функций. Планируется добавление новых модулей, таких как спектроанализатор или вольтметр, для повышения универсальности;

– надежность. Для предотвращения повреждений при работе в сложных условиях в устройство будут интегрированы средства самодиагностики и системы защиты.

Разрабатываемый проект измерительного комплекса является перспективным решением для радио- и электротехнических лабораторий, обеспечивая объединение ключевых измерительных функций в одном устройстве. Это позволяет не только оптимизировать рабочий процесс, но и снизить затраты на оборудование и обслуживание. В будущем данная концепция может стать основой для создания масштабируемых решений, способных удовлетворить потребности различных областей электроники.

Список используемых источников

1. Коробейников А. Н. Проектирование цифрового электроизмерительного комплекса с использованием программируемой логической интегральной схемы: выпускная квалификационная работа. СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. 68 с.
2. Широков Ю. Современные USB-осциллографы и их применение // СТА, 2018. №2. URL: https://www.cta.ru/articles/cta/obzory/apparatnye-sredstva/124418/ (дата обращения 10.11.2024).
3. Афонский А. А., Суханов Е. В. Основы осциллографии. Часть 1. Применение осциллографа для определения форм сигналов // Контрольно-измерительные приборы и системы (КИПиС), 2010. № 5. С. 7–8.

Bazhenov D., Korobeinikov A., Maronchuk Yu., Nikitin Yu. **DEVELOPMENT OF AN ELECTRICAL MEASURING COMPLEX FOR THE ANALYSIS AND TESTING OF ELECTRONIC DEVICES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Modern radio and electrical engineering enterprises cannot be imagined without laboratories or stands for testing and debugging electronic devices. Such stands often include a laboratory power supply, a signal generator, an oscilloscope, a spectroanalyzer, as well as physical documents for recording test results. However, such equipment takes up a significant amount of work space and complicates accounting. The purpose of the article is to present a measuring complex that combines the functions of key devices, reduces occupied dimensions and optimizes the workflow at enterprises.

Key words: Development of REE, oscilloscope, function generator, spectroanalyzer, power supply.

УДК 004.3'12
ГРНТИ 47.14.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 19-ДЮЙМОВОГО ЮНИТОВОГО КОНСТРУКТИВА В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Е. В. Котенева, А. Д. Сухотерина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе исследуется возможность использования 19-дюймового юнитового конструктива в жестких условиях эксплуатации. Подчеркиваются недостатки существующих конструктивов. Рассматривается предложенный конструктив и будущие задачи.

базовая несущая конструкция, стандартизация, блок

Базовые несущие конструкции (БНК) – это механическая конструкция в виде корпуса, предназначенная для электронных и электромеханических систем. Обеспечивает совместимость между механическими деталями, электрическими межблочными соединениями и электронными компонентами [1].

Базовая несущая конструкция делится на четыре основных конструктивных уровня и два дополнительных уровня применительно к ней (рис. 1). Основные конструктивные уровнем широко используются в различной аппаратуре, а дополнительными называются конструктивные уровни, которые применяются в специальной аппаратуре, но не во всех случаях [2].

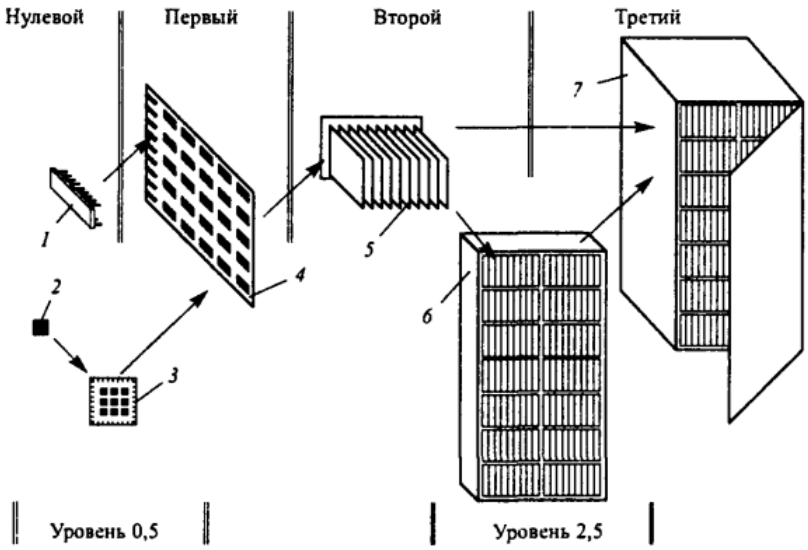


Рис. 1. Конструктивная иерархия БНК

Разрабатываемый блок подразумевает исключения дополнительного конструктивного уровня, в целях стандартизации аппаратуры и улучшения конструкции.

В данный момент применяется построение четырехуровневой конструкции с кондуктивным отводом тепла: БНК 0 уровня (микросхемы) → БНК 1 уровня (печатная плата) → БНК 2 уровня (ячейка) → БНК 2.5 уровня (блок) (рис. 1) → БНК 4 уровня (стойка, корпус, стеллаж).

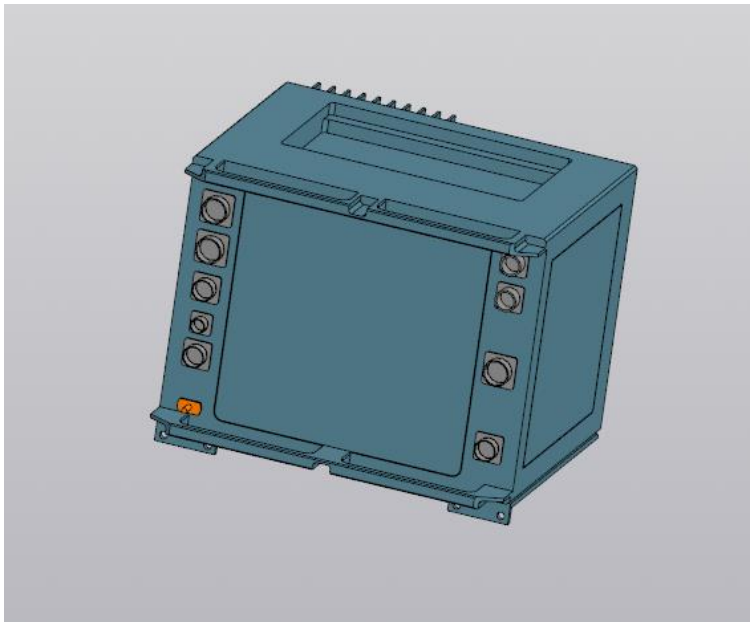


Рис. 2. Применяемый БНК 2.5 уровня

Предполагаемый вариант построения по новой схеме: БНК 0 уровня (микросхемы) → БНК 1 уровня (печатная плата) → БНК 2 уровня (блок) (рис. 2) → БНК 3 уровня (стойка, корпус, стеллаж). Типовым элементом замены является БНК 2 уровня (рис. 3).

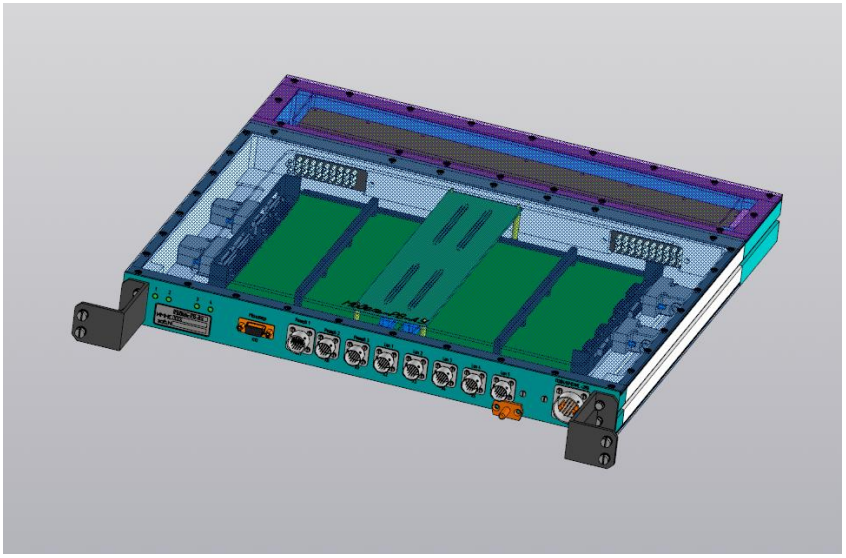


Рис. 3. Новый БНК 2 уровня

Необходимость стандартизации существующих конструкций обусловлен:

– достижением сокращения массы каждых приборов до 7-8 кг, при этом обеспечение стойкости приборов к механическим воздействиям;

– расширение размеров печатной платы таким образом, чтобы на ней были размещены все необходимые элементы, в результате чего исключена надобность в использовании объединительных плат и разъемных межплатных соединений;

– увеличение количества электронных модулей и других элементов аппаратуры, размещенных в стоечную конструкцию, что позволяет увеличить общее количество электроцепей и модулей аппаратуры;

– при использовании блока, совмещенного с источником питания элементом замены в изделии может стать блок, что сократит количество аппаратуры ЗИП изделий.

Для применения нового блока он должен удовлетворять всем требований ТЗ, а технические характеристики должны отвечать или превышать заданные в техническом задании (ТЗ) значения.

В ходе работы требуется решить следующие задачи:

– разработать блок в соответствии с исходными данными с полным комплектом конструкторской документации [3];

– произвести расчеты на воздействие внешних механических факторов;

– провести натурные испытания блока, чтобы подтвердить его работоспособность и надежность в заданных условиях эксплуатации;

– произвести доработку блока и комплекта конструкторской документации на основании замечаний, выявленных во время испытаний.

Выбор конструктивно-технологических решений осуществлен на основе сравнения альтернативных вариантов по получаемому эффекту и затрачиваемым средствами. При этом необходимо учитывать, что система базовых несущих конструкций – БНК, базируется на оптимизации параметрических (типоразмерных) рядов, методах конструирования и технологической подготовки производства, обеспечивающих безусловное выполнение требований ТЗ, стандартизацию, межвидовую унификацию и взаимозаменяемость конструкций РЭА, все виды технологической совместимости (конструктивную, функциональную, коммутационную, информативную и др.)

Оцениваемой характеристикой блока является прочность к воздействию следующих внешних воздействующих факторов:

1. Синусоидальная вибрация. Амплитуда ускорения 49 м/с2 (5 g). Диапазон частот 1-500 Гц;

2. Механический удар многократного действия. Пиковое ударное ускорение 294 м/с2 (30 g). Длительность действия 5-10 мс;

3. Механический удар одиночного действия. Пиковое ударное ускорение 980(100) м/с2 (g). Длительность действия 1-5 мс;

4. Атмосферные конденсированные осадки. Иней, роса.

Для выполнения требования к атмосферным конденсированным осадком при проектировании блока было принято решение о выполнении в виде функционально законченных изделий в пыле-брызгозащищенном, электроизолированном исполнении.

На данный момент разработка блока завершена. Блок на моменте оформления конструкторской документации, расчетов на воздействие внешних механических факторов и подготовки опытного образца к натурным испытаниям.

Список используемых источников

1. Национальный стандарт ГОСТ Р 51623-2020 «Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств».
2. Винников В. В. Основы проектирования электронных средств: учебное пособие: в 2 кн. Кн. 1 / В. В. Винников. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. 194 с.
3. Воруничев Д.С., Иерархическое проектирование базовых несущих конструкций в САПР Компас-3D : учебное пособие / Д. С. Воруничев, В. С. Иванов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, МИРЭА - Российский технологический университет. Ч. 1. М.: МИРЭА - Российский технологический ун-т, 2021. 91 с.

Koteneva E., Sukhoterina A. **INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING A 19-INCH UNIT STRUCTURE IN HARSH OPERATING CONDITIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the possibility of using a 19-inch unit design in harsh operating conditions. The shortcomings of existing designs and the possibilities for their adjustments are emphasized. The proposed design and future tasks are considered.

Key words: basic supporting structure; standardization; block.

УДК 621.314.1
ГРНТИ 47.14.17

РАЗРАБОТКА БЛОКА СОПРЯЖЕНИЯ СРЕДСТВ ДЛЯ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ

Е. В. Котенева, А. Д. Сухотерина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматривается процесс разработки блока сопряжения средств для пусковой установки. Актуальность темы обусловлена тем, что в настоящее время противоракетная и противовоздушная оборона — одна из важнейших сфер оборонной промышленности России, которая позволяет укреплять суверенитет страны и обеспечивать её безопасность. В связи с этим проводится модернизация существующих систем ПВО и разработка новых проектов.

блок, сопряжение средств, RS-485, CAN

На сегодняшний день оборонное производство является одним из ключевых направлений промышленности РФ [1]. Одной из важнейших сфер оборонной промышленности нашей страны является противоракетная и противовоздушная оборона. Противоракетная оборона – комплекс организационно-технических мероприятий и средств по обнаружению, слежению и уничтожению межконтинентальных баллистических ракет и аэробаллистических ракет, их компонентов (головных частей, ступеней наведения и т. д.) на отдельных участках траектории полета [2]. Противоракетная оборона тесно связана с противовоздушной обороной и часто осуществляется одними и теми же комплексами.

Одной из разработок в области ПРО и ПВО является зенитно-ракетный комплекс, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Состав зенитно-ракетного комплекса

В настоящее время в рамках технического задания Департамента по выполнению Гособоронзаказа МО РФ проводится разработка новой пусковой установки, в состав которой входит блок сопряжения средств. Устройство

должно удовлетворять всем предъявленным к нему требованиям, а все его характеристики должны соответствовать или быть выше номинальных характеристик, указанных в техническом задании.

В ходе работы требуется решить следующие задачи:

– разработать блок сопряжения средств по исходным данным, а именно, электрические схемы, конструктивное исполнение блока в целом, конструктивное исполнение всех входящих в данный блок узлов;

– разработать полный комплект конструкторской документации в соответствии с ГОСТ [3];

– подготовить блок и разработанную документацию, к проведению межведомственных и государственных испытаний, а также доработать или, в случае необходимости, полностью переработать блок в целом или отдельные его узлы;

– доработать конструкторскую документацию в соответствии с замечаниями, выявленными в ходе испытаний, при необходимости.

Блок сопряжения средств предназначен для обмена информацией с двумя блоками обмена информацией из состава аппаратуры стартовой автоматики по протоколу связи CAN, приёма информации от устройства контроля блокирующего устройства по протоколу RS-485, с гальванической развязкой от питания и корпуса, и преобразования её в протокол CAN и управления аппаратурой стартовой автоматики.

Блок сопряжения средств состоит из модуля, электрическая схема соединений которого изображена на рис. 2, и корпуса.

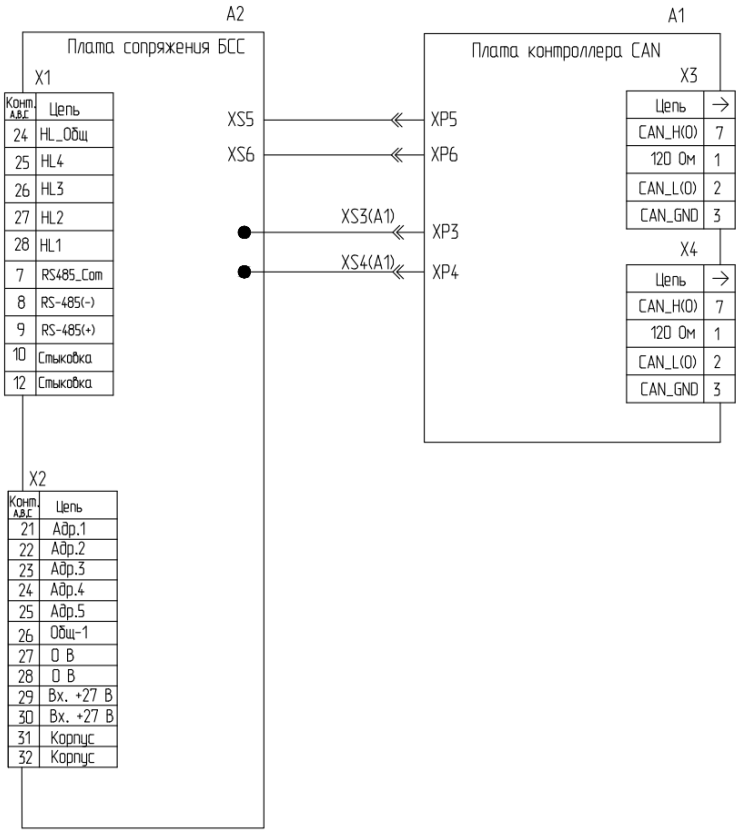


Рис. 2. Схема электрическая соединений модуля

Модуль блока сопряжения средств представляет собой плату сопряжения и плату контроллера CAN, для межплатного соединения используются соединители типа СНП346. Внешний вид модуля показан на рис. 3.

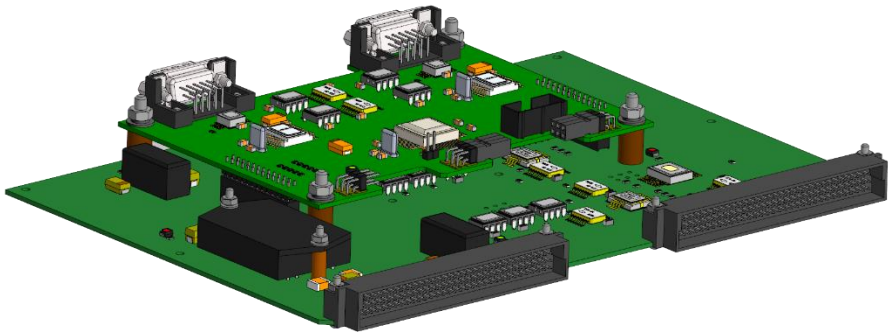


Рис. 3. Внешний вид модуля

Корпус блока изготавливается на заказ, в боковую стенку устанавливаются соединители и индикаторы, также предусмотрены проушины с отверстиями для настенного крепления блока. Внешний вид корпуса представлен на рис. 4.

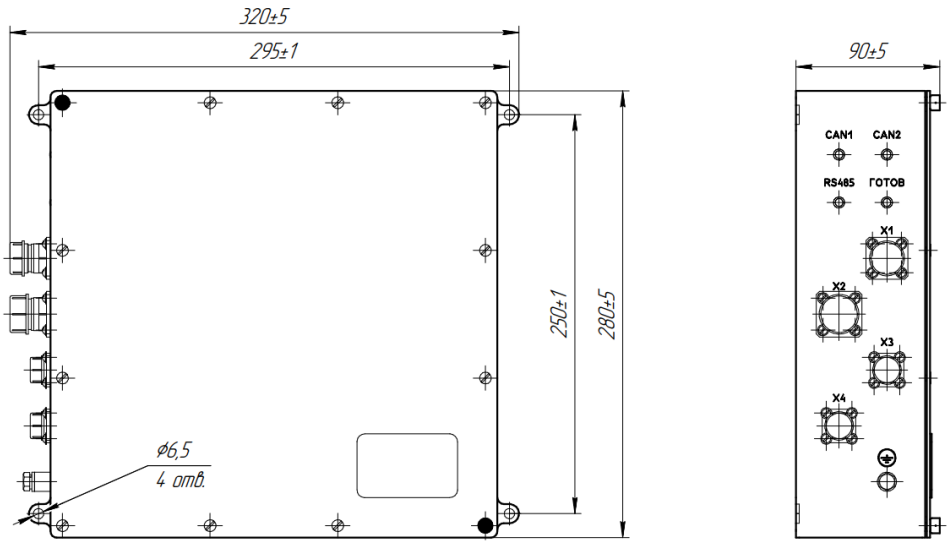


Рис. 4. Фрагмент габаритного чертежа блока сопряжения средств

На данный момент работы над проектированием блока сопряжения средств и процессом оформления конструкторской документации ведутся в соответствии с планом разработки.

Список используемых источников

1. Милюшенко О. А. Анализ перспектив развития рынка оборонной промышленности России в современных условиях // Экономика, предпринимательство и право, 2023. Т. 13. № 11. С. 5035–5044.

2. Энциклопедия РВСН: Министерство обороны РФ. URL: https://encyclopedia.mil.ru /encyclopedia/dictionary/listrvsn.htm (дата обращения 05.11.2024).
3. ГОСТ Р 2.102-2023 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.

Koteneva E., Sukhoterina A. **DEVELOPMENT OF A MEANS INTERFACE BLOCK FOR THE LAUNCHER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article discusses the process of developing a means interface block for a launcher. The relevance of the topic is due to the fact, that currently missile and air defense is one of the most important areas of the Russian defense industry, which allows strengthening the country's sovereignty and ensuring its security. In this regard, the modernization of existing air defense systems and the development of new projects are being carried out.

Key words: block, conjugation of means, RS-485, CAN

УДК 621.396.673
ГРНТИ 47.45.29

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КПД СТАЦИОНАРНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВИБРАТОРОВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ВЧ ДИАПАЗОНА

Д. А. Маленков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время связь в высокочастотном (коротковолновом) диапазоне не теряет актуальности и применяется в различных областях. Целесообразно использовать связь в коротковолновом диапазоне при освоении северных регионов страны из-за относительной дешевизны конструкции антенны и высоких дифракционных свойств волны нижней части высокочастотного диапазона. Наиболее дешевым и простым конструктивным решением среди антенных элементов является несимметричный вибратор. Электродинамическое макетирование данного типа антенн является более сложным процессом, чем математическое моделирование, из-за необходимости создавать подстилающие поверхности с переменными параметрами, характеризующими землю в разных местностях и при разной погоде.

высокочастотный диапазон, стационарный вертикальный несимметричный вибратор, расчет сопротивлений тепловых потерь, КПД антенны

Стационарный несимметричный вибратор представляет собой конструкцию, устанавливающуюся непосредственно на поверхность земли. Данный тип антенн используется для организации связи поверхностной волной. По причине поглощения поверхностных радиоволн полупроводящей поверхностью земли дальность связи будет ограничена, а затухание волны в пространстве будет увеличиваться по мере уменьшения длины волны. Нижняя часть ВЧ диапазона является оптимальна для данного типа антенн, так как связь с корреспондентами будет обеспечиваться в достаточно большой области (несколько десятков километров), но габаритные размеры антенны возможно будет конструктивно обеспечить без дополнительного крепления оттяжками.

Одна из возможных конструкций несимметричного вибратора представлена на рисунке 1. Питание вынесено над землей и осуществляется следующим образом: один из полюсов генератора подключается к верхнему плечу антенны, другой полюс подключается к нижнему плечу, заглубленному в землю и конструктивно выполняющему роль основания антенны.

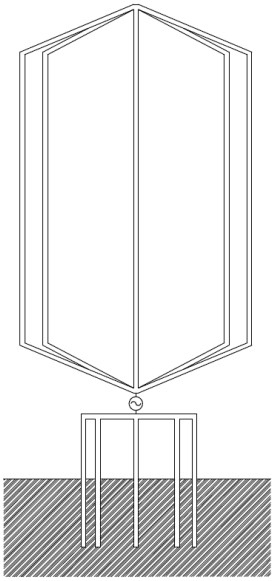


Рис. 1. Возможная конструкция стационарного несимметричного вибратора

Проводники нижнего плеча вибратора перехватывают ответвляющиеся от антенны и замыкающиеся на землю токи смещения, что позволяет уменьшить соответствующие потери. В зависимости от проводимости почвы и требуемого качества связи в заданной полосе частот оптимальная конструкция, обеспечивающая заданное соотношение сигнал/шум при минимальном значении КПД антенны, и стоимость заземления будет сильно отличаться. Современные системы автоматического проектирования для проведения электродинамического расчета не разделяют активную часть сопротивления антенны на сопротивление излучения и сопротивление тепловых потерь, без которых нельзя оценить КПД антенны.

Для расчета сопротивления тепловых потерь используем расчет в электростатическом приближении [1]. Данный способ используется при условии, что высота антенны во много раз меньше длины волны. Это позволяет пренебречь запаздыванием потенциала и считать, что проводники, имеющие электрический контакт, находятся под одним потенциалом. По причине отсутствия излучения в электростатике, активная часть сопротивления будет состоять только из сопротивления тепловых потерь. В случае вертикального вибратора входные зажимы в электростатическом приближении можно рассматривать как обкладки конденсатора, комплексная емкость которого определяет комплексное входное сопротивление антенны.

Расчет полного сопротивления, включающего тепловые потери и потери на излучение, предлагается выполнить в программе для проектирования антенн и высокочастотных устройств Altair Feko (рис. 2).

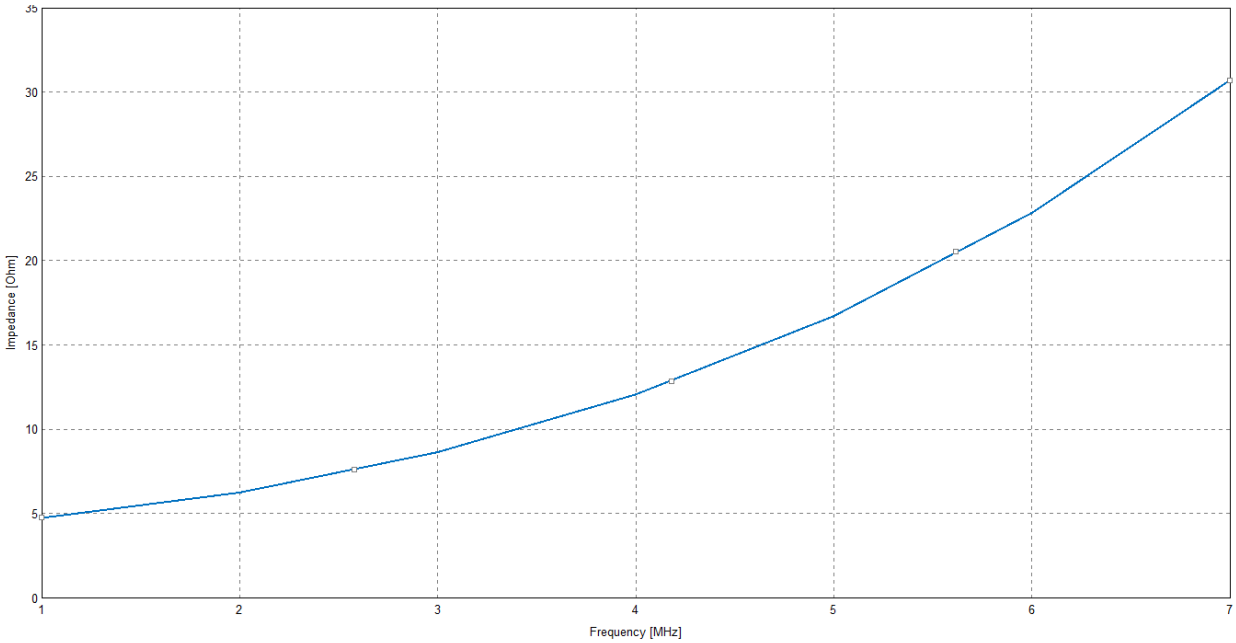


Рис. 2. Зависимость активной части сопротивления антенны от частоты.

Предлагаются следующие этапы для расчета сопротивления тепловых потерь стационарного несимметричного вибратора.

1. Разбиение антенны на отрезки, поверхностное распределение заряда которых можно считать равномерным. Нахождение расстояния между двумя произвольными точками на всех парах отрезков проводников и их отражений через переменные, использующиеся для определения взаимных потенциальных коэффициентов, в координатах рассчитываемой конструкции.

2. Нахождение нормированных взаимных потенциальных коэффициентов [2].

3. Нахождение емкости в электростатическом приближении методом зеркальных изображений совместно с методом среднего потенциала. Метод зеркальных отображений позволяет учитывать влияние раздела на емкость антенны в электростатическом приближении.

4. Расчет сопротивления тепловых потерь. Связь входного электростатического сопротивления антенны и нормированной комплексной емкости определяется выражением:

$$Z_{эс} = \frac{1}{i\omega\tilde{C}} = \frac{1}{i\omega\varepsilon_0 2\pi L}\dot{\tilde{C}}^{-1} = \frac{60}{ikL}\dot{\tilde{C}}^{-1}$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; $\dot{\tilde{C}}$ – нормированная комплексная емкость антенны.

КПД антенны η определяется как отношение излученной мощности к мощности поданной на зажимы антенны и рассчитывается через полное сопротивление антенны $R_{\sum}$ и сопротивление тепловых потерь $R_{ТП}$:

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{\text{ТП}}}$$

Таким образом, вычисленное в программе Altair Feko общее сопротивление антенны и сопротивление тепловых потерь антенны, найденное по предложенной методике позволит оценить КПД стационарного несимметричного вибратора и, следовательно, определить оптимальную конструкцию.

Список используемых источников

1. Муравьев К. Ю. Справочник по расчету проволочных антенн. Л.: ВАС. 1978. 388 с.
2. Гавеля Н. П., Истрашкин А. Д., Муравьев Ю. К., Серков В. П. Антенны Часть I: Антенны. ВАС. 1963. - 633 с. с ил.

Malenkov D. **DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFICIENCY OF STATIONARY ASYMMETRIC VIBRATORS OF THE LOWER PART OF THE HIGH-FREQUENCY RANGE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Currently, communication in the high-frequency (short-wave) range does not lose its relevance and is used in various fields. It is advisable to use short-wave communication in the development of the northern regions of the country due to the relative cheapness of the antenna design and the high diffraction properties of the wave in the lower part of the high-frequency range. The cheapest and simplest design solution among the antenna elements is an asymmetric vibrator. Electrodynamic modeling of this type of antenna is a more complex process than mathematical modeling, due to the need to create underlying surfaces with variable parameters characterizing the earth in different localities and under different weather conditions.

Key words: High-frequency range, stationary vertical asymmetric vibrator, calculation of thermal loss resistances, antenna efficiency.

2.3. Промышленная электроника

УДК 621.341.572
ГРНТИ 45.37.31

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫМИ ФОРМИРОВАТЕЛЯМИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Д. С. Безгодов, Б. Г. Шамсиев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Важным инструментом в современном мире электроники является широтно-импульсная модуляция, с помощью которой становится возможным управление мощностью электрического сигнала путем изменения длительности импульсов. По сравнению с аналоговым методом формирования широтно-импульсной модуляции, цифровой способ обеспечивает более высокую точность, большую гибкость в управлении и лучшую устойчивость к помехам. В статье кратно изложен процесс разработки цифровой схемы управления формирователями гармонических колебаний на основе широтно-импульсно модулированного сигнала.

ШИМ, КПД, КФГК, спектр, микроконтроллер

Широко известными и подробно изученными являются формирователи гармонических колебаний (ФГК) на основе усилителей, работающих в режимах классов A, B, C. Недостаток таких формирователей состоит в невысоком КПД, который понижается с уменьшением амплитуды усиливаемых колебаний. Значительно снизить мощность потерь на активных приборах, а следовательно, и более высокие КПД удается получить в ФГК, работающих в ключевом режиме (класс D). На практике широко используются мостовые резонансные последовательные инверторы, схема которых приведена на рисунке 1.

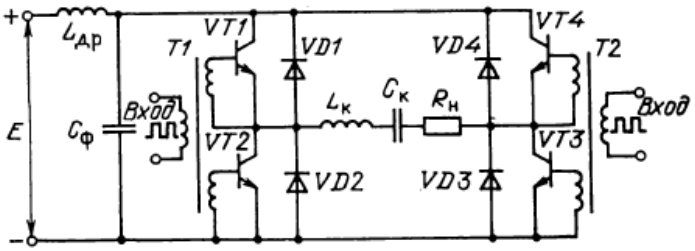


Рис. 1. Мостовая схема резонансного последовательного инвертора

Отмечая основные достоинства ключевых формирователей гармонических колебаний (КФГК): высокий электронный КПД, простота технической реализации, следует указать и на их основной недостаток — широкий спектр выходных колебаний. Последнее обстоятельство приводит к необходимости разработки и исследования специальных типов КФГК с уменьшенным содержанием гармоник выходных колебаний [1].

Формирование выходного напряжения с улучшенным спектральным составом производится непосредственно в КФГК (рис. 1). Транзисторы, попарно отпираясь (VT1, VT3) и запираясь (VT2, VT4), образуют прямоугольное напряжение с амплитудой, равной напряжению питания, при допущении, что внутреннее сопротивление источника питания и сопротивление транзисторов в открытом состоянии равны нулю [2]. Переключая транзисторы в этой схеме по определенному алгоритму, на выходе формирователя можно получить напряжения, формы которого приведены на рисунке 2.

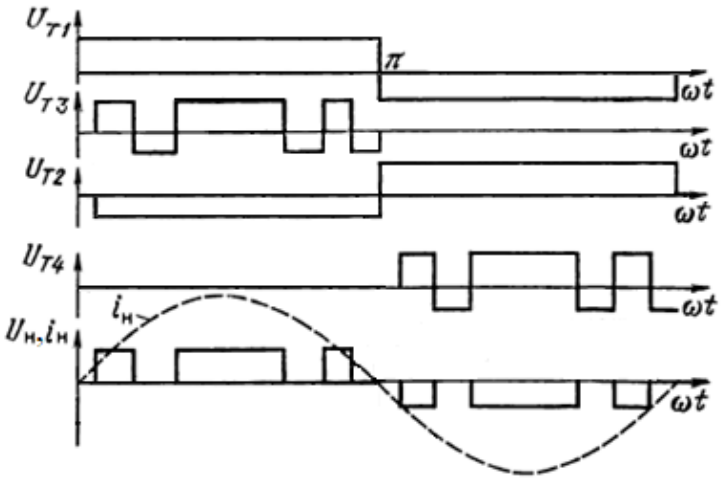


Рис. 2. Временные диаграммы работы мостовой схемы генератора с одноуровневым однополярным выходным напряжением

В ходе разработки цифровой схемы управления ключевыми формирователями гармонических колебаний будет рассматриваться отладочная плата Arduino Uno в качестве инструмента для тестирования и прототипирования. Отладочная плата Arduino Uno является широко используемой платформой, основанной на микроконтроллере ATmega328P. Ее популярность обусловлена простотой в использовании, активным сообществом разработчиков и широким разнообразием библиотек. В связи с этим, выбор Arduino Uno для проведения экспериментов и тестирования представляется логичным шагом, позволяющим быстро и эффективно проверить работу цифровой схемы и осуществить необходимые настройки перед переходом к более продвинутым этапам разработки.

В основе реализуемого алгоритма переключения транзисторов на микроконтроллере ATmega328P заложен метод генерации синусоидального сигнала с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), поскольку он отлича-

ется простотой реализации, обеспечивает контроль параметров и позволяет регулировать спектральный состав в сочетании с выбранной схемотехнической конфигурацией – мостовой схемой последовательного инвертора (рисунок 1) с одноуровневым однополярным напряжением (рис. 2).

На платформе Arduino Uno возможно реализовать генерацию синусоидального широтно-импульсно-модулированного (ШИМ) сигнала в трех режимах [3]:

1. Быстрый ШИМ (Fast PWM). В этом режиме счетный регистр TCNT1 считает от ноля до верхнего предела, после достижения верхнего предела сбрасывается в ноль и счет начинается снова.

2. ШИМ с коррекцией фазы (Phase Correct PWM). Счетный регистр TCNT1 считает сначала от ноля до верхнего предела, потом от верхнего предела до ноля. Частота прерываний в этом режиме вдвое меньше, чем у Fast PWM при одинаковых настройках, из-за большего периода.

3. ШИМ с коррекцией фазы и частоты (Phase and Frequency Correct PWM). Данный режим отличается от режима ШИМ с коррекцией фазы только обновлением регистра OCR1A при достижении значения счетного регистра TCNT1 = 0 с верхним значением TOP.

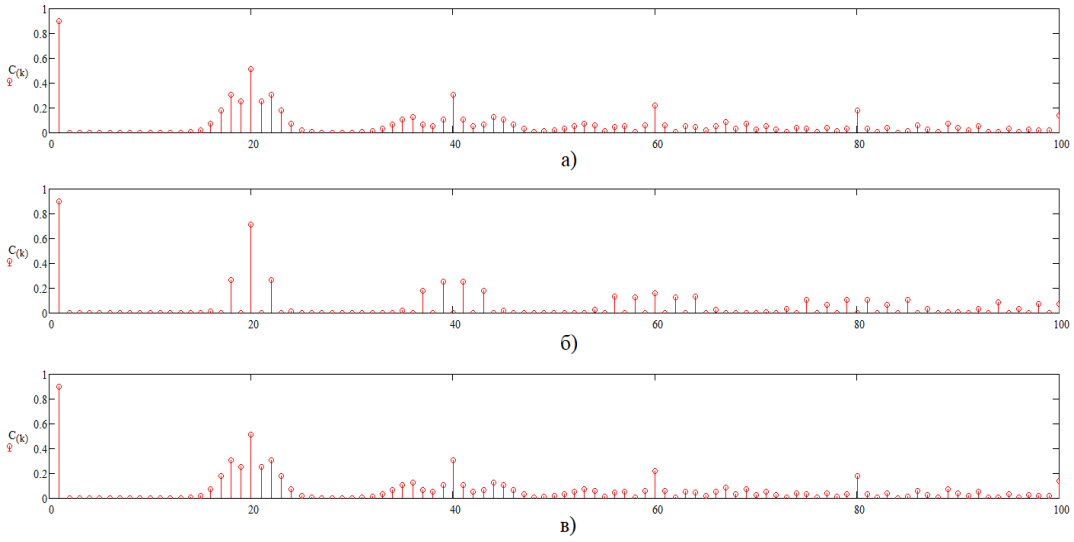


Рис. 3. Спектры выходных сигналов КФГК, аппроксимирующих гармоническое колебание с помощью линейно-возрастающей пилообразной несущей – режим быстрой ШИМ (а), симметричной пилообразной несущей – режимы ШИМ с коррекцией фазы и ШИМ с коррекцией фазы и частоты (б), а также линейно-убывающей пилообразной несущей (в) при одноуровневом однополярном напряжении

В качестве режима работы был выбран ШИМ с коррекцией фазы и частоты, который на спектрах выходных сигналов КФГК (рисунок 3) продемонстрировал значительно лучшие показатели (высшие гармоники спектра находятся значительно дальше по частоте от основной гармоники, что способствует значительному снижению требований к выходному фильтру и отсутствию искажений формы импульсов) по сравнению с другими режимами работы.

Желтым цветом на рисунке 4 приведены осциллограммы сигналов управления прямоугольной формы частотой f_{PWM} = 100 кГц на выходе D9 для открытия и закрытия транзистора VT3 мостовой схемы резонансного последовательного инвертора (рисунок 1), зеленым цветом соответственно представлены сигналы управления прямоугольной формы частотой f_{PWM} = 100 кГц на выходе D10 для открытия и закрытия транзистора VT4 того же схемотехнического решения. Каждый из представленных сигналов отвечает за свою полуволну модулируемого синусоидального колебания частотой f_{sin} = 50 Гц.

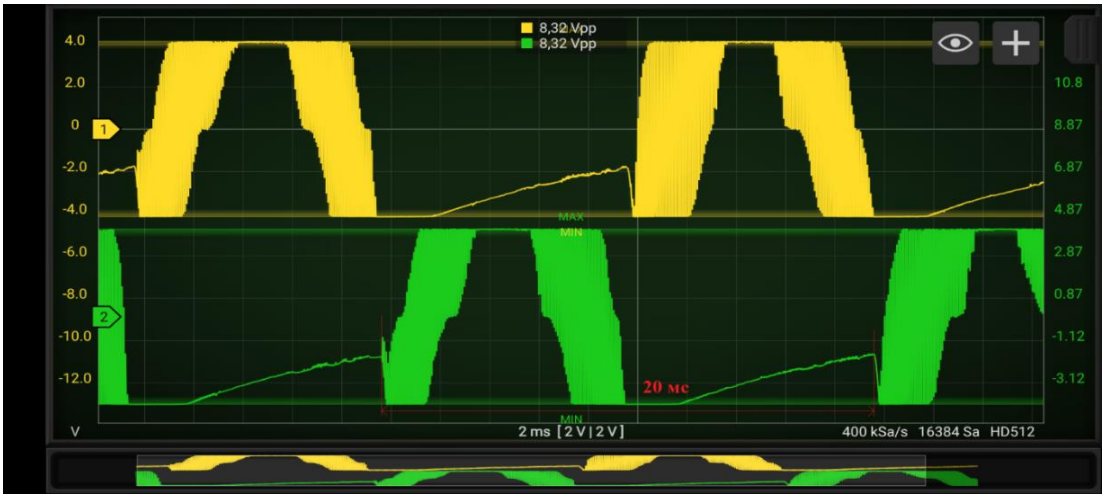


Рис. 4. Осциллограммы ШИМ сигналов управления 100 кГц транзисторами VT3 и VT4 мостовой резонансной схемы последовательного инвертора

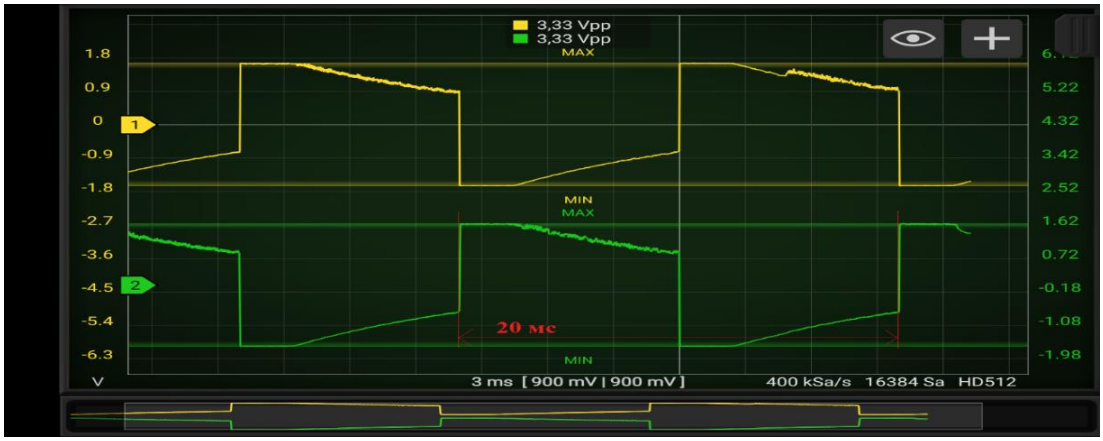


Рис. 5. Осциллограммы сигналов управления 50 Гц транзисторами VT1 и VT2 мостовой резонансной схемы последовательного инвертора

На рисунке 5 представлены осциллограммы сигналов управления 50 Гц транзистора VT1 желтым цветом и транзистора VT2 зеленым цветом. Каждый из представленных сигналов при логической единице на выходе D11 дает разрешение на коммутацию мощности диагонального включения транзисторов VT1, VT3 и в этот же момент времени логический ноль на выходе D12 запрещает коммутацию мощности диагонали транзисторов VT2, VT4 (рисунок 6).

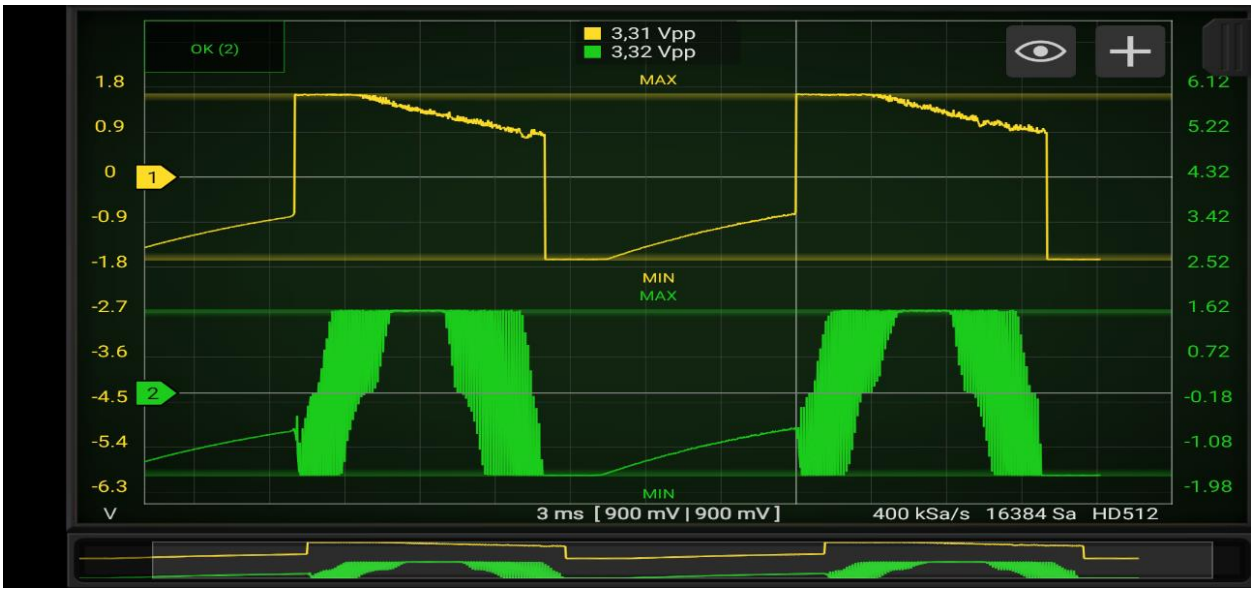


Рис. 6. Осциллограммы сигналов управления (сверху) 50 Гц транзистора VT1 и ШИМ сигналов 100 кГц (снизу) транзистора VT3

В результате была разработана цифровая схема управления ключевыми формирователями гармонических колебаний. В качестве схемотехнического решения была выбрана мостовая схема резонансного последовательного инвертора с одноуровневым однополярным напряжением, в качестве микроконтроллера для разработки алгоритма переключения транзисторов был выбран микроконтроллер ATmega328p с режимом работы ШИМ с коррекцией фазы и частоты, а также приведены выходные осциллограммы и их описание.

Список используемых источников

1. Дмитриков В. Ф., Петяшин Н. Б., Сиверс М. А. Высокоэффективные формирователи гармонических колебаний. М.: Радио и связь, 1988. 192 с.
2. Шамсиев Б. Г. Основы преобразовательной техники: учебное пособие / Б.Г. Шамсиев; СПбГУТ. СПб., 2023. 136 с.
3. Белов А. В. Arduino: от азов программирования до создания практических устройств. СПб.: Наука и Техника, 2018. 480 с., илл.

Bezgodov D., Shamsiev B. **DEVELOPMENT OF A DIGITAL CONTROL SCHEME FOR KEY SINEWAVE OSCILLATOR.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

An important tool in the modern world of electronics is pulse-width modulation, with which it becomes possible to control the power of an electrical signal by changing the pulse duration. Compared with the analog method of pulse width modulation generation, the digital method provides higher accuracy, greater flexibility in control and better resistance to interference. The article briefly describes the process of developing a digital control circuit for a harmonic oscillator based on a pulse-width modulated signal.

Key words: PWM, coefficient of efficiency, key sinewave oscillator, spectrum, microcontroller.

УДК 621.375.026
ГРНТИ 47.41.33

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНОСИМОГО ЗАТУХАНИЯ ФИЛЬТРА РАДИОПОМЕХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ФИЛЬТРА РАДИОПОМЕХ

С. А. Березикова, Д. В. Шушпанов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Переход к импульсным источникам вторичного электропитания обусловлен их высокими энергетическими и массогабаритными показателями. Однако, они создают широкий спектр электромагнитных помех. Для борьбы с помехами используют фильтры радиопомех ФРП. Далее нужно понимать, в зависимости от способа определения ослабления фильтра, какую частную характеристику использовать при проектировании.

помехи, фильтр радиопомех, сопротивление, формула

В современной радиоэлектронной аппаратуре используются источники вторичного электропитания импульсного типа. Переход к импульсным источникам вторичного электропитания (ИВЭП) обусловлен их высокими энергетическими и массогабаритными показателями. Однако, импульсные ИВЭП создают широкий спектр электромагнитных помех [1, 2].

В связи с этим все острее становится проблема обеспечения нормальной работы радиоэлектронных средств (РЭС), то есть обеспечение их электромагнитной совместимости (ЭМС).

В зависимости от среды распространения, помехи делят на кондуктивные и индуктивные. Для борьбы с кондуктивными помехами диапазона радиочастот используют помехоподавляющие фильтры – фильтры радиопомех (ФРП). Их назначение – локализовать кондуктивную помеху в пределах своего источника вторичного электропитания, не позволить току помехи уйти в распределительную сеть и провода [3].

Данная работа посвящена способам определения основополагающей характеристики ФРП, а именно характеристике вносимого затухания (характеристике ослабления).

Опираясь на промышленный опыт, можно утверждать, что существует два способа определения ослабления фильтра [3, 4]:

1) измерение ослабления фильтра на согласованную нагрузку 50 Ом;

2) определение отношения измеренных уровней электромагнитных помех в системе без ФРП и с ФРП.

Данные подходы дают разные частотные характеристики ослабления ФРП. Попробуем выяснить, какую частную характеристику использовать при проектировании.

Обратим внимание, что определенный уровень помех вносит импульсный преобразователь напряжения (ИПН). Нас интересует, какое напряжение ИНП, нагруженный на нагрузку Z_H создает на сопротивлении эквивалента сети Z_C (рисунок 1). Для этого преобразователь опишем с помощью матрицы $A_{ИН}$, а помехи, создаваемые ИПН, опишем с помощью источника тока $i_П(t)$.

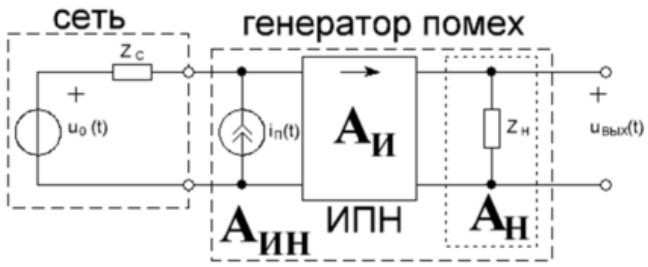


Рис. 1. Сеть и генератор помех без ФРП

Затем определим уровень электромагнитных помех сопротивлении на эквиваленте сети Z_C при включении ФРП (рис. 2).

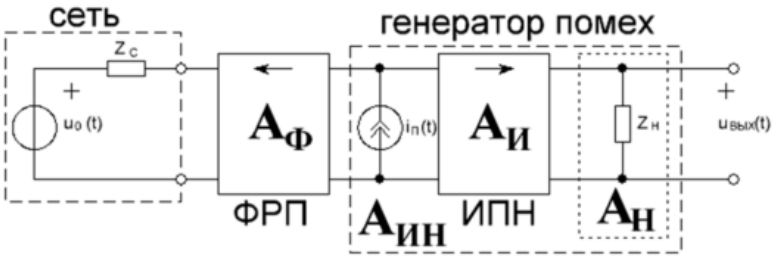


Рис. 2. Сеть и генератор помех с ФРП

Заметим, что напряжение сети $u_0(t)$ не участвует в генерации электромагнитных помех. Преобразуем схему сети и генератора помех без ФРП (рис. 1) в следующую (рис. 3).

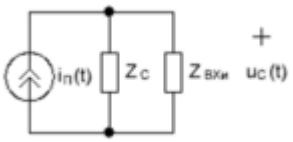


Рис. 3. Эквивалент сети и генератора помех без ФПР (определение уровня электромагнитных помех)

Из которой легко определить напряжение на эквиваленте сети Z_C:

$$U_c = \frac{I_п Z_c Z_{вх}^{ипн}}{Z_c + Z_{вх}^{ипн}} = \frac{I_п Z_c}{1 + \frac{Z_c}{Z_{вх}^{ипн}}} \quad (1),$$

где $Z_{\text{ВХ}}^{\text{ИПН}}$ – входное сопротивление ИПН, нагруженного на нагрузку Z_H.

В случае подключения ФРП, по аналогии с предыдущим случаем убираем напряжение сети $u_0(t)$ и заменяем нагруженный ИПН входным сопротивлением $Z_{\text{ВХ}}^{\text{ИПН}}$ (рисунок 4).

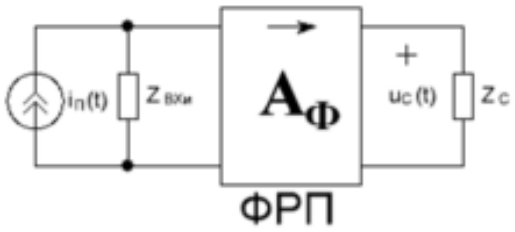


Рис. 4. Эквивалент сети и генератора помех с ФПР (определение уровня электромагнитных помех)

В этом случае получаем каскадное соединение трех четырехполюсников, которое можно в матричной форме описать следующим образом [5]:

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ I_{\text{п}} \end{pmatrix} = \text{A} \begin{pmatrix} U_{\text{c}} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2),$$

$$\text{A} = \text{A}_{\text{вх}} \times \text{A}_{\text{ф}} \times \text{A}_{\text{c}} \quad (3),$$

Матрица А-параметров, которая и определяет работу фильтра равна

$$\text{A}_{\text{ф}} = \begin{pmatrix} \text{a}_{11}^{\text{ф}} & \text{a}_{12}^{\text{ф}} \\ \text{a}_{21}^{\text{ф}} & \text{a}_{22}^{\text{ф}} \end{pmatrix} \quad (4),$$

Матрицы А-параметров, описывающие входное сопротивление импульсного преобразователя напряжения и сопротивление сети равны:

$$\text{A}_{\text{вх}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{\text{вх}}^{\text{ипн}} & 1 \end{pmatrix}, \text{A}_{\text{c}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{\text{c}} & 1 \end{pmatrix} \quad (5),$$

Если подставить формулы (4) и (5) в формулу (3), мы получим итоговую матрицу А-параметров, которая будет равна:

$$\text{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{\text{вх}}^{\text{ипн}} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{a}_{11}^{\text{ф}} & \text{a}_{12}^{\text{ф}} \\ \text{a}_{21}^{\text{ф}} & \text{a}_{22}^{\text{ф}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{\text{c}} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{a}_{11}^{\text{ф}} + \text{a}_{12}^{\text{ф}}/Z_{\text{c}} & \text{a}_{12}^{\text{ф}} \\ \text{a}_{21}^{\text{ф}} + \text{a}_{11}^{\text{ф}}/Z_{\text{вх}}^{\text{ипн}} + \frac{\text{a}_{22}^{\text{ф}} + \frac{\text{a}_{12}^{\text{ф}}}{Z_{\text{вх}}^{\text{ипн}}}}{Z} & \text{a}_{22}^{\text{ф}} + \frac{\text{a}_{12}^{\text{ф}}}{Z_{\text{вх}}^{\text{ипн}}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Если подставить формулу (6) в формулу (2), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = \left(\mathrm{a}_{11}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{12}^{\phi}}{Z_{\mathrm{c}}}\right) U_{\mathrm{c}} \\ I_{\mathrm{п}} = \left(\mathrm{a}_{21}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{11}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} + \frac{\mathrm{a}_{22}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{12}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}}{Z_{\mathrm{c}}}\right) U_{\mathrm{c}} \end{cases} \quad (7)$$

Из системы уравнений получаем, что при включении ФРП уровень электромагнитных помех сопротивлений на эквиваленте сети Z_{c} равен:

$$U_{\mathrm{c}} = \frac{I_{\mathrm{п}} Z_{\mathrm{c}}}{\mathrm{a}_{21}^{\phi} Z_{\mathrm{c}} + \frac{\mathrm{a}_{11}^{\phi} Z_{\mathrm{c}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} + \mathrm{a}_{22}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{12}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}} = \frac{I_{\mathrm{п}}}{\frac{1}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}\left(\mathrm{a}_{11}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{12}^{\phi}}{Z_{\mathrm{c}}}\right) + \left(\mathrm{a}_{21}^{\phi} + \frac{\mathrm{a}_{22}^{\phi}}{Z_{\mathrm{c}}}\right)} = \frac{I_{\mathrm{п}}}{\frac{1}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} \times \frac{1}{H_{\phi}} + \frac{1}{Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}} = \frac{I_{\mathrm{п}} Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}{1 + \frac{Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} \times \frac{1}{H_{\phi}}} \quad (8)$$

где H_{ϕ} – передаточная функция ФРП, нагруженного на эквивалент сети Z_{c}, $Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}$ – входное сопротивление фильтра, нагруженного на эквивалент сети Z_{c}.

Для получения комплексной передаточной функции, модуль которой будет равен вносимому затуханию фильтра, используем формулу (1) и формулу (8):

$$\frac{U_{\mathrm{c}}^{\text{без ФРП}}}{U_{\mathrm{c}}^{\text{с ФРП}}} = \frac{I_{\mathrm{п}} Z_{\mathrm{c}}}{1 + \frac{Z_{\mathrm{c}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}} \times \frac{1 + \frac{Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} \times \frac{1}{H_{\phi}}}{I_{\mathrm{п}} Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}} = \frac{\frac{Z_{\mathrm{c}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}\left(\frac{1}{H_{\phi}} + \frac{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}\right)}{1 + \frac{Z_{\mathrm{c}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}} \quad (9)$$

Выражение (9) можно перезаписать в следующем виде:

$$\frac{U_{\mathrm{c}}^{\text{без фрп}}}{U_{\mathrm{c}}^{\text{фрп}}} = K_{\mathrm{д}}\left(\frac{1}{H_{\phi}} + \frac{1}{K_{\mathrm{ос}}}\right) \quad (10)$$

$$\text{где } K_{\mathrm{дс}} = \frac{Z_{\mathrm{c}}/Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}}{1 + Z_{\mathrm{c}}/Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} = \frac{Z_{\mathrm{c}}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}} + Z_{\mathrm{c}}}, K_{\mathrm{ос}} = \frac{Z_{\mathrm{вх}}^{\phi}}{Z_{\mathrm{вх}}^{\mathrm{ипн}}} \quad (11)$$

Исходя из формул (10) и (11), для проектирования ФРП с необходимым уровнем ослабления следует учитывать несколько ключевых параметров, касающихся ИПН, так и самого фильтра.

Во-первых, для корректной настройки ФРП требуется знать следующие характеристики ИПН:

– коэффициент деления сопротивлений — этот коэффициент является важным показателем, позволяющим оценить, как искажения в сигнале и уровень помех влияют на работу устройства;

– входное сопротивление ИПН — это значение необходимо для обеспечения правильной адаптации между сетью и фильтром, так как оно влияет на эффективность передачи сигнала и уровень потерь в системе.

К сожалению, в современных условиях ни один производитель ИПН не предоставляет информацию о вышеописанных характеристиках ИПН, что за-

трудняет проектирование фильтров, учитывающих особенности различных режимов (для симметричных и несимметричных помех).

Во-вторых, необходимо также собрать информацию о фильтре:

1. Передаточная функция фильтра, нагруженного на эквивалент сети ZC – это функция описывает, как фильтр будет реагировать на различные частоты сигнала и является критически важной для определения его характеристики. Однако производители фильтров обычно не предоставляют данных о передаточной функции, которая нагружена на конкретный эквивалент сети, что также создает дополнительные затруднения для проектировщика.

2. Входное сопротивление фильтра, нагруженного на эквивалент сети ZC – как и в случае с ИПН, это значение необходимо для правильной интеграции фильтра в общую схему. Оно влияет на взаимодействие между фильтром и другими элементами системы, а также на общую эффективность работы устройства.

Все вышеперечисленные характеристики должны быть представлены в комплексной форме, что означает необходимость представления их как модуля и фазы. Это очень важно для учета как амплитуды, так и фазовых сдвигов, которые могут возникнуть на различных частотах.

Однако в текущих реалиях, несмотря на значимость этих данных, производители ФРП ограничиваются лишь указанием ослабления фильтров, нагруженных на 50 Ом. Это создает сложности для проектировщиков ФРП, которым необходимо основываться на недостаточной информации о частотных характеристиках как ИПН, так и ФРП [6]. Таким образом, возникает необходимость в проведении дополнительных исследований и экспериментов для получения необходимых данных, что позволит упростить процесс проектирования фильтров радиопомех.

Список используемых источников

1. Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Капралов Г. Н. Научно-технические проблемы устройств и систем электропитания двойного назначения // Электропитание. 2017. № 2. С. 7–16.

2. Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Антоневич Н. В., Кушнерев Д. Н. Специфические проблемы электромагнитной совместимости систем электропитания радиоэлектронных комплексов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3–1. С. 107–119.

3. Векслер Г. С., Недочетов В. С., Пилинский В. В., Родионова М. В., Темников В. А. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Киев: Тэхника. 1990. 167 с.

Сергеев В. В., Замулин О. Л., Шушпанов Д. В., Павлов А. В. Расчет сетевого фильтра радиопомех для источника бесперебойного питания // Практическая силовая электроника. 2011. № 2 (42). С. 23–36.

4. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей: Учебник. 2-е изд., стер. / СПб.: «Лань», 2009. 544 с.
5. Дмитриков В. Ф., Вялов А. А., Неволин А. К., Петроченко А. Ю., Шушпанов Д. В. Особенности проектирования высокочастотного фильтра радиопомех в диапазоне частот 9 кГц – 100 МГц // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 4. С. 36–53.

Berezikova S., Shushpanov D. **METHODS FOR MEASURING THE CHARACTERISTICS OF THE INTRODUCED ATTENUATION OF A RADIO INTERFERENCE FILTER WHEN DESIGNING A RADIO INTERFERENCE FILTER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In modern conditions, no converter manufacturer provides information about the coefficient of resistance division, which makes it difficult to design filters that take into account the characteristics of different modes (for symmetric and asymmetric interference). Thus, there is a need for additional research and experiments to obtain the necessary data, which significantly increases the labor and time spent on design.

Key words: interference, radio interference filter, resistance, formula

УДК 621.314.1
ГРНТИ 47.14.17

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЮЧЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА

В. В. Гришин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Преобразователи постоянного напряжения на сегодняшний день используются практически в каждом приборе, содержащем электронику. Исходя из этого обучение квалифицированных специалистов, которые разбираются в данной сфере является востребованным в современном мире.

преобразователь постоянного напряжения, силовой транзистор, ШИМ-контроллер, ключ верхнего уровня, моделирование, макет

На сегодняшний день схемы преобразователей постоянного напряжения в постоянное (DC/DC) находят место в элементах светодиодного освещения, зарядных устройствах широкого спектра назначения, а также в блоках питания, для которых характерно изменение сопротивления нагрузки в широких пределах. Из этого следует, что отдельное внимание стоит уделить практическому обучению студентов высших учебных заведений на лабораторных стендах, отражающих современное развитие промышленной электроники.

На рисунке 1 представлена схема преобразователя, используемая при проектировании преобразователя, которая была выбрана ввиду своей простоты [1].

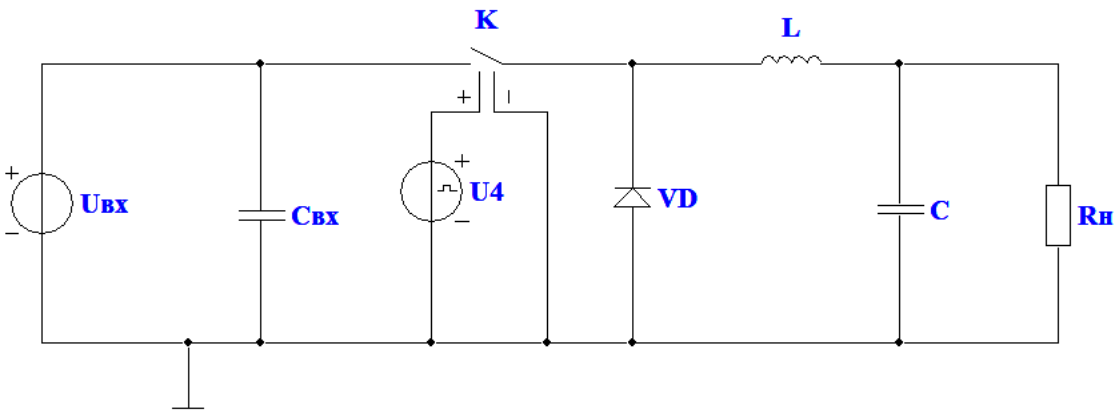


Рис. 1. Ключевой DC/DC преобразователь напряжения понижающего типа

Разрабатываемый лабораторный макет должен иметь ряд возможностей, которые бы обеспечивали бы возможность исследования тех или иных временных характеристик преобразователя: необходимо, чтобы при работе со стендом можно было меня амплитуду входного напряжения, индуктивность дросселя выходного LC фильтра, частоту и скважность управляющих импульсов, сопротивление нагрузки. При этом изменение параметров не должно приводить к выходу схемы из строя, а также создавать угрозу здоровью пользователя.

Для того, чтобы определить необходимые временные характеристики, на которых при дальнейшей разработке лабораторного комплекса будет сделан акцент, сначала было решено собрать преобразователь на макетной плате, представленный на рисунке 2. В качестве входного напряжения было решено взять 50 В за неимением подходящего источника большей амплитуды; сопротивление нагрузки для было подобрано таким образом, чтобы обеспечить режим неразрывного тока дросселя, и равняется 40 Ом. При этом были выбраны резисторы, выдерживающие мощность до 15 Вт.

На силовой транзистор IRFB9N60APbF (максимальное напряжение 600 В) установлен радиатор для дополнительного рассеивания тепла, которое будет выделяться на элементе в течение работы цепи. В качестве силового диода установлен HFA30PB120PbF (максимальное обратное напряжение 1200 В, время переключения 47 мкс)

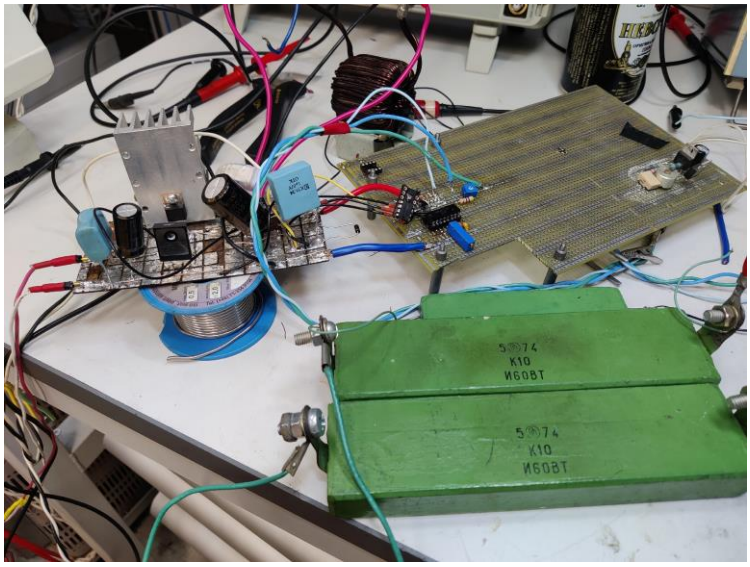


Рис. 2. Фотография макета преобразователя

В качестве ШИМ контроллера была выбрана микросхема К1156ЕУ3Р, которая может генерировать сигнал частотой до 1 МГц, имеет функцию «плавного запуска», а также отключения по внешнему сигналу.

Поскольку в выбранной схеме участвует так называемый верхний ключ, что может повлечь недостаток мощности управляющих импульсов с микросхемы для эффективного переключения ключа, была установлена микросхема-драйвер IR2101. Она обеспечивает нужный уровень усиления управляющего сигнала, является достаточно высоковольтной и одной из наиболее дешевых среди аналогичных микросхем [2].

С помощью реостатов 25 кОм и 100 кОм, включенных в цепь ШИМ-контроллера, присутствует возможность изменения скважности и частоты генерируемых импульсов.

На рисунке 3 были представлены основные осциллограммы, снятые на собранном преобразователе.

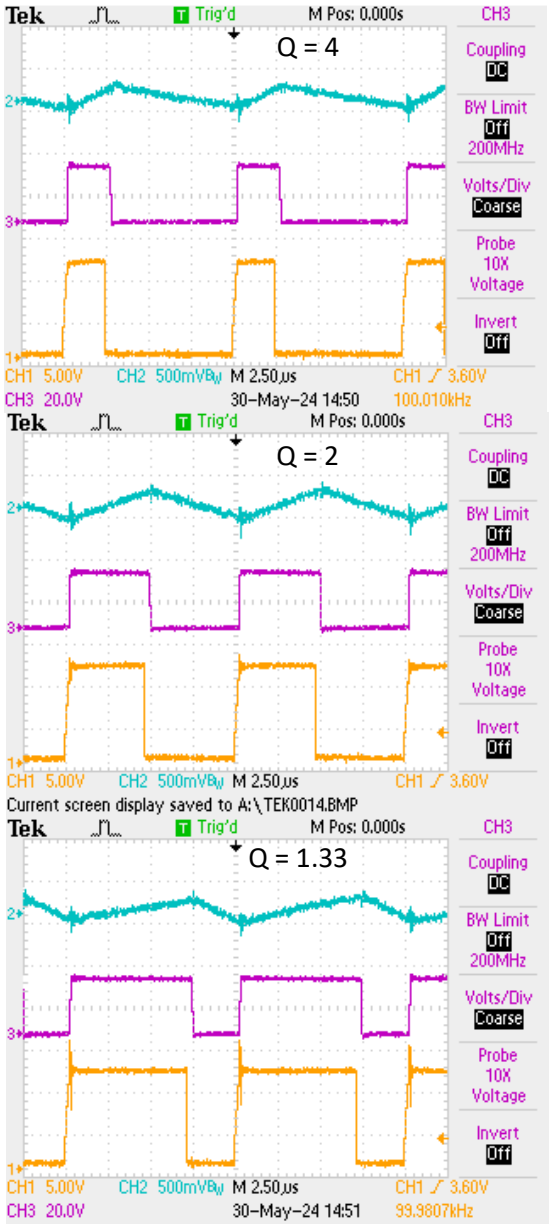


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на входе LC фильтра (фиолетовый график), тока дросселя (синий график) и управляющих импульсов (оранжевый график)

Можно увидеть, что в данном случае преобразователь работает в режиме непрерывных токов. Этот режим является основным для подобных схем, поскольку в случае работы в прерывистом режиме среднее значение тока в цепи возрастает, что влечет за собой необходимость в более мощных транзисторе и диоде [3].

В результате работы был собран понижающий преобразователь постоянного напряжения для заданной выходной мощности. Были получены его временные характеристики с помощью осциллографа.

Список используемых источников

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 416 с.
2. Волович Г. Драйверы силовых ключей // Современная электроника. 2007 Вып. 8. С. 32–40.
3. Соловьев В. А., Соловьева В. В., Соболев В. А. Исследование энергоэффективности понижающего импульсного регулятора постоянного напряжения при прерывистом токе дросселя // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию теплоэнергетического факультета. Том 3. Иваново, 2023. С. 79–833.

Grishin V. **THE DEVELOPMENT OF A LABORATORY COMPLEX FOR THE STUDY OF THE TIME CHARACTERISTICS OF A PULSE VOLTAGE BUCK CONVERTER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

DC/DC voltage converters are being used today in almost every device, which has electronics inside. Because of it it is important to have qualified specialists in field of power electronics and their training is demanded in the world now.

Key words: DC voltage converter, power transistor, PWM controller, high-side gate, simulation, layout.

УДК 62-523.8
ГРНТИ 55.42.27

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОРОТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Г. Д. Муравьев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф М.А. Бонч-Бруевича

Двигателестроение не имеет существенного прогресса уже более 150 лет. В настоящее время научный прогресс в области поршневых, роторных и газотурбинных двигателей заключается в модернизации уже имеющихся разработок прошлого столетия. Для решения этой проблемы, разрабатывается ДВС, имеющий новую конструкцию, нивелирующую часть недостатков поршневых, роторных и газотурбинных двигателей.

аналоговая электроника, цифровая электроника, двигателестроение, датчик, ПЛИС

Данный двигатель может применяться в гражданском и грузовом автомобилестроении, авиации, а также судостроении. Суть статьи заключается в разработке системы управления двигателем на аналоговых и цифровых компонентах.

Пневмороторный двигатель работает по принципу изохорного нагрева воздуха в камере сгорания с последующем ростом давления. Давление в камере сгорания оказывает давление на зуб главного ротора, заставляя его вращаться. Главный ротор находится на валу, на другом конце которого находится нагнетающий ротор. Нагнетающий ротор имеет особую конструкцию, благодаря которой высокое давление в камере сгорания не оказывает сопротивления его вращению. Данная конструкция подразумевает, что для ее эффективной работы необходим дополнительный турбонаддув, кратно увеличивающий КПД силовой установки. Структурная схема данного двигателя представлена на рис. 1.

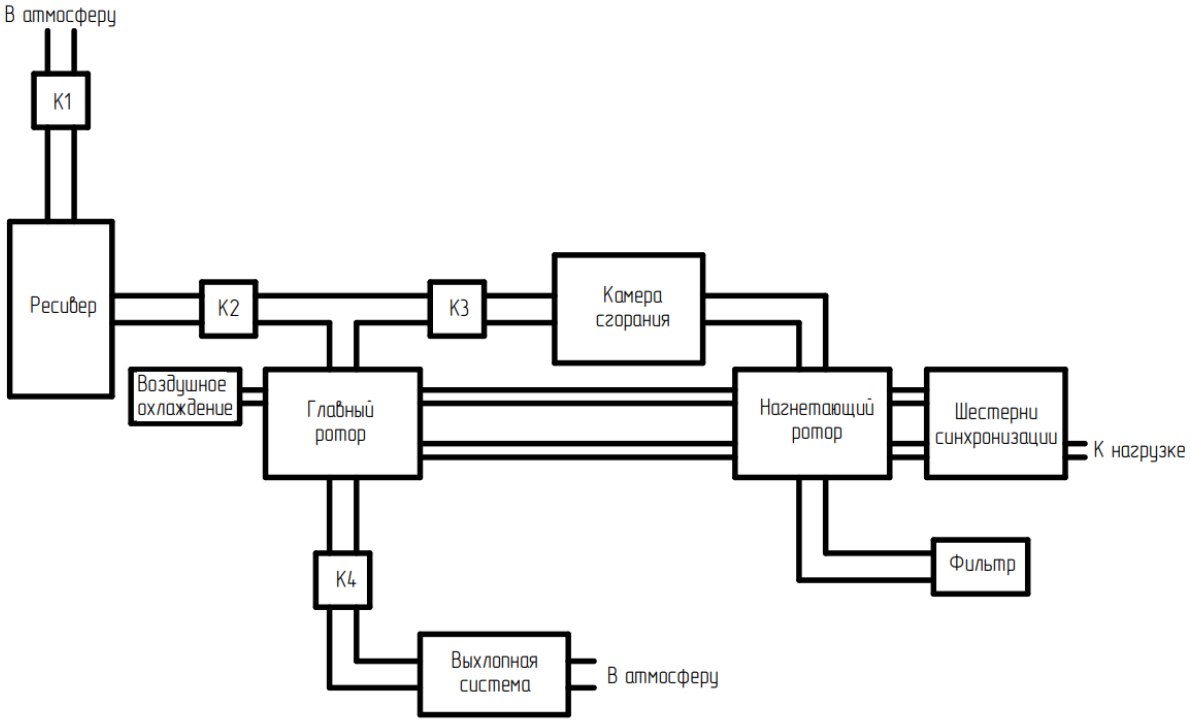


Рис. 1. Структурная схема пневмороторного двигателя

Одним из преимуществ данной конструкции является высокий КПД. Он достигается в результате полного сгорания топливовоздушной смеси в камере сгорания при высокой температуре. При этом большой процент полученной энергии будет уходить на нагрев воздуха и последующее увеличение давления в камере сгорания. Использование термостойких и теплоизоляционных материалов в камере сгорания и выхлопной системе исключает потери энергии на нагрев корпуса. Таким образом, в системе будет достаточно воздушного охлаждения. Еще одним преимуществом является простота конструкции двигателя: самые простые реализации имеют не более 15 подвижных деталей, блок двигателя не нуждается в сложной фрезерной обработке, отсутствует необходимость в системе смазки, так как валы находятся в роликовых подшипниках в масляной ванне. Отсутствует необходимость в коробке передач вследствие линейной зависимости мощности от скорости вращения ротора. Функцию соединения двигателя с колесами выполняет гидротрансформатор.

Режимы работы двигателя: запуск, холостой ход, ускорение, торможение двигателем переключаются с помощью системы электромагнитных клапанов (К1, К2, К3, К4). Блок управления двигателем представляет собой ПЛИС [1], опрашивающий датчики и управляющий работой форсунок, электромагнитных клапанов, углом атаки лопастей турбины. Датчики выполнены при помощи механизмов и аналогового считывателя, кодирующего показания в скважности ШИМ сигнала. ПЛИС, анализируя информацию с датчиков, делает вычисления. В зависимости от требований к режиму работы двигателя,

ПЛИС управляет электромагнитными клапанами, работой форсунок, углом атаки лопастей и режимом работы двигателя в целом.

Суть разработки заключается в проектировании электронного блока управления двигателем (ЭБУД), который подключается к CAN-шине [2], объединяющей в одну сеть датчики, механизмы и ПЛИС. Организация связи между ЭБУД и электронным блоком управления второстепенными системами (ЭБУВС), как и с другими второстепенными системами (климатический контроль, пневматические приводы и многое другое), организовывается с помощью CAN-шины. Реализация системы управления на ПЛИС [3] позволит значительно расширить возможности управления двигателем: возможность автоматического устранения аварийных режимов работы, быстрая обработка и вывод точных цифровых значений параметров, возможность обновления программного обеспечения [4] и простота модернизации всей системы в дальнейшем.

Таким образом, реализуется комплексная система на аналоговых компонентах, управляемая ПЛИС. Данная система должна иметь высокую надежность, гибкость, возможность модернизации и низкую стоимость.

Список используемых источников

1. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/index.html.
2. Хусаинов А. Ш. Теория автомобиля. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 121 с.
3. Строгонов А., Мотылев М., Давыдов С., Быстрицкий А., Цыбин С. ПЛИС в ПЛИС, или Как спроектировать самому // Компоненты и технологии. 2011. № 4 (117). С. 88–93.
4. Керниган Б., Ритчи Р. Язык программирования Си. СПб: Невский диалект. 2000. 352 с.

Muraviev G. **DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR A PNEUMATIC ROTOR ENGINE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Engine building has not made significant progress for over 150 years. Currently, scientific progress in the field of piston, rotary and gas turbine engines consists of upgrading the existing developments of the last century. To solve this problem, an internal combustion engine is being developed with a new design that eliminates some of the shortcomings of piston, rotary and gas turbine engines. The pneumatic rotor engine operates on the principle of isochoric heating of air in the combustion chamber and subsequent pressure increase. The engine control unit is a FPGA that polls sensors and controls the operation of injectors, electromagnetic valves, and the angle of attack of the turbine blades.

Key words: Analog electronics, digital electronics, engine building, sensor, FPGA.

2.4. Радиосвязь и радиодоступ

УДК 004.716
ГРНТИ 47.47.31

РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ BLUETOOTH

А. А. Алленов, А. С. Литвинов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современных условиях стремительное развитие технологий автоматизации и интернета вещей позволяет создавать интеллектуальные системы, которые повышают качество жизни и энергоэффективность бытовых процессов. Одной из актуальных задач является разработка гидропонных устройств для управления микроклиматом, которые способны обеспечить комфортные условия для произрастания растений, минимизируя потребление человеческих и временных ресурсов и снижая негативное воздействие на окружающую среду. Управление параметрами важными для этих систем вручную требует значительных усилий и может быть недостаточно точным. В связи с этим возрастают требования к созданию дистанционно управляемых систем мониторинга температуры и влажности, которые обеспечивают автоматизацию процесса полива растений с использованием современных технологий.

микроклимат, Bluetooth, дистанционное управление

Целью данной научно-исследовательской работы является разработка прибора дистанционного управления микроклиматом на основе платы Arduino Nano, взаимодействующего с пользователем через Bluetooth. Такой подход позволяет обеспечить гибкость управления, компактность устройства и возможность интеграции с мобильными приложениями.

Основное назначение разрабатываемого комплекса – сбор и передача различных данных о состоянии атмосферы с возможностью взаимодействия с окружающей средой через пульт ДУ.

Технические и тактико-технические характеристики устройства:

– точность измерения температуры: ±0,5 °C;

– точность измерения влажности: ±0,5%;

– время автономной работы от батареи: не менее 7 дней;

– суммарный ток исполнительных механизмов: не менее 5А.

Технические и тактико-технические характеристики пульта управления:

– ОС Android, не менее версии 9.0;

– используемая технология: Bluetooth.

Специальные, конструктивные, технологические, эксплуатационные требования, требования по надежности и метрологическому обеспечению при изготовлении и в эксплуатации:

– защита от влаги и пыли IP54;

– климатические условия нормальные.

Аппаратная составляющая проекта представлена на рис. 1–6.

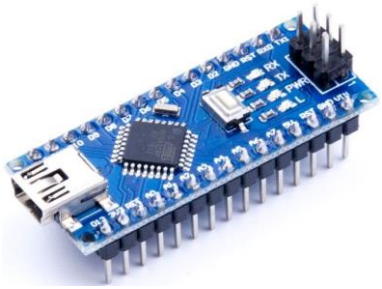


Рис. 1 Плата Arduino Nano



Рис. 2 Датчик DHT11

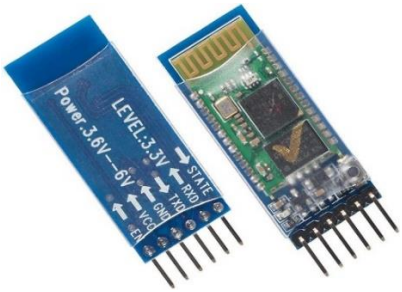


Рис. 3. Bluetooth-модуль HC-05



Рис. 4. Питание 4 батарейки типа размера AA

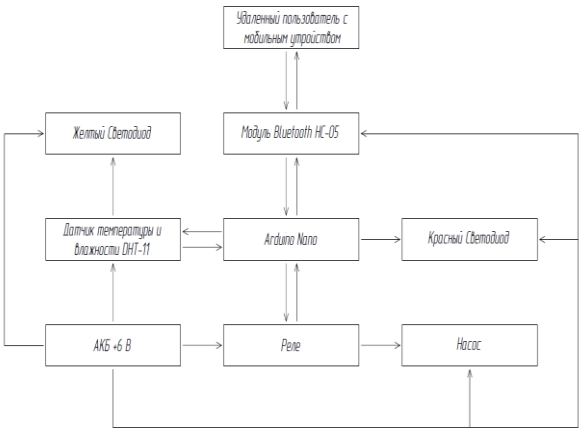


Рис. 5. Структурная схема устройства

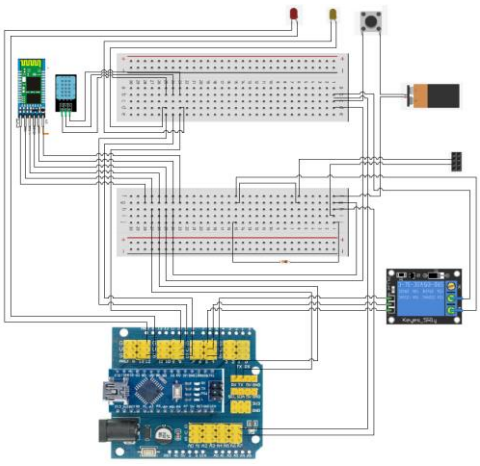


Рис. 6. Принципиальная схема устройства

Для выполнения поставленных задач, микроконтроллер нужно запрограммировать. Существует большой выбор сред для разработки, однако для данного проекта была выбрана среда Arduino IDE [1].

В коде программы при стыковке аппаратной и программной частей была использованы дополнительные библиотеки DHT.h [2], позволяющая микроконтроллеру обрабатывать данные с датчика температуры и влажности DHT11, и SoftwareSerial.h [2], дающая возможность реализовать последовательный интерфейс на любых цифровых выводах платы Arduino. Остальные функции устройства реализованы без использования дополнительных библиотек.

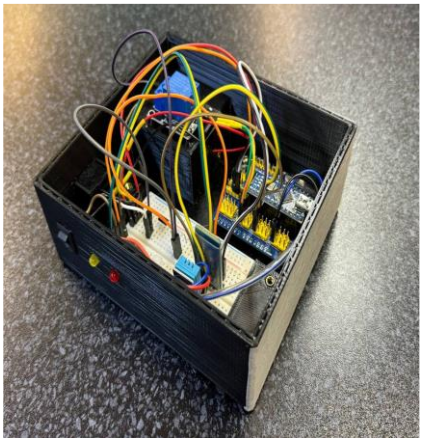


Рис. 7. Фотография опытного образца изометрическая проекция

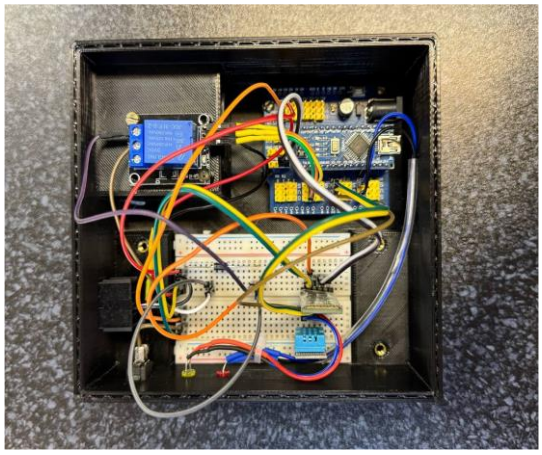


Рис. 8. Фотография опытного образца вид сверху

Было проведено испытание встроенного в устройство датчика DHT11: после соединения с терминалом по Bluetooth работающее устройство было перемещено из теплого помещения на улицу. По результатам обработки переданных данных был составлен график, представленный на рисунке 9.

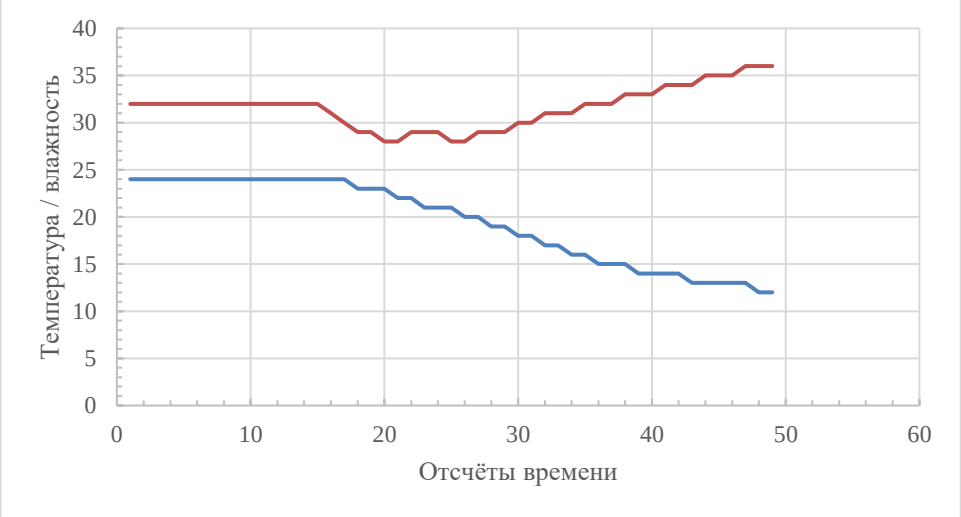


Рис. 9. График изменения температуры и влажности

На графике отчетливо виден момент перемещения устройства из помещения в открытое пространство – влажность воздуха выше, а температура снаружи ниже.

В работе было предложено реализовать систему ДУ микроклиматом с использованием платы Arduino Nano. В ходе испытаний было выявлено, что прототип изделия удовлетворяет требованиям ТЗ и выполняет поставленные задачи.

Список используемых источников

1. McRoberts M. Arduino: A Quick-Start Guide. Apress; 1st ed. Edition. 2010. 493 p.
2. Banzi M. Getting Started with Arduino. Maker Media, 2014. 246 p.
3. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. John Wiley & Sons, Inc., 2013. 357 p.

Allenov A., Litvinov A. **DEVELOPMENT OF A PILOT MODEL OF A REMOTE CLIMATE CONTROL SYSTEM WITH DATA TRANSMISSION VIA A BLUETOOTH SYSTEM.**

Saint Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruevich

In modern conditions, the rapid development of automation technologies and the Internet of Things allows us to create intelligent systems that improve the quality of life and energy efficiency of household processes. One of the urgent tasks is the development of hydroponic devices for microclimate control that can provide comfortable conditions for plant growth, minimizing the consumption of human and time resources and reducing the negative impact on the environment. Manual control of parameters important for these systems requires significant effort and may not be accurate enough. In this regard, the requirements for the creation of remotely controlled temperature and humidity monitoring systems that automate the process of watering plants using modern technologies are increasing.

Key words: Microclimate, Bluetooth, Remote control.

УДК 621.396
ГРНТИ 49.43.29

ЦИФРОВАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. А. Егоров, Д. А. Копылов, М. А. Мендельсон
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Цифровая линеаризация характеристик усилителей мощности радиопередатчиков применяется в последнее время для обеспечения компромисса между скоростью передачи информации, помехоустойчивостью системы и энергопотреблением. Для этой цели применяются адаптивные системы линеаризации характеристик, предпочтительно с замкнутым контуром, в которых учитывается нелинейное динамическое поведение усилителя мощности на основе рядов Вольтерра.

усилитель мощности, нелинейная характеристика, предыскажения, беспилотные авиационные системы

При построении усилителей мощности (УМ) радиопередатчиков систем связи беспилотных авиационных систем (БАС) приходится искать компромисс между скоростью передачи информации, помехоустойчивостью системы и энергопотреблением. Для повышенной скорости передачи цифровой информации необходимо использовать многопозиционные методы модуляции с высокой спектральной эффективностью, включая те из них, в которых используется, в том числе, и модуляция по амплитуде: QAM (квадратурная модуляция), АФМ (амплитудно-фазовая модуляция) и др. Для того, чтобы применять передачу сигнала, модулированного по амплитуде, необходимо обеспечить в аналоговом тракте достаточную степень линейности. При этом, независимо от применяемого усилительного элемента (ЛБВ – лампа бегущей волны, полупроводниковые приборы) вольтамперная характеристика (ВАХ) этих элементов всегда имеет ярко выраженную нелинейность. Если ограничиться работой УМ в линейном режиме (режиме А), то это приводит к низкому КПД (менее 10 %), что противоречит энергоэффективности всей системы в целом. Выходом из подобной ситуации служит искусственная линеаризация характеристики линейного тракта передатчика путем введения предыскажений. В последнее время наиболее эффективным способом введения предыскажений считается цифровое предыскажение (DPD, Digital Predistortion). Это позво-

ляет, в частности, обеспечить адаптивное предыскажение. Цифровая линеаризация характеристик УМ рассмотрена в ряде работ [1–8].

Концепция введения предыскажения основана на вставке нелинейной функции (обратной функции усилителя) между входным сигналом и усилителем для получения линейного выходного сигнала. При этом вводимое комплексное предыскажение в УМ требует адаптивности из-за изменения нелинейности усилителя мощности со временем, температурой и возможностью изменения рабочих каналов и т. д.

Поскольку каскад цифрового предыскажения и УМ ведет себя как линейная система усиления, то при моделировании такой системы для прогнозирования нелинейности УМ и передатчика в целом целесообразно использовать поведенческое моделирование вместо анализа функциональности и физики работы устройства [1–8]. Поведенческое моделирование упрощает моделирование УМ до идентификации математической формулировки, которая связывает вход и выход тестируемого устройства, которое можно рассматривать как черный ящик. На производительность поведенческого моделирования влияют два ключевых аспекта: наблюдение и формулирование.

Наблюдение относится к точному получению сигналов на входе и выходе тестируемого устройства при анализе соответствующего поведения.

Формулирование соответствует выбору подходящего математического соотношения, описывающего все значимые взаимодействия между входными и выходными сигналами тестируемого устройства.

На рис. 1 иллюстрируется принцип работы предыскажающего устройства, усиление которого компенсирует ожидаемое снижение усиления усилителя мощности с увеличением уровня входного сигнала.

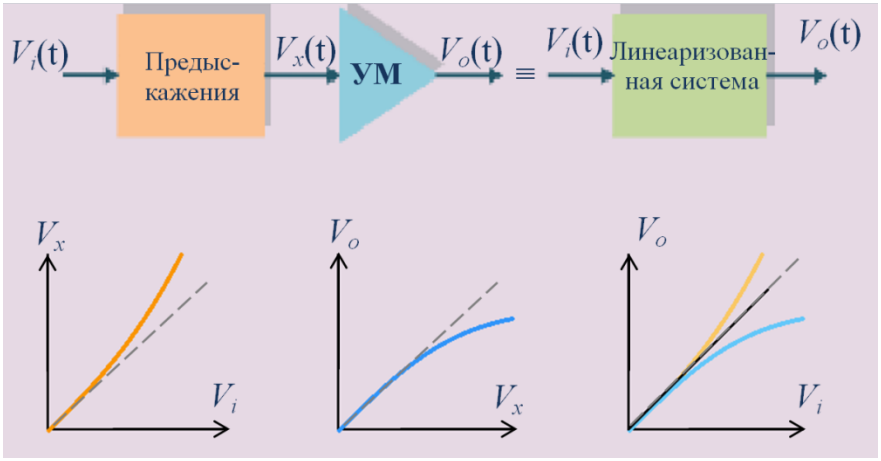


Рис. 1. Принцип работы предыскажающего устройства

Для цифровых отсчетов входного комплексного сигнала $u[n]$, отсчетов на выходе предысказителя $x[n]$ и отсчетов на выходе УМ $y[n]$ можно записать:

$$x[n] = f^{-1}(u[n]),\ \ y[n] = f(x[n]),$$

где $f(x)$ – нелинейная характеристика УМ, $f^{-1}(x)$ – обратная функция, соответствующая функции нелинейности предыскажителя.

Другими словами, в предыскажающем устройстве необходимо сформировать такую характеристику нелинейного усиления, которая являлось обратной характеристике нелинейности усилителя. Для синтеза функции предыскажений обычно рассматривают два подхода [1, 2, 5]. Первый состоит из синтеза и последующего инвертирования модели УМ, которая должна быть линеаризована. Такой подход называют подходом прямого обучения. Второй подход состоит из непосредственной идентификации цифровой функции предыскажений. В этом подходе кроме компенсатора на входе УМ (предыскажитель) вводится еще компенсатор нелинейности на выходе УМ (постискажитель). Тогда после расчета из измеренных входных и выходных форм сигналов УМ передаточных функций предыскажителя и постискажителя с учетом предположения их однозначной связи и равенстве сигналов на их выходах нет необходимости иметь имитационную модель УМ – нужны только измеренные входные и выходные сигналы УМ. Этот подход часто называют методом косвенного обучения, и он широко используется в цифровых системах предыскажений [5].

При косвенном обучении предыскажающее устройство также находится вне замкнутого контура (т. е. является структурой с открытым контуром), при этом входной сигнал DPD прямо не влияет на адаптацию коэффициентов -w.

В структуре с замкнутым контуром и прямым обучением коэффициенты DPD оцениваются непосредственно из входного сигнала и выходного сигнала УМ [6, 7], как показано на рис. 2.

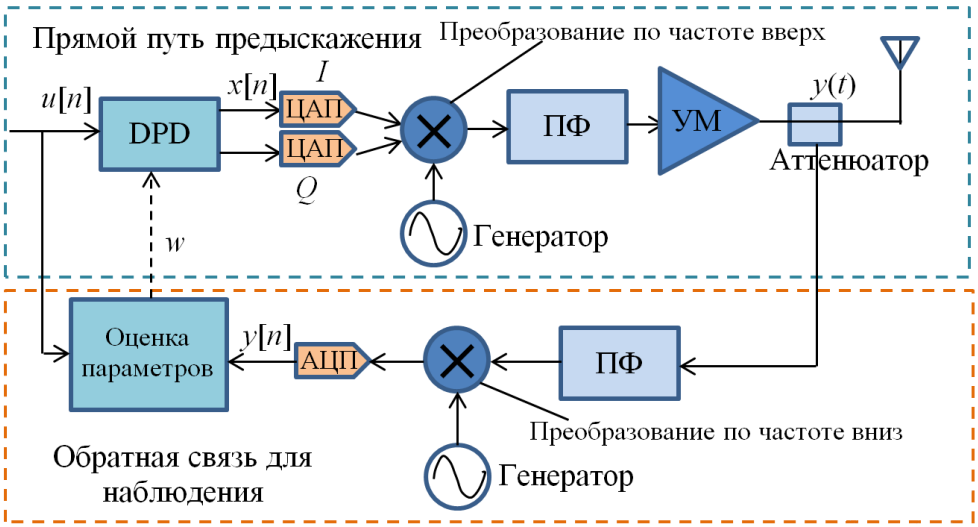


Рис. 2. Блок-схема замкнутой системы DPD, работающей по принципу прямого обучения

Это осуществляется путем получения сигнала ошибки с замкнутым контуром [6, 7] равного разности входного сигнала и масштабированного выходного сигнала УМ, содержащего искажения нелинейности УМ. Затем этот сигнал ошибки используется для обновления коэффициентов DPD, так что выходное искажение УМ минимизируется [6, 7]. Эта структура образует метод с замкнутым контуром, поскольку функция DPD находится внутри блока оценки. Эта структура является лучшим выбором с точки зрения получения параметров системы [6].

При разработке реальных устройств статические характеристики УМ заменяются нелинейным динамическим поведением более высокой сложности, которое должно учитываться в устройстве предыскажения. Динамические свойства УМ связаны с так называемыми эффектами памяти, для учета которых целесообразно использовать ряд Вольтерра, либо его усеченные варианты [1–4].

Выводы

1. При выборе структуры системы линеаризации предпочтение следует отдавать структуре с замкнутым контуром, поскольку в нем оценка модели УМ осуществляется более точно. В нем не требуется высокая частота дискретизации АЦП, нет смещения коэффициентов, вызванных насыщением УМ.

2. При определении параметров предыскажения необходимо учитывать нелинейное динамическое поведение УМ на основе ряда Вольтерра, которое связано с эффектами памяти: изменения выходных сигналов УМ из-за причинно-следственной связи между текущим и предыдущим значениями сигнала.

3. Для учета изменений параметров УМ в зависимости от текущих параметров сигнала, состояния элементов питания и др., а также долговременных изменений параметров УМ система предыскжения должна быть адаптивной.

Доклад подготовлен в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Braithwaite R. N. General principles and design overview of digital predistortion // Digital Processing for Front End in Wireless Communication and Broadcasting. 2011. Ch. 6. PP. 143–191.

2. Ghannouchi F. M., Hammi O. Behavioral modeling and predistortion // IEEE Microw. Mag, 2009. Vol. 10. № 7. PP. 52–64.

3. Kim J., Konstantinou K. // Digital predistortion of wideband signals based on power amplifier model with memory // IEE Electronics Letters. 37. 2001. PP. 1417–1418.

4. Morgan D. R., Ma Z., Kim J, Zierdt M. G., Pastalan J. A Generalized Memory Polynomial Model for Digital Predistortion of RF Power Amplifiers // IEEE Transactions on Signal Processing, 2006. Vol. 54. 10. PP. 3852–3860.
5. Eun C., Powers E., J. A new Volterra predistorter based on the indirect learning architecture // IEEE Transactions on signal processing, 1997. Vol. 45. № 1. PP. 223–227.
6. Braithwaite R. N. A comparison of indirect learning and closed loop estimators used in digital predistortion of power amplifiers. // 2015 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2015). 2015.
7. Pham Q. A., Montoro G., L´opez-Bueno D., Gilabert P. L. Dynamic selection and estimation of the digital predistorter coefficients for power amplifier linearization // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2019. Vol. 67. № 10. PP. 3996–4004.
8. Аверина Л. И. Влияние параметров цифрового корректора на увеличение линейности передающего тракта / Л. И. Аверина, М. А. Корольков, В. Д. Шутов // Радиолокация, навигация, связь: XVI Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж. 2010. Т. 1. С. 512–517.

Egorov V., Kopylov D., Mendelson M. **DIGITAL LINEARIZATION OF THE RADIO TRANSMITTERS' POWER AMPLIFIERS' CHARACTERISTICS OF DRONES SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Digital linearization of the radio transmitters' power amplifiers' characteristics has been used recently to ensure a compromise between the information transmission speed, system noise immunity and energy consumption. For this purpose, adaptive closed-loop linearization systems are used, which take into account the nonlinear dynamic behavior of the power amplifier.

Key words: power amplifier, nonlinear characteristic, predistortion, drone systems.

УДК 621.391.825
ГРНТИ 43.05.07

ОЦЕНКА ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОКАНАЛА GPS

Е. А. Изместьева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время работа подвижных объектов часто проводится в районах подавления сигналов GPS, поэтому необходима оценка степени подавления радиоканала системы глобального позиционирования. В работе представлено обоснование выбора коэффициента подавления в качестве критерия оценки, а также получение оценочного уравнения. Результатом выступает графическое представление оценки подавления и пример ее применения.

система глобального позиционирования, преднамеренные помехи, коэффициент подавления, оценка подавления сигнала

На большей части крупных и малых подвижных объектов располагаются модули американской системы глобального позиционирования (GPS), необходимые для отслеживания местоположения в открытом пространстве. Подвижные объекты, в особенности беспилотные, выполняют широкий спектр задач, в число которых входит работа в местности, где проводится радиоэлектронная борьба (РЭБ). Указанные условия создают сложную помеховую обстановку для сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS, поэтому данные от GPS или перестают поступать на модуль, представляя собой чрезмерно зашумленный сигнал, или подменяются средствами РЭБ [1].

Эффективность подавления обусловлена тем, что на устройства пользовательского сегмента ГНСС поступает сигнал с малой мощностью из-за ограниченности излучаемой мощности сигнала со спутника и его малого коэффициента усиления антенны [2] при расстояниях между приемником и передатчиком в десятки тысяч километров. Поэтому устройства пользовательского сегмента, которыми являются модули, устанавливаемые на подвижные объекты, являются наиболее уязвимыми во всей ГНСС. Это означает, что зашумление приемного тракта модуля подвижного объекта является наиболее целесообразным способом подавления радиоканала GPS.

Учитывая вышеизложенные факторы с точки зрения работы с подвижными объектами, необходимо проводить оценку эффективности подавления сигнала GPS. Если оценивать радиоканал GPS по его помехозащищенности, то основным критерием, как и во многих системах, становится защитное от-

ношение, являющееся отношением мощности полезного сигнала к мощности помехи. Но так как в данном случае акцентируется внимание на радиоподавлении канала, то в качестве критерия предлагается использовать коэффициент подавления. Коэффициент подавления – это отношение мощности преднамеренной помехи к мощности полезного сигнала, приходящих на приемный тракт устройства. Оба параметра можно рассматривать как взаимообратные величины, однако коэффициент подавления указывает на отношение, при котором приемник GPS перестанет распознавать сигнал с вероятностью равной 0,9 и более [3].

Таким образом, коэффициент подавления можно далее использовать в сравнительной оценке, базирующейся на энергопотенциалах радиоканала GPS и радиоканала системы РЭБ.

Энергопотенциал канала радиосвязи складывается из мощности передающего устройства, чувствительности приемного устройства и коэффициентов усиления антенн [4]. Значение параметров передающего устройства будет зависеть от системы, так как если оценка применяется для GPS, то в качестве мощности передающего устройства выступает излучаемая мощность спутника. В системе РЭБ за нее же принимается мощность излучения преднамеренной помехи, соответственно. Важно отметить, что приемным устройством для двух указанных систем является приемное устройство GPS подвижного объекта.

С учетом потерь на распространение сигнала в свободном пространстве и различных других факторов, приводящих к возникновению потерь в воздушной среде, общее уравнение, отражающее энергопотенциал радиолинии, выглядит следующим образом [4, 5]:

$$M = P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - 10\log_{10}(kT) - SNR - L_{св} - L_0,$$

где M – энергопотенциал радиолинии, дБВт, $P_{прд}$ – излучаемая мощность передатчика, дБВт, $G_{прд}$ – коэффициент усиления антенны передатчика, дБ, $G_{прм}$ – коэффициент усиления антенны приемника, дБ, k – постоянная Больцмана, Дж/К, T – шумовая температура, К, SNR – защитное отношение, дБ, $L_{св}$ – потери в свободном пространстве, дБ, L_0 – другие потери, возникающие в среде распространения, дБ.

Потери в свободном пространстве рассчитываются по следующей формуле [4]:

$$L_{св} = \frac{(4\pi Rf)^2}{c^2},$$

где R – расстояние между приемным и передающим устройством, м, f – рабочая частота системы, Гц, c – скорость света, м/с.

Исходя из полученного уравнения энергопотенциала радиолинии, можно определить, что общей переменной для двух систем является минимальное защитное отношение приемного устройства, необходимое для детектирования сигнала. При помощи этого утверждения возможно вывести зависимость, отражающую суть работы системы GPS в условиях намеренного подавления сигнала:

$$(P_{прд} + G_{прд} - L_{св})_{GPS} - (P_{прд} + G_{прд} - L_{св})_{РЭБ} \geq SNR.$$

Значение потерь в свободном пространстве не сокращается, как другие переменные, из-за различной длины линий «спутник GPS – приемное устройство GPS» и «система РЭБ – приемное устройство GPS». И так как защитное отношение является обратным к коэффициенту подавления $K_{п}$, то окончательно оценка, согласно выбранному критерию, будет определяться следующим выражением:

$$(P_{прд} + G_{прд} - 20\log_{10} R)_{РЭБ} - (P_{прд} + G_{прд} - 20\log_{10} R)_{GPS} \geq K_{п}.$$

Согласно выражению, сигнал GPS на приемном устройстве остается недоступным при разности энергопотенциалов радиолиний равной значению коэффициенту подавления и более. При этом энергопотенциал линии РЭБ должен превышать энергопотенциал линии GPS.

Таким образом, конечное выражение возможно перенести в математическую среду и графически представить оценку степени подавления радиоканала GPS. В таком случае параметры спутника GPS берутся в виде постоянных значений в пределах, характерных для данной системы: мощность излучения передатчика 10…50 Вт, коэффициент усиления антенны до 15 дБ.

Значение коэффициента подавления же в первую очередь зависит от типа помехи, так как модуляционно-кодирующие схемы приемного устройства могут отличаться и влиять на степень помехозащищенности приемника. В рамках данной статьи рассматривается частотно-модулированная помеха, позволяющая обеспечить подавление сигнала уже на $K_{п} = 25$ дБ [6]. Результат представлен на рис. 1 для двух граничных мощностей излучения передатчика со спутников GPS.

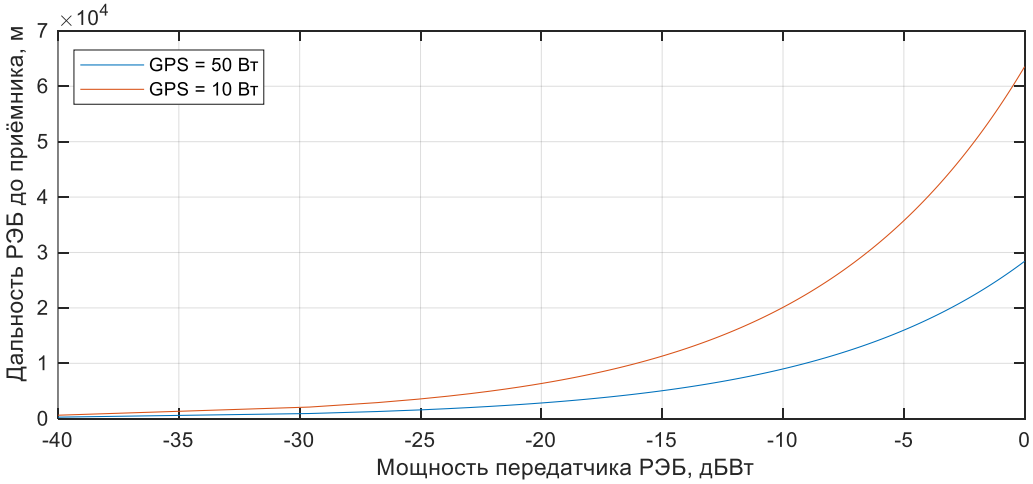


Рис. 1. График зависимости мощности передатчика РЭБ от его расстояния до приемного устройства для подавления сигнала GPS

На графике показано, как с увеличением выходной мощности средства РЭБ увеличивается и дальность подавления сигнала GPS, однако она не будет одинакова для всех типов спутников. Если выходная мощность передатчика GPS составляет 50 Вт, то на мощности РЭБ, равной -10 дБВт (100 мВт) возможно подавление до 8,9 км при условии соблюдения прямой радиовидимости с объектом подавления. Для подавления спутника с выходной мощностью 10 Вт при тех же условиях для РЭБ возможная дальность подавления доходит до 19,9 км.

Таким образом можно оценить дальности подавления со стороны РЭБ для различных подвижных объектов, так как уравнение опирается исключительно на характеристики радиоканалов. Для уточнения расстояний и приближения их к реальным значениям можно сформировать модель, учитывающую высоту подъем антенн, тип подвижного объекта и другие параметры, приводящие к снижению значений и, соответственно, уменьшающие эффективность работы системы РЭБ.

Список используемых источников

1. Hexagon-Novatel, An Introduction to GNSS. A primer in using Global Navigation Satellite Systems for positioning and autonomy. Third Edition. 2023. 116 p. ISBN 978-0-9813754-1-0
2. Нгуен Ван Хай, Фан Ньат Занг, Фам Хак Хоан. Эффективность воздействия помех системе глобальной навигации GPS // Евразийский Союз Ученых. №2-4 (71). 2020. С. 26–32.
3. Вознюк В. В., Маслаков П. А., Фомин А. В. Исследование помехоустойчивости аппаратуры потребителей глобальной навигационной спутниковой системы GPS на основе технологии программного приема // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2016. № 650. С. 33–40.
4. Гавриленко В. Г., Яшнов В. А. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи. Н. Новгород: НГУ им. Н. И. Лобачевского, 2003. 148 с.

5. Калинин А. И. Распространение радиоволн и работа радиолиний. Учеб. пособие для вузов связи. М.: Связь. 1971. 439 с.
6. Корнилов И. Н. Тестирование навигационной аппаратуры потребителя GPS/ГЛОНАСС. Учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та. 2016. 48 с. ISBN 978-5-7996-2044-8.

Izmesteva E. **EVALUATION OF GPS SIGNAL SUPPRESSION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Currently, the operation of mobile objects is often carried out in areas of GPS signal suppression, therefore, an assessment of the degree of suppression of the GPS radio channel is necessary. The research presents the rationale for choosing the suppression factor as an evaluation criterion, as well as obtaining an evaluation equation. The result is a graphical representation of the suppression evaluation and an example of its application.

Key words: global positioning system, jamming signal, suppression factor, signal suppression estimation.

УДК 004.722.45
ГРНТИ 89.29.65

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В. А. Карташов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе будут рассмотрены основные аспекты разработки спутника для исследования НОКС. Определены цели миссии, включающие исследование параметров НОКС, таких как плотность частиц, радиационный фон, магнитные поля и космический мусор. Обоснован выбор низкоорбитальной солнечно-синхронной орбиты, которая позволяет оптимально охватывать исследуемую среду. Описаны основные подсистемы спутника, включая энергоснабжение, терморегуляцию, стабилизацию, бортовой компьютер и систему связи. Ожидается, что результаты миссии внесут вклад в понимание параметров НОКС и помогут разработать более эффективные методы защиты для космических аппаратов.

спутник, НОКС, система, научная аппаратура, моделирование

Разработка модели спутника для исследования низкоорбитальной космической среды (НОКС) представляет собой сложную задачу, которая включает в себя определение целей и задач миссии, выбор оптимальной орбиты, разработку бортовых подсистем, оснащение научной аппаратурой и тестирование всех элементов для обеспечения успешного выполнения научных задач. Целью такой миссии является изучение параметров НОКС, таких как плотность плазмы, состав атмосферы, радиационная обстановка и наличие космического мусора [1], для повышения понимания процессов, происходящих на низких орбитах Земли, и их воздействия на функционирование космических аппаратов.

Одной из ключевых характеристик спутника является выбор орбиты. Для целей исследования НОКС наиболее подходящей является низкоорбитальная орбита на высоте 400–600 км. Полярная или солнечно-синхронная орбита обеспечивает возможность регулярного сбора данных из всех регионов планеты и наблюдения космической среды при постоянном освещении, что увеличивает точность получаемых результатов.

Для реализации спутниковой миссии требуется комплексная система бортовых подсистем, включающая энергоснабжение, систему ориентации и стабилизации [2], систему терморегуляции и бортовой компьютер. Солнечные панели и аккумуляторы обеспечивают питание в условиях ограниченной до-

ступности солнечной энергии в теневых участках орбиты. Система ориентации и стабилизации с датчиками звездного неба и магнитометрами обеспечивает точное наведение и устойчивость спутника, а система терморегуляции защищает бортовые компоненты от экстремальных температур. Бортовой компьютер отвечает за автономное управление, координируя все подсистемы и обрабатывая данные перед их передачей на Землю.

Научная аппаратура для исследования НОКС должна включать детекторы плазмы и ионов, магнитометры, дозиметры, спектрометры и пылеуловители. Детекторы плазмы измеряют плотность и энергию заряженных частиц, магнитометры фиксируют параметры магнитного поля, дозиметры определяют уровень радиации, а спектрометры анализируют состав атмосферы. Пылеуловители регистрируют космическую пыль и микрометеориты, что позволяет изучать влияние космической среды на материалы и компоненты спутников.

Система передачи данных обеспечивает передачу собранной информации на наземные станции, для чего применяются антенны S- или X-диапазона. Оптимальное покрытие обеспечивается сетью наземных станций, расположенных вдоль орбиты, или через аренду коммерческих спутниковых станций. Данные обрабатываются на борту перед передачей, чтобы минимизировать объем информации, отправляемой на Землю, и обеспечить своевременное получение научных результатов.

Проектирование спутника также включает выбор материалов для корпуса и внутренних структур, устойчивых к радиационным и температурным нагрузкам. Легкие сплавы и углепластик, обеспечивающие прочность при малом весе [3], снижают затраты на запуск и позволяют использовать компактные модульные платформы типа CubeSat (например, 6U или 12U) представленные на рис. 1.

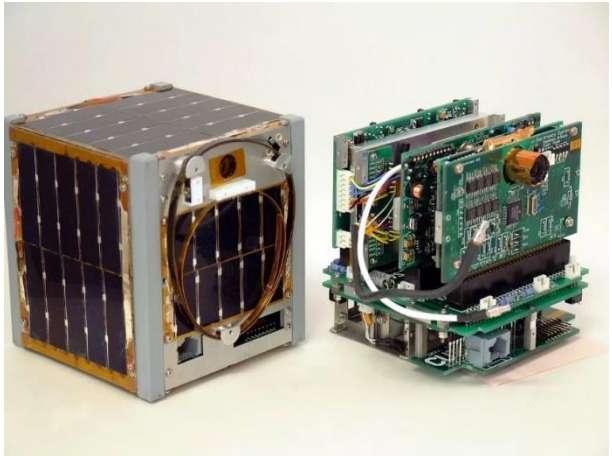


Рис. 1. Пример спутника CubeSat.

Такой подход обеспечивает экономичность, гибкость в интеграции приборов и возможность быстрого развертывания спутника на орбите.

Для успешной миссии спутника важно предусмотреть этапы тестирования и моделирования. Испытания в вакууме и температурных камерах помогают оценить устойчивость компонентов к условиям космического пространства, а моделирование орбитальной динамики проверяет стабильность спутника. Проверка работы систем связи и передачи данных позволяет убедиться в надежности всех коммуникационных систем в условиях ограниченной видимости и радиопомех.

Система управления миссией предусматривает создание центра управления, отвечающего за мониторинг, сбор и анализ данных. Научный центр обеспечивает обработку информации для создания моделей НОКС и разработки методов прогнозирования космической погоды. Поддержка миссии со стороны центра управления позволяет своевременно корректировать орбиту [4], если это потребуется для выполнения исследовательских задач.

Ожидается, что результаты такой миссии позволят уточнить параметры низкоорбитальной среды и создать более точные модели НОКС, что повысит уровень защиты космических аппаратов от радиации и воздействия солнечной активности.

Образец разработанной модели спутника показана на рис. 2.

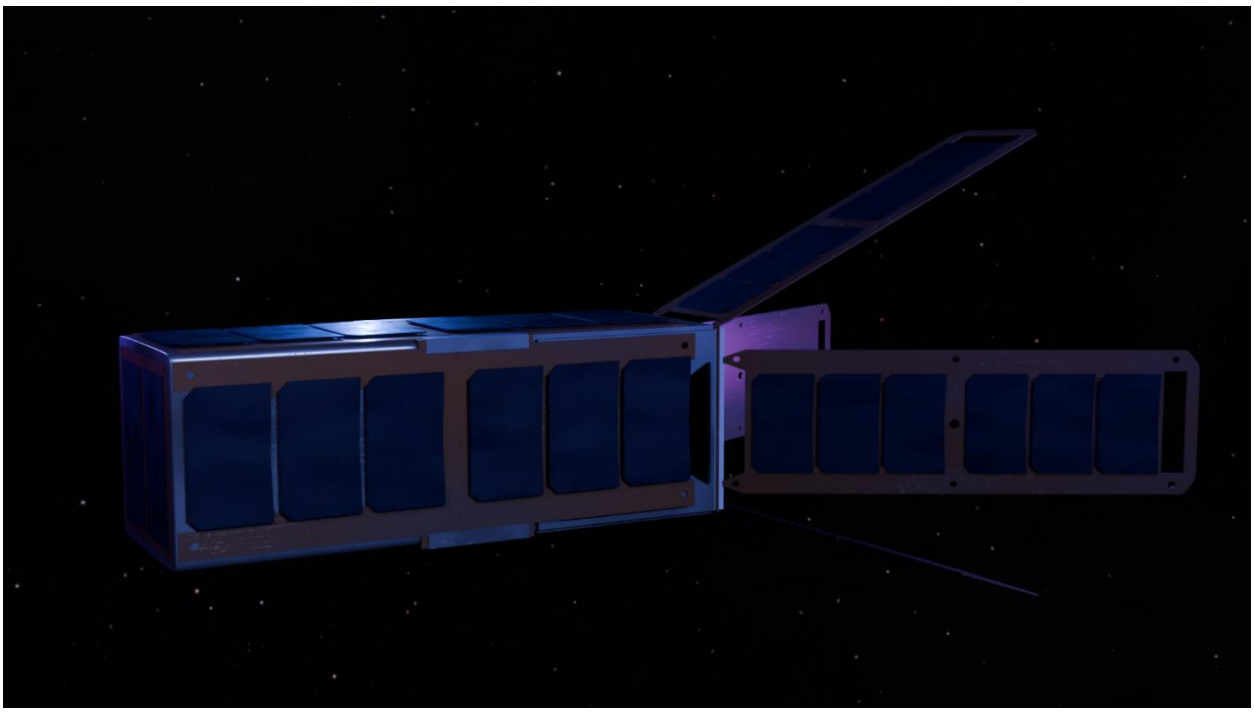


Рис. 2. Модель разрабатываемого спутника.

В настоящее время проводится разработка модели спутника с использованием программного обеспечения Blender, представлена на рис. 2, где будут заданы и рассчитаны основные параметры, такие как габариты, используемые

материалы и другие характеристики объекта. Также планируется провести расчеты, касающиеся плотности частиц, радиационного фона, магнитных полей, космического мусора и продолжительности нахождения спутника на орбите. На следующем этапе предполагается создать разрез спутника, который включит отечественные платы и приборы, что позволит более точно моделировать внутреннюю компоновку и функциональные возможности спутника.

Список используемых источников

1. Разработка проекта навигационного космического аппарата на геостационарной орбите как. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-proekta-navigatsionnogo-kosmicheskogo-apparata-na-geostatsionarnoy-orbite
2. О системах стабилизации и ориентации космических аппаратов. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-sistemah-stabilizatsii-i-orientatsii-kosmicheskih-apparatov
3. «CubeSat» как многофункциональные спутники. URL: https://tmnpo.ru/node/606
4. Обзор свободного программного обеспечения моделирования космических аппаратов. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-svobodnogo-programmnogo-obespecheniya-modelirovaniya-kosmicheskih-apparatov

Kartashov V. **DEVELOPMENT OF A MODEL FOR RESEARCH LOW ORBIT SPACE ENVIRONMENT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this paper, the main aspects of the development of a satellite for the study of the NOKS will be considered. The mission objectives have been defined, including the study of NOCS parameters, such as particle density, background radiation, magnetic fields and space debris. The choice of a low-orbit sun-synchronous orbit is substantiated, which makes it possible to optimally cover the studied medium. The main subsystems of the satellite, including power supply, thermal regulation, stabilization, on-board computer and communication system, are described. It is expected that the results of the mission will contribute to the understanding of the ESOCS parameters and help develop more effective protection methods for spacecraft.

Key words: Satellite, LEOE, System, Scientific equipment, Modeling.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.14.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ Cu- и Al- ЭКРАНОВ В ПО ELCUT 6.6

А. С. Литвинов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

При решении задач ЭМС одним из решений для снижения негативного влияния помех в электромагнитном спектре является применение экранов. При этом, выбор материала, из которого изготовлен экран, должен происходить с учетом частоты, на которой действует мешающий сигнал и его мощности. В работе представлено исследование экранирующих свойств медных и алюминиевых экранов при воздействии помех различных частот в ПО Elcut 6.6.

электромагнитная совместимость, экраны, медный экран, алюминиевый экран, сравнение экранов, Elcut

Оценку эффективности экранирования можно производить различными методами, например, с помощью коэффициента экранирования. Коэффициент экранирования – это отношение интенсивности электромагнитного поля, измеренной до помещения в пространство условно бесконечного непрерывного экрана и после его установки [1]. Значение коэффициента экранирования может быть получено по следующим формулам:

$$K_E = 20 \times \log_{10} \frac{E}{E_э};$$

$$K_H = 20 \times \log_{10} \frac{H}{H_э};$$

$$K_П = 10 \times \log_{10} \frac{E \times H}{E_э \times H_э} = \frac{K_E + K_H}{2};$$

При попадании электромагнитной волны (далее – ЭМВ) в экран от каждой границы раздела сред происходит отражение ЭМВ. При этом, внутри материала, из которого изготовлен экран, происходит поглощение колебаний. Эффективность отражения и затухания зависят от материала экрана и его толщины. При этом, на высоких частотах коэффициент экранирования растет с ростом проводимости материала.

Для экранирования пространства от воздействия электромагнитных колебаний высокой частоты необходимо иметь тонкий экран из материала с высоким значением проводимости и низким значением магнитной проницаемости.

Значения проводимости и магнитной проницаемости некоторых материалов указаны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Значения проводимости и магнитной проницаемости некоторых материалов

Материал	Проводимость, МСм/м	Относительная проницаемость μ
Медь	55,5 – 58	0,999994
Алюминий	37	1,000022

Одним из наиболее часто используемых материалов при изготовлении экранов является алюминий. Из данных таблицы видно, что алюминиевые экраны имеют меньшее значение проводимости, чем экраны, изготавливаемые из меди (у меди это значение до 56 % превышает аналогичное у алюминия). При этом, значения магнитной проницаемости у двух материалов схожи. Опираясь на описанные выше преимущества экранов, изготавливаемых из меди, проведем исследование в ПО Elcut 6.6 [2].

Построенная в ПО Elcut 6.6 математическая модель изображена на рисунке 1. Она состоит из трех областей: области источника тока (центральный квадрат), двух областей с воздушным пространством и области экрана (между областями с воздушным пространством). В представленной ниже модели количество точек равно 239.

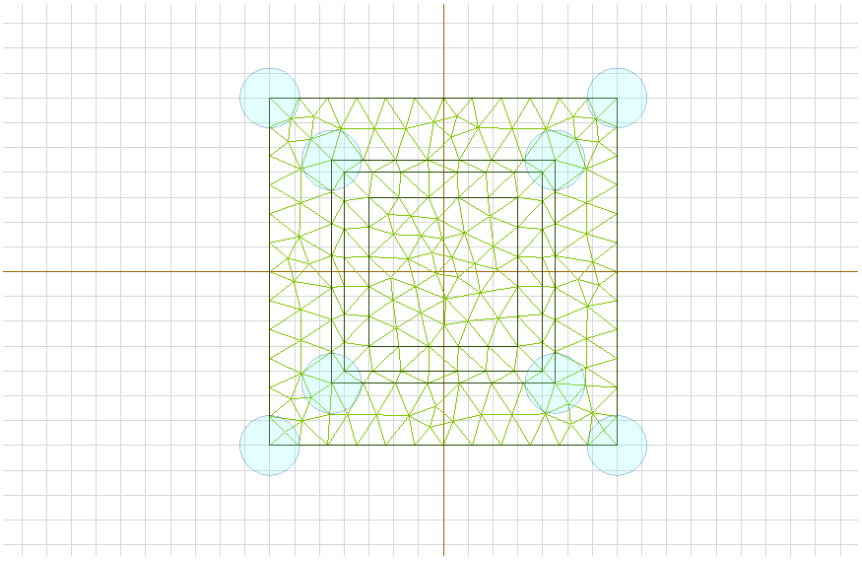


Рис. 1. Математическая модель

Исследование проводилось на частотах от 100 МГц до 2900 МГц. Точка измерения напряженности H и пример отображения результата расчета одного

из значений частоты для медного экрана изображены на рисунке 2, для алюминиевого – на рисунке 3.

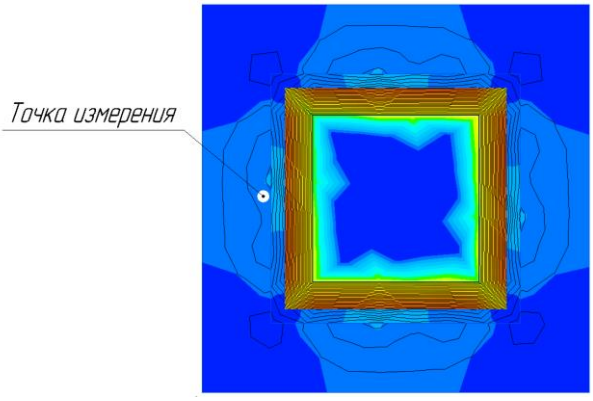


Рис. 2. Результат расчета картины поля в ПО Elcut 6.6
и точка измерения напряженности Н для медного экрана

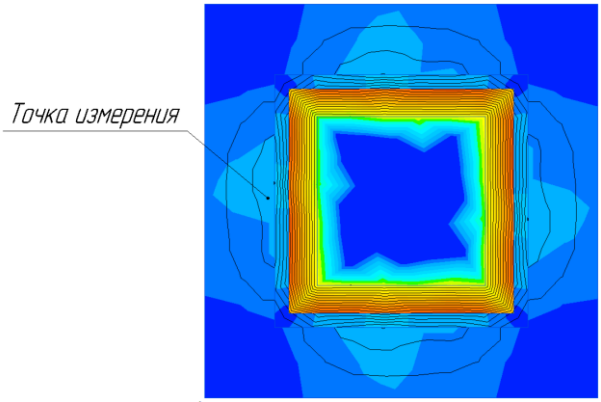


Рис. 3. Результат расчета картины поля в ПО Elcut 6.6
и точка измерения напряженности Н для алюминиевого экрана

Данные заносились в таблицу, по которой был построен график, изображенный на рисунке 4.

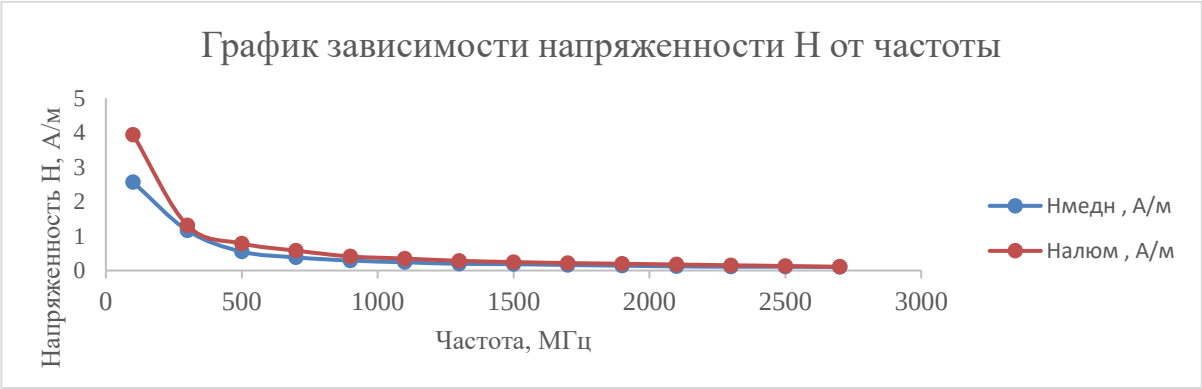


Рис. 4. Графики зависимости напряженности Н от частоты
для медного и алюминиевого экрана

Согласно полученным данным, снижение напряженности Н (а значит, и коэффициента экранирования, определяющего эффективность экранирова-

ния) при частотах от 1000 МГц имеет низкий темп. Для оценки отличия двух материалов по полученным данным составлена таблица 2.

ТАБЛИЦА 2. Разница между напряженностью H в измеряемой точке между случаями медного и алюминиевого экрана, выраженная в %

Частота, МГц	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700
Разница Cu–Al	33 %	35 %	40 %	46 %	39 %	20 %	10 %

Таким образом, можно сделать вывод, что медь – эффективный материал для экранирования на высоких частотах. Однако ее дороговизна, больший вес, а также незначительный выигрыш в эффективности затухания по сравнению с алюминием не позволяют в полной мере применять этот материал в качестве основного при изготовлении экранирующих от электромагнитного воздействия элементов.

Список используемых источников

1. Методы расчета средств защиты радиоэлектронных систем от электромагнитного излучения. Монография. Под ред. С. С. Щесняка. / М. С. Андрющенко, В. Е. Гусаковский, Е. А. Штагер, Д. Е. Штагер, С.С. Щесняк. СПб.: Изд-во ВВМ, 2016. 310 с: ил., цв. вкл. ISBN 978-5-9651-0975-3.
2. ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. // СПб., 2015.

Litvinov A. **INVESTIGATION OF SHIELDING PROPERTIES OF COPPER AND ALUMINUM SCREENS IN ELCUT 6.6 SOFTWARE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

One of the solutions to reduce the negative effects of interference on the electromagnetic spectrum when solving the problem of electromagnetic compatibility (EMC) is the use of screens. At the same time, the choice of the material from which the screen is made should take into account the frequency at which the interfering signal acts and its power. The paper presents a study of the shielding properties of copper and aluminum screens under the influence of interference of various frequencies in Elcut 6.6 software.

Key words: Electromagnetic Compatibility, Screens, Copper Screen, Aluminum Screen, Screen Comparison, Elcut.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.01.85

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ЗА ЖИВОТНЫМИ С ИПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ RFID

П. А. Нестерчук
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье представлена разработка и анализ системы с использованием технологии системы контроля доступа СКУД (RFID) для автоматизации процессов мониторинга животных в условиях современного фермерского хозяйства. В ходе исследования были изучены ключевые вопросы реализации проекта, а также проанализированы выбор конкретных компонентов, алгоритмов реализации; разработка программного обеспечения и сборка системы. Прототип технологии был протестирован на точность и эффективность, успешно идентифицируя животных и контролируя доступ на основе аутентификации RFID-меток. Результаты показывают, что технология RFID в современном животноводстве может способствовать автоматизации и улучшению благосостояния животных и управления ими.

автоматизация, система контроля доступа (СКУД), Arduino IDE, ESP32, мониторинг животных.

Автоматизация играет важную роль в современном животноводстве, помогая улучшить производительность, качество продукции и условия жизни животных. Автоматизация животноводства нужна для решения ряда проблем, таких как: увеличение производительности, оптимизации процессов, разгрузка человеческого ресурса, обеспечение безопасности, повышение качества производимой продукции, слежение и контроль за животными, правильное и более эффективное распределение ресурсов. Все эти задачи нужны для сокращения затрат производства и достижения наибольшей прибыли предприятия [1].

Интеграция RFID-систем в сферу животноводства позволяет автоматизировать процессы отслеживания, управления и мониторинга животноводческого хозяйства, обеспечивает точность сбора данных, сокращает ручной труд и минимизирует возможность ошибок. Таким образом, использование RFID-меток является неотъемлемой частью современного животноводства и способствует его развитию и улучшению.

Технология RFID (радиочастотная идентификация) имеет несколько ключевых преимуществ, которые делают ее предпочтительной для контроля входа

и выхода животных на сельском хозяйстве. RFID позволяет автоматизировать процесс отслеживания животных без необходимости ручного ввода данных. Читающие устройства могут быстро считывать информацию с RFID-меток на животных, что ускоряет процесс. Кроме того, RFID-системы способны обрабатывать множество меток одновременно, что удобно в ситуациях, когда необходимо быстро зарегистрировать большое количество входов и выходов. RFID-метки могут быть защищены от влаги, грязи и других неблагоприятных условий, что делает их идеальными для использования в сельском хозяйстве. Также эти метки, особенно пассивные, имеют длительный срок службы и требуют минимального обслуживания. Автоматическое считывание снижает вероятность ошибок, связанных с ручным вводом информации, что улучшает точность данных о животных. RFID-системы легко интегрируются с другими технологиями и системами управления на ферме, что позволяет создать более комплексное решение. С учетом всех этих преимуществ, использование RFID для контроля входа и выхода животных обеспечивает более эффективное, точное и автоматизированное управление, что невозможно с другими методами, такими как штрих-коды или ручной учет.

Структурная схема прототипа системы контроля входа/выхода представлена на рисунке 1.

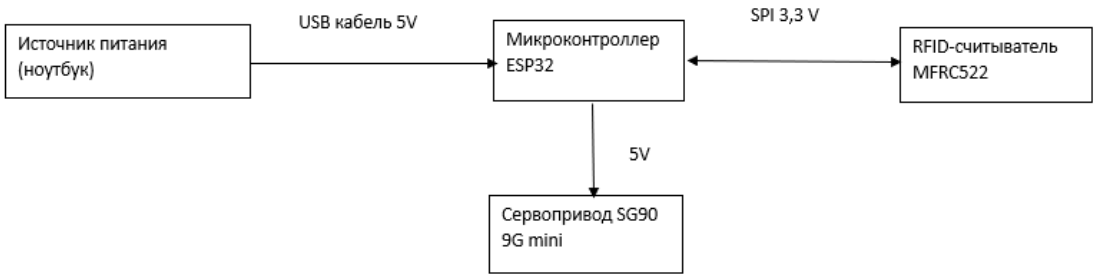


Рис. 1. Структурная схема прототипа системы контроля входа/выхода

Выбор конкретных компонентов для системы управления доступом на основе RFID, таких как микроконтроллер ESP 32, RFID-считыватель MFRC 522 и сервопривод SG90, может быть обусловлен несколькими факторами.

Микроконтроллер ESP 32

ESP32 является популярным микроконтроллером, который обладает мощными вычислительными возможностями и поддерживает беспроводные коммуникации, такие как Wi-Fi и Bluetooth. Он также имеет достаточное количество входов/выходов (GPIO) для подключения других компонентов, включая RFID-считыватель и сервопривод. ESP32 обеспечивает гибкость и

простоту в разработке, а также обладает достаточной производительностью для обработки данных с RFID-считывателя и управления сервоприводом [2].

RFID-считыватель MFRC 522

MFRC522 является популярным RFID-считывателем, который работает на частоте 13,56 МГц. Он обеспечивает надежное считывание данных с RFID-тегов и поддерживает различные протоколы, такие как ISO/IEC 14443 Type A/B. MFRC522 имеет достаточную дальность считывания для большинства приложений управления доступом и поддерживает функции аутентификации и шифрования данных. Он также имеет документацию и библиотеки, которые облегчают интеграцию с микроконтроллерами, включая ESP32.

Сервопривод SG90 9G Mini (Tower Pro Compatible) [3]

Сервопривод SG90 9G Mini является небольшим и недорогим сервоприводом, который обеспечивает угол поворота в 360 градусов. Он является популярным выбором для различных проектов, включая системы управления доступом. SG90 9G Mini обладает небольшим размером, низким потреблением энергии и достаточной точностью позиционирования для открытия двери или выполнения других действий при успешной аутентификации. [4]

Данная система, основанная на коде для управления RFID-считывателем и сервоприводом, использует следующий алгоритм

1. *Инициализация.* Начинается с инициализации системы, подключения необходимых компонентов и объявления переменных.

2. *Ожидание считывания RFID.* Система ожидает считывания RFID-тега.

3. *Считывание идентификатора тега.* Когда RFID-считыватель обнаруживает тег, система читает идентификатор тега.

4. *Проверка доступа.* Идентификатор тега сравнивается с предварительно заданными значениями (например, «1193818595» или «2293818595») для проверки доступа.

5. *Управление доступом.* Если идентификатор тега соответствует одному из предварительно заданных значений, то система предоставляет доступ, выводит сообщение «Access Granted!» и поворачивает сервопривод на 90 градусов.

6. *Ожидание.* После предоставления доступа система ждет определенное время

7. *Повторение.* После завершения ожидания система возвращается к ожиданию нового считывания RFID-тега и повторяет процесс.

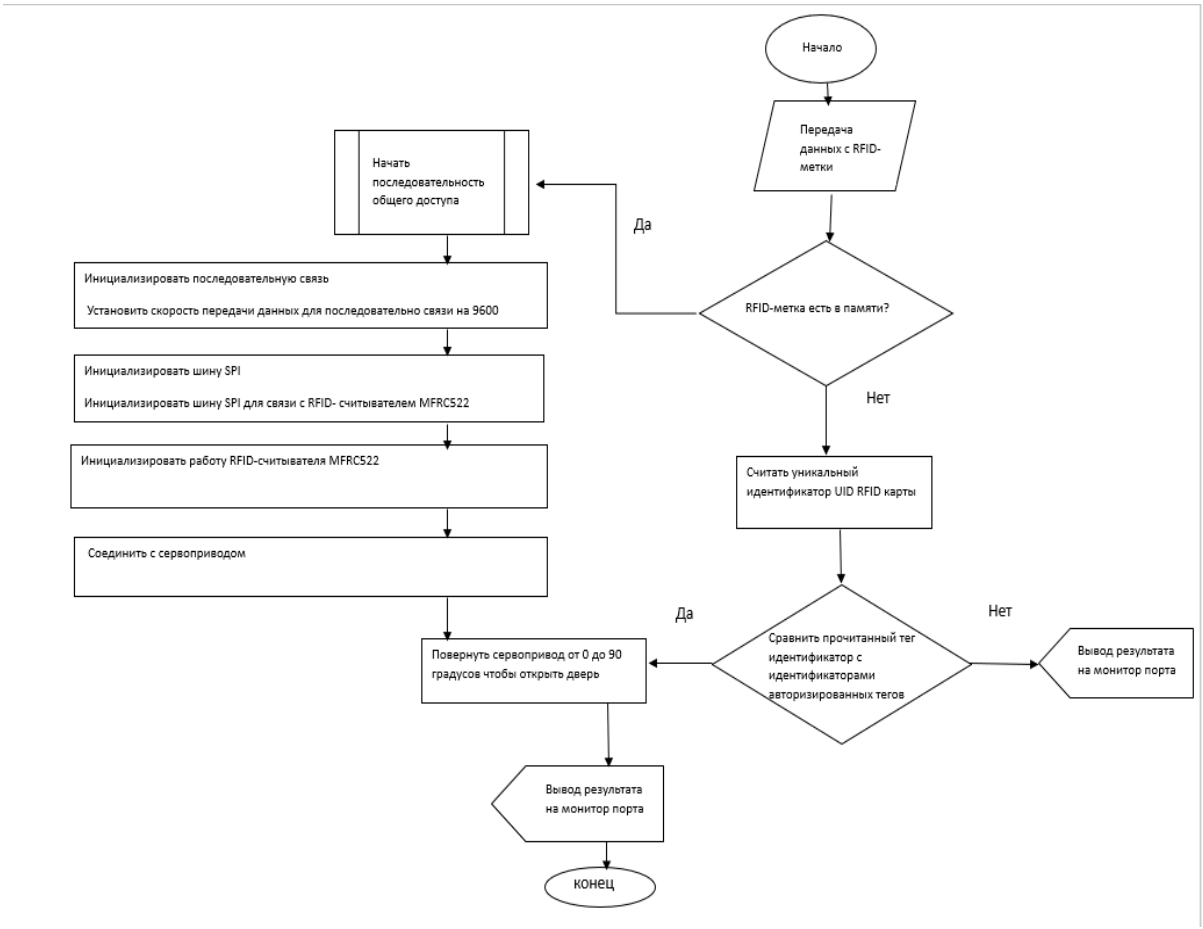


Рис. 2. Алгоритм управления RFID-считывателем и сервоприводом

Этот алгоритм позволяет управлять доступом на основе считывания RFID-тегов и управлять сервоприводом для открытия двери или выполнения других действий при успешной аутентификации.

Не менее важным этапом в разработке является тестирование системы.

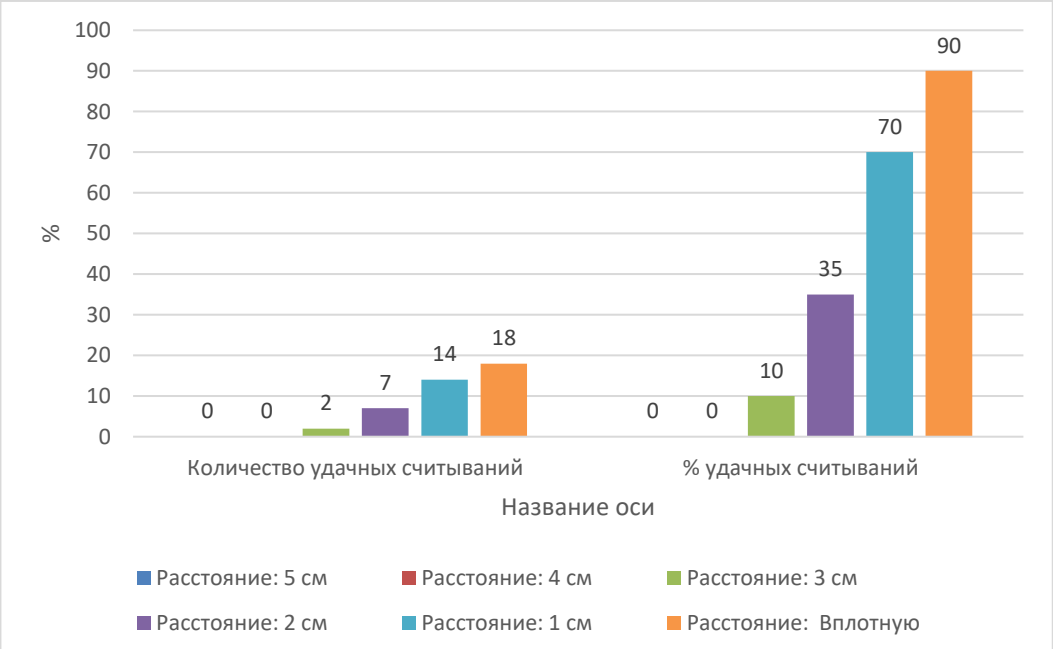


Рис. 3. Зависимость % успешных срабатываний от расстояния до метки

В разработанной системе считывание метки срабатывает в основном при прикладывании ее почти вплотную к считывателю, потому как система является прототипом и радиус действия недостаточный. Это происходит из-за характеристик RFID метки и из-за ограничения дальности работы RFID считывателя. Таким образом, можно сказать, что система будет полностью рабочей в реальном исполнении при использовании более мощных RFID считывателей с более чувствительными антеннами и с учетом выбора оптимальной для них RFID метки. Также можно использовать усилители сигнала и попробовать разместить RFID считыватель в другом положении. Это приведет к увеличению дальности считывания RFID метки.

Список используемых источников:

1. Буклагин Д. С. Цифровые технологии и системы управления в животноводстве // Техника и технологии в животноводстве, 2020. № 4 (40). С. 105–112.
2. Arduino_ESP32_OTA / Github: website. URL: https://github.com/arduino-libraries/Arduino_ESP32_OTA (access date 25 Oct., 2024).
3. Arduino RFID Library for MFRC522 / Github: website. URL: https://github.com/miguelbalboa/rfid (access date 25 Oct., 2024).
4. Library Servo / Arduino: website. URL: https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/ (access date 25 Oct., 2024).

Nesterchuk P. **DEVELOPMENT OF AN RFID-BASED ACCESS CONTROL AND LIVESTOCK TRACKING SYSTEM.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper addresses the key issues of digital technology and control systems implementation in livestock farming. In this context, a system design using RFID technology to automate animal monitoring processes in a modern farming environment is presented, regarding the reason for selecting specific elements, component selection, algorithm implementation, software development and system assembly. The prototype technology installation was tested for real-time animal tracking and access control based on RFID tag authentication. The results prove the RFID technology in present livestock farming to enable facilitated automation and to improve animal welfare and management.

Key words: automation, Arduino IDE, ESP32 microcontroller, animal monitoring, farm management.

УДК 621.396, 004.42
ГРНТИ 47.01.75

РАЗРАБОТКА ПЛАНИРОВЩИКА СЕТЕЙ Wi-Fi НА ОСНОВЕ TELEGRAM ЧАТ-БОТА

М. И. Хечуев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Повсеместная цифровизация подразумевает не только расширение существующих систем беспроводного доступа, но развертывания новых сетей. Планирование сети Wi-Fi трудоемкий и затратный процесс, зачастую, недоступный для малого бизнеса. Представленный в статье алгоритм планирования сети Wi-Fi основывается на расчете нагрузки на сеть. Алгоритм планирования выполнен на основе чат-бота для мессенджера Telegram, с использование библиотеки Aiogram.

планирование Wi-Fi сетей, автоматизация, сетевые технологии, Wi-Fi

Технология беспроводного доступа к сети Wi-Fi находится на пике своей популярности и востребованности. Клиенты активно используют сеть для доступа в интернет, в домах, по транспорте, в офисах, учебных заведениях. Повсеместное распространение таких сетей подразумевает работу специалистов соответствующей квалификации для выполнения задач по планированию и настройке сетей Wi-Fi, стоит учитывать, что работа таких специалистов требует определенных финансовых вложений, что не всегда предоставляется доступным. Исходя из этого, возникает запрос на самостоятельное выполнение этих задач, что осложняется необходимостью изучения специальной литературы, соблюдения особенностей оборудования. В качестве потенциального способа решения этой проблемы был разработан алгоритм для планирования сети Wi-Fi на основе чат-бота в мессенджере Telegram.

При разработке алгоритма планирования сети Wi-Fi для неспециализированного пользователя нужно учитывать несколько ключевых аспектов:

– информативность – предоставляет пользователю необходимые данные, без требований к высокой квалификации;

– вариативность – с возможностью гибкой настройки, охватывающей большинство потенциальных запросов;

– доступность – расположен в открытом доступе на популярной платформе.

Следует понимать, что планирование сети Wi-Fi крайне комплексная задача, необходимо учитывать параметры, влияющие на эффективность конеч-

ной сети, такие как особенности среды распространения, устойчивость к высоким пользовательским нагрузкам. Большинство ошибок при планировании сети проявляют себя при работе в нестандартных сценариях, что становится особенно критическим при работе с корпоративными сетями. Важную роль играет структура траффика, что сказывается на утилизации эфирного времени [1]. Это важные составляющие качественного планирования сети Wi-Fi, но в рамках разработки алгоритма для планирования менее масштабных проектов допускается отказаться от учета некоторых параметров в пользу доступности и информативности для неспециализированного пользователя.

Алгоритм подразумевает наличие некоторых входных данных от пользователя:

– количество клиентов сети – участвует в расчете требований по трафику при работе в сети;

– площадь помещения – нужно для расчета необходимо количества точек доступа Wi-Fi;

– сценарий использования сети – определяет вид популярного типа трафика, который влияет на требования к сети;

– поколение технологии Wi-Fi – влияет на скорость работы сети Wi-Fi и требуемое количество точек доступа Wi-Fi.

Несмотря на то, что среди входных данных есть площадь, алгоритм планирования сети Wi-Fi основан на расчетах нагрузке на сеть. Это объясняется тем, что для реализации планирования на основе карты покрытия нужно использовать дополнительные средства графического представления.

В ходе работы алгоритма рассчитываются следующие параметры сети:

– нагрузка на сеть, которую создает один клиент сети, она зависит от типа трафика и сценария, которую выбрал пользователь;

– общая нагрузка на сеть всеми потенциальными клиентами сети;

– рекомендуемое количество точек доступа.

Для расчета нагрузки на сеть, была использована следующая методика расчета. Изначально рассчитывается нагрузка на сеть, создаваемая одним пользователем, в зависимости от выбранного сценария использования:

$$traffic_{\text{для одного клиента сети}} = C_1 + C_2 + \cdots + C_{n-1}$$

где C_n – нагрузка на сеть, создаваемая типом трафика n.

$$traffic_{\text{для всех клиентов сети}} = (traffic_{\text{для одного пользователя}} \times k) \times a$$

где k – коэффициент параллельности, учитывающий то, что клиенты потребляют трафик неравномерно; a – общее число клиентов сети. Количество точек

доступа рассчитывается исходя из максимальной пропускной способности одной точки доступа, в реальных условиях.

Разработанный алгоритм может выступать лишь инструментом для первичного, «чернового» планирования сети Wi-Fi, это обусловлено тем, что с масштабированием алгоритма теряется точность. Однако такое решение упрощает задачу построения небольших сетей, может помочь при оценке фронта работ, что будет полезно в разговоре с потенциальным исполнителем.

В качестве платформы для реализации алгоритма был выбран мессенджер Telegram, который обрел большую популярность за последние несколько лет. Мессенджер обладает широким инструментарием для разработки приложений на основе чат-ботов. Алгоритм разработки чат-бота включает в себя несколько этапов.

1. Создание и регистрация бота в Telegram.

Для выполнения этой операции необходимо выбрать уникальную ссылку для будущего бота, получить token, для интеграции в свой программный код.

2. Выбор языка программирования.

Самым популярным языком программирования является Python, это обусловлено основной задачей языка – разработка backend составляющей. В настоящий момент для разработки Telegram чат-ботов на Python используется две библиотеки: aiogram и pyTelegramBot. Первая больше подходит для разработки асинхронных сервисов. Учитывая этот фактор был выбран aiogram.

3. Разработка.

Ввод данных от пользователя реализован с помощью in-line клавиатуры (рис. 1):

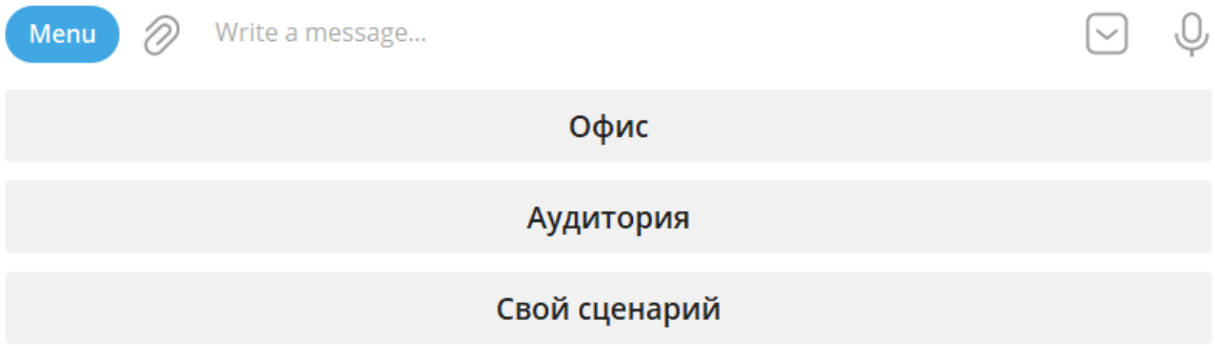


Рис. 1. In-line клавиатура

Для минимизации ошибок при вводе данных пользователем в сообщениях от чат-бота были расписаны примеры (рис. 2).

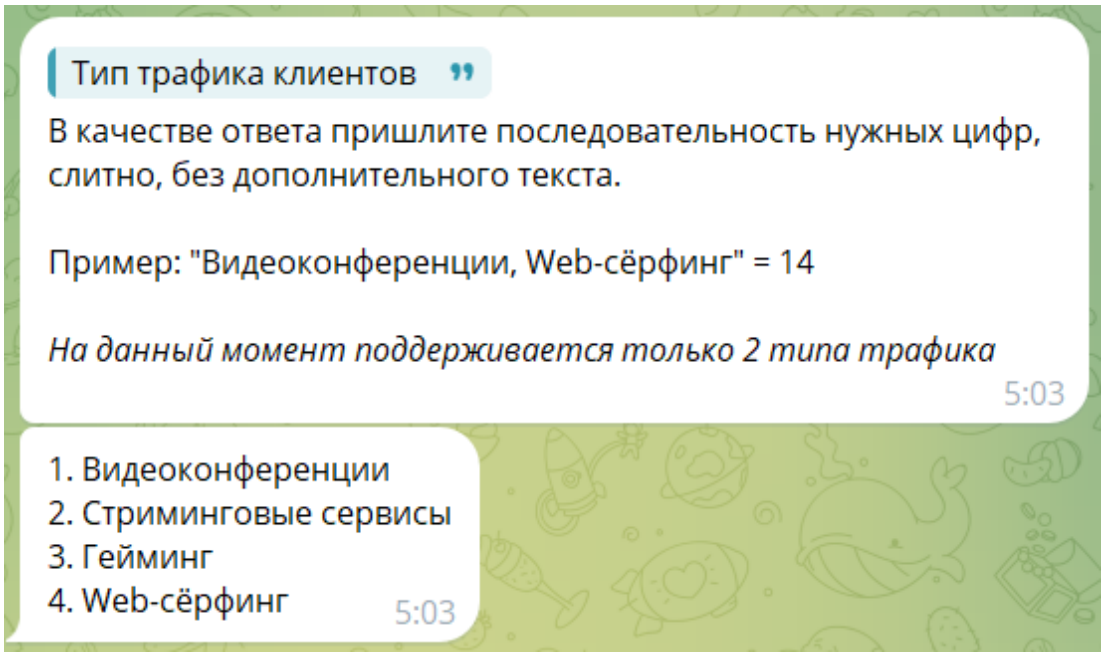


Рис. 2. Пример корректного ввода

Результат формируется в виде ответного сообщения, с применением принципов разметки для лучшей читаемости (рис. 3).

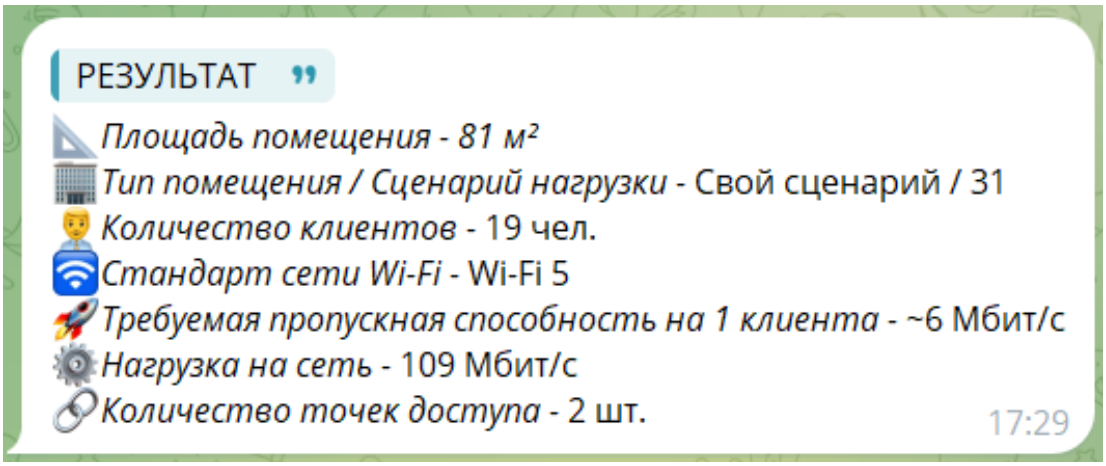


Рис. 3. Результат работы чат-бота

Чат-бот не оснащен подключенной базой данных для хранения результатов работы. Для реализации сохранения результатов работы алгоритма был использован механизм состояний (state). На рисунке 4 изображена блок-схема записи значения пользователя в переменную входных данных.

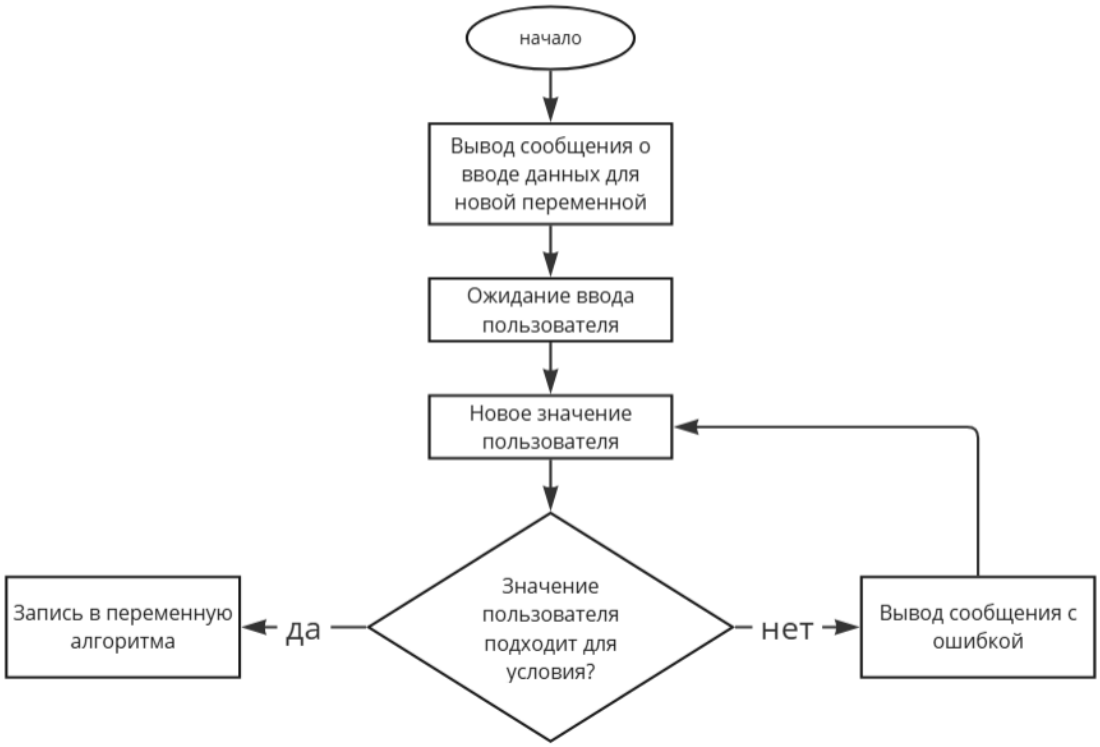


Рис. 4. Механизм состояний для записи входных данных

При формировании результата создается строка, готовый шаблон сообщения, в котором отражены уникальные состояния для каждой переменной. Код выводи в консоль результат работы алгоритма. После повторного запуска алгоритма, состояния обнуляются, но результат работы сохраняется в диалоге с чат-ботом.

Такой чат-бот и алгоритм можно считать рабочими прототипами, которые, безусловно, требуют доработки и расширения возможностей. В то же время, чат-бот полностью функционален и может выступить в качестве полезного инструмента для планирования сетей Wi-Fi.

Список используемых источников:

1. Aiogram 3.15.0 documentation. URL: https://docs.aiogram.dev/en/v3.15.0/ (дата обращения 07.11.2024).
2. Lavrukhin V., Simonina O., Volodin E. An experimental study of the key QoS parameters in public Wi-Fi networks // 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). IEEE, 2014. PP. 198–203.

Khechuev M. **DEVELOPMENT A TELEGRAM-BOT Wi-Fi NETWORK PLANNER.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Ubiquitous digitalization means not only the expansion of existing wireless access systems, but also the deployment of new networks. Wi-Fi network planning is a time-consuming and costly process, often unaffordable for small businesses. The Wi-Fi network planning algorithm presented in this paper is based on network load calculation. The planning algorithm was realized in Telegram, using the Aiogram library.

Key words: Wi-Fi network planning, automation, network technologies, Wi-Fi.

УДК 654.16
ГРНТИ 49.43.29

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ К РАДИОКАНАЛАМ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Н. О. Шестаков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В условиях стремительного развития мобильной связи и повсеместного использования смартфонов и других устройств с поддержкой беспроводных технологий, обеспечение информационной безопасности становится одной из ключевых задач операторов связи и разработчиков оборудования. Радиоканал является уязвимым звеном в цепочке передачи данных между мобильными устройствами и базовыми станциями, поэтому существует большое количество методов защиты информации, передаваемой через этот канал. В данной статье проведен анализ основных методов защиты радиоканала в мобильных сетях.

информационная безопасность, мобильная связь, радиоканал

Радиоканал с точки зрения обеспечения безопасности является слабым звеном, особенно на уровне абонентского доступа. Поэтому разработка и совершенствование методов защиты информации в радиоканалах являются важным направлением исследований и разработки.

Одним из самых распространенных способов защиты информации при передаче по радиоканалу любого типа является шифрование данных. Этот метод заключается в преобразовании исходной информации таким образом, чтобы она стала недоступной для несанкционированного доступа без знания ключа расшифровки. Современные мобильные сети используют различные алгоритмы шифрования, такие как *AES* (*Advanced Encryption Standard*), *SNOW* 3G и *ZUC*, которые обеспечивают высокий уровень защиты от атак [1].

Для предотвращения несанкционированного подключения к сети используется механизм аутентификации. Это процесс проверки подлинности пользователя или устройства перед предоставлением доступа к сетевым ресурсам. В мобильных сетях применяются различные методы аутентификации, включая SIM-карты, сертификаты и биометрические данные.

Протоколы безопасности играют важную роль в защите радиоканалов. Они определяют правила взаимодействия между различными компонентами системы и обеспечивают защиту от атак путем установления безопасных со-

единений и контроля доступа. Примеры таких протоколов включают *IPsec*, *TLS* и *DTLS*.

Современные методы защиты радиоканалов в мобильных сетях представляют собой сложный набор инструментов и технологий, направленных на предотвращение несанкционированного доступа, перехвата и модификации данных. Каждый из рассмотренных методов имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому выбор конкретного подхода зависит от специфики задачи и условий эксплуатации сети. Важнейшим принципом остается комплексный подход, который сочетает в себе несколько уровней защиты для достижения максимального эффекта.

Важным аспектом защиты радиоканалов является динамическое управление криптографическими ключами [2]. Ключи шифрования должны регулярно обновляться, чтобы минимизировать риски, связанные с их компрометацией. Современные стандарты мобильной связи предусматривают автоматическое обновление ключей после каждого сеанса связи или через определенные промежутки времени. Например, в стандарте *LTE* используется процедура обновления ключей, которая называется *Key Refresh*. Эта процедура позволяет обеспечить высокую степень защиты даже в случае перехвата части трафика.

Атаки типа *MITM* («человек посередине») представляют собой серьезную угрозу для безопасности радиоканала [3]. В ходе такой атаки злоумышленник перехватывает связь между двумя сторонами и пытается выдать себя за одну из них. Такая атака имитирует работу базовых станций (БС) сотовых операторов и называется ложной базовой станцией (ЛБС). При этом злоумышленники получают возможность не только прослушивать абонентские терминалы (АТ), просматривать СМС-сообщения, но и блокировать как отдельного абонента, так и сотовую сеть в целом. Также злоумышленники имеют возможность дезинформировать абонентов сотовой связи через рассылку ложных СМС-сообщений. Существует различные алгоритмы определения ложных базовых станций [3], один из которых представлен на рисунке 1.

С учетом вышеуказанных уязвимостей наиболее вероятно размещение ЛБС между имитируемой легитимной БС сотового оператора и целевыми абонентами. Причем с учетом небольших массогабаритных характеристик, а, следовательно, и энергетических возможностей ЛБС злоумышленнику придется находиться максимально близко к целевым абонентам. Исходя из этого, расстояния от целевого абонента до ЛБС и имитируемой легитимной БС сотового оператора будут отличаться. Это и является критерием обнаружения ЛБС.

При обнаружении ЛБС злоумышленника применяется обобщенный алгоритм противодействия несанкционированного доступа к информации абонента сотовой связи [3], который приведен на рисунке 2.

На шаге 1 при наличии голосовой передачи подается команда об окончании сеанса связи в соответствии со спецификациями. Далее устанавливается запрет на АТ на инициализацию новых голосовых и текстовых передач. На шаге 2 из списка соседних легитимных БС, находящегося в памяти АТ, АТ выбирает БС, с удовлетворяющим критерием привлекательности. В стандартах сотовой связи *UMTS* и *LTE* в качестве критерия привлекательности выступает максимальный уровень сигнала базовой станции. В стандарте сотовой связи *GSM* в качестве критерия привлекательности выступает максимальная сумма уровня сигнала БС на входе приемника АТ и алгоритмического параметра, задаваемого оператором в БС и широковещательно рассылаемого этой станцией своим абонентам. На шаге 3 АТ осуществляет смену обслуживающей БС и тем самым обеспечивается переподключение с ЛБС на БС, выбранную на шаге 2. На шаге 4 по полученным расстояниям от АТ до ЛБС с учетом местоположения АТ определяют разностно-дальномерным методом местоположение ЛБС, как показано на рис. 2. Также местоположение ЛБС возможно определить с помощью нескольких АТ аналогичным образом.

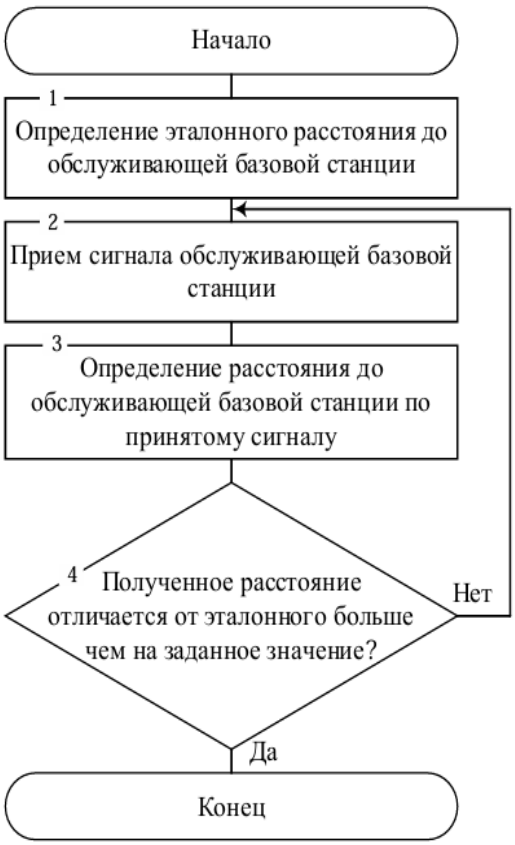


Рис.1 Алгоритм обнаружения ЛБС злоумышленника



Рис. 2. Алгоритм противодействия несанкционированному доступу к информации абонента сотовой связи

Рассмотренные методы могут быть использованы как по отдельности, так и совместно, что усиливает эффект противодействия несанкционированным действиям злоумышленника.

Анализ особенностей данных методов при атаке MITM представлен в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение методов обнаружения ложных БС

Методы	Место реализации	Критерий	Защита абонента
Обнаружение ЛБС мошенника	АТ	Расстояние до БС	нет
Противодействие доступу к информации абонента	БС	Максимальный уровень сигнала БС	Переподключение к легитимным БС

Таким образом, современные методы защиты радиоканалов в мобильных сетях представляют собой сложный набор инструментов и технологий, направленных на предотвращение несанкционированного доступа, перехвата и модификации данных. Каждый из рассмотренных методов имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому выбор конкретного подхода зависит от специфики задачи и условий эксплуатации сети. Важнейшим принципом остается комплексный подход, который сочетает в себе несколько уровней защиты для достижения максимального эффекта.

Список используемых источников

1. Климов С. М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам. Люберцы: Каталист, 2008. 316 с.
2. Климов С. М., Сычев М. П., Астрахов А. В. Противодействие компьютерным атакам. Технологические основы. М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2013. 71 с.
3. Леньшин А. В., Лихачев В. П., Ханов Э. Б. Методика моделирования отношения мощностей сигналов базовой станции и блокиратора абонентских терминалов в диапазонах частот систем подвижной радиосвязи // Теория и техника радиосвязи. 2012. № 1. С. 9-12.

Shestakov N. **ANALYSIS OF METHODS FOR IDENTIFYING FALSE BASE STATIONS DURING CONNECTION TO RADIO CHANNELS IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In today's rapidly evolving world of mobile communication, with the widespread use of smartphones and other wireless devices, ensuring information security has become a crucial task for telecom operators and device manufacturers. The radio channel, which serves as the link between mobile devices and base stations for data transmission, is a vulnerable point in the chain. Therefore, there are numerous methods available to protect information transmitted over this channel. This article will explore the main techniques used to secure the radio channel in mobile networks.

Key words: information security, mobile communications, radio channel.

2.5. Радиотехнические системы и антенны

УДК 004.93'12
ГРНТИ 47.49.27

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ТИПОВ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИМПЕДАНСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО РЕФЛЕКТОГРАММАМ ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Д. А. Агаян, А. Н. Ликонцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время используемые линии передачи являются основой функциональных узлов в радиотехнических устройствах различных диапазонов. При эксплуатации такой аппаратуры возможно возникновение чрезвычайных ситуаций связанных с наличием неоднородностей, дискретного или плавного характера на коаксиальных или полосковых линиях. Во избежание ресурсных потерь, необходимо располагать эффективными инструментами распознавания и локализации нарушения характеристик линии передачи.

В статье рассматривается идея реализации автоматического выявления неоднородностей с использованием методов цифровой обработки сигналов.

интеллектуальная рефлектометрия, обработка сигналов, распространение электромагнитных волн

Большое распространение в радиотехнических устройствах получили двухпроводные линии передачи в виде жестких конструкций радиочастотных кабелей, являющихся коаксиальными, или микрополосковыми линиями, используемыми в микротракте. При создании радиочастотных кабелей используются медные или биметаллические проводники, заполненные диэлектриком из полиэтилена или FR-4.

Неоднородности в линиях передачи возникают из-за особенностей их конструктивного выполнения (различные переходы, опоры, сочленения, изгибы и др.) и из-за введения в них дискретных активных элементов. Важно знать, как влияют неоднородности на частотные и переходные характеристики распределенных систем. Иными словами, необходимо рассмотреть круг задач,

проводя анализ свойств линий передачи одновременно в частотной и временной областях.

Первичными параметрами коаксиальной линии являются сопротивление R, индуктивность L, емкость C и проводимость G, отнесенные к единице длины линии [1] (рис. 1).

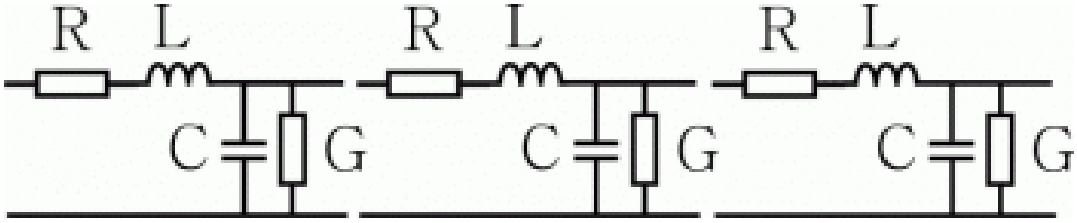


Рис. 1. Эквивалентная схема кабеля

К вторичным параметрам относятся волновое сопротивление Z и постоянная распространения электромагнитной волны $\gamma = \alpha + j\beta$, где, α - постоянная затухания, β - постоянная сдвига фазы на единицу длины.

Параметры линии передачи определяются через первичные параметры следующими выражениями:

$$Z = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}},$$

$$\gamma = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{д}} + j\beta.$$

где $\alpha_{\text{п}}$ и $\alpha_{\text{д}}$ - соответственно затухание на единицу длины, обусловленное потерями только в проводниках, и затухание, обусловленное только в диэлектрике линии. Фазовая постоянная β определяется величинами реактивных сопротивлений с учетом влияния потерь в проводниках и диэлектрике.

Активное сопротивление R, обусловленное потерями в проводниках за счет поверхностного эффекта, и проводимостью G, обусловленная потерями в диэлектрике, определяются приближенными формулами:

$$R = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu_\alpha \rho\omega}{2}}\left(\frac{k_1\xi_1}{r_1} + \frac{k_2\xi_2}{r_2}\right),$$

$$G = \omega C \tan\delta.$$

где μ_α – абсолютная магнитная проницаемость материала проводников; ρ - удельное электрическое сопротивление материала проводников, размерностью Ом · м; r_1 и r_2 - радиусы внутреннего и наружного проводников, размерностью М; k_1, k_2 - коэффициенты, учитывающие особенности биметаллических проводников, $\xi_1 = \xi_2 = 1$ для монометаллических проводников; $\tan\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь материала диэлектрика.

Особый интерес создают высокие частоты зондирующего импульса, так как в этой области $R << \omega L$ и $G << \omega C$, тем самым:

$$Z = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

При увеличении индуктивной составляющей волновое сопротивление в этой точке растет, что приводит к возникновению отклика положительной полярности (рис. 2), а при увеличении емкостной составляющей волновое сопротивление уменьшается в точке отражения, что приводит к образованию отклика отрицательной полярности (рис. 3).

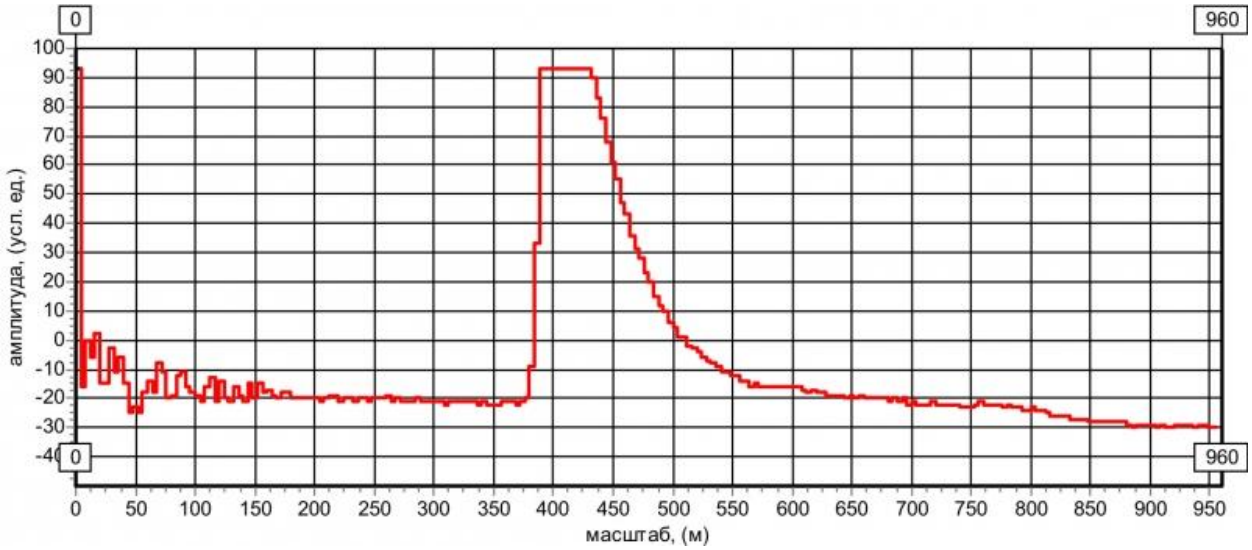


Рис. 2. Рефлектограмма КЛ с неоднородность типа “полный обрыв кабеля”

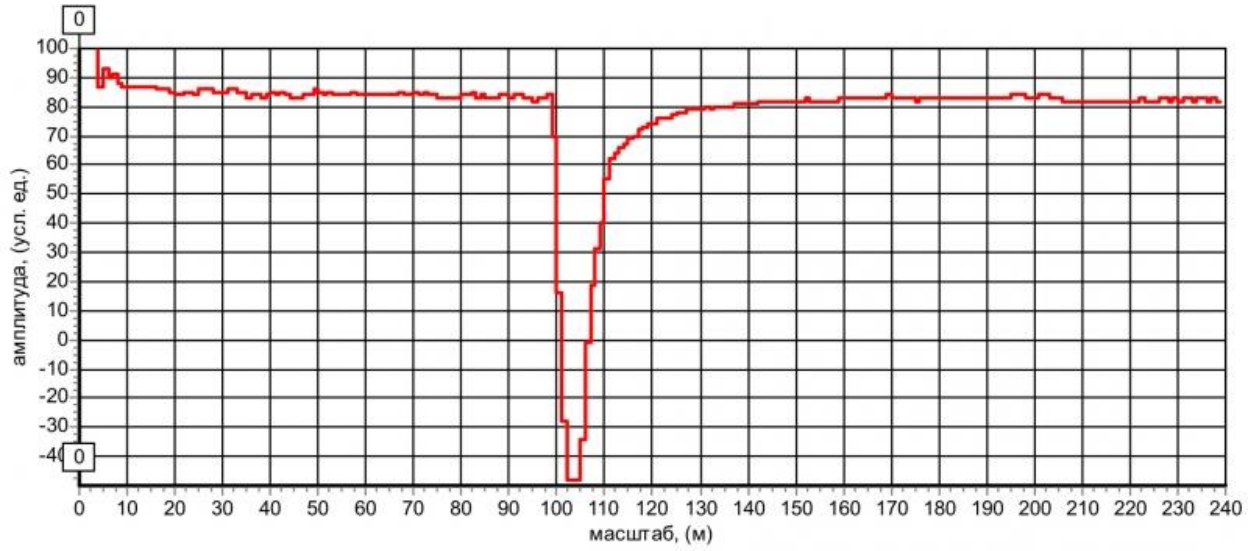


Рис. 3. Рефлектограмма КЛ с неоднородностью типа «полное короткое замыкание»

Зондирующий импульс распространяется по линии со скоростью сигнала ϑ, которая является характеристикой кабеля. Эта скорость может быть при-

мерно описана через относительную диэлектрическую проницаемость материала изоляции и вычислена по формуле:

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \text{с}.$$

Таким образом, корень из диэлектрической проницаемости, который входит в формулу скорости распространения зондирующего импульса, может использоваться для определения скорости сигнала. Эта величина описывает отношения скорости света в вакууме сигнала в кабеле к скорости распространения сигнала. Это отношение обозначено как коэффициент укорочения [2]:

$$\text{КУ} = \frac{c}{\vartheta}.$$

При измерении линии передачи с ростом расстояния наблюдаются два эффекта - уменьшение амплитуды и увеличение длительности импульса. Указанные изменения вызваны непрерывностью амплитудно-частотной и фазовой характеристик кабеля. Используемый в рефлектометрии зондирующий импульс прямоугольной формы имеет широкий спектр, а скорость распространения и затухание сигнала в кабеле зависят от частоты. Таким образом составляющие исходный сигнал гармоники распространяются с разной скоростью и по-разному затухают, что и приводит к искажению первоначальной формы импульса [3] (рис. 4).

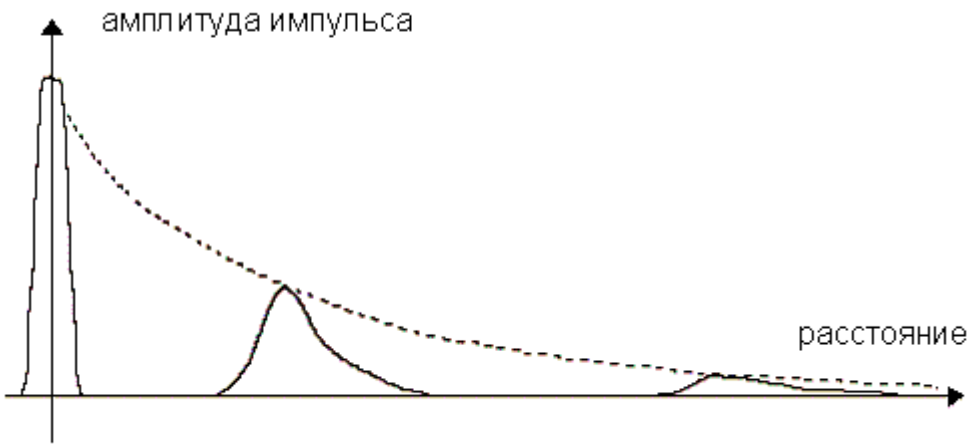


Рис. 4. Искажение сигнала при распространении в кабельной линии

С учетом физических процессов, происходящих в линии передачи при выполнении измерения, важно выставить следующие требования к разрабатываемому алгоритму автоматического определения неоднородностей:

1. В линии передачи присутствует шумовая составляющая (что может создать ситуацию ошибочного считывания незначительных потерь), которую необходимо подавить различными методами цифровой обработки сигналами.

2. Следует учитывать изменение амплитуды и длительности зондирующего импульса, подобрав оптимальный уровень коэффициента усиления.

3. Исходя из свойств измеряемой линии передачи, выставить подходящий коэффициент укорочения.

В рассмотренных статьях по интеллектуальной рефлектометрии основную функциональность содержит база знаний, состоящая из большого количества рефлектограмм, снятых при разных ситуациях, с которыми проводилось сравнение текущей [4, 5].

Уникальность предлагаемого алгоритма в данной статье заключается в том, что база знаний с множеством рефлектограмм отсутствует. Процесс оценки текущей рефлектограммы происходит путем выявления заранее подготовленных признаков.

При подготовке пачки данных для построения признаков неоднородностей, некоторая часть шумовой составляющей устраняется методом усреднения, с помощью формулы:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}.$$

где S – усредненная рефлектограмма, n – порядок усреднения, x_i – номер рефлектограммы.

После проведенного усреднения, применяется фильтрация низких частот (обрезаются все верхние частоты, превышающие частоту зондирующего импульса). Частота зондирующего импульса высчитывается из его длительности τ, например, $\tau = 10$ нс $\rightarrow f = 100$ МГц.

Далее осуществляется переход из временной области, в частотную (с целью повышения информативности), что позволит зафиксировать различие в гармониках между местом присутствия неоднородности и ее отсутствия, тем самым определив какую-то часть признаков, которые станут основой в работе алгоритма.

Список используемых источников

1. Глебович Г. В., Ковалев И. П. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов. М.: «Сов. радио», 1973. 224 с.

2. Былина М., Глаголев С. Особенности практического использования рефлектометров во временной области // Первая миля. 2014. Т. 1. №. 4. С. 68–79.

3. Блохина М. И., Дементьев С. С. Диагностика воздушных линий электропередачи с применением системы интеллектуальной импульсной рефлектометрии // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2020. № 6. С. 5–10.

4. Шагиев Р. И. Имитационная модель локационного метода диагностики электролиний с древовидной топологией // Журнал радиоэлектроники, ISSN 1684-1719, N 10, 2016.

5. Обалин М. Д., Колобанов П. А. Интеллектуальный алгоритм одностороннего определения места повреждения на линиях электропередачи // Радиоэлектроника. 2016. № 10. С. 84–92.

Agayan D., Likontsev A. **DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR RECOGNITION AND LOCALIZATION OF THE MAIN TYPES OF IMPEDANCE INHOMOGENEITIES OF ELECTRICAL CABLE LINES USING TIME DOMAIN REFLECTOGRAMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Currently used transmission lines are the basis of functional units in radio devices of various ranges. When operating such equipment, emergency situations may arise due to the presence of discrete or smooth inhomogeneities on coaxial or strip lines. To avoid resource losses, it is necessary to have effective tools for recognizing and localizing violations of transmission line characteristics.

The article discusses the idea of implementing automatic detection of inhomogeneities using digital signal processing methods.

Key words: Intelligent reflectometry, signal processing, electromagnetic wave propagation.

УДК 654
ГРНТИ 49

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

А. Н. Барышникова, А. Н. Ликонцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе рассматривается гибридная система сотово-спутниковой связи, состоящей из базовых станций технологии 5G и низкоорбитальных спутников, а также разрабатывается модель расчета параметров рассматриваемой системы. В модели рассчитываются такие параметры как период обращения, скорость движения спутника, продолжительность сеанса связи, ЭИИМ, доплеровский сдвиг частоты и другие ключевые параметры низкоорбитальных спутников.

5G, орбитальный период, сеанс связи, ЭИИМ, доплеровский сдвиг частоты

Выбранная для исследования система связи – гибридная система спутниково-сотовой связи. Такая система в данный момент находится в разработке. Благодаря технологии гибридной связи будет возможно пользоваться не только обычной сотовой сетью с любого смартфона, поддерживающего 5G, но и подключаться к спутникам, находящимся на низкой орбите. При этом подключение поддерживает как звонки, так и передачу данных. Но для полноценной работы нужно развертывание большой группировки низкоорбитальных спутников.

Рассмотрим случай, когда система состоит из двух базовых станций (БС) мобильной связи, поддерживающих технологию 5G, и двух низкоорбитальных спутников.

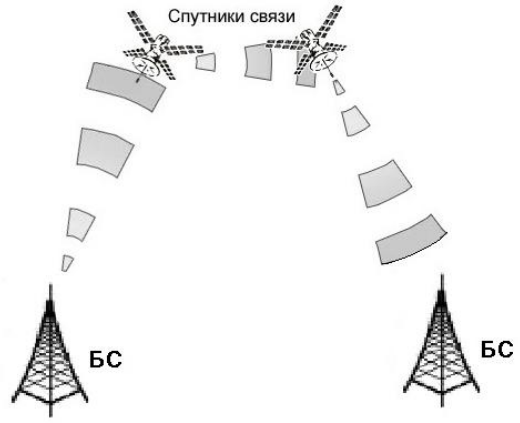


Рис. 1. Исследуемая система связи

При исследовании цепочки спутников будет взята за основу система Starlink, которая в данный момент занимается разработкой гибридной сети.

В то время как уже существующий сервис Starlink работает на частотах, порядка 10 000 - 12 000 МГц, поддержки таких частот нет ни у одного мобильного смартфона. У них нет лицензии на излучение в этом диапазоне. Это означает, что спутник будет нести базовую станцию мобильной связи и, возможно, часть функций ядра сети [1]. В данной работе будет рассмотрен случай, когда спутники работают как ретрансляторы, а БС располагаются на Земле.

Для работы спутниковой связи могут быть выделены частоты в диапазоне 1950–1965 МГц для отправки сигналов с Земли на спутник и 2140–2155 МГц (S-диапазон) для сигналов в обратном направлении [2]. Межспутниковая связь работает в диапазоне Ka.

Для моделирования была выбрана программная среда Mathcad. В программе проводился расчет трех пролетов исследуемой системы: Земля-спутник, спутник-спутник и спутник-Земля (рис. 1). На каждом этапе был выполнен энергетический расчет, а так же расчет доплеровского сдвига частоты.

Для первого пролета была выбрана частота 1960 МГц, для второго – 11226 МГц, для третьего пролета – 2150 МГц, выбранная аппаратура: две БС 5G, спутник STARLINK-32028 и спутник STARLINK-31571.

Расчет орбит:

Орбитальный период — время, за которое небесное тело совершает полный оборот на орбите вокруг внешнего центра притяжения [3].

Период обращения спутника:

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}\ [\text{сек}],$$

где μ = 398600.8 – геоцентрическая гравитационная постоянная км^3/с^2;

a – большая полуось орбиты, км.

Высота ССО:

$$h = a - R_e\ [\text{км}],$$

где R_e = 6371 радиус Земли, км.

Скорость движения спутника:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_e + h}}\ [\text{м/с}],$$

где M = 5.9742·10^{24} кг – масса Земли;

$G = 6.67408 \cdot 10^{-11}$ м^3/(с^2·кг) – гравитационная постоянная.

Площадь зоны радиовидимости в предположении сферичности Земли:

$$S = 2\pi \cdot R_e^2 \cdot (1 - \cos(\alpha))\ [км^2],$$

где: a – центральный угол.

Продолжительность сеанса связи спутника:

$$T = \frac{d}{v}\ [сек],$$

где d – диаметр площади радиовидимости, v – скорость движения спутника в км/с.

Результаты расчета орбит приведены в таблице 1:

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета для двух орбит

Спутник	P, мин	h, км	v, м/с	S, км2	T, мин
STARLINK-32028	94.098	482	7.628·103	5.183·106	3.167
STARLINK-31571	93.46	451	7.645·103	4.704·106	3.01

По ссылке [4] находятся характеристики орбиты спутника STARLINK в реальном времени. Посчитанные данные совпадают с данными сайта.

Энергетический расчет [5]:

Угол места:

$$\beta = \frac{arctg[(cos\Delta\lambda \cdot cos\varphi_m - 0.1513)]}{\sqrt{(1 - cos^2\Delta\lambda \cdot cos^2\varphi_m)}}\ [град],$$

где: φ_m – географическая широта земной станции, λ_s – географическая долгота подспутниковой точки, λ_m – географическая долгота земной станции.

$$\Delta\lambda = \lambda_m - \lambda_s\ [град].$$

Азимут:

$$\alpha = 180° + arctg\left(\frac{tg(\Delta\lambda)}{sin\varphi_m}\right)[град].$$

Топоцентрическое расстояние – угол между направлениями из центра Земли на точку наблюдения и на спутник (угловое расстояние между точкой наблюдения и спутником, если смотреть из центра Земли:

$$p = \cos(\varphi_m) \cdot \cos(\Delta\lambda).$$

Наклонная дальность:

$$d = \sqrt{R_з^2 + R_{орб}^2 - 2R_з R_{орб} \cdot cos\rho}\ [км],$$

где $R_з$ – радиус Земли ($R_з$ = 6,37·10^6 м), $R_{орб}$ – радиус геостационарной орбиты ИСЗ ($R_{орб}$ = 42,164·10^6 м).

Затухание сигнала в свободном пространстве:

$$L_0 = 20lgf(МГц) + 20lgd(км) + 32{,}45\ [дБ],$$

Дополнительное ослабление энергии радиоволн

$$L_{доп} = L_{атм} + L_д + L_н + L_п,$$

где $L_{атм}$ – ослабление в спокойной атмосфере, дБ, $L_д$ – ослабление в осадках, дБ (в условиях «ясного неба» $L_д$ = 0, а для S-диапазона ослабление в осадках минимально, и можно не учитывать), $L_н$ - ослабление из-за неточности наведения антенн, дБ, $L_п$ - поляризационные потери, дБ.

Формула для расчета ЭИИМ:

$$ЭИИМ = с/ш \cdot L_0 \cdot L_{доп} \cdot k \cdot T_\Sigma \cdot П_{шэ} \cdot b\ /\ (G_з \cdot \eta_{перб} \cdot \eta_{пр\,з}),$$

где k – постоянная Больцмана, $T_\sum$ – шумовая температура абонентского приемника, $П_{шэ}$ – ширина полосы пропускания абонентского приемника, $G_з$ - коэффициент усиления антенны абонентского приемника (земной станции).

Расчет доплеровского смещения частоты:

$$Fd = -F \cdot \frac{2 \cdot v \cdot \cos(\alpha)}{c}\ [кГц].$$

Результаты энергетического расчета приведены в таблице 2:

ТАБЛИЦА 2. Результаты энергетического расчета для трех пролетов

Пролет	β, град	α, град	d, км	L_0, дБ	$L_{доп}$, дБ	T_Σ, К	Gз, дБ	ЭИИМ, дБ	Fd, кГц
1	12	193	7.5·10^3	176	0.45	219	21	41	97
2	17	265	6.8·10^3	194	0.35	214	40	48	0,18
3	23	187	6.5·10^3	175	0.45	219	32	24	108

Вывод: разработанная модель позволяет рассчитать как параметры орбиты, так и параметры сигнала. Данную модель можно масштабировать и применять в дальнейших исследованиях. Расчет показал, что система гибридной связи работоспособная, значения доплеровского смещения частоты, а так же других рассчитанных параметров, находятся в пределах нормы.

Список используемых источников

1. «Direct to Cell» Starlink. URL: https://habr.com/ru/articles/818803/
2. Спутниковая связь со смартфона. URL: https://habr.com/ru/companies/x-com/articles/814131/
3. Барышникова А. Н., Ликонцев А. Н. Разработка модели расчета параметров солнечно-синхронных спутников // Сборник лучших докладов ПКМ-2023. СПбю: СПбГУТ, 2023 г. С. 83–87.
4. Technical details for satellite STARLINK-31571. URL: https://www.n2yo.com/satellite/?s=59362
5. Барышникова А. Н., Ликонцев А. Н. Использование профессионального телевизионного ресивера для исследования спутникового сигнала // Сборник конференции «Инновационные инфокоммуникации XXI века». СПБ. 2023. С. 40–42.

Baryshnikova A., Lykontsev A. **DEVELOPMENT OF A CALCULATION MODEL FOR A HYBRID SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this paper, a hybrid cellular-satellite communication system consisting of 5G technology base stations and low-orbit satellites is considered, and a model for calculating the parameters of the system in question is being developed. The model calculates parameters such as the period of rotation, the speed of the satellite, the duration of the communication session, the EIRP, the Doppler frequency shift and other key parameters of low-orbit satellites.

Key words: 5G, orbital period, communication session, EIRP, Doppler frequency shift.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 49.03.05

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ И РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА

М. К. Батенев, Е. И. Глушанков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Проводится исследование совместного алгоритма адаптации антенной решетки и разнесенного приема с целью повышения качества приема сигналов в радиотехнических системах в среде MATLAB. Осуществлено моделирование градиентного алгоритма минимума среднеквадратической ошибки на примере адаптивной антенной решетки и трех методов разнесенного приема. Проведен сравнительный анализ алгоритмов пространственно разнесенного приема и выбран наиболее эффективный для совместного использования с пространственно-временной обработкой.

адаптивная антенная решетка, пространственно-временная обработка сигналов, пространственно разнесенный прием, MATLAB

Использование адаптивных антенных решеток (ААР) остается актуальным и востребованным в современных радиотехнических системах вследствие их способности повысить помехоустойчивость и надежность беспроводных коммуникационных систем [1–3]. Объединение алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) и пространственного разнесенного приема (ПРП) на основе одной антенной решетки позволит улучшить эффективность приема сигналов и повысит выходное отношение сигнал/шум (ОСШ) в условиях воздействия на радиолинию пространственно-разнесенных с полезным сигналом энергетически мощных помех и при влиянии на качество приема многолучевого распространения радиоволн в каналах с замираниями.

Для того чтобы, количественно оценить повышение помехоустойчивости (ПУ), нужно выбрать определенный критерий ПУ. Помехоустойчивость в заданных условиях оцениваются вероятностью ошибки. Вероятность ошибки напрямую связано с параметрами энергетической эффективности (ЭЭ), характеризующей энергетические затраты на передачу одного бита информации E_b в условиях воздействия в канале белого гауссовского шума со спектральной плотностью мощности N_o, требуемые для обеспечения величины средней вероятности ошибочного приема одного символа передаваемого сообщения не выше заданного значения вследствие того, что [4]:

$$p_{\text{ош } b(s)} = f\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$$

где вид функции f(.) зависит от методов приема (когерентный – некогерентный), модуляции, способа кодирования, числа каналов разнесения и других параметров. Иногда в качестве показателя энергетической эффективности рассматривается отношение «сигнал/шум», необходимое для достижения заданного качества связи (величины вероятности ошибки на бит информации p_b), где $P_{\text{с}}$ – мощность сигнала, а $P_{\text{ш}}$ – мощность шума:

$$h^2 = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}.$$

Тогда оценить повышение помехоустойчивости системы можно будет, определив изменение ЭЭ, при этом данную величину можно назвать выигрышем от обработки сигналов, записываемым следующими образом:

$$\Delta h^2_{\text{комб}} = h^2_{\text{совм}} - h^2_{\text{разд}}.$$

В рамках данной работы рассмотрим три метода пространственно разнесенного приема [3] (рис. 1), а именно

– автовыбор (SC) (а);

– оптимальное сложение (MRC) (б);

– сложение с равными весовыми коэффициентами (EGC) (в).

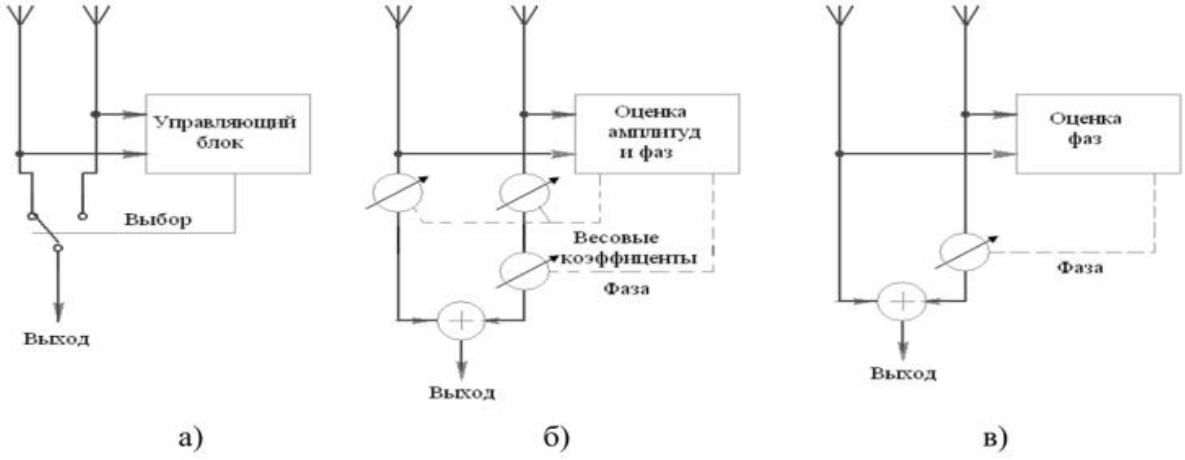


Рис. 1. Схемы разнесения на пример системе из двух антенн

В качестве антенной решетки выберем линейную эквидистантную *16*-элементную решетку с расстоянием 0.5 λ между элементами (рис. 2). Для данной решетки элементами разнесенного приема являются 1, 6, 11 и 16 элемент. В роли пространственно-временной обработки рассмотрим градиентный алгоритм минимума среднеквадратичной ошибки (МСКО).

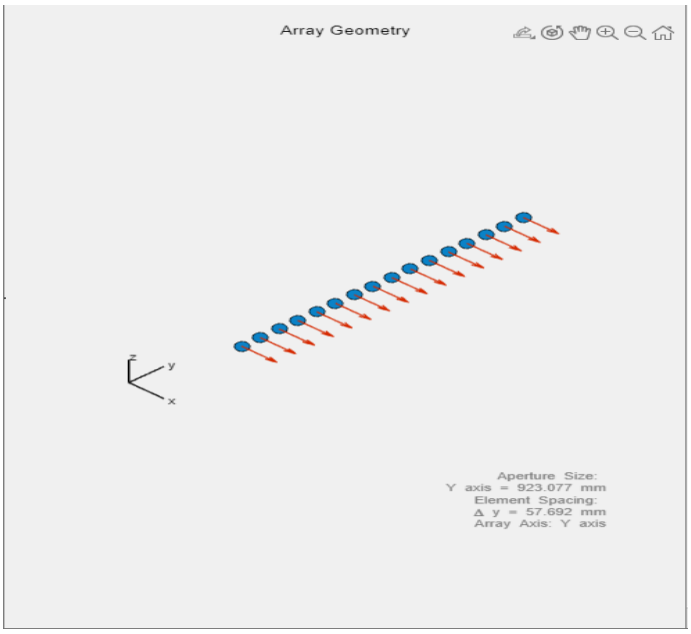


Рис. 2. Модель АР, сгенерированной в среде MATLAB

Главная особенность адаптивной антенной решетки – это возможность создания нулей в диаграмме направленности (ДН) по углам прихода помех и сдвига главного лепестка на угол прихода полезного сигнала. Работа адаптивной антенной решетки и алгоритма ПВОС представлена на рис. 3.

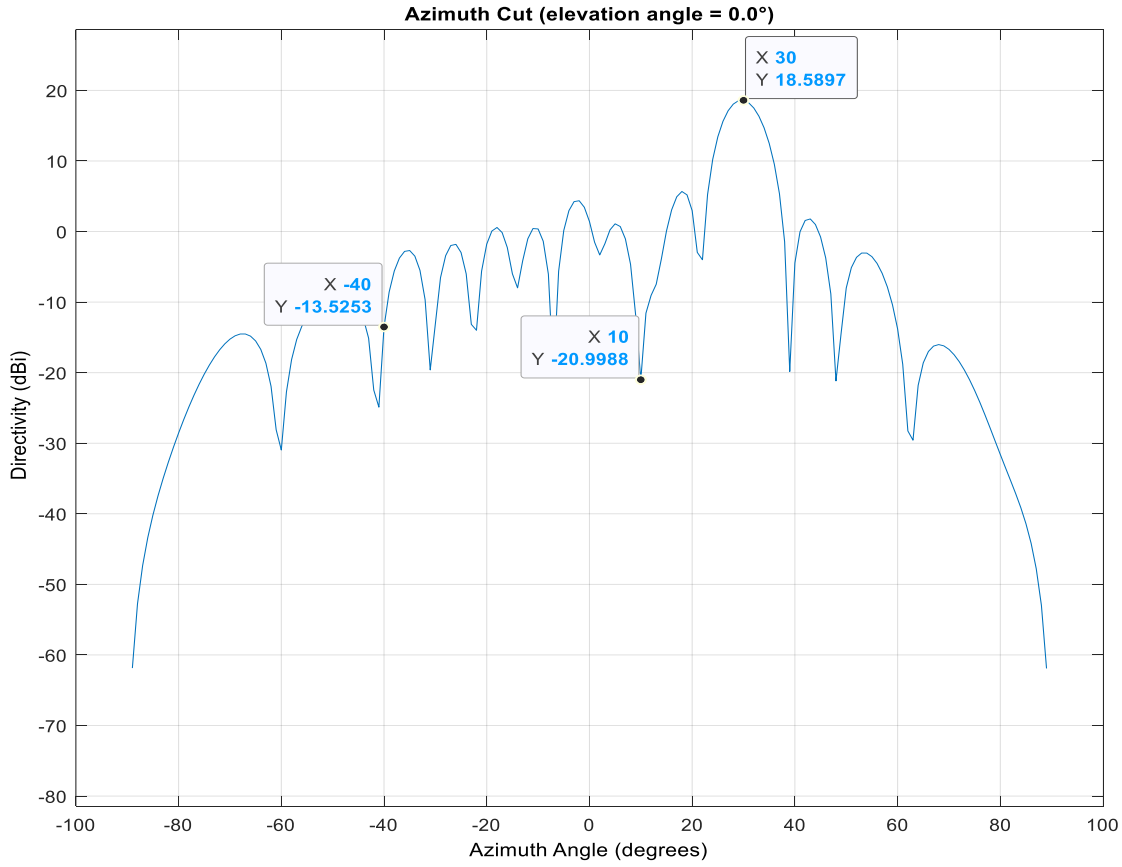


Рис. 3. ДН при двух помехах, приходящих с углов 10 и -40, и полезного сигнала с 30

Результаты работы совместных алгоритмов в условиях 2 помех приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты моделирования алгоритмов

#	Алгоритм	SINR, дБ	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫИГРЫШ, дБ
1	Градиентный МСКО (ПВОС)	13,14	-
2	Автовыбор + ПВОС	10,21	-2,93
3	Оптимальное сложение + ПВОС	15,89	2,75
4	Сложение с равными весами + ПВОС	14,30	1,16

Таким образом, можно сделать вывод, что алгоритм оптимального сложения является наиболее эффективным в задаче совместного использования вместе с ПВОС на примере эквидистантой 16-элементной линейной антенной решетке.

По результатам моделирования системы с применением совместного алгоритма ПВОС и ПРП можно сделать вывод, что использование алгоритма оптимального сложения или сложения с равными весами улучшит характеристики выходного сигнала.

Список используемых источников

1. Адаптивные антенные решетки. Часть 1. Под ред В.А. Григорьева. СПб: Университет ИТМО, 2016. 182 с.
2. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию / Пер. с англ. Под ред. В. А. Лексаченко. М.: Радио и связь, 1986. 446 с.
3. Андронов И. С., Финк Л. М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам // М.: Советское радио, 1971. 408 с.
4. Варгаузин В. А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учеб. пособие / В. А. Варгаузин, И. А. Цикин. — СПб.:БХВ-Петербург, 2013. 352 с.

Batenev M., Glushankov E. **INVESTIGATION OF A JOINT ALGORITHM FOR ADAPTIVE SPACE-TIME PROCESSING AND SPACED RECEPTION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this paper is studied the problem of synthesizing a combined algorithm for adaptation of antenna array and spaced reception to improve the quality of signal reception in radio engineering systems in MATLAB environment. Modeling of the gradient algorithm of the minimum RMS error minimization on the example of an adaptive antenna array and three methods of spaced reception is carried out. A comparative analysis of spatially separated reception algorithms is carried out and the most effective one is selected for combined use with space-time signal processing.

Key words: adaptive antenna array, space time signal processing, spatially diversity reception, MATLAB.

УДК 621.391.372
ГРНТИ 47.47.29

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ ЧАСТОТ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНЫХ И ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

В. Р. Бикбулатов, А. М. Чуднов
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Рассматриваются вопросы построения и оценки эффективности адаптивного алгоритма функционирования сети радиосвязи робототехнических объектов, функционирующей в условиях случайных и преднамеренных помех. В теоретико-игровой постановке сформулирована задача рандомизированного управления рабочими частотами радиолиний с функцией выигрыша, представленной средней скоростью передачи информации. Получены соотношения, определяющие оптимальные стратегии радиолиний при псевдослучайном синхронном переключении рабочих частот и источника помехи, составляющие равновесную ситуацию игры. Построен пример алгоритма, обеспечивающего настройку смешанных стратегий сети радиолиний и источника помехи и их сходимость к оптимальным. Результаты расчетов позволяют оценить эффективность адаптивного алгоритма и скорость сходимости процедур настройки параметров радиолиний с ППРЧ к оптимальным.

сеть радиосвязи, псевдослучайная перестройка рабочей частоты, радиоэлектронное подавление, преднамеренная помеха, помехоустойчивость, равновесная ситуация, адаптивный алгоритм

Введение

Одним из способов защиты радиолиний (РЛ) от преднамеренных помех является псевдослучайное переключение рабочих частот (ППРЧ) [1–3]. Наиболее корректный анализ и синтез алгоритмов ППРЧ в условиях преднамеренных помех осуществляется методами теории игр [4, 5], при этом в качестве противодействующих сторон принимаются система передачи информации (СПИ) и источник помехи (ИП).

ТИ-задача синтеза СПИ (точнее пары «СПИ-ИП») формулируется в виде антагонистической игры $\mathcal{G} = \langle \mathcal{X}, \mathcal{Y}; Q(\cdot) \rangle$ на множествах стратегий $\mathcal{X}, \mathcal{Y}$ игроков (СПИ и ИП соответственно) с функцией выигрыша 1-игрока (СПИ) $Q(X, Y)$ в ситуации, возникшей в результате выбора участниками конфликта стратегий (вариантов, алгоритмов). При этом функция (функционал) $Q(X, Y)$ интерпретируется как показатель, характеризующий эффективность применения варианта (стратегии) СПИ X в условиях применения ИП варианта (стратегии) Y, а $\mathcal{G}$-задача состоит в отыскании стратегий:

Для любой стратегии $X' \in \mathcal{X}$ величина $Q(X') = \inf_{Y \in \mathcal{Y}} Q(X', Y)$ называется гарантированным выигрышем 1-го игрока в $\mathcal{G}$-игре (гарантированной эффективностью СПИ); для стратегии $Y' \in \mathcal{Y}$ величина $Q(Y') = \inf_{Y \in \mathcal{Y}} Q(X, Y')$ называется гарантировано достижимым результатом в игре 2-м игроком при использовании стратегии Y'. Естественно, задача синтеза СПИ направляется на поиск варианта X, гарантирующего в классе возможных воздействий ИП максимальное значение эффективности, т. е. так называемой минимаксной стратегии СПИ. $X_ = \operatorname{argmax}_{X \in \mathcal{X}} \inf_{Y \in \mathcal{Y}} Q(X, Y)$.

Аналогичным образом синтез ИП направляется на решение двойственной к обозначенной задачи, т. е. нахождение максиминной стратегии $Y^- = \operatorname{argmin}_{Y \in \mathcal{Y}} \sup_{X \in \mathcal{X}} Q(X, Y)$.

Пара стратегий (X^*, Y^*) составляют так называемую [4,5] равновесную ситуацию $\mathcal{G}$-игры, если при всех $X \in \mathcal{X}, Y \in \mathcal{Y}$ выполняются неравенства:

$Q(X, Y^*) \leq Q(X^*, Y^*) \leq Q(X^*, Y)$.

Из записанных условий можно заключить, что изменение стратегии относительно X^*, Y^* не выгодно как для СПИ, так и для ИП, т. е. всякие попытки найти «более оптимальные» (или «обманывающие противника») стратегии будут в лучшем случае безуспешными.

Задача оптимизации алгоритма ППРЧ. Основные результаты

Одношаговые задачи оптимизации и синтеза алгоритма функционирования являются вспомогательными при решении более общей задачи синтеза адаптивного алгоритма функционирования СПИ, их решение, как правило, используется на интервале стационарности условий работы системы. Подстройка параметров радиолиний к изменяющимся условиям приводит в итоге к адаптивному функционированию ППРЧ или ППРЧ с адаптивным алгоритмом. В работе определяются принципы построения адаптивного алгоритма ППРЧ, характеризуемого следующими особенностями по отношению к исследованным в работах [6,7]:

– обеспечивает сходимость параметров, определяющих режимы излучения сигналов РЛ и ИП, к равновесным при любом стационарном (квазистационарном) состоянии среды распространения сигналов и помех;

– не предполагает предварительной оценки и задания в качестве исходных данных характеристик среды прохождения сигналов и помех от их источников до приемника РЛ, а используются итерационные процедуры настройки параметров;

– осуществляет настройку по целевой функции, характеризующей относительную скорость передачи информации при фиксированных показателях достоверности, а не вероятность ошибки в канале.

Используются обозначения: n – число выделенных РЛ рабочих частот, $\mathbb{R}_+^n$- область евклидова пространства $\mathbb{R}^n$ с неотрицательными компонентами векторов, $\mathbf{E}[\cdot], \mathrm{D}[\cdot]$ – математическое ожидание и дисперсия случайной величины (СВ), $\circ$ – операция покомпонентного умножения векторов.

Стратегия РЛ представляется вектором $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_\mathbf{n}) \in \mathbb{R}_+^n$ $(u_1 + \cdots + u_\mathbf{n} = 1)$, компонента u_i которого равна вероятности выбора на данном шаге (временном интервале) рабочей частоты с номером i. Стратегия ИП задается вектором $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_\mathbf{n}) \in \mathbb{R}_+^n, (v_1 + \cdots + v_\mathbf{n} = 1)$, компонента v_i которого равна вероятности выбора ИП для воздействия частоты с номером i и суммарным ресурсом (величиной средней относительной мощности) δ так что мощность помехи, выделяемая на i-частоте равна $v_i\delta$.

Среда функционирования РЛ задается 1) распределением мощности помехи в полосе приема сигнала в РЛ на i-частоте: $\boldsymbol{\chi} = (\chi_1, .., \chi_n) \in \mathbb{R}_+^n$ и 2) вектором коэффициентов передачи мощности помехи на вход приемника РЛ: $\mathbf{k} = (k_1, .., k_n) \in \mathbb{R}_+^n$ Не нарушая общности задачи, векторы $\boldsymbol{\chi}, \mathbf{k}$ также полагаются нормированными. При заданных стратегиях $\mathbf{u}, \mathbf{v}$ распределение суммарной мощности $\mathbf{w}$ случайных и преднамеренных помех по частотам характеризуется вектором $\mathbf{w} = \mathbf{k} \circ \mathbf{v} + \boldsymbol{\chi}$.

В качестве целевой функции при настройке параметров РЛ, представленных векторами $\mathbf{u}, \mathbf{v}$, принимался показатель вида $\psi = \mathbf{E}(\tau) + \alpha\sqrt{\mathbf{D}[\tau]}$, где $E(\tau), D(\tau)$ – среднее значение и дисперсия времени задержки τ пакета данных в РЛ, вычисляемые в процессе настройки.

Настройку стратегий РЛ и ИП удобно осуществлять на основе рекуррентной процедуры Брауна-Робинсона [5]:

1. В ситуации, сложившейся в результате реализации ИП стратегии $\mathbf{v}$, РЛ по наблюдениям вектора $\mathbf{w}$:

1.1. вычисляет оптимальную свою чистую стратегию

$i^* = argmin_i\, w_i$

модифицирует свою смешанную стратегию в последовательности

$$u_{i^*} = \frac{st}{k}, s_u = u_1 + \cdots + u_\mathbf{n}, u_i := u_i/s_u\,,$$

где st – шаг модификации, k – номер шага процедуры.

2. В ситуации, сложившейся в результате реализации РЛ стратегии $\mathbf{u}$, ИП аналогичным образом по наблюдениям вектора $\mathbf{w}$ модифицирует свою смешанную стратегию.

Заметим, что такая модификация приводит к повторению стратегии РЛ, поэтому в равновесной ситуации имеем $\mathbf{v} = \mathbf{u}$, что обеспечивает тривиальную реализацию данного шага процедуры.

Проверка критерия останова, если не выполняется, то переход к п. 1.

В примерах были использованы следующие исходные данные: $n = 20$, $w_i = rnd, k_i = rnd, \delta_1 = 20, \delta_2 = 100$, значения w_i, k_i формировались датчиком случайных чисел с равномерным распределением на [0,1]. При вычислении средней скорости передачи (битов, канальных блоков, пакетов)) использовалось условие, что на каждой рабочей частоте в РЛ включается режим помехозащиты, обеспечивающий фиксированное требуемое отношение помеха/сигнал на входе приемника за счет изменения скорости передачи R (например, путем управления базой сигнала). Графики зависимости средней относительной скорости передачи информации, обеспечиваемой РЛ на k-шаге настройки алгоритма от k приведены на рис. 1.

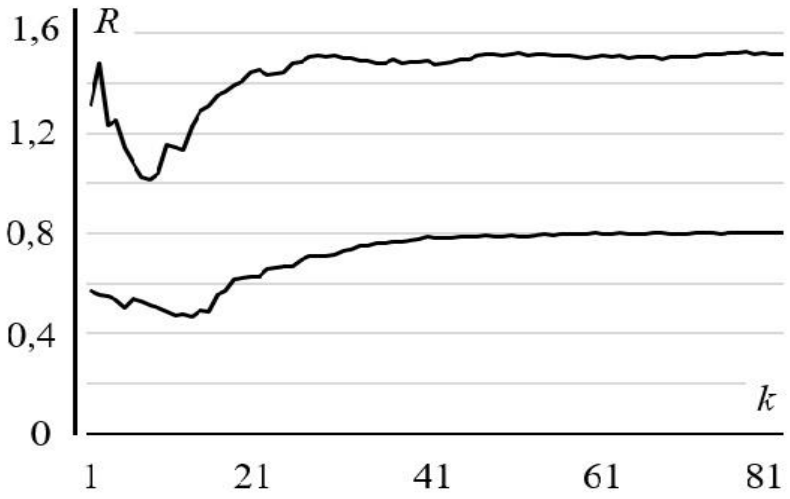


Рис. 1. График относительной скорости передачи информации в процессе пошаговой настройки параметров алгоритма ППРЧ

Заключение

Предложенный способ настройки ППРЧ обеспечивает достаточно быструю сходимость процедуры к оптимальным стратегиям РЛ и ИП. Изменение стратегий относительно равновесных не выгодно ни РЛ, ни ИП. При исключении воздействия ИП алгоритм управления рабочими частотами РЛ сходится к нерандомизированному адаптивному алгоритму выбора наилучшей рабочей частоты.

Полученные результаты соответствуют современным тенденциям развития систем ППРЧ [8-11], подтверждающим эффективность адаптивных под-

ходов к противодействию преднамеренным помехам в условиях динамически изменяющейся помеховой обстановки.

Алгоритм настройки требует минимального количества входных данных и может использоваться в процессе функционирования для определения перспективного плана использования частотного ресурса СПИ, его приведения к реализуемому набору параметров и переводу системы в соответствующий режим работы. Целесообразность перехода в новый режим (в соответствии с перспективным планом) определяется на основе оценки выигрыша от перехода с учетом показателей, характеризующих динамику смены состояний условий функционирования системы.

Список используемых источников

1. Жодзишский А. И., Жодзишский М. И. Потенциальные возможности командных радиолиний с дискретно изменяемой несущей частотой // РКТ, 1973, сер. VI, вып. 2 (11). С. 15–26.
2. Чуднов А. М. Помехозащищенность системы передачи информации с псевдослучайным переключением частот в условиях наихудших помех // Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1984. Т. 27, № 9. С. 3–8.
3. Мальцев А. Д., Чуднов А. М. Оптимизация параметров избыточного кода в системе передачи информации с псевдослучайным переключением радиочастот // Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1987. Т. 30. № 4. С. 93–94.
4. Воробьев Н. Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры. М.: Наука, 1984. 496 с.
5. Чуднов А. М. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. СПб: ВАС. 2021. 193 с.
6. Одоевский С. М., Ерышев В. Г. Адаптивно-игровой алгоритм переключения каналов передачи информации // Сети связи и коммутация. Сб. научных трудов Военного университета связи, вып. 1. Санкт-Петербург: Тема, 2000. С. 91–98.
7. Чуднов А. М. Об адаптивных алгоритмах псевдослучайного переключения рабочих частот радиолиний в условиях случайных и преднамеренных помех // Журнал радиоэлектроники ИРЭ. 2015, № 4. С. 1–14.
8. Gao Y., Xiao Y., Wu M., Xiao M., Shao J. Game theory-based antijamming strategies for frequency hopping wireless communications // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2018. Vol. 17. № 8. PP. 5314–5326.
9. Jung H., Nguyen B., Song I., Kim K. Design of anti-jamming waveforms for time-hopping spread spectrum systems in tone jamming environments // IEEE Trans. Veh. Technol. 2020. Vol. 69. № 1. PP. 728–737.
10. Liang L., Cheng W., Zhang H. Index modulation based joint modefrequency hopping // IEEE Communications Letters. 2021. Vol. 25. № 6. PP. 1810–1814.
11. Shi Y., An K., Lu X., Li Y. Enhanced index modulation-based frequency hopping: Resist power-correlated reactive jammer // IEEE Wireless Communications Letters. 2022. Vol. 11. № 4. PP. 751–755.

Bikbulatov V., Chudnov A. **OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF AN ADAPTIVE ALGORITHM FOR SWITCHING THE OPERATING FREQUENCIES OF RADIO COMMUNICATION LINES IN CONDITIONS OF ACCIDENTAL AND INTENTIONAL INTERFERENCE.**

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

The principles of constructing and evaluating the efficiency of an adaptive algorithm for a radio communication network of robotic objects operating under conditions of random and deliberate interference are considered. The problem of randomized control of operating frequencies of radio links with a payoff function represented by the average speed of information transfer in the network is formulated in a game-theoretic formulation. Relationships are obtained that determine the optimal strategies of radio links with pseudo-random synchronous switching of operating frequencies and an interference source, constituting an equilibrium situation of the game. An example of an algorithm is constructed that ensures the adjustment of mixed strategies of the radio link network and an interference source and their convergence to the optimal ones. The calculation results allow us to estimate the efficiency of the adaptive algorithm and the convergence rate of the adjustment procedures.

Key words: radio communication network, pseudo-random frequency hopping, jamming, intentional interference, noise immunity, equilibrium situation, adaptive algorithm.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕНН СИСТЕМ НАЗЕМНОЙ НАВИГАЦИИ

М. Г. Борисов, К. О. Коровин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Основными требованиями, предъявляемыми к радионавигационным системам, является точность позиционирования, а также необходимость наличия резервного метода позиционирования на случай отказа или потери точности систем ГНСС. В связи с этим, в течение достаточно долгого времени использовались системы радионавигации наземного базирования, такие как LORAN-A, LORAN-C, Чайка. В настоящее время разработана и продолжает развиваться система eLORAN. По этой причине необходима детальная проработка возможных конфигураций антенн для их использования в модернизированных системах радионавигации наземного базирования.

радионавигационные системы, наземное базирование, антенны, моделирование, Altair FEKO

До момента появления глобальных систем спутниковой навигации для позиционирования водных и воздушных транспортных средств применялись наземные радионавигационные системы. Первой из них стала система Loran-A, работавшая в средневолновом диапазоне с рабочей частотой около 2МГц, разработанная в 1940 году. Принцип работы был основан на сравнении времени прихода сигнала от двух радиомаяков и нахождении точки пересечения двух гипербол. Для указанной системы точность позиционирования составляла примерно 1-10 км, а дальность достигала 800 км.

С целью повышения зоны покрытия и точности уже в 1957 году, на основании ранних систем (Loran-A и Decca) была разработана импульсно-фазовая гиперболическая радионавигационная система Loran-C, рабочий диапазон которой был смещен в сторону низких частот: 90 – 110 кГц. За счет смещения рабочей частоты в диапазон более низких частот зона покрытия увеличилась до 2000 км, а точность позиционирования составляла 10-50 м в радиусе 150-200 км. Аналогичной системой была советская система «Чайка».

На данный момент от рассмотренных систем частично или полностью отказались из-за появления систем глобальной спутниковой навигации. Однако в современных условиях вследствие возникновения возможных технических проблем в работе систем ГНСС, многие страны приняли решение о необходимости наличия резервных систем радионавигации, отличных от спутниковых. В этой

связи, была разработана усовершенствованная система Loran (e-Loran)[1]. Данная система является модернизацией Loran-C. Принцип работы улучшенной системы не изменился, но за счет применения современной элементной базы смогли добиться погрешности в 8-20 м во всей зоне покрытия станции.

Передающая антенна является важной частью системы радионавигации, ее электрические характеристики и возможности обеспечения зоны покрытия крайне важны. Передающие антенны систем радионавигации уже достаточно исследованы и включают в себе знания из многих лет разработок и исследований. Как правило, используются варианты вертикальных вибраторов, а именно одномачтовые зонтичные антенны, SLT (Sectionalized Loran Transmitting) или четырехмачтовые перевернутые конусные антенны.[2]

Основными требованиями, предъявляемыми к антеннам, являются вмещаемая мощность и рабочая полоса.

Зонтичная антенна

Зонтичная антенна является основной конструкцией антенной системы для Loran-C, «Чайка». Так, по состоянию на 2010 год, из 26 антенн системы Loran-C 20 представляли собой варианты зонтичной антенны [3]. Сам зонтик представляет собой несимметричную антенну с емкостной нагрузкой сверху. Наличие емкостной нагрузки обусловлено тем, что для диапазона частот 30 – 300 кГц антенны являются электрически малыми, и чтобы улучшить излучающую способность антенны необходимо в области излучения (вертикальной части) приблизить распределение тока к равномерному, что приводит к использованию емкостной нагрузки. Зонтичная антенна состоит из системы заземления, мачты, выполняющей роль излучателя, и верхней емкостной нагрузки. Различают изолированные и заземленные мачты зонтичных антенн, но наибольшее распространение в системах радионавигации получили варианты, использующие опорный изолятор, на который устанавливается мачты с системой оттяжек. Высота мачт в среднем составляет 200 – 300 м. Результаты моделирования для зонтичной антенны, представленной на рис. 1, приведены в таблице 1.

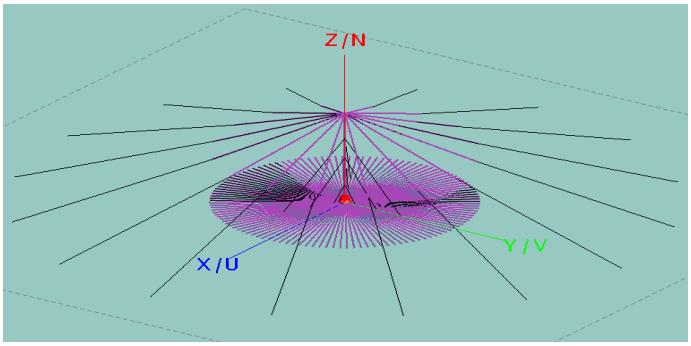


Рис. 1. Конструкция зонтичной антенны

ТАБЛИЦА 1. Результаты моделирования зонтичной антенны

	Высота мачт = 213 м	Высота мачт = 250 м
Вх. сопротивление	6,906 – j46,029	9,106 + j6,257
КПД, η	84,1	85,9
Полоса пропускания, 2ΔF	4334 Гц	6859 Гц
Эффективная высота, heff	189,9 м	223,2 м
Резонансная частота	116,47 кГц	97,6 кГц
2ΔF*η	3645,4 Гц	5891,8 Гц

Достоинством одномачтовой системы является простота конструкции, возможность построения на передвижной развертываемой базе, высокое значение эффективности излучения. При этом основными недостатками являются небольшая рабочая полоса, а также сложности в реализации опорного изолятора, что накладывает дополнительные ограничения по климатическим условиям эксплуатации.

Перевернутая конусная антенна

Второй распространенной конфигурацией для систем радионавигации в США, является четырехмачтовая перевернутая конусная антенна. Конструкция антенны представлена на рисунке 2. Питания осуществляется в центре конструкции, мачты заземлены, поэтому ограничения, вызванные изолятором, отсутствуют. Мачты одинаковой высоты (213 м) расположены по сторонам квадрата на расстоянии 442 м. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

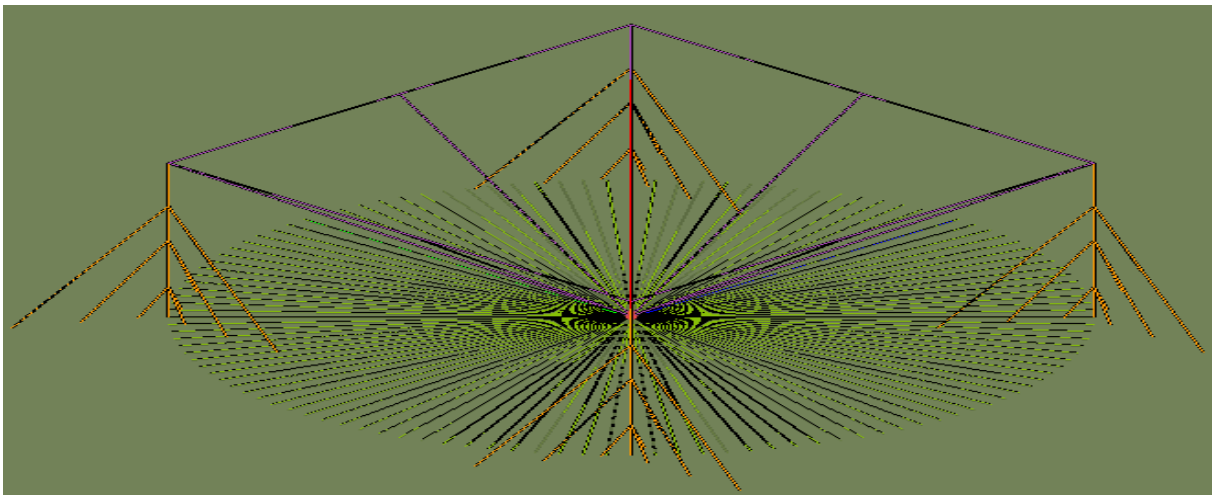


Рис. 2. Конфигурация перевернутой конусной антенны

ТАБЛИЦА 2. Результаты моделирования перевернутой конусной антенны

	Высота мачт = 213 м L (между) = 442 м	Высота мачт = 250 м L (между) = 442 м	Высота мачт = 250 м L (между) = 550 м
Zвх	5,31 – j44,545 Ом	7,253 – j36,377 Ом	8,059 – j11,560 Ом
КПД, η	83,4	83,8	87,6
Полоса пропускания, 2ΔF	17053 Гц	23360 Гц	30606 Гц
Эффективная высота, h_{eff}	281,7 м	329,9 м	355,6 м
Резонансная частота	135,45 кГц	126,23 кГц	108,02 кГц
2ΔF*η	14222 Гц	19583 Гц	26824 Гц

При использовании 4-х мачтовой антенны наблюдается расширение полосы пропускания, при этом КДП антенны за счет внедрения дополнительных проводников уменьшается по сравнению с одиночной зонтичной антенной той же высоты. При этом выдерживаемая нагрузка как механическая, так и электрическая, оказываемая на антенную систему, значительно увеличивается по сравнению с одиночной зонтичной антенной.

SLT антенна

Другой распространенной конфигурацией для систем радионавигации, также распространенной в США (George и Caribou), является четырехмачтовая секционная антенна, выполненная из Т-образных антенн расположенных по периметру квадрата с длиной стороны 442 м. Конструкция антенны представлена на рисунке 3. Питание осуществляется в центре конструкции, мачты заземлены, поэтому ограничения вызванные изолятором отсутствуют. Мачты имеют одинаковую высоту, равную 213 м. Результаты моделирования представлены в таблице 3.

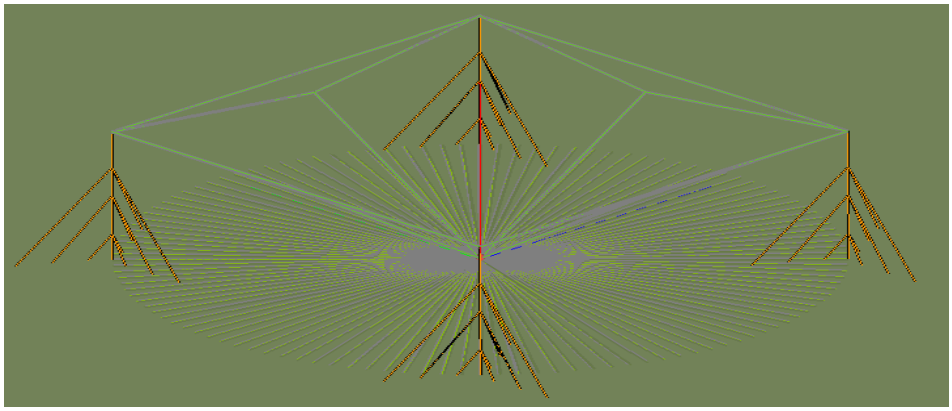


Рис. 3. Конфигурация SLT антенны

ТАБЛИЦА 3. Результаты моделирования SLT антенны

	Высота мачт = 213 м L (между) = 442 м	Высота мачт = 250 м L (между) = 442 м	Высота мачт = 250 м L (между) = 550 м
Zвх	8,115 + j13,714 Ом	11,223 + j28,767 Ом	12,773 + j71,67 Ом
КПД, η	83,3	83,9	87,8
Полоса пропускания, 2ΔF	22847 Гц	30434 Гц	38022 Гц
Эффективная высота, h_{eff}	348,0 м	410,6 м	448,1 м
Резонансная частота	94,74 кГц	89,8 кГц	77,6 кГц
2ΔF*η	19048 Гц	25532 Гц	33881 Гц

Заключение

Таким образом, при использовании 4-х мачтовой антенны наблюдается расширение полосы пропускания антенны в 4 раза, при этом КПД антенны за счет внедрения дополнительных проводников уменьшается, но не более чем на 2 % по сравнению с одиночной зонтичной антенной той же высоты. Таким образом, произведение КПД на рабочую полосу антенной системы, состоящей из 4 мачт с верхней емкостной нагрузкой, получается в 4 раза больше по сравнению с одиночным зонтиком той же высоты.

При увеличении площади, занимаемой четырехмачтовой антенной конструкцией, происходит улучшение электрических характеристик: КПД антенной системы возрастает незначительно (3-4 %), когда как полоса пропускания значительно возрастает (SLT антенна при разносе на дополнительные 108 м расширила полосу пропускания на 7,588 кГц)

Наилучшим вариантом наземной передающей антенны для развивающейся системы радионавигации (eLoran) является четырехмачтовая антенная система типа SLT, недостатком которой является наличие нескольких мачт, вследствие чего объем работ по развертыванию и стоимость антенной системы, по сравнению с одиночной зонтичной антенной значительно больше.

Список используемых источников

1. Morton Y. J. et al. (ed.). Position, navigation, and timing technologies in the 21st century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications, volume 1. – John Wiley & Sons, 2021.

2. Sun S., Li Y. Electrical Characteristics of VLF Umbrella Antenna. Ship Electron. Eng. 2016. 6. PP. 59–60.

3. Hansen P. M., Rodriguez A. Performance analysis of large electrically small transmit antennas // 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI). IEEE, 2011. С. 782–785.

Borisov M., Korovin K. **ANALYSIS OF OPTIONS FOR CONSTRUCTION OF ANTENNAS FOR GROUND NAVIGATION SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The requirements for radio navigation systems include positioning accuracy, as well as the need for a backup positioning method in case of failure or loss of accuracy of GNSS systems. In this regard, ground-based radio navigation systems such as LORAN-A, LORAN-C, Chaika and the currently developing eLORAN system have been used for quite a long time. In this regard, a detailed study of possible antenna configurations for their use in improved ground-based radio navigation systems is required.

Key words: radio navigation systems, ground-based, antennas, modeling, Altair FEKO.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ПАТЧ-АНТЕНН ДЛЯ БПЛА

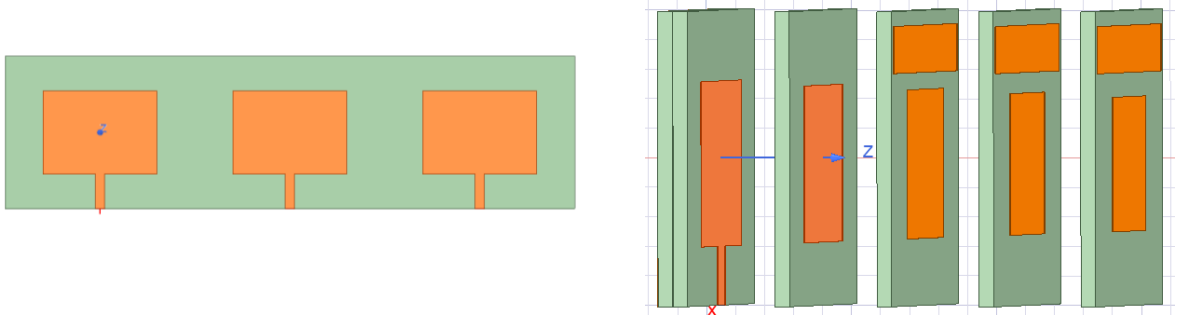
О. С. Воищев, П. А. Межевов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В наши дни в различных устройствах связи широко используются СВЧ антенны, из которых наиболее часто встречаемыми являются микрополосковые. Это связано с тем, что такие излучатели обладают рядом преимуществ: малый вес и профиль, дешевизна, простота реализации и интеграции в поверхности. Благодаря всем этим особенностям такие антенны нашли широкое применение в системах БПЛА. Недостатком такого типа антенн является слабая направленность, которая может быть улучшена с использованием технологий создания антенных решеток или антенн типа Yagi-Uda.

патч-антенна, антенная решетка, антенна Yagi-Uda, БПЛА

Благодаря таким особенностям, как низкий профиль, возможность интеграции в твердотельные устройства, малая стоимость и простота изготовления, патч-антенны нашли широкое применение во многих системах радиосвязи [1]: радиолокаторы, базовые станции, спутниковое телевидение и т.д.

В работе рассматриваются два способа улучшения характеристик направленности патч-антенны, а именно создание антенной решетки (рис. 1. (а)) и создание антенны типа Yagi-Uda (рис. 1. (б)), в качестве активного и пассивного элемента которой будут выступать патчи.



а) б)

Рис. 1. Внешний вид антенной решетки (а), антенны Yagi-Uda (б)

Сравнение проводилось на частоте 5.8 ГГц, с целью анализа возможности применения рассматриваемых антенн в системах БПЛА, представляющих собой перспективное направления для развития в наши дни [2]. Для дальнейшего макетного исполнения в качестве материалов были выбраны: стеклотекстолит FR-4 толщиной 1 мм для пассивных элементов антенны Yagi – Uda, стеклотекстолит FR-4 толщиной 2 мм для всех излучателей, ПВХ пластик толщиной 6 мм для поддерживания заданного расстояния между пассивными элементами антенны Yagi – Uda.

Для начала был рассчитан одиночный патч по формулам (1.1) - (1.4) [3], где по (1.1) рассчитывается размеры патча вдоль оси Y, по (1.2) - собственная диэлектрическая проницаемость, по (1.3) - расстояние от патча до края диэлектрика, по (1.4) - размеры патча вдоль оси X. С помощью программы Ansys HFSS было проведено моделирование, результаты которого приведены на (рис. 2.), (рис. 3.1) и (рис. 3.2)

$$W = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \tag{1.1}$$

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-0.5} \tag{1.2}$$

$$\Delta L = 0.412h\left(\frac{\varepsilon_{reff} + 0.3}{\varepsilon_{reff} - 0.258}\right)\left(\frac{\frac{W}{h} + 0.264}{\frac{W}{h} + 0.8}\right) \tag{1.3}$$

$$L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{reff}}} - 2\Delta L \tag{1.4}$$

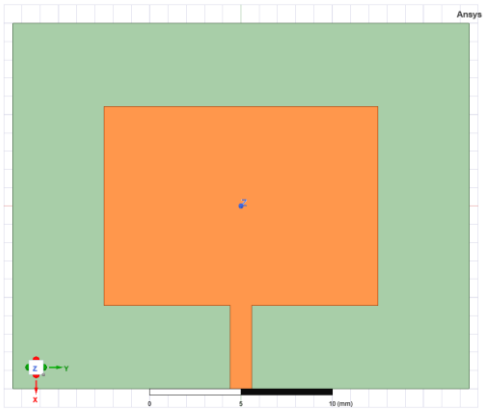
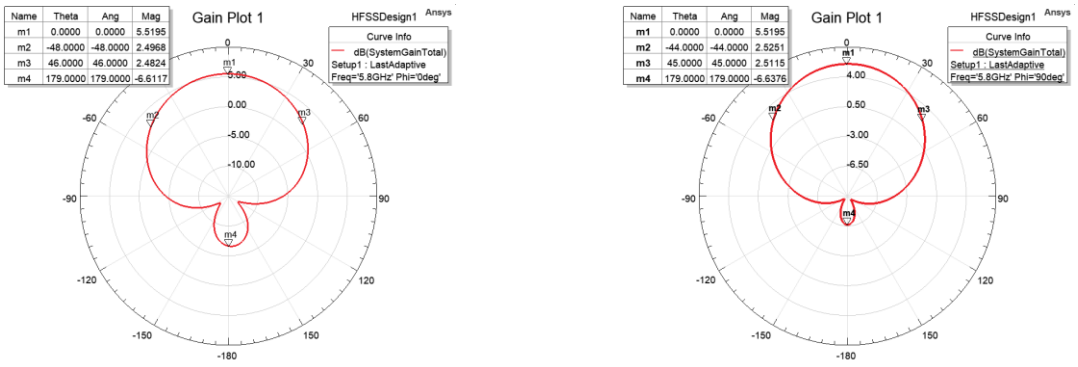


Рис. 2. Патч-антенна



а) б)

Рис. 3.1. Диаграмма направленности патч-антенны в E (а) и H (б) плоскостях

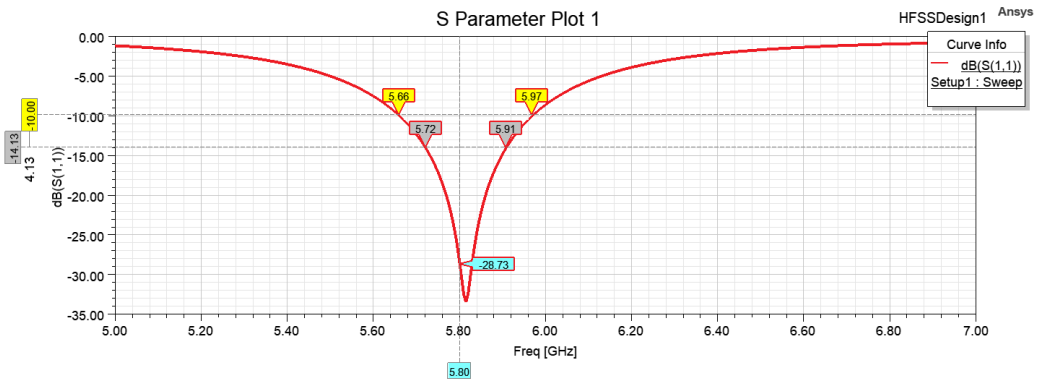
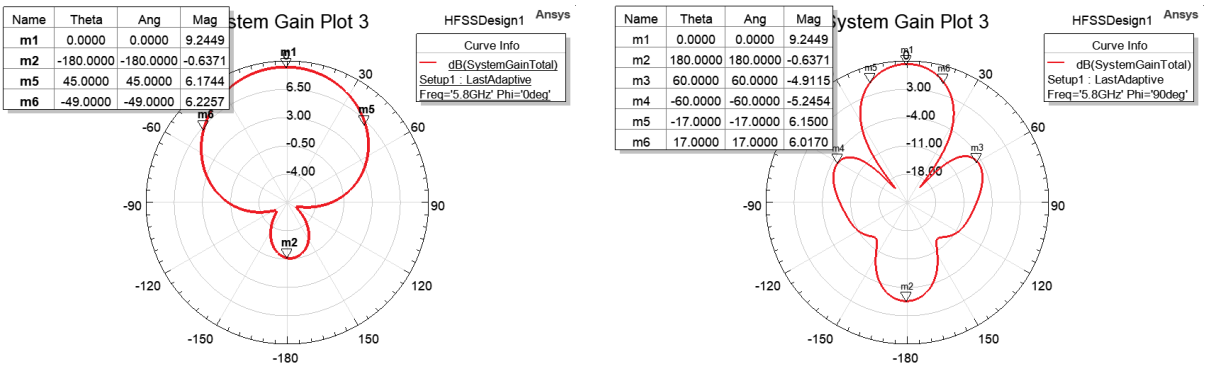


Рис. 3.2. Полоса пропускания патч-антенны

В качестве первого способа улучшения характеристик направленности рассматривается создание микро полосковой антенной решетки из трех патч-антенн (рис. 1.(а).). Основной идеей данного решения является усиление в заданном направлении результирующего поля благодаря синфазному сложению полей от излучающих элементов [4]. На (рис. 4.1.) и (рис. 4.2.) приведены результаты моделирования



(а) (б)

Рис. 4.1. Диаграмма направленности антенной решетки в E (а) и H (б) плоскостях

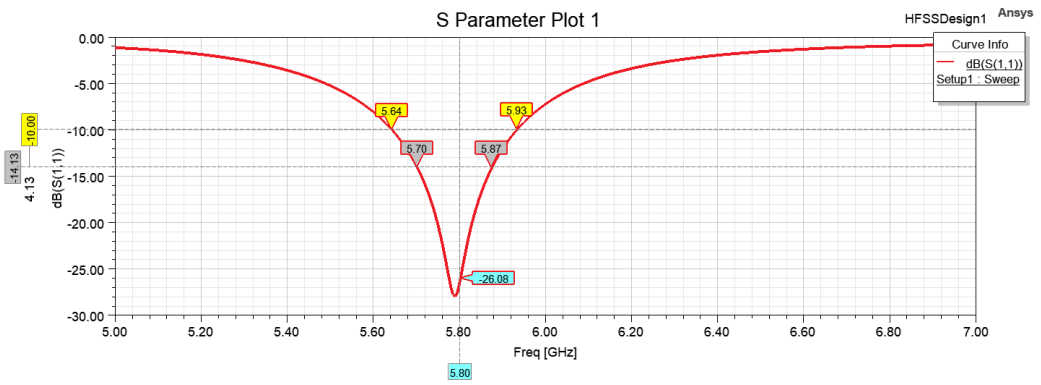
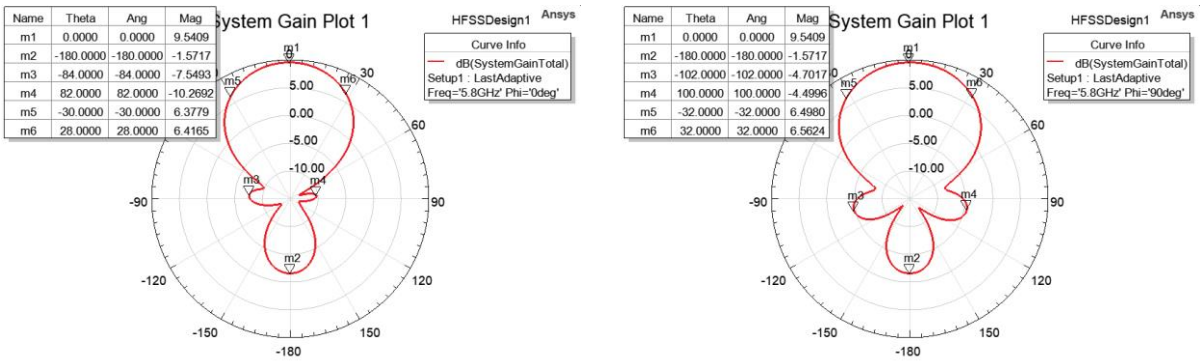


Рис. 4.2. Полоса пропускания антенной решетки

В качестве второго способа улучшения характеристик направленности рассматривается применение концепции структуры антенны Yagi – Uda [5], в которой патчи являются активным и пассивным элементами (рис. 1.(б)). Для надежности конструкции предполагается использование ПВХ пластика между слоями элементов. Идея конструкции заключается в том, что пассивные элементы перенаправляют полученную наведенную энергию от активного элемента с равной фазой, что в совокупности дает усиление излучения в направлении от активного элемента к пассивному. Результаты моделирования приведены на (рис. 5.1.) и (рис. 5.2.).



(а) (б)

Рис. 5.1. Диаграмма направленности Yagi–Uda патч–антенны в E (а) и H (б) плоскостях

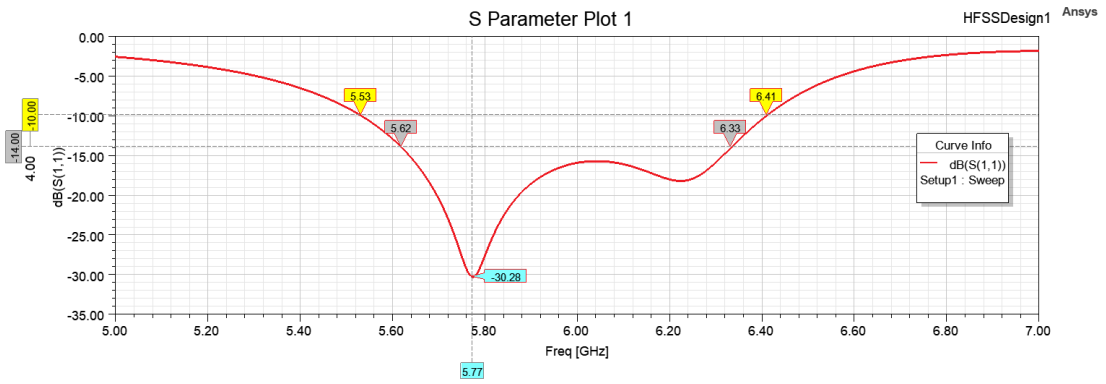


Рис. 5.2. Полоса пропускания Yagi–Uda патч–антенны

ТАБЛИЦА 1. Характеристики смоделированных антенн

Характеристики	Патч–антенна	АР из 3х патчей	Yagi–Uda патч–антенна
Коэффициент усиления, дБ	5.5	9.2	9.4
Коэффициент защитного действия, дБ	12.1	9.8	12.4
Ширина диаграммы направленности в E и H плоскости, град	94 x 89	92 x 34	58 x 65
Полоса пропускания, МГц	310 190	290 170	830 590
Размеры (x y z), мм	20 x 25 x 2	20 x 25 x 2	20 x 25 x 30
Вес, г	2	6	20

При сравнении двух приведенных методов улучшения параметров направленности антенны, достоинствами антенной решетки можно выделить целостность конструкции, меньший вес и малый профиль. Достоинствами Yagi–Uda патч–антенны в свое время являются больший коэффициент защитного действия и большая полоса пропускания.

Анализируя параметры, приведенные в (табл. 1.), можно сделать вывод: усложнение конструкции антенны приводит к улучшению характеристики направленности, а именно рост коэффициента усиления и сужение ширины диаграммы направленности. Однако, использование таких решений приводит к увеличению массогабаритных параметров, что может наложить некоторые ограничения на возможность применения таких антенн в некоторых классах БПЛА.

Список используемых источников

1. Indrasen Singh V.S. Tripathi. Micro strip Patch Antenna and its Applications: a Survey // International Journal of Computer Applications in Technology Sept. 2011. PP. 1595–1599/ ISSN:2229-6093

2. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. «Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов» // Научный журнал. 2017. №9 (22). С 26–29.

3. James J. R., Hall P. S. «Handbook of Microstrip Antennas», London 1989. 1313 p. ISBN 0-86341-150-9

4. Зырянов Ю. Т., Федюнин П. А. и др., Антенны: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 416 с.: ил. (Учебники для вузов. Специальная литература), ISBN 978 5 8114 1968 5
5. Balanis C. A. Antenna theory analysis and design third edition. New Jersey, 2005. 1073 p. ISBN: 0-471-66782-X

Voishchev O., Mezhevov P. **ANALYSIS OF SOLUTIONS TO IMPROVE THE DIRECTIONAL CHARACTERISTICS OF PATCH ANTENNAS FOR UAVS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Nowadays, microwave antennas are widely used in various communication devices, of which microstrip antennas are the most common. This is due to the fact that such radiators have a number of advantages: low weight and profile, low cost, ease of implementation and integration into surfaces. Due to all these features, such antennas have found wide application in UAV systems. The disadvantage of this type of antenna is a weak directivity, which can be improved using technologies for creating antenna arrays or antennas of the Yagi-Uda type.

Key words: patch antenna, antenna array, Yagi-Uda antenna, UAV

УДК 621.396.621
ГРНТИ 47.49.31

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Е. И. Глушанков[1], З. К. Кондрашов[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]АО «НИИМА «Прогресс»

Рассматривается взаимосвязь показателей качества позиционирования в радионавигационных системах (РНС) с показателями качества первичной обработки сигналов. Показано влияние выигрыша от обработки на точность позиционирования. Приведены примеры анализа качества алгоритмов обработки сигналов в РНС.

радионавигационные системы, обработка сигналов, точность позиционирования, выигрыш от адаптации, навигационные параметры, радионавигационные параметры

Основным показателем качества функционирования глобальных спутниковых и локальных РНС является получаемая на их основе точность позиционирования, которая определяется погрешностями измерений радионавигационного параметра (РНП), то есть параметра радиосигнала, несущего информацию о координатах или скорости объекта [1–4]. К РНП в зависимости от способа построения РНС относятся временной, частотный или фазовый сдвиг колебаний принимаемого сигнала относительно опорного, угол между направлением на объект и опорным направлением, доплеровское смещение частоты и др.

Если погрешности измерения РНП $\varepsilon_i(t)$, где i- номер РНС, считать гауссовскими случайными процессами, то их вероятностные характеристики можно оценить по значениям математического ожидания $m_{\varepsilon_i}(t)$и дисперсии $D_{\varepsilon_i}(t)$. Как показано в [1–3], по значению параметров погрешностей измерения РНС можно получить погрешности линий положения по соответствующим характеристикам, которые определяются отрезками нормали l между поверхностями (линиями) положения, соответствующими истинному и измеренному значениям различных РНП. По погрешностям линий положения, соответственно, можно определить погрешности самих навигационных параметров (НП), а именно координат и скорости объекта (погрешности позиционирования), и перейти к рабочей зоне РНС, которая определяет часть пространства (поверхности), обеспечивающей нахождение координат объекта с погрешностью, не превышающей максимально допустимое значение. Таким образом, погрешности РНП можно пересчитать в погрешности линий положения, погрешности линий положения – в погрешности навигационных параметров и далее в рабочие зоны РНС.

Как показано в [2], средний квадрат ошибки оценивания РНП $D_\lambda = \mathrm{M}[(\hat{\lambda} - \lambda)^2]$, где $M[.]$ – знак статистического усреднения, являющийся оценкой их точности, не превышает границу Рао-Крамера вида

$$D_\lambda \geq \{\mathrm{M}[(\frac{\partial lnp(\lambda|Y_0^T)}{\partial \lambda})^2]\}^{-1},$$

$p(\lambda|Y_0^T)$ – апостериорная плотность вероятности параметра λ, Y_0 – вектор наблюденитя, размерность которого определяется числом моментов времени наблюдения, λ – РНП. Под λ может пониматься вектор основных РНП, например $\lambda^T = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, λ_1 – задержка огибающей радиосигнала, λ_2 – доплеровское смещение частоты, λ_3 – фаза радиосигнала. Для всех параметров справедливо

$$D_{\lambda_i} = \mathrm{f}\,(1/h^2), \quad (1)$$

где h^2 – отношение энергии сигнала на один бит передаваемой информации к спектральной плотности мощности шума (отношение сигнал/шум).

При использовании алгоритмов обработки сигналов в РНС можно ввести выигрыш от адаптации в виде

$$\Delta\, h^2 = h^2{}_{\text{с ОС}} - h^2{}_{\text{без ОС}}, \quad (2)$$

где $h^2{}_{\text{с ОС}}$ – отношение сигнал/шум при использовании мет ода обработки сигналов, $h^2{}_{\text{без ОС}}$ – отношение сигнал/шум в РНС без обработки сигналов.

В связи с изложенным, общий подход к анализу качества алгоритмов обработки сигналов в РНС можно представить в виде общей структурной схемы, изображенной на рис. 1.

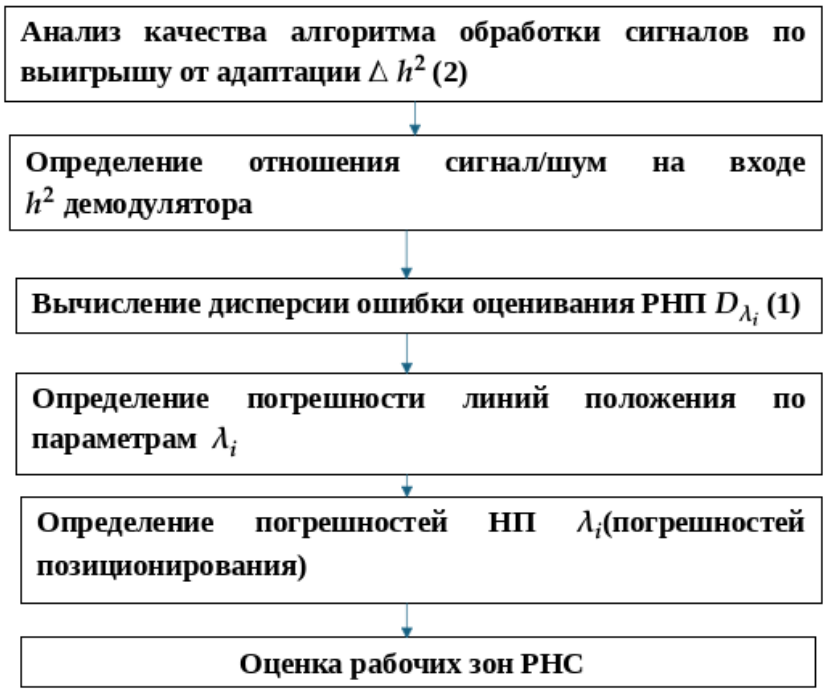


Рис. 1. Анализ качества обработки сигналов в РНС

Для примера рассмотрим пространственную обработку сигналов в РНС [5]. При различных характеристиках сигнально-помеховой обстановки можно получить различные значения выигрыша от адаптации $\Delta \boldsymbol{h^2}$. Так, например, для циркулянтной корреляционной матрицы входных сигналов в [5] получено, что $\Delta \boldsymbol{h^2} = 30$ дБ, а $\boldsymbol{h^2} = 30$ дБ при приеме реальных навигационных сигналов. Далее по методике, рассмотренной в [2], находим $\boldsymbol{D_{\lambda_i}}$ и точность позиционирования по определению координат объекта $\boldsymbol{\lambda_i}$=0,05 м для РНС ГЛОНАСС.

Таким же образом можно получить значения точностных характеристик позиционирования в РНС, исходя из выигрыша от адаптации для различных алгоритмов обработки сигналов.

Список используемых источников

1. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь, 1985. 344 с.
2. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития / Под ред. А.И. Перова. М.: Радиотехника, 2020. 1072 с.
3. Баженов А. В., Захаренко Г. И., Бережнов А. Н., Савченко К. Ю. Радионавигационные системы. Ставрополь: СВВАИУ, 2007. 202 с.
4. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. СПб: СПбГУТ, 2021. 499 с.
5. Глушанков Е. И., Царик В. И. Анализ качества алгоритмов адаптивной пространственной и пространственно-частотной фильтрации сигналов в системах спутниковой навигации // Труды учебных заведений связи, 2022. Том 8. № 3. С. 37–43.

Glushankov E.[1], Kondrashov Z.[2] **ANALYSIS OF THE QUALITY OF SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS IN RADION NAVIGATION SYSTEMS.**

[1]The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
[2]JSC "NIIMA "PROGRESS", Moscow

The article examines the relationship between the quality indicators of positioning in radio navigation systems (RNS) and the quality indicators of primary signal processing. The effect of processing gain on positioning accuracy is shown. Examples of quality analysis of signal processing algorithms in RNS are given.

Key words: radio navigation systems, signal processing, positioning accuracy, adaptation gain, navigation parameters, radio navigation parameters.

УДК 654.16
ГРНТИ 49.43.29

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА И ТЕСТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ 802.11. ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ

М. А. Гордеев, А. Н. Ликонцев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эта статья представляет общие идеи создания специализированного устройства для анализа и тестирования сетей 802.11. В ней изложены основные концепции и общая идея, лежащая в основе разработки устройства. В частности, обсуждаются принципы, определяющие дизайн устройства. Кроме того, статья освещает предполагаемые трудности и аспекты, которые необходимо учитывать при реализации устройства, включая вопросы, связанные с проектированием аппаратного обеспечения и разработкой программного обеспечения.

беспроводные сети, Wi-Fi анализатор, архитектура ПО.

Введение

Спрос на Wi-Fi анализаторы возникает из-за различных требований и проблем, с которыми сталкиваются при управлении беспроводными сетями и их оптимизацией, особенно на крупных предприятиях. Прежде всего, эти инструменты предоставляют информацию о производительности сети, включая уровень сигнала, использование каналов, пропускную способность данных и уровень помех. Мониторинг этих параметров позволяет пользователям выявлять потенциальные точки отказа, оптимизировать конфигурацию сети и эффективно устранять проблемы с подключением.

Кроме того, Wi-Fi анализаторы играют важную роль в управлении спектром, особенно в средах с множеством пересекающихся сетей. Визуализируя спектр Wi-Fi и обнаруживая источники помех, пользователи могут стратегически распределять каналы и минимизировать помехи на одном канале, что улучшает надежность и производительность сети.

Wi-Fi анализаторы также помогают в оценке безопасности, выявляя несанкционированные точки доступа, незарегистрированные устройства и потенциальные уязвимости в системе безопасности. Путем комплексного сканирования и анализа пользователи могут обеспечить защиту и снизить риск несанкционированного доступа или утечек данных.

Все эти проблемы могут не казаться столь значительными для обычного пользователя, но для крупных компаний, где надежность, безопасность и производительность являются жесткими требованиями к беспроводным сетям, они крайне важны.

Общая идея

На рынке существует множество различных решений для анализа беспроводных сетей, но они либо не подходят для масштабных обследований, либо слишком сложны в использовании, либо лишены определенных функций [1]. Цель данной статьи заключается предложении концепции устройства, которое найдет баланс между мощностью, стоимостью и сложностью.

Для начала необходимо определить: должно ли это быть программное обеспечение или физическое устройство? Хотя программные Wi-Fi анализаторы обеспечивают удобство и гибкость, они имеют ряд ограничений (как функциональных, так и инженерных), и склоняют к выбору в пользу разработки специализированного физического устройства.

С инженерной точки зрения создание отдельного устройства увеличивает затраты на исследования и разработку в краткосрочной перспективе (из-за необходимости проектирования, прототипирования и т. д.), но в долгосрочной перспективе снизит количество ресурсов, необходимых для его поддержки. Это связано с тем, что в случае программного обеспечения необходимо учитывать огромное количество различных конфигураций устройств пользователей, чтобы убедиться, что программное обеспечение работает корректно на каждом из них. В случае одного специализированного анализатора такой проблемы нет – поддерживается только одно устройство.

С точки зрения потребителя есть два ключевых фактора, которые указывают на пользу отдельного аппаратного устройства: повторяемость измерений и производительность.

Потребительские Wi-Fi модули, часто используемые в программных анализаторах, имеют вариации в характеристиках оборудования, такие как конфигурация антенн, возможности чипсета и уровни чувствительности и так далее. В результате точность и надежность результатов анализа могут сильно варьироваться от устройства к устройству, что приведет к возможным ошибкам в оценке сети.

Для иллюстрации ограничений потребительских Wi-Fi модулей приведена сравнительная таблица двух часто используемых модулей (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Сравнение беспроводных модулей

Характеристика	BCM43013 [2]	QCA9377 [3]
Чипсет	Broadcom	Qualcomm
Поддерживаемые стандарты IEEE 802.11	a/b/g/n	a/b/g/n/ac
Maximum channel width	40 MHz	80 MHz
Peak speed	72 Mbps	433 Mbps

Помимо вариаций в характеристиках оборудования, программные анализаторы чувствительны к изменениям в наличии системных ресурсов и условий окружающей среды, что может влиять на их производительность и надежность. Учитывая разнообразие персональных компьютеров на рынке (включая смартфоны и планшеты), это может негативно сказаться на пользовательском опыте при выполнении сложных вычислений.

Пользовательский интерфейс и архитектура ПО

В современном мире сетевых устройств доступность и взаимодействие с пользователем играют ключевую роль. При выборе интерфейса для устройства анализа Wi-Fi возникает важный вопрос: разрабатывать ли отдельное приложение или встроить веб-интерфейс непосредственно в устройство? Оба варианта имеют свои достоинства, однако интеграция веб-интерфейса предлагает три явных преимущества: кроссплатформенность, простоту поддерживания и расширяемость [4].

Одним из основных преимуществ интеграции веб-интерфейса в устройство для анализа беспроводных сетей является его универсальность и кроссплатформенность. В отличие от отдельных приложений, которые обычно разрабатываются для конкретных операционных систем (например, Windows, macOS, Linux, Android или iOS), веб-интерфейс доступен с любого устройства с веб-браузером, независимо от его платформы или операционной системы. Эта универсальность обеспечивает доступ с различных устройств, включая настольные компьютеры, ноутбуки, планшеты и смартфоны, что удовлетворяет разнообразные предпочтения и требования пользователей.

Кроме того, использование стека TCP/IP позволит избежать необходимости проектировать коммуникационный туннель между анализатором и устройством пользователя и даст возможность обмениваться данными без дополнительного кода на стороне пользовательского устройства еще больше увеличивая совместимость и снижая затраты на поддержку.

Еще одним важным преимуществом является простота развертывания и поддержки. В отличие от отдельных приложений, которые требуют установки и настройки на каждом устройстве, веб-интерфейс по своей сути независим от платформы и не требует процесса установки или настройки. Пользователи мо-

гут просто получить доступ к интерфейсу устройства через веб-браузер, устраняя потенциальные проблемы, связанные с установкой программного обеспечения и совместимостью.

Интеграция веб-интерфейса также способствует бесшовной интеграции с существующей сетевой инфраструктурой и экосистемами. Используя стандартные веб-протоколы и интерфейсы, такие как HTTP и RESTful API, устройство может взаимодействовать с другими сетевыми компонентами, системами управления и сторонними приложениями.

Заключение

В этой части мы определили общую идею и концепцию устройства для анализа беспроводных сетей. Высокоуровневый дизайн этого устройства (см. рисунок 1) предлагает универсальную модульную архитектуру, которую можно адаптировать для различных сценариев использования.

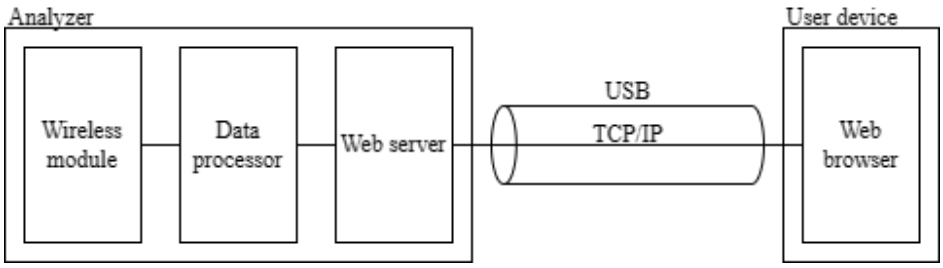


Рис. 1. Высокоуровневая архитектура анализатора

Список используемых источников

1. Jivthesh M. R., et al. A Comprehensive survey of WiFi Analyzer Tools // 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT). IEEE, 2022.
2. BCM43013. Broadcom Inc., Palo Alto. URL: https://www.broadcom.com/products/wireless/wireless-lan-bluetooth/bcm4313 (дата обращения 28.10.24)
3. QCA9377. Bluetooth and Wi-Fi Wireless Adapter Chipset | Qualcomm Technologies, Inc., San Diego. URL: https://www.qualcomm.com/products/technology/wi-fi/qca9377 (дата обращения 28.10.24)
4. Jobe W. Native Apps vs. Mobile Web Apps // International Journal of Interactive Mobile Technologies, 2013. Vol. 7.4.

***Gordeev M., Likontsev A.* DEVELOPMENT OF ANALYZING AND TESTING DEVICE FOR 802.11 NETWORKS. GENERAL CONCEPT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents general ideas for creating a specialized device for analyzing and testing 802.11 networks. It outlines the core concepts and the overarching idea behind the development of the device. Specifically, it discusses the principles that define the device's design. Additionally, the article highlights anticipated challenges and aspects to consider during the device's implementation, including issues related to hardware design and software development.

Key words: wireless networks, Wi-Fi, analyzer, software architecture.

УДК 004.056
ГРНТИ 49.43.01

МЕТОДИКА СТРУКТУРИРОВАНИЯ СЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

А. Е. Деркач, А. М. Чуднов
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Рассматривается методика структурирования сети обмена данными роя беспилотных летательных аппаратов, выполняющих функции в интересах различных систем управления. Сеть обмена данными включает как специализированные ретрансляторы связи на базе беспилотных летательных аппаратов, так и ретрансляторы, использующие приемопередающие средства беспилотных летательных аппаратов, выполняющих другие предписанные функции.

Предложена методика комплексированной кластеризации сети обмена данными роя беспилотных летательных аппаратов, на основе которой осуществляется структурирование сети обмена данными и редукция структуры информационного обмена с сохранением наиболее важных (эффективных) маршрутов прохождения пакетов данных. Для структурированной сети обмена данными формируются таблицы маршрутизации с обеспечением устойчивого как внутрикластерного, так и межкластерного обмена пакетами данных.

Разработанные методы обеспечивают возможность эффективного управления маршрутизацией пакетов в рое беспилотных летательных аппаратов в условиях воздействия на систему потока дестабилизирующих факторов.

рой беспилотных летательных аппаратов, сеть обмена данными, устойчивость обмена данными, вероятность своевременной доставки сообщений

Актуальность вопросов проектирования роя взаимодействующих беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и организации их работы обусловлена широким применением таких систем в различных сферах практической деятельности человека: в технологических процессах, медицине, образовании, системах безопасности, военных сферах и др. [1–3]. При проектировании системы БПЛА важно обеспечить связь, необходимую для взаимодействия БПЛА друг с другом и с другими участниками [1–9]. Для территориально распределенных роев БПЛА обеспечение своевременного обмена сообщениями объектов составляет исключительно актуальную и весьма сложную проблему, связанную с необходимостью пересчета маршрутов прохождения сообщений и их фрагментов (пакетов данных).

Особенностью функционирования территориально распределенных роев БпЛА является быстрое устаревание находящейся в них информации, что обуславливает высокие требования к допустимому времени доставки сообщений получателям, которое в зависимости от типов данных и взаимодействующих объектов может составлять секунды и менее [2–4, 10–11]. При этом эффективность функционирования роя БПЛА и его физическое состояние напрямую зависят от степени обеспечения системой связи требуемых показателей обмена сообщениями между объектами.

В силу важности отмеченных вопросов значительное внимание уделяется анализу и оптимизации сети обмена данными СОД роя БПЛА [1–5, 10], а также способам, средствам и возможным вариантам нарушения функционирования системы возможными воздействиями [4–7]. Кроме того, актуальна разработка принципов построения СОД, максимально устойчивых к потенциальными дестабилизирующим факторам, в том числе по критериям вероятности связности сети, вероятностно-временным характеристикам (ВВХ) обмена данными в информационных направлениях [4, 5, 10, 12] и другим показателям.

Задачи маршрутизации пакетов данных в условиях дестабилизирующих воздействий изучались в [4, 5], где разработана методика формирования набора таблиц маршрутизации пакетов (ТМП), обеспечивающая максимально гарантированную вероятность своевременной доставки сообщений объектам БПЛА при заданных ограничениях на ресурс воздействий. При использовании данной методики обеспечивается динамическое управление маршрутизацией данных в СОД, обеспечивающей обмен до 10–20 объектов, в зависимости от ресурса задействованных для этого вычислительных средств.

В настоящей работе результаты [4, 5] используются для маршрутизации пакетов в кластерах, а также обмена данными объектов, принадлежащих различным кластерам (т. е. межкластерного обмена). На этой основе разрабатывается методика структурирования СОД, включающая: 1) алгоритм разбиения узлов-объектов БпЛА на кластеры; 2) алгоритм маршрутизации пакетов данных в кластерах; 3) алгоритм маршрутизации пакетов межкластерного обмена. Основное отличие рассматриваемой задачи управления маршрутизацией вообще и кластеризации, в частности, состоит в том, что структура СОД определена лишь набором потенциальных связей, которые могут быть реализованы в соответствующих режимах радиосредств. Это обобщает типовые задачи распределения информационных потоков по маршрутам и, естественно, позволяет обеспечить более высокую эффективность функционирования системы за счет устранения ограничений, обусловленных заданной канальной структурой СОД, однако требует большего вычислительного ресурса для управления маршрутизацией [4, 5, 10].

Рассматривается рой БПЛА, в составе собственно летательных аппаратов, а также наземного комплекса с объектами управления и связи. В общем случае в рой могут входить аппараты, выполняющие различные функции: обнаружения, идентификации, транспортировки (доставки грузов), связи и другие [4, 5, 12 – 18]. Для примера на рис. 1 приведена структурная схема взаимодействия объектов малой группы, в которой: ПУ1 с ПУ4 пункты управления (ПУ), осуществляющие управление подгруппами объектов, соответствующими их функциональному предназначению. Взаимодействие ПУ с управляемыми объектами показано пунктирными линиями, сплошными линиями обозначены потенциально возможные линии связи, под которыми, как и в [4, 5] понимаются линии, которые в каждый момент времени могут обеспечить связь лишь в одном корреспондирующем направлении, задействуя на время передачи передатчик передающего узла радиолинии и приемник приемного узла, т. е. на физическом и канальном уровнях СОД осуществляется односторонняя передача пакетов. В силу наличия на всех объектах средств связи полагается, что все БПЛА могут выступать в качестве ретрансляторов связи. Модулем ИВ обозначен источник (совокупность источников, система) деструктивных воздействий, функционирование которого приводит к снижению показателей качества радиолиний или уничтожению узлов СОД в рамках имеющегося ресурса, структуры и состава.

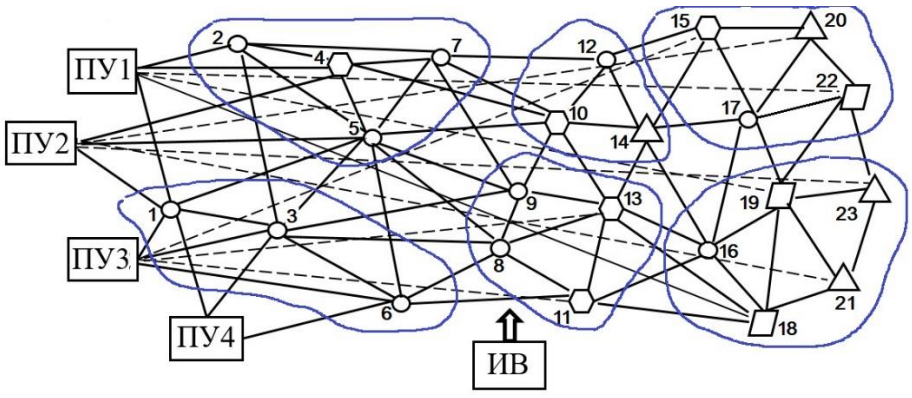


Рис. 1. Пример структуры роя БпЛА

Кроме показанных на рис. 1 связей, все участвующие в обмене данными элементы СОД могут также обмениваться сообщениями с другими объектами в рамках, определенных соответствующим регламентом.

Система обмена данными на сетевом уровне в каждом состоянии характеризуется следующими величинами:

– число объектов группы БПЛА n;

– матрица тяготения $\Lambda = (\lambda_{ij})$, в которой λ_{ij} – интенсивность потока, передаваемого в $\langle i, j \rangle$-направлении информационного взаимодействия;

– матрица потенциальных (условных) мощностей сигналов $U = (u_{kl})$, в которой u_{kl} – мощность сигнала на входе приемника l-объекта при условии передачи данных со стороны k-объекта. Элемент u_{kl} учитывает взаимную удаленность k- и l-объектов, а также условия распространения сигналов и свойства антенных устройств в (k,l)-линии. Граф потенциальных связей СОД (граф СОД), определяемый матрицей U, не содержит (k,l)-дугу, если $u_{kl} = 0$, в частности, если организация (k,l)-линии не предусмотрена;

– векторы $g = (g_k)$, $g' = (g'_k)$, характеризующие ресурс соответственно передающих и приемных средств k-объекта и определяющие количество направлений связи, в которых одновременно могут передавать (принимать) информацию радиосредства k-объекта. В простейшем случае ресурс определяется числом передающих и приемных средств на объекте группы БпЛА;

– система таблиц маршрутизации пакетов (ТМП), $W_k = (w_k(i,j))$, где $w_k: n^2 \to [0,1]$ – рандомизированная ТМП для k-объекта, определяющая вероятность выдачи пакета данных, адресованного на j-объект, в l-узел ($\sum_l w_k(j,l) = 1$). Для значений нерандомизированной ТМП выполняется условие $w_k(j,l) \in \{0,1\}$.

Воздействие источника помехи формально описывается следующими величинами:

– суммарная мощность помехи v_Σ. Все энергетические параметры нормируются относительно этой величины, так что в дальнейшем полагается $v_\Sigma = 1$;

– вектор v=$(v_1, \ldots, v_n)$, характеризующий распределение средней мощности ИП по объектам СОД ($\sum_{i=1}^{n} v_i \leq 1$). С учетом монотонности показателя эффективности СОД от компонент v последнее неравенство можно заменить на равенство;

– матрица коэффициентов передачи мощности помехи $H = (h_{kl})$, на основе которой строится матрица V, определяющая мощность помехи v_{kl} в (k,l)-линии: $v_{kl} = h_{kl} v_l$.

Приведенные параметры СОД и ИВ позволяют построить набор ТМП пакетов, обеспечивающий в данном состоянии системы максимальную вероятность своевременной доставки сообщений в СОД [4, 5]. Следует отметить, что вычислительная сложность алгоритма формирования полного набора ТМП существенно возрастает с ростом размерности роя БпЛА и соответственно СОД, что препятствует ее использованию для больших групп БПЛА. Далее рассматривается принцип структурирования СОД, обеспечивающий расчет набора ТМП для систем БПЛА размерностей, содержащих 100 – 200 объектов, за приемлемое время.

В настоящей работе рассматривается принцип функциональной кластеризации, соответствующий оговоренному в [8] признаку № 3. В этом случае кластеры формируются по признаку наилучшей связности узлов таким образом, чтобы обмен данными внутри кластера, используемого для передачи данных между кластерами, не оказывал негативного влияния на оцениваемые параметры прохождения сообщений в информационном направлении. Для пояснения принципа формирования функциональных кластеров рассмотрим простой и в то же время полезный для практики вариант, при котором в качестве критерия «хорошей» связности объектов в создаваемом i-кластере выступает неравенство $P_i^{\vee} \geq P_i^*$, где $P_i^{\vee}, P_i^*$ - соответственно минимальная (по парам узлов) и минимально допустимая вероятность передачи пакета данных за определенное (для этого кластера) время τ_i^*.

Потоки на маршрутах, нагрузки на приемо-передающих средствах и метрические характеристики элементов сети (задержки) определяются в процессе последовательного насыщения маршрутов по алгоритму [4]. Процедура кластеризации осуществляется из исходного состояния (все кластеры одноэлементные: $n_i = 1$) до финального (ни в какой кластер нельзя добавить никакой элемент).

Алгоритм предполагает следующий порядок действий:

1. Исходное состояние: все кластеры одноэлементные, $P_i^{\vee} = 1$.
2. Перебор i-кластеров: $i = 1 \ldots N$ (N – текущее число кластеров).
3. Перебор j-узлов, смежных i-кластеру.
4. Вычисление для i-кластера для связей «вход-выход» j-узла вероятности $P_i' = \max\limits_j P_{ij}$.
5. Условие $P_i' \geq P_i^*$ выполняется: $n_i := n_i + 1, P_i^{\vee} = P_i'$ - к п. 9, нет – к п. 7.
6. i-кластер пополнен: да – к п. 2, нет - к п. 7.
7. Конец цикла по j: да – к п. 8, нет – к п. 3.
8. Состав кластеров изменился: да – к п. 2, нет – к п. 9.
9. Конец цикла по i: да – к п. 10, нет – к п. 2.
10. Останов.

Для рассчитанного примера сформированные кластеры обозначены на рис. 1 областями, ограниченными цветными линиями. В качестве центральных могут быть выбраны узлы №№ 1, 4, 9, 12, 17, 19, для которых связность в кластере максимальна, т. е. $j(i) = \operatorname{argmax}\limits_j P_{ij}$. При этом при адресовании пакета данных из i-кластера в узел, находящийся в k-кластере, этот пакет сначала адресуется внутрикластерной ТМП в $j(i)$-узел, затем межкластерной ТМП в $j(k)$-узел и, наконец, абоненту k-кластера. Сокращение вычислитель-

ной сложности алгоритма маршрутизации обусловлено сокращением размерности ТМП каждого узла и соответственно сложности определения порта выдачи пакета. Естественно, редукция учтенных в наборе ТМП маршрутов приводит к некоторым потерям эффективности функционирования СОД, которые возрастают с ростом информационной нагрузки, а также снижением пропускной способности СОД за счет воздействия различных дестабилизирующих факторов.

При рассмотрении принципов и реализации вариантов структурирования СОД необходимо учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на эффективность ее использования, в частности, характеризующих состояние узлов связи, приемо-передающих средств, динамики (темпа) изменения условий функционирования системы. Целесообразность использования того или иного варианта структурирования маршрутизации СОД основывается на оценке эффективности предполагаемого варианта, что приводит к необходимости решения задачи маршрутизации на нередуцированном множестве маршрутов. В случае высокой динамичности условий функционирования СОД потребность частого пересмотра кластерной структура может в итоге привести к увеличению затрачиваемого алгоритмом маршрутизации вычислительного ресурса и, как результат, снижению эффективности функционирования СОД.

Таким образом, вопрос о целесообразности структурирования СОД с редукцией множества маршрутов должен прорабатываться в конкретных случаях использования системы с учетом отмеченных факторов. Результаты расчетов, проведенных согласно данной методике, могут быть использованы для обоснования технических решений по разработке и применению алгоритмов формирования и обработки данных, а также для маршрутизации пакетов в СОД роя БПЛА с обеспечением требований по своевременности доставки сообщений. Описанная процедура кластеризации предполагает (и допускает) обобщение в части использования более содержательного критерия «хорошей» связности элементов кластера.

Список используемых источников

1. Bujari A., Calafate C. T., Cano J. C., Manzoni P., Palazzi C. E., Ronzani D. Flying ad-hoc network application scenarios and mobilitymodels // Int. J. Distrib. Sensor Netw. 2017. Vol. 13. № 10. P. 1–17. DOI: 10.1177/1550147717738192.

2. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ систем коммуникационного взаимодействия дронов, выполняющих поисковую миссию в составе группы // Вестник АГУ. 2020. № 4(271). С. 87– 94.

3. Ананьев А. В., Стафеев М. А., Филатов С. В. Оценка эффективности систем связи и боевого управления на базе беспилотных летательных аппаратов межвидовой группировки войск // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 3(3). С. 75–84.

4. Чуднов А. М., Положинцев Б. И., Кичко Я. В. Анализ помехозащищенности обмена данными группы беспилотных летательных аппаратов в условиях оптимизированных помех // Радиотехника. 2022. Т. 86. № 12. С. 33−46. DOI: https://doi.org/10.18127/j00338486-202212-03
5. Чуднов А. М., Кичко Я. В. Анализ помехозащищенности системы обмена данными группы робототехнических объектов // Труды 34-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». С. 71–76.
6. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18–68. DOI: 10.24411/2410– 9916–2017–10202.
7. Шнепс-Шнеппе М. А. От IN к IMS. О сетях связи военного назначения // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 1. С. 1–11.
8. Макаренко С. И. Усовершенствование функций многоуровневой иерархической кластеризации протокола маршрутизации pnni с целью повышения устойчивости сети связи // I-methods. 2020. Т. 12. № 2. С. 1–21.
9. Будко П. А., Жуков Г. А. Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удалениях от пункта управления // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 9. С. 4–14.
10. Чуднов А. М., Кичко Я. В. Губская О. А. Методика анализа вероятностно-временных характеристик обмена сообщениями в комплексе беспилотных летательных аппаратов //Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11. С. 117-124. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-11-117-124.
11. Соколов Н. А. Системные аспекты построения и развития сетей электросвязи специального назначения // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2. № 9. С. 4–8.
12. Чуднов А.М. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. – СПб.: ВАС, 2021. – 192 с
13. Lai Y., Lai W. S. A graph-theoretic model of routing hierarchies // Proc. of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (Bradford, United Kingdom, 26–29 May 2009). IEEE, 2009. Pp. 1118–1123.
14. Давиденко И. Н., Гиренко Д. Н. Способы формирования структуры доменов маршрутизации // Проблеми інформатизації та управління. 2010. № 1 (29). С. 41–44.
15. Левин М. Ш. О комбинаторной кластеризации: обзор литературы, методы, примеры // Информационные процессы. 2015. Т. 15. № 2. С. 215–248.
16. Гринберг Я. Р., Курочкин И. И., Корх А. В. Алгоритм кластеризации элементов сетей передачи данных // Информационные технологии и вычислительные системы. 2012. № 3. С. 18–30.
17. Перепелкин Д. А., Цыганов И. Ю. Усовершенствованный алгоритм сегментации структур корпоративных сетей по критерию минимальной стоимости // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 53. С. 48–57.
18. Lai W. S., Lai Y. Hierarchical routing by PNNI and OSPF/BGP // Proc. of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (Victoria, British Columbia, Canada, 23–26 August 2009). IEEE, 2009. С. 951–956.

Derkach A., Chudnov A. **METHODOLOGY FOR STRUCTURPING A DATA EXCHANGE NETWORK FOR A SWARM OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES TO ENSURE THEIR SUSTAINABLE INTERACTION.**

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The methodology for structuring a data exchange network for a swarm of unmanned aerial vehicles performing functions in the interests of various control systems. Data exchange network includes both specialized communication repeaters based on unmanned aerial vehicles and repeaters using unmanned aerial vehicles receiving and transmitting means performing other prescribed functions.

A technique for integrated clustering of the data exchange network of a swarm of unmanned aerial vehicles is proposed. Based on this technique, the data exchange network is structured and the information exchange structure is reduced while preserving the most important (effective) routes for passing data packets. Routing tables are formed for the structured data exchange network, ensuring stable intra-cluster and inter-cluster exchange of data packets.

The developed methods provide the ability to effectively manage packet routing in large-scale swarm unmanned aerial vehicles under the influence of destabilizing factors on the system.

Key words: Swarm of unmanned aerial vehicles, data exchange network, stability of data exchange, probability of timely message delivery.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

КОЛЬЦЕВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С ПЕРЕКЛЮЧАЕМОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

К. О. Коровин, П. А. Межевов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Беспилотные летательные аппараты все чаще используются в различных областях деятельности человека. В связи с этим задача повышения дальности становится актуальной. Улучшение характеристик направленности при сохранении всенаправленной огибающей диаграммы направленности позволяет повысить дальность связи.

кольцевая антенная решетка, переключение диаграммы направленности, БПЛА

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят применение во многих областях народного хозяйства [1]. Это связано с удобством использования, безопасностью для пилота и малыми затратами относительно пилотируемых летательных средств.

Радиотехническое обеспечение управляемого БПЛА в общем случае содержит: бортовую антенну/антенную систему, тракт приема и тракт передачи. Остальные элементы оснащения зависят от конкретных задач и типа БПЛА.

Как правило, на БПЛА используются ненаправленные антенны с низким коэффициентом направленного действия (КНД). Это связано с требованием возможности связи с БПЛА с любого направления в азимутальной плоскости. Однако, антенны, обладающие круглой диаграммой направленности (ДН) в азимутальной плоскости не способны обеспечить усиление свыше 3дБ [2].

В данной работе предлагается использование переключаемых кольцевых секторных антенных решеток для получения большего усиления, при сохранении всенаправленной огибающей для общей ДН.

В качестве элемента антенной решетки выбрана микроплосковая антенна в связи с ее малыми массогабаритными параметрами, направленностью одиночного элемента до 8дБ и простотой изготовления [3].

Внешний вид одиночного элемента представлен на рис. 1. В качестве диэлектрика использован материал FR-4, в связи с распространенностью данного материала, простотой его получения и дешевизной, что особенно актуально для изготовления макетов. Микроплосковая антенна рассчитывалась на диапазон частот 5,8ГГц, который является актуальным для БПЛА.

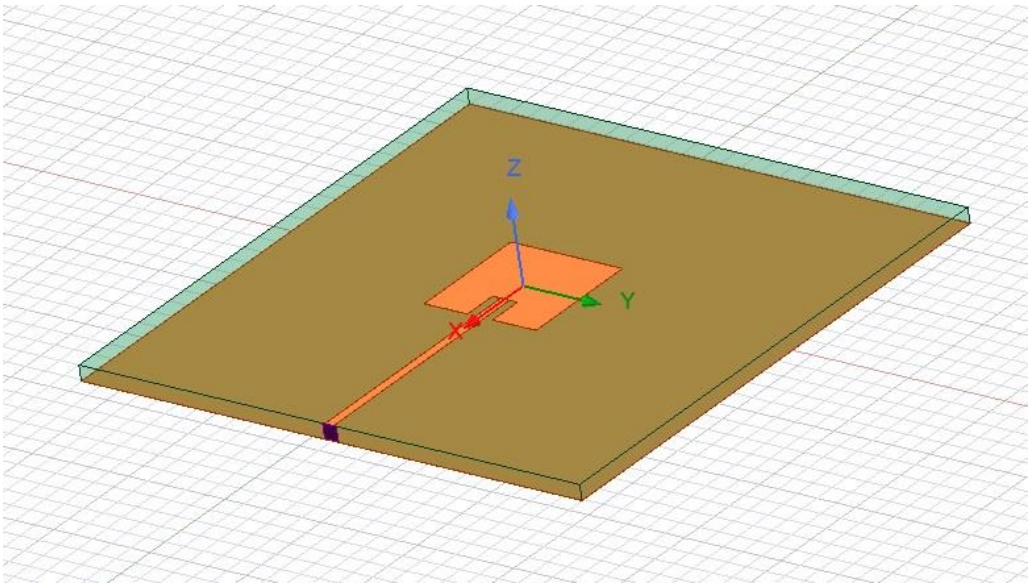
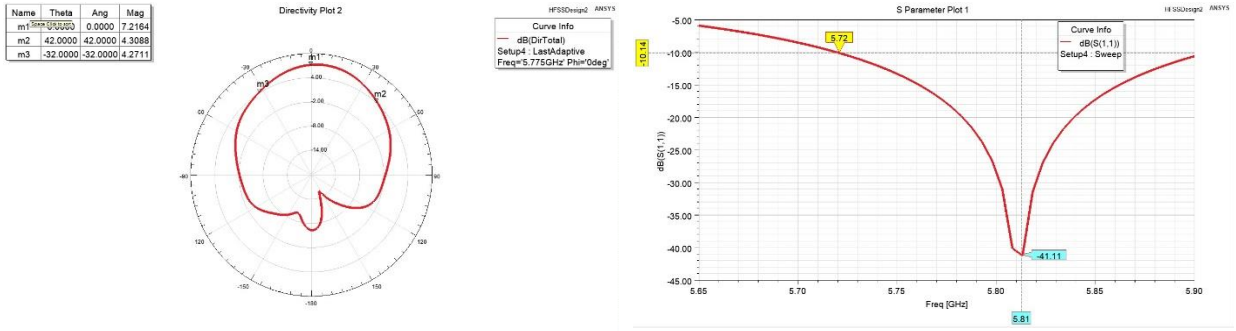


Рис. 1. Внешний вид одиночного микрополоскового излучателя

Полученные параметры направленности и параметра S11 представлены на рис. 2.



а б

Рис. 2. Параметры одиночного излучателя: а. ДН, б. S11.

В работе проведено моделирование использования 4, 6 и 8 элементной кольцевой антенной решетки. Результаты моделирования сведены в таблицу 1. В графе КНД указаны минимумы и максимумы огибающей ДН.

ТАБЛИЦА 1. Параметры кольцевых антенных решеток

	КНД, дБ	Резонансная частота, ГГц	S11, дБ
4 элементов	3,5–7,3	5,81	-44,5
6 элементов	5,7–7,2	5,75	-39
8 элементов	6,1–6,7	5,79	-38,2

Видно, что использование большего количества элементов приводит к уменьшению КНД системы, одновременно с приведением формы огибающей ДН к круглой.

Стоит учесть, что дальность связи в различных направлениях повторяет форму ДН, следовательно, использованием равномерной огибающей ДН упрощает расчет зон покрытия с использованием БПЛА.

Внешний вид и пример переключения 8 элементной антенной решетки представлен на рис. 3 и 4 соответственно.

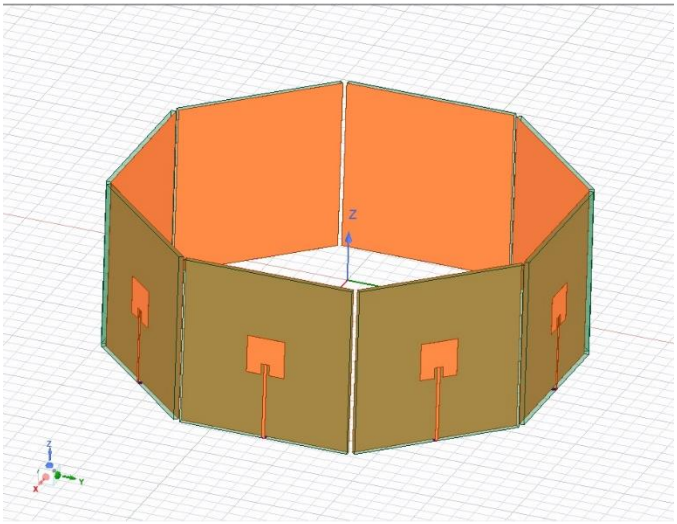


Рис. 3. Внешний вид переключаемой кольцевой антенной решетки

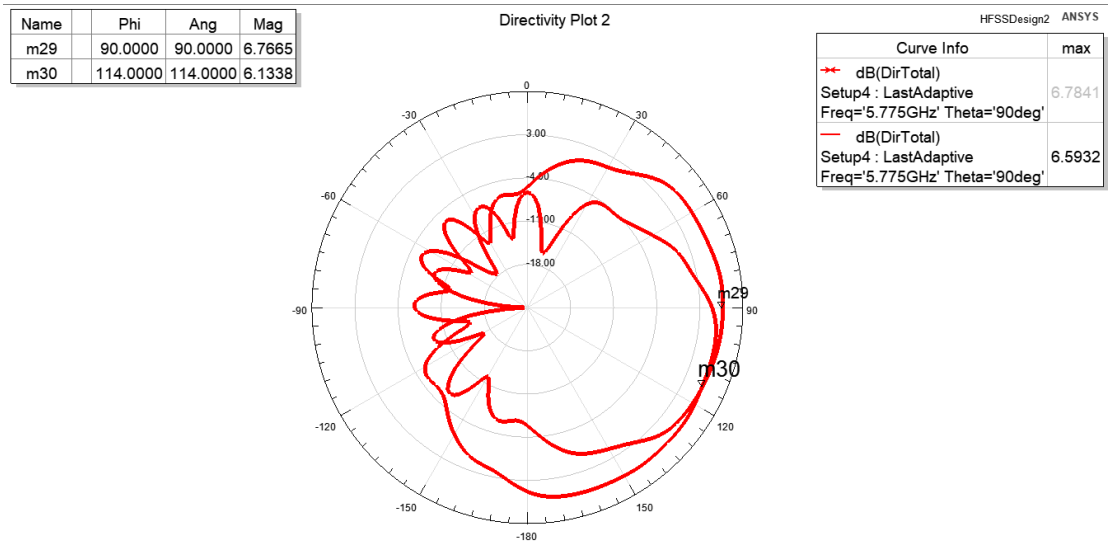


Рис. 4. Переключение ДН на двух соседних элементах. m29 – максимум КНД, m30 – минимум КНД

Оптимизация радиуса кольцевой антенной решетки по критерию максимизации КНД в данной работе не проводилась, радиус выбран по принципу минимизации итоговой конкструкции.

Список используемых источников

1. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов // Научный журнал. 2017. №. 9 (22). С. 26–29.
2. Антонов А. С. и др. Низкопрофильная антенна для БПЛА //Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ. 2013. №. 6. С. 3–7.
3. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. 144 с.

Korovin K., Mezhevov P. **CIRCULAR ANTENNA ARRAY WITH SWITCHABLE RADIATION PATTERN.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Unmanned aerial vehicles are increasingly used in various fields of human activity. In this regard, the task of increasing range becomes urgent. Improving directivity characteristics while maintaining an omnidirectional radiation pattern envelope allows for increased communication range.

Key words: ring antenna array, radiation pattern switching, UAV.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

МИНИАТЮРИЗАЦИЯ ТРАДИЦИОННЫХ АНТЕНН ТИПА ЯГИ-УДА

К. О. Коровин, Д. В. Шидловский
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В этой статье рассматривается влияние укорочения антенны на ее характеристики, а также анализ актуальности метода укорочения антенны на сегодняшний день. Представлен метода сворачивания элементов антенны с использованием модифицированных формул для укорочения диполей, а также разработана и смоделирована миниатюризированная антенна типа Яги-Уда. Для детального анализа представлены характеристики, графики КСВ для входного сопротивления 50 Ом, а также графики коэффициента усиления.

антенна, Яги-Уда, диаграмма направленности, КСВ, коэффициент усиления, поляризация

Разработка компактной направленной антенны с линейной поляризацией является важной частью для настоящего времени. В связи с увеличением тенденции разработок для военного применения, а также последующего улучшения различных моделей БПЛА дальнего действия, которые используют линейную поляризацию, требуются компактные направленные излучатели для создания радиопомех, нарушающих прием сигнала.

Опыты показали, что размещение активного элемента для антенны Яги-Уда на расстоянии 0.2λ от рефлектора дает определенные преимущества в виде повышения КУ. Следует избегать слишком тесного расположения элементов на антенне, иначе реактивные токи становятся столь велики, что потери превышают теоретически возможное усиление. Правило, согласно которому функция элемента определяется только его реактивностью, применимо прежде всего к директорам. Поэтому их нельзя рассчитывать просто как диполи, а надо приводить к равной реактивности. При этом определяющими величинами выступают длина элемента и его диаметр, приведенные к длине волны.

Также во время разработки укороченной антенны Яги-Уда было выявлено, что 3 директора не хватает, так как их размер очень сильно влияет на КУ. Поэтому было решено сделать на укороченной антенне 5 директоров одинакового размера, что сильно повлияло на повышение конечного размера антенны. На рисунке 1 изображена структура элементов антенны типа Яги-Уда:

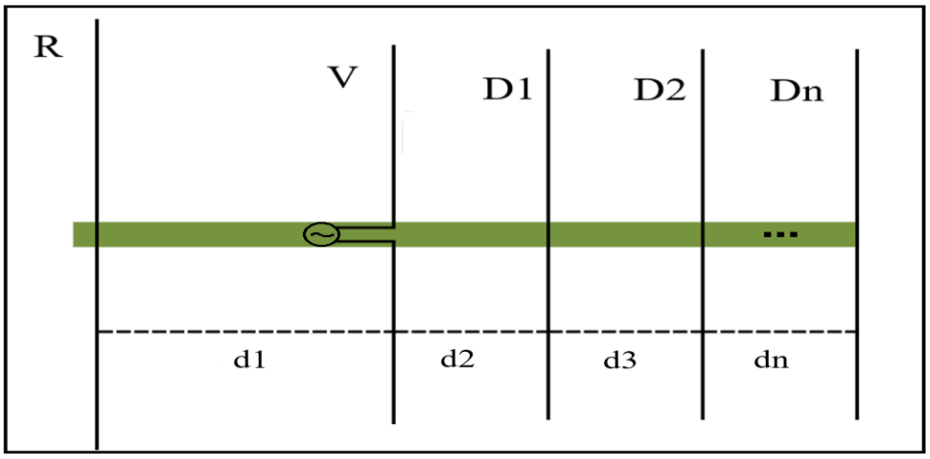


Рис. 1. Обозначения элементов и расстояний между ними на Антенне Яги-Уда

С помощью следующих формул можно рассчитать размеры антенны Яги-Уда:

$$R = 0.55 \cdot \lambda$$
$$V = 0.5 \cdot \lambda$$
$$D1 = 0.445 \cdot \lambda$$
$$D2 = 0.44 \cdot \lambda$$
$$Dn = (0.445 - (0.005 \cdot n)) \cdot \lambda$$
$$d1 = 0.2 \cdot \lambda - 0.05$$
$$d2 = 0.2 \cdot \lambda + (0.13 \cdot \lambda - 0.08)$$
$$d3 = 0.2 \cdot \lambda + (0.13 \cdot \lambda - 0.08) \cdot 6$$
$$dn = 0.2 \cdot \lambda + (0.13 \cdot \lambda - 0.08) \cdot (6 + 2 \cdot (n - 3)).$$

При использовании метода миниатюризации, описанного в статье (1) на антенне Яги-Уда, был сделан вывод, что формулы для данного типа антенн подходят в наименьшей степени, чем для логопериодической антенны, так как сильно изменяется ДН и полоса частот, где КСВ < 2. Поэтому методом подбора размеров эта формула была изменена для каждого элемента. На рисунке 2 изображен метод сворачивания диполя.

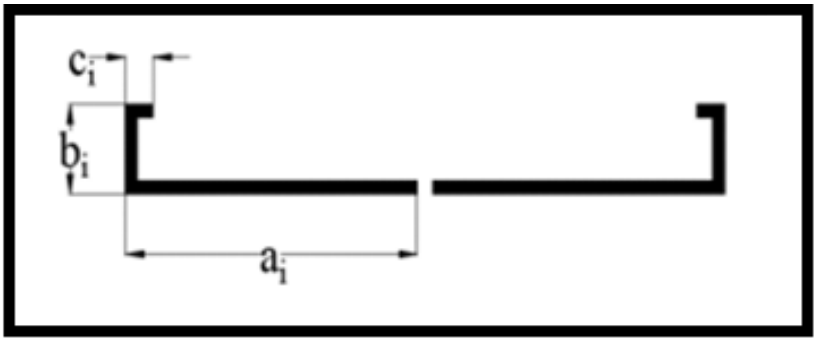


Рис. 2. Метод сворачивания

С помощью следующих формул можно рассчитать размеры для свертывания антенны типа Яги-Уда:

$$a_r = 0.75 \cdot R$$
$$a_v = 0.719 \cdot V$$
$$a_{d1} = 0.605 \cdot D1$$
$$b_n = 0.5 \cdot d_n$$
$$c_n = 0.07 \cdot d_n$$

Все последующие директоры имеют такой же размер, как и *D1*. На рисунке 3 приведена разработанная укороченная антенна Яги-Уда для диапазона частот 400–450 МГц:

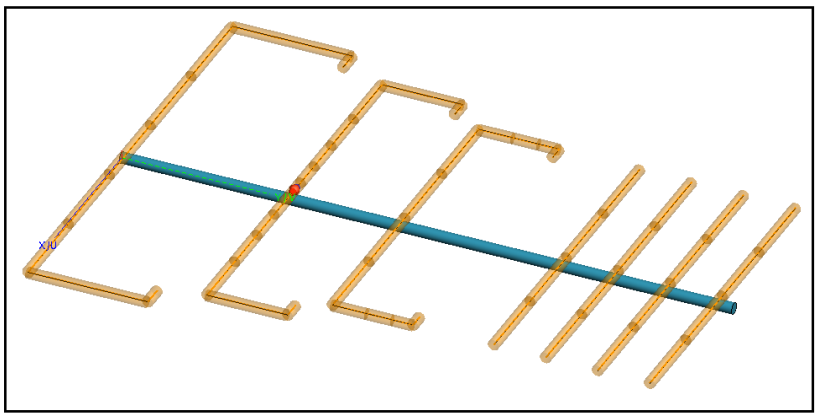


Рис. 3. Укороченная антенна Яги-Уда

Получившиеся размеры укороченной антенны Яги-Уда: L = 0.365 м. R = 0.27 м.

На рисунке 4 приведена полоса частот разработанной укороченной антенны Яги-Уда.

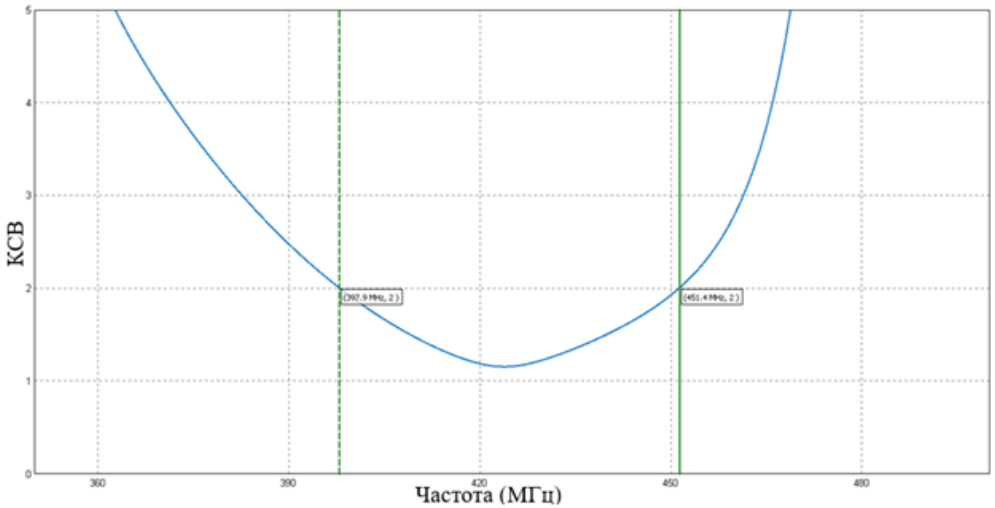


Рис. 4. Полоса частот разработанной укороченной антенны Яги-Уда

Из графика видно, что полоса частот – 53,5 МГц, что на 9 % меньше традиционной.

На рисунке 5 указан график зависимости активного и реактивного сопротивления от частоты укороченной антенны.

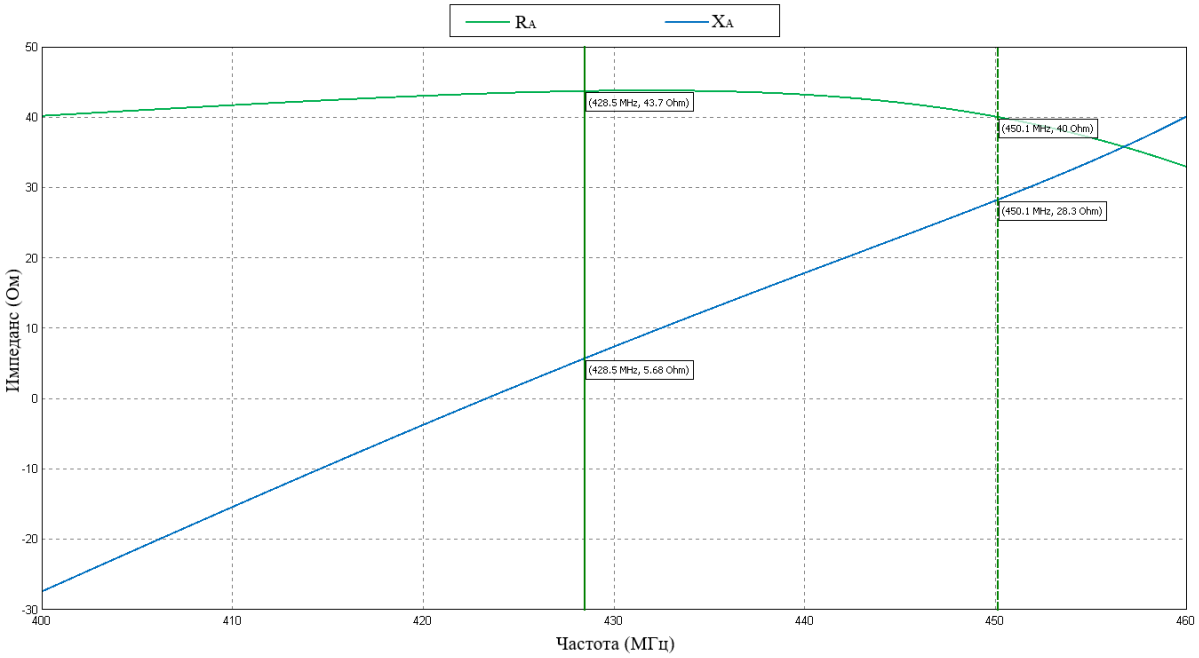


Рис. 5. Зависимость XA и RA от частоты

Ниже приведены рисунки 6, 7, где показана ДН разработанной укороченной антенны Яги-Уда на частоте 450 МГц:

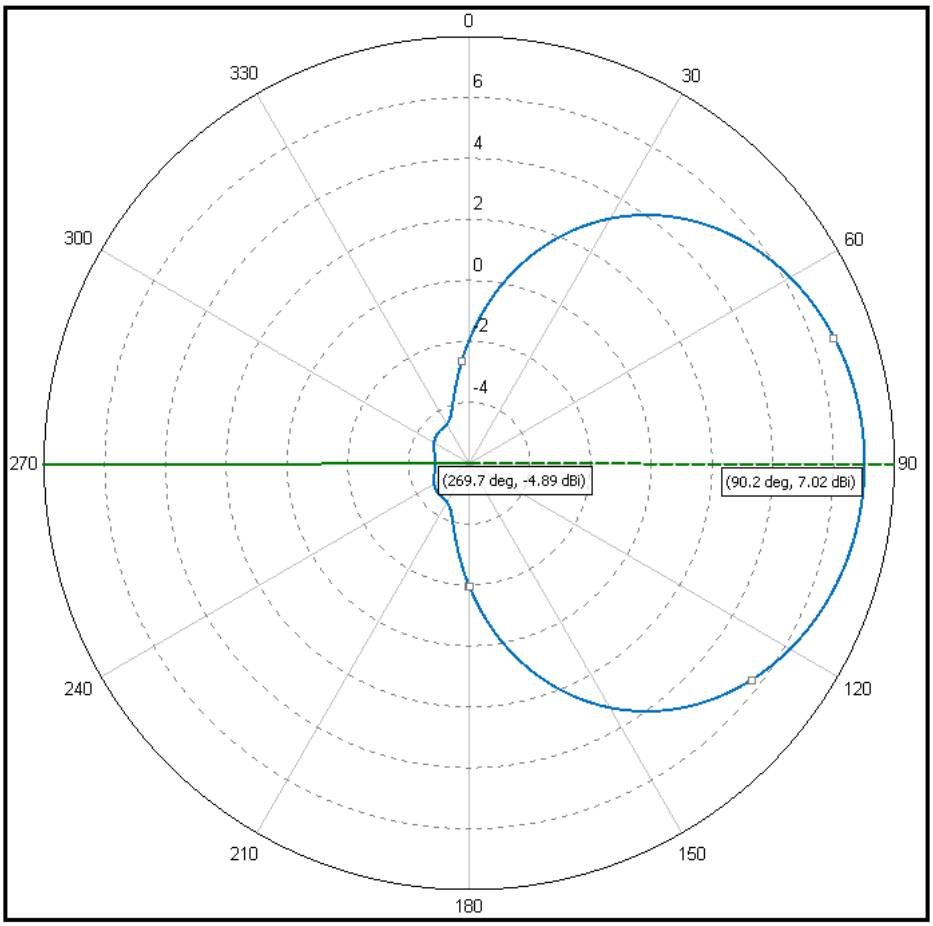


Рис. 6. ДН на Н плоскости укороченной антенны Яги-Уда

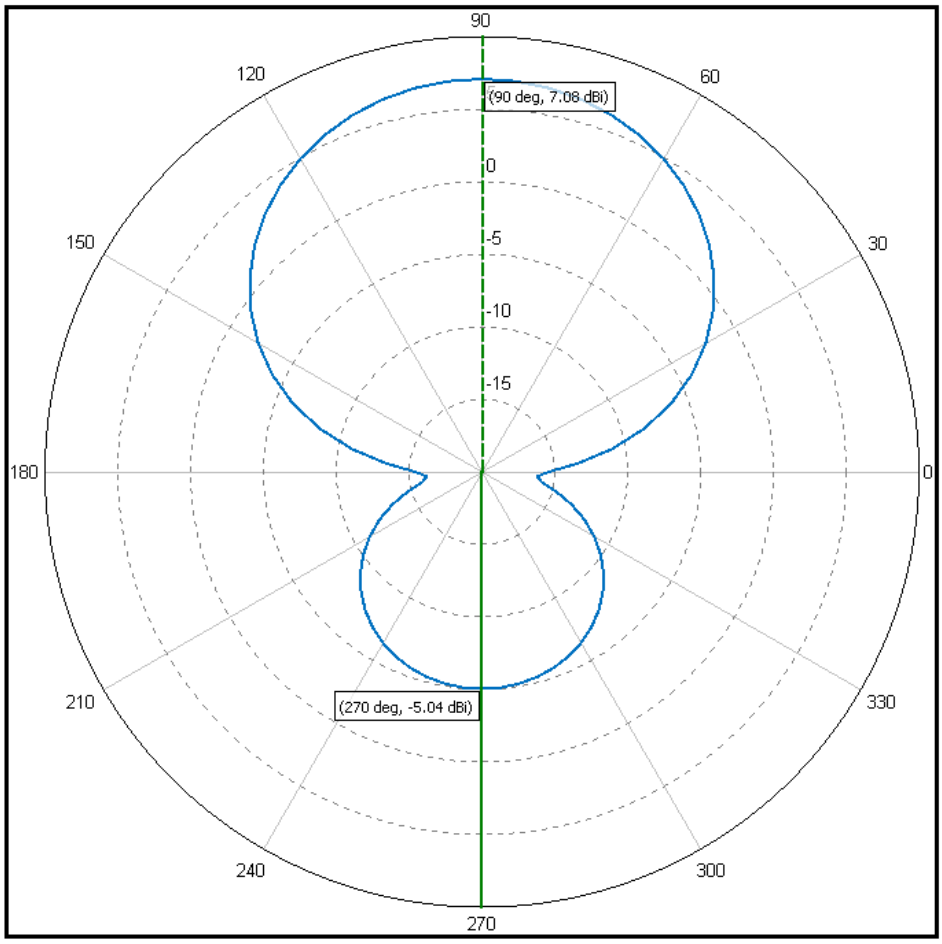


Рис. 7. ДН на Е плоскости укороченной антенны Яги-Уда

Коэффициент усиления составляет – 7.02 дБ.

Ширина главного лепестка – 124о.

Таким образом удалось уменьшить размеры антенны типа Яги-Уда с наименьшими потерями ее характеристик.

Список используемых источников

1. Fulin Du, Long Jin, Research on Miniaturization of Log-periodic Dipole Arrays Using Folded Dipole. Статья. Издательство IOP Publishing Ltd. 2018 7 с.

Korovin K., Shidlovskiy D. **MINIATURIZATION OF TRADITIONAL TYPE YAGI-UDA ANTENNAS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article examines the effect of antenna shortening on its characteristics, as well as an analysis of the relevance of the antenna shortening method to date. A method for folding antenna elements using modified formulas for shortening dipoles is presented, and a miniaturized Yagi-Uda antenna is developed and modeled. For a detailed analysis, the characteristics, SWR graphs for the input resistance of 50 ohms, as well as gain graphs are presented.

Key words: antenna, Yagi-Uda, radiation pattern, SWR, gain, polarization.

УДК 621.397
ГРНТИ 47.51.03

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ НА БАЗЕ ПЛИС ДЛЯ СИСТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Е. А. Кузнецова, В. И. Тимченко
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время системы раннего обнаружения предаварийных ситуаций актуальны для обеспечения безопасности и стабильности работы промышленных и социальных объектов. Предлагаемая архитектура вычислителя основана на использовании ПЛИС и включает специализированные блоки для обработки видеоданных от периферийных устройств, а именно, видеокамер и тепловизоров. Кроме того, рассматривается анализ предаварийных ситуаций и выработка рекомендаций. Применение ПЛИС обеспечивает высокую производительность, гибкость и возможность настройки системы под конкретные требования. В статье также описывается архитектура специализированного вычислителя для обнаружения огня.

архитектура, ПЛИС, специализированный вычислитель, видеообработка

Современные промышленные объекты оснащаются системами видеонаблюдения с целью обеспечения безопасности функционирования. Для выполнения этих требований целесообразно разрабатывать комплексную систему, которая включает видеоанализ и цифровую обработку сигналов (ЦОС) от периферийных устройств видеонаблюдения. Цифровая обработка видеосигналов позволяет анализировать опасные предаварийные ситуации. Традиционные решения, использующие стандартные видеопроцессоры, являются недостаточными, а поэтому малоэффективными для решения задач определения предаварийных ситуаций.

Для создания архитектуры специализированного вычислителя обнаружения огня произведен анализ существующих платформ производителей для приложений видеообработки.

Texas Instruments

Фирма Texas Instruments для процессоров семейства DaVinci DM6446, DM6441, DM647, DM648 разработала в 2009 году сопроцессор VICP (Video Image Coprocessor) с архитектурой SIMD и производительностью до восьми 16-разрядных операций умножения с накоплением (MAC-операций) за такт. Для этого сопроцессора была создана библиотека Signal Processing Library для поддержки функций компьютерного зрения OpenCV.

На рисунке 1 представлено IP-ядро видеосопроцессора VICP [1].

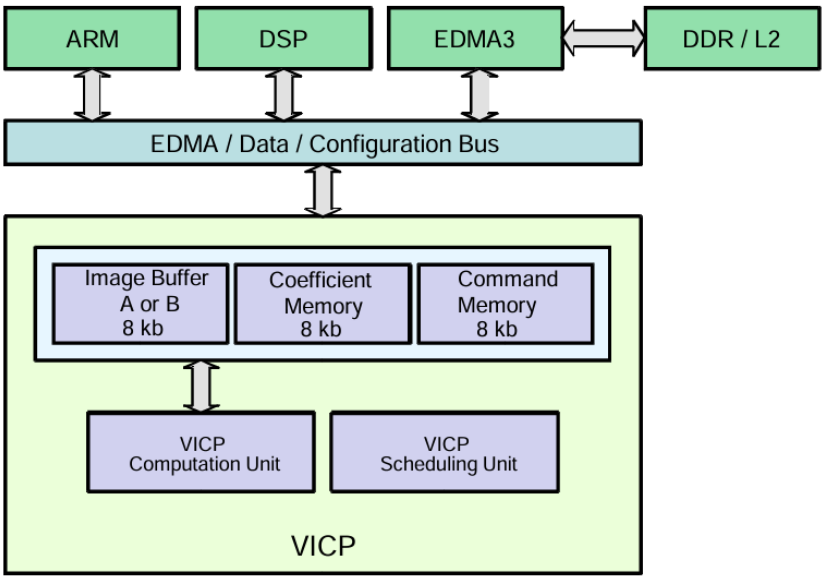


Рис. 1. IP-ядро видеосопроцессора VICP

Freescale & CogniVue

В процессорах SCP220x (Image Cognition Processors) фирма Freescale использовала IP-ядра APEX, разработанные фирмой CogniVue (рисунок 2). APEX – массивно-параллельная архитектура с 96-ю 16-разрядными каналами обработки.

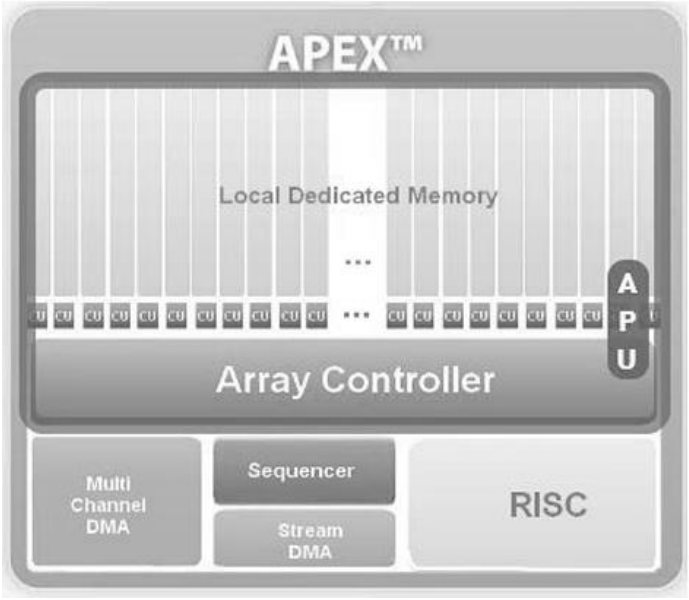


Рис. 2. Архитектура IP-ядра APEX фирмы CogniVue

Отечественный научно-производственный центр (НПЦ) «ЭЛВИС»

Создали специализированную платформу VIPP (Video Intelligent Processing Platform) для поддержки приложений видеоаналитики. Архитек-

тура созданной в рамках VIPP-платформы многоядерной гетерогенной вычислительной системы VELCore-02 [2] для задач видеообработки представлена на рисунке 3.

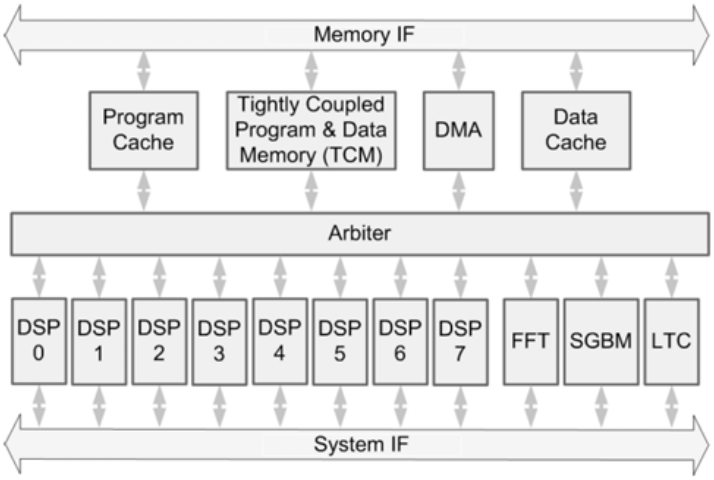


Рис. 3. Архитектура многоядерной гетерогенной вычислительной системы VELCore-02 для приложений видеообработки

Предлагаемая архитектура включает в себя:

– процессорные ядра сигнальной (видео) обработки DSP0– DSP7;

– общую (доступную для всех процессорных ядер и аппаратных ускорителей) память программ и данных TCM;

– многоканальный DMA– контроллер для массовых перемещений данных между памятью, входящей в состав системы, и внешней памятью;

– кэш программ (для программ, хранящихся во внешней памяти) Program Cache;

– кэш данных (для данных, хранящихся во внешней памяти) Data Cache;

– аппаратные ускорители различного назначения для реализации критически важных алгоритмов видеообработки (каждый из них имеет доступ к памяти данных), в том числе: FFT (Fast Fourier Transform) – ускоритель быстрого преобразования Фурье; SGBM (Semi– Global Block Matching) – ускоритель алгоритма построения карты глубины для стереозрения; LTC (Lossy/Lossless Tile Compressor) – блок компрессии/декомпрессии видеоданных;

– стандартные шины AMBA AHB и AMBA AXI для встраивания предлагаемой вычислительной системы в систему– на– кристалле.

На основе вышеперечисленных архитектур, была предложена архитектура специализированного вычислителя для обнаружения огня, основанного на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Данная структура обеспечивает эффективную и гибкую интеграцию видеоанализа и ЦОС в системах обнаружения предаварийных ситуаций.

Основные преимущества [3]:

– высокая производительность. Использование специализированных блоков ПЛИС позволяет добиться высокой скорости обработки видеоданных и анализа предаварийных ситуаций;

– гибкость и настройка. ПЛИС позволяют настроить архитектуру системы под конкретные требования и условия промышленных объектов;

– низкое потребление энергии. ПЛИС могут быть оптимизированы для минимального потребления энергии, что важно для промышленных приложений, работающих в режиме 24/7;

– стоимость. ПЛИС могут быть более дешевыми в сравнении с специализированными видеопроцессорами от известных производителей, особенно при массовом производстве.

На рисунке 4 представлена архитектура специализированного вычислителя для обнаружения огня.

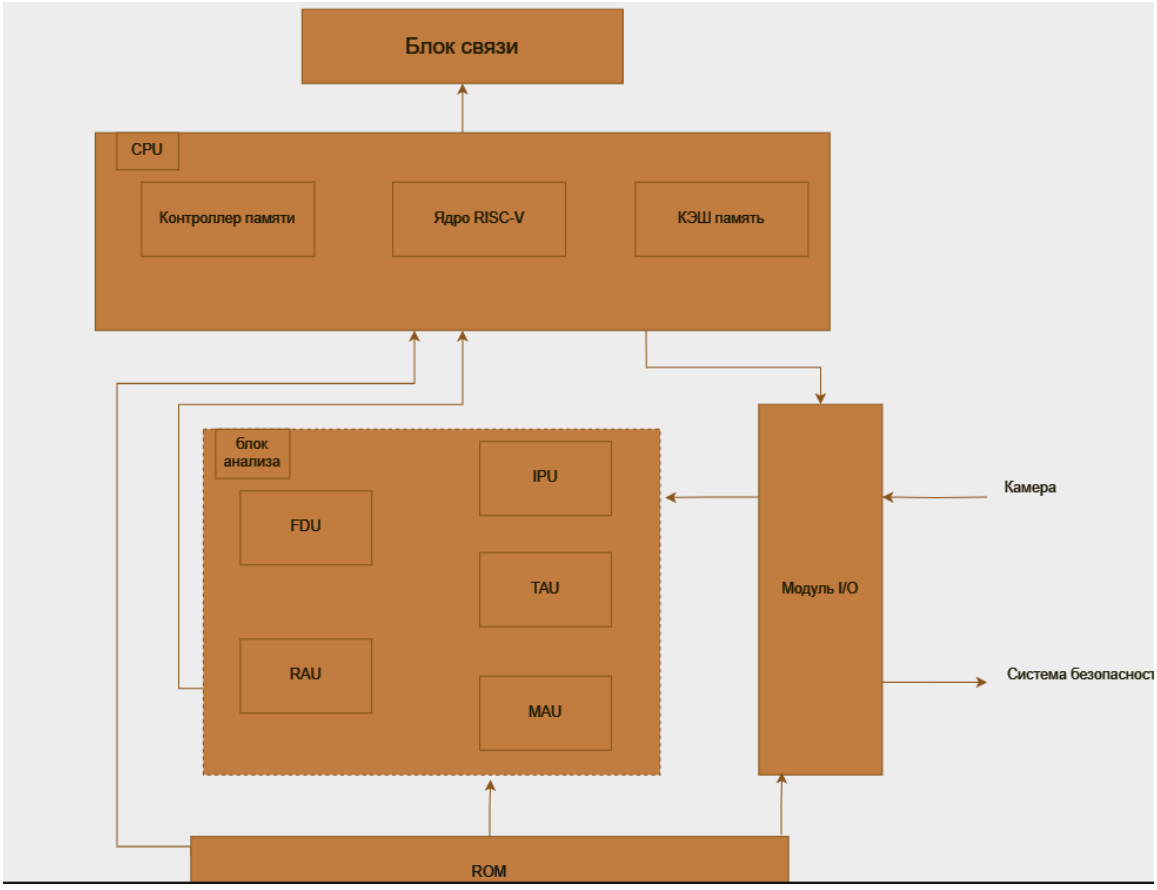


Рис. 4. Архитектура специализированного вычислителя для обнаружения огня

Ключевые элементы архитектуры:

– центральный процессорный блок (CPU). Используется ядро RISC-V, реализованное в виде hard-ядра на ПЛИС, для эффективного управления системой;

– блок обработки. Состоит из специализированных IP-блоков на ПЛИС, оптимизированных для обработки изображений (IPU), обнаружения огня

(FDU), анализа температуры (TAU), анализа движения (MAU), и оценки вероятности обнаружения (RAU);

– модуль ввода-вывода (I/O). Обеспечивает связь с видеокамерами, передавая данные в систему, а также преобразует аналоговый видеосигнал в цифровой и обратно;

– память ROM. Хранит видеоданные и результаты обработки;

– блок связи. Обеспечивает обмен данными с другими системами видеонаблюдения.

Таким образом, предлагаемая архитектура специализированного вычислителя на базе ПЛИС должна обеспечить высокую производительность, гибкость, и энергоэффективность в системах обнаружения предаварийных ситуаций, интегрируя видеоанализ на основе цифровой обработки сигналов. Разработка таких систем позволяет своевременно реагировать на отклонения от нормы, обеспечивая требуемую безопасность функционирования защищаемых объектов. Дальнейшие исследования направлены на разработку и оптимизацию алгоритмов ЦОС с использованием ПЛИС для конкретных задач обнаружения предаварийных ситуаций.

Список используемых источников

1. Беляев А. А., Гаврилов В. С., Кузнецов Д. А., Петричкович Я. Я., Солохина Т. В., Фролов Д. С., Функнер А. А. Эволюция многоядерных гетерогенных вычислительных систем в области обработки видеоданных // Материалы МЭС конференции, 2014. URL: http://www.mes-conference.ru/data/year2014/pdf/D178.pdf (дата обращения 20.10.2024).
2. Петричкович Я. Я., Солохина Т. В. Цифровые сигнальные контроллеры «МУЛЬТИКОР» – новые отечественные серии систем на кристалле // Доклады 6-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения (DSPA-2004). М., 2004. Т. 1. С. 8–15.
3. Соловьев В. В. Логическое проектирование встраиваемых систем на FPGA. Горячая Линия - Телеком, 2001. 636 с.

Kuznetsova E., Timchenko V. **DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED FPGA-BASED COMPUTER FOR SYSTEMS FOR DETERMINING PRE-EMERGENCY SITUATIONS AT INDUSTRIAL FACILITIES.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the modern world, early detection systems for pre-emergency situations are relevant to ensure the safety and stability of industrial and social facilities. The proposed architecture of the computer is based on the use of FPGAs and includes specialized blocks for processing video data from peripheral devices, namely, video cameras and thermal imagers. In addition, the analysis of pre-emergency situations and the development of recommendations are considered. The use of FPGAs provides high performance, flexibility and the ability to customize the system to meet specific requirements. The article also describes the architecture of a specialized fire detection computer.

Key words: architecture, FPGA, specialized computer, video processing.

ГРНТИ 49.33.29
УДК 621.396.946

МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ К СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

З. В. Курашев, М. С. Парфенов, А. М. Чуднов
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Изучаются принципы построения системы управления доступом к сети широкополосной спутниковой связи пользователей, выполняющей функции на основе обмена данными между ними. На основе концептуального описания функций, выполняемых элементами системы управления доступом, приводится обобщенная модель алгоритма управления доступом в виде композиции алгоритмов компонентов системы.

пользователь, обмен данными, сеть спутниковой связи, легитимный участник, ретранслятор связи, алгоритм управления доступом.

Представленная модель формулирует задачи анализа и оптимизации алгоритма управления доступом и его компонентами: первичным доступом (к формированию запроса) и вторичным доступом к ресурсу сети широкополосной спутниковой связи (СШСС).

Концептуальное описание алгоритма управления доступом

Система управления СШСС [1–8] включает ретрансляторы связи (РС) на искусственных спутниках земли (ИСЗ), наземные радиосредства (пункт управления (ПУ) и пользователи (П) с различными вариантами размещения. Принцип управления доступом к СШСС иллюстрируется на структурной схеме системы управления, представленной на рис. 1, где показаны направления служебного обмена (пунктирные линии) и информационного взаимодействия (сплошные линии) объектов системы. Процедура организационного доступа, направленная на легитимизацию пользователей, в работе не рассматривается – список легитимных пользователей составляет компоненту исходных данных для задачи оптимизации алгоритма управления доступом.

Объекты – участники СОД являются легитимными пользователями на основании решений ПУ СШСС по осуществлению (предварительно или в процессе функционирования) организационного доступа (т. е. процедуры легитимизации пользователей).

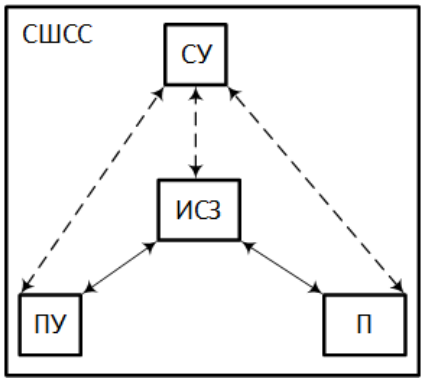


Рис. 1. Структурная схема системы управления доступом

ПУ во взаимодействии с надсистемой (т. е. системой управления пользователей) осуществляет функции:

– легимитизации/делигимитизации пользователей;

– модификации показателей приоритетности пользователей;

– модификации показателей приоритетности типов сообщений;

– обрабатывает информацию о состоянии СШСС и информирует надсистему;

– выдает в РС данные об актуальных показателях приоритетности;

– оценивает состояние СШСС (состояние элементов, характеристики служебных и информационных потоков);

– рассчитывает так называемое «критериальное значение доступа» (КЗД), т. е. значение минимально допустимого показателя приоритетности запроса на доступ, оптимальное для обеспечения максимальной величины показателя эффективности СОД;

– информирует пользователей о КЗД;

– при поступлении заявки на передачу сообщения, удовлетворяющей КЗД выделяет ресурс для передачи сообщения (при наличии ресурса);

– информирует пользователя о результате обработки запроса.

Пользователи:

– информируют управляющий объект о допустимости/недопустимости (в соответствии с КЗД) передачи данного типа сообщения с использованием СШСС;

– при условии допустимости поступившего сообщения используют для его передачи выделенный РС ресурс.

Из описанных функций нетрудно усмотреть содержание типов сообщений, которыми обмениваются участники взаимодействия в рамках обеспечения функционирования системы управления доступом.

Принципы формализации модели алгоритма управления доступом

Общий алгоритм управления доступом к СШСС представляет собой композицию алгоритмов: ПУ СШСС, РС и легитимных пользователей.

ПУ СШСС проектируется как элемент надсистемы и формализуется при ее разработке. Поступающие от ПУ данные, позволяющие оценивать показатель приоритетности того или иного сообщения (пакета данных), рассматриваются как исходные данные для задач анализа и оптимизации алгоритма РС.

РС, как отмечалось, вычисляет КЗД. При необходимости эта функция может быть передана ПУ, однако это приведет к дополнительной нагрузке на каналы служебного обмена ПУ–РС, в основном канал РС→ПУ, по которому придется осуществлять передачу сведений об информационных потоках пользователей и запросах на их доступ к ресурсу СШСС.

Вариант формирования весового показателя передаваемого сообщения (пакета) поясняется на следующем примере. Пусть w_i, c_k – значения показателя приоритетности (важности) соответственно i-участника и пакета данных k-типа, тогда в качестве КЗД для передаваемого пакета k-типа в информационном $\langle i,j \rangle$-направлении может выступать неравенство: $w_i + w_j + c_k \geq w^*$, где w^* – КЗД (оптимизированное значение).

В качестве исходных данных задачи оптимизации алгоритма управления доступом можно принять:

$w(i,j,k)$ – весовой показатель пакета $\langle i,j,k \rangle$-типа;

λ_{ijk} – интенсивность потока пакетов данных $\langle i,j,k \rangle$-типа;

ρ, μ – интенсивность обработки запросов (заявок первичного доступа) и передачи пакетов данных (информационного обмена);

$\tau_{\langle i,j,k \rangle}$ – максимально допустимое время задержки пакета данных $\langle i,j,k \rangle$-типа.

При известных указанных величинах для реализованного в СШСС способа обмена сообщениями можно рассчитать:

– зависимость $\Lambda_{ijk}(w^*)$, характеризующую интенсивность потока заявок, ограниченного условием $w(i,j,k) \geq w^*$;

– функции распределения вероятностей (ФРВ) времени обработки запроса и передачи пакета данных по каналу, соответственно обозначаемые выражениями: $F_\rho(\tau|\lambda,\rho), F_\mu(\tau|\lambda,\mu)$.

При этом целевая функция задачи оптимизации алгоритма управления доступом может быть представлена в виде математическое ожидания веса своевременно доставленных пакетов данных в системе соотношением:

$$Q(w^*|\rho,\mu) = \sum_{i,j,k} w(i,j,k)\Lambda_{ijk}(w^*)[F_\rho * F_\mu]\left(\tau^*|\Lambda_{ijk}(w^*), h_\rho, \rho, h_\mu, \mu\right), \quad (1)$$

где: τ^* – допустимое время задержки пакета данных, $[*]$ – оператор свертки ФРВ, h_ρ, h_μ – коэффициенты, учитывающие соотношение ресурса, затрачиваемого на реализацию заявки в служебной и информационной компонентах, и задача оптимизации алгоритма управления доступом принимает вид:

$$\mathrm{Q}(w^*|\rho,\mu) \to \max_{w^*} . \quad (2)$$

При анализе (разработке, модернизации) реальной системы могут возникать ситуации, приводящие к постановкам частных задач, вытекающих из (2):

$$\mathrm{Q}_\rho(w^*|\rho) = \sum_{i,j,k} w(i,j,k)\Lambda_{ijk}(w^*)F_\rho\left(\tau^*|h_\rho\Lambda_{ijk}(w^*),\rho\right) \to \max_{w^*} , \quad (3)$$

$$\mathrm{Q}_\mu(w^*|\mu) = \sum_{i,j,k} w(i,j,k)\Lambda_{ijk}(w^*)F_\mu\left(\tau^*|h_\mu\Lambda_{ijk}(w^*),\mu\right) \to \max_{w^*} . \quad (4)$$

Задача (3) направляется на оптимизацию алгоритма управления доступом по запросу (совершенствование служебной компоненты системы управления доступом) и возникает при уже имеющейся фиксированной реализации СШСС с заведомо «хорошей» информационной компонентой системы. Задача (4) – наоборот, состоит в оптимизации доступа в информационной компоненте при достаточном имеющемся ресурсе служебной компоненты.

На этапе проектирования СШСС, а также при возможности перераспределения ресурса служебной и информационной компонент в процессе в действующей системе весьма полезной может быть задача оптимизации распределения суммарного ресурса r между служебной и информационной компонентами системы

$$\mathrm{Q}(w^*|\rho,\mu) \to \max_{\rho,\mu} , \quad (5)$$

где $h_\rho\rho + h_\mu\mu = h_\Sigma r, h_\Sigma = h_\rho + h_\mu$.

Решение общей оптимизационной задачи, объединяющей задачи (2), (5) с типовыми ФРВ [9,10,14] приводит к логичному результату $h_\rho\rho = h_\mu\mu$, указывающему на целесообразность распределения ресурса пропорционально затратам на реализацию служебного и информационного запроса. При пропорциональном распределении ресурса задача (2) может быть приведена к виду

$$\mathrm{Q}(w^*|r/h_\Sigma) = \sum_i w'(i)\Lambda'_i(w^*)[F_r(\tau^*|\Lambda'_i(w^*),r')] \to \max_{w^*} ,$$

где $w'(i)$ – вес (ценность) i-типа сообщения (в общем списке), $\Lambda'_i(w^*)$ – интенсивность реализованного потока сообщений i-типа.

Заключение

Важность рассмотренных подходов к управлению алгоритмом доступа существенно возрастает при функционировании СШСС в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий, обусловливающих необходимость, наряду с мерами помехозащиты линий спутниковой связи [9, 10], использовать специальные алгоритмы управления доступом [11–14].

Предложенные подходы к анализу и оптимизации алгоритма управления доступом могут быть распространены на сети радиосвязи на базе группы РС на искусственных спутниках Земли.

Список используемых источников

1. Зинкин С. В., Мурсаев А. Н. Особенности многостанционного доступа с временным разделением каналов в системах спутниковой связи // Труды учебных заведений связи, 2020. Т. 6. № 1. С. 22–31.
2. Kaddoum G. K. Wireless chaos-based communications systems: a comprehensive survey // IEEE Access, 2016. Vol. 4. PP. 2621–2648.
3. Аниканов Г. А., Овчаров В. А. Контролируемый многомодельный доступ к среде беспроводных сетей передачи данных // Тр. СПИИРАН, 2015. Выпуск 38. С. 246.
4. Перегудов М. А., Стешковой А. С., Модель централизованной синхронизации элементов сетей цифровой радиосвязи со случайным множественным доступом к среде типа CSMA/CA //Тр. СПИИРАН, 2020. Выпуск 19. Том 1. С. 128–154.
5. Промыслов В. Г., Модель доступности на основе теории сетевого исчисления для потоковой системы обработки данных // УБС, 2024. Выпуск 110.
6. Chen X. L., Liu G. H., Zhang X.и M., Chen S. S. When full duplex wireless meets non-orthogonal multiple access: Opportunities and challenges // IEEE Wireless Communications, 2019. Vol. 26. № 4. PP. 148–155.
7. Minoli D. Innovations in satellite communication and satellite technology: the industry implications of DVB-S2X, high throughput satellites, Ultra HD, M2M, and IP. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.
8. Чуднов А. М., Положинцев Б. И., Кичко Я. В. Анализ помехозащищенности обмена данными группы беспилотных летательных аппаратов в условиях оптимизированных помех // Радиотехника. 2022. Т. 86. № 12. С. 33−46. DOI: https://doi.org/10.18127/j00338486-202212-03.
9. Степанов С. Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и трафика данных // Стохастические системы, системы массового обслуживания, 2011.
10. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания, 1969.
11. Перегудов М. А., Бойко А. А. Модель процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA//Информационно-управляющие системы, 2014.
12. Пономарев Д.Ю., Демичева А.А., Гаипов К.Э. Имитационная модель обслуживания вызовов в спутниковой сети с учетом использования частотного ресурса // Моделирование, оптимизация и информационные технологии 2023.

13. Чуднов А. М., Кичко Я. В., Сапунова Л. П. Оптимизация гарантированной скорости передачи информации псевдослучайными сигналами с рандомизированной базой в условиях преднамеренных помех // Радиотехника и электроника. 2023. Т. 68. № 3. С. 263–270.
14. Чуднов А. М. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. СПб: ВАС. 2021. 122 с.

Kurashev Z., Parfenov M., Chudnov A. **A MODEL OF AN ALGORITHM FOR CONTROLLING USER ACCESS TO A BROADBAND SATELLITE COMMUNICATION NETWORK BASED ON RESOURCE REDISTRIBUTION DURING OPERATION.**

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

The principles of improving access control to the broadband satellite communication network of users of the system performing functions based on data exchange between them are being studied. Based on the conceptual description of the functions performed by the elements of the access control system, a generalized model of the access control algorithm is presented in the form of a composition of algorithms of the system components.
The principles of setting and solving problems of optimizing an access control algorithm based on an objective function characterizing the mathematical expectation of the total weight (value, importance) of timely transmitted messages are considered.

Key words: user, data exchange, satellite communication network, legitimate participant, communication repeater, access control algorithm.

УДК 535.3
ГРНТИ 47.01.77

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

А. Н. Ликонцев, П. А. Межевов, В. А. Урум
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Исследование посвящено улучшению моделей радиопокрытия внутри зданий с учетом влияния материалов стен, мебели и присутствия людей, которые значительно ослабляют сигнал. Полученные данные помогут создать более точные модели для обеспечения качественной связи в помещениях.

радиопокрытие, ослабление сигнала, препятствия, интерференция, качество связи

С ростом потребности в мобильной связи и беспроводном интернете важность качественной связи внутри помещений увеличивается. Существующие модели, такие как COST 231 и ITU-R P.1238-12, оценивают уровень сигнала, но не учитывают особенности зданий и присутствие людей, что влияет на качество связи. В данной работе представлены результаты экспериментов по ослаблению сигнала в помещениях для разработки более точных моделей радиопокрытия внутри зданий.

Для качественной связи важно изучить, как волны проходят через окна, стены и двери. Материалы, такие как стекло и металл, искажают сигнал, а многолучевое распространение вызывает интерференцию. Это требует оптимизации размещения базовых станций, использования усилителей и разработки алгоритмов компенсации помех для повышения надежности связи внутри зданий.

Радиоволны в зданиях зависят от материалов стен, геометрии и частоты сигнала; высокие частоты ослабляются сильнее, а стены и мебель создают преграды [1]. В исследовании использовали базовые станции и сканер R&S®TSME для измерения ослабления сигнала в стенах из разных материалов и влияния присутствия людей. Анализ показал, что железобетонная стена толщиной 30 см при угле падения 45° ослабляет сигнал на 12 дБ. 27 сидящих студентов в аудитории ослабляют сигнал на 2 дБ, стоящих – на 5 дБ. Перемещение студентов увеличивает ослабление на 1-2 дБ, а их близость к антенне – на 1,5-2 дБ [2]. Полученные результаты представлены на рис. 1–8:

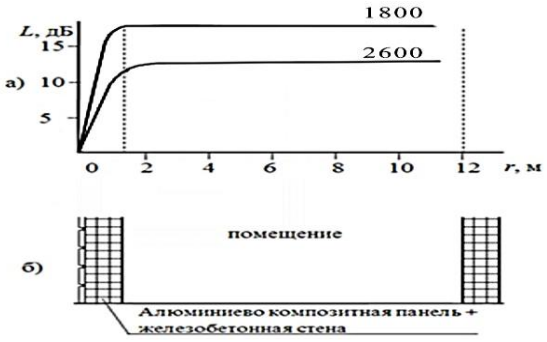


Рис. 1. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 и 2600 МГц от расстояния в пустом помещении; б) место экспериментального исследования

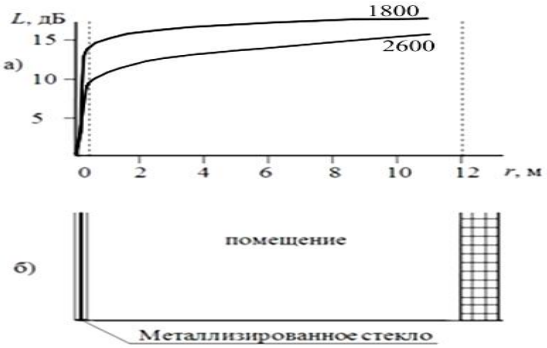


Рис. 2. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 и 2600 МГц от расстояния в пустом помещении;
б) место экспериментального исследования

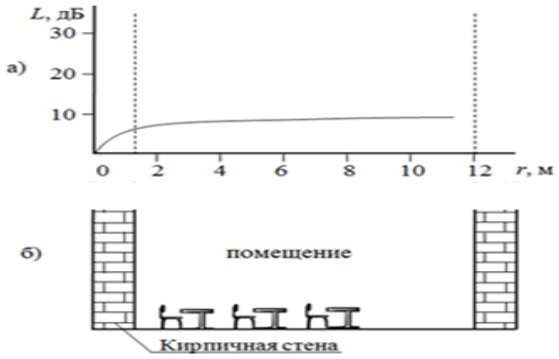


Рис. 3. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 МГц от расстояния в пустом помещении; б) место экспериментального исследования

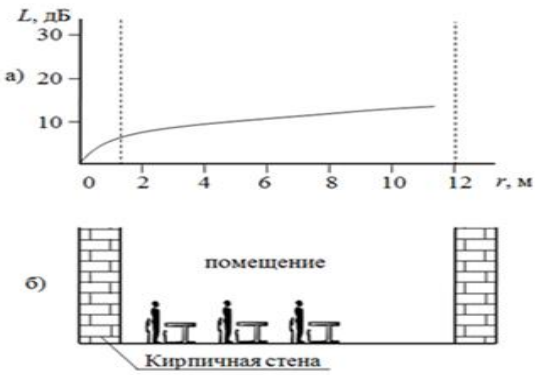


Рис. 4. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 МГц от расстояния в помещении (студенты стоят); б) место экспериментального исследования

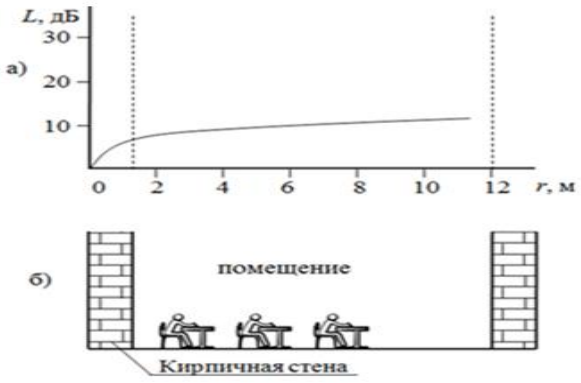


Рис. 5. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 МГц от расстояния в помещении (студенты сидят); б) место экспериментального исследования

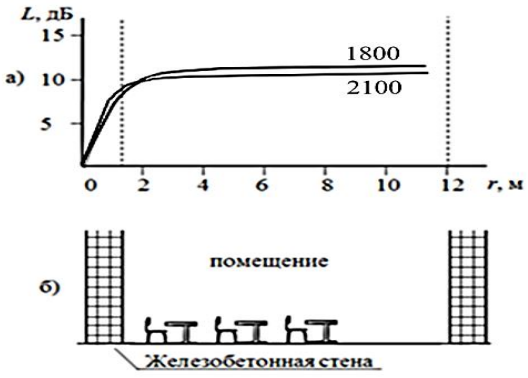


Рис. 6. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 и 2100 МГц от расстояния в пустом помещении; б) место экспериментального исследования

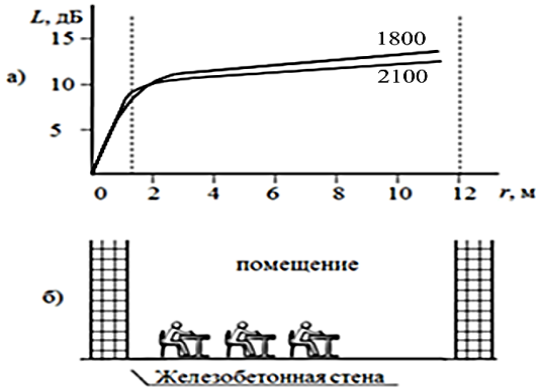


Рис. 7. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 и 2100 МГц от расстояния в помещении (студенты сидят); б) место экспериментального исследования

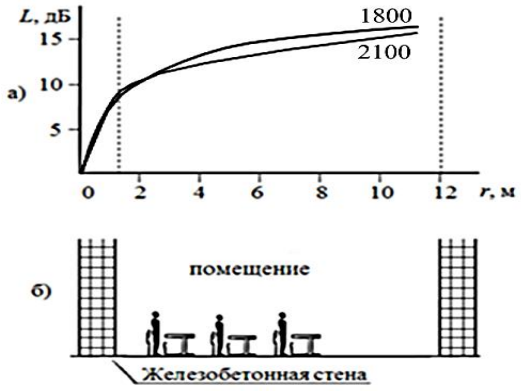


Рис. 8. а) усредненная зависимость ослабления сигнала на частоте 1800 и 2100 МГц от расстояния в помещении (студенты стоят); б) место экспериментального исследования

Кирпичная стена толщиной 55 см при угле падения 50° ослабляет сигнал на 9,8 дБ. 18 сидящих студентов в аудитории дают ослабление на 3 дБ, стоящих – на 6 дБ. Перемещение студентов увеличивает ослабление на 2 дБ, а студент на пути волны рядом с антенной увеличивает ослабление на 1 дБ. Уменьшение толщины стены до 50 см и изменение угла падения волны изменяет ослабление на 0,5–1 дБ.

Для точности прогноза до 5 дБ используют модели на основе уравнений Максвелла [3], включая запуск и трассировку лучей, с балансом между точностью и вычислительными затратами. Эти методы позволяют учитывать сложные условия распространения радиоволн. Рассмотрим на примере аудитории № 445 пр. Большевиков д. 22 к. 1 (рис. 9):

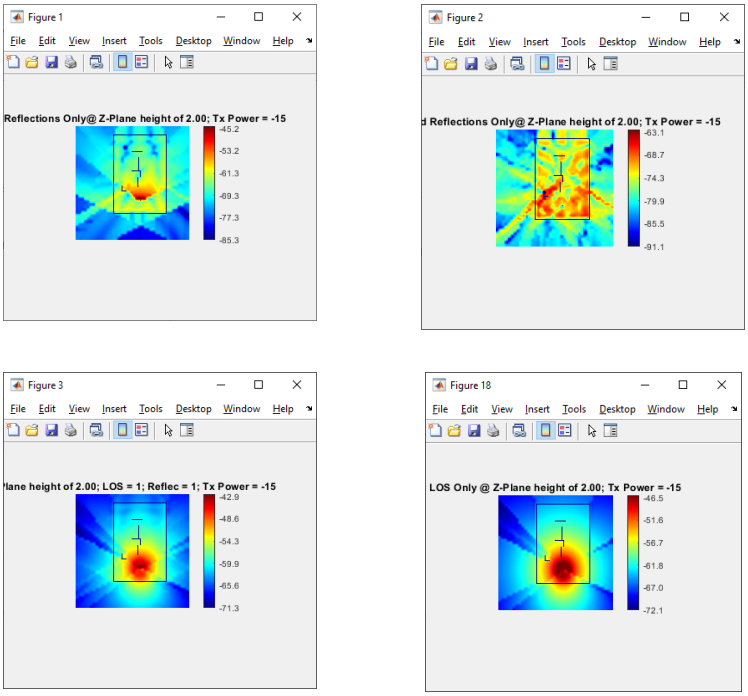
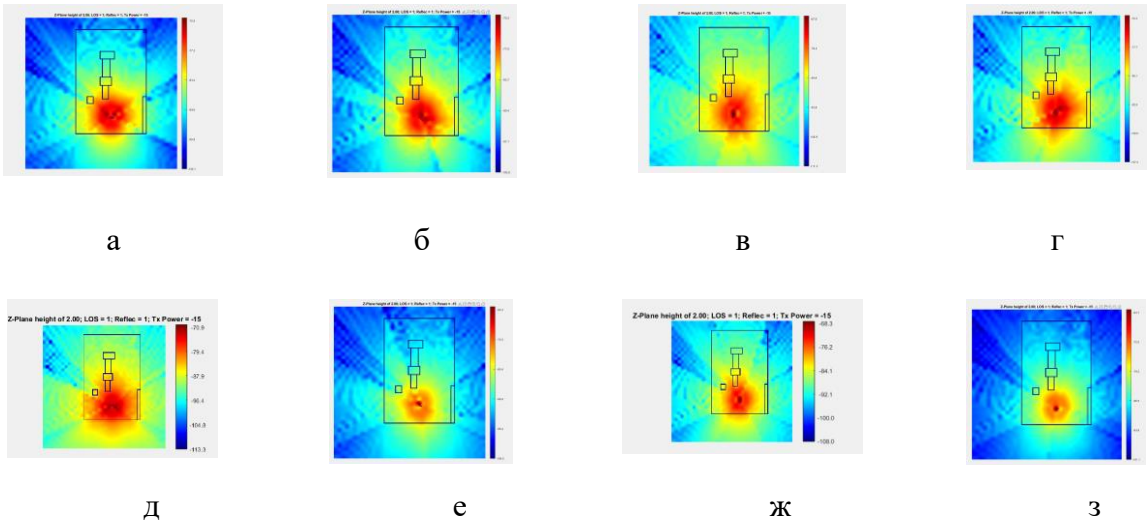


Рис. 9. Модель распространения

Металлическая мебель и электрооборудование создают преграды и интерференцию, влияя на уровень сигнала. Железобетонные и кирпичные стены ослабляют сигнал до 12 дБ и 9,8 дБ соответственно. Люди ослабляют сигнал на 2–6 дБ, а их движение добавляет 1–2 дБ.

Измерения в аудитории с одним человеком показали, что разница между теоретической моделью и фактическим уровнем сигнала составила около 10 %. Это расхождение связано с тем, что мебель, стены и другие объекты создают дополнительные отражения и поглощение, внося основной вклад в отклонение.

В таблице 1 представлены значения: первое показывает реальные измерения (рис. 10), а второе – измерения, полученные теоретической моделью.



а б в г

д е ж з

Рис. 10. Распространение волн в зависимости от угла расположения зеркала RSSI (Уровень сигнала при различных углах поворота антенны)
а) 0, б) 45, в) 90, г) 135, д) 180, е) 225, ж) 270, з) 315.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение значений теоретической модели и измерений в аудитории

	Измерения в аудитории, дБ	Теоретические данные, дБ
а	-87	-79
б	-89	-75
в	-80	-76
г	-81	-79
д	-75	-73
е	-95	-87
ж	-77	-69
з	-94	-87

Сравнение моделей COST 231 и ITU-R P.1238-12 с измерениями показало, что они точны для простых помещений, но не учитывают влияние мебели и оборудования, создающих интерференцию и зоны слабого сигнала. Разница с измерениями составила около 10 %. Высокочастотные сигналы (1800 и 2600 МГц) сильнее ослабляются стенами, а присутствие людей снижает сигнал на 2–5 дБ. Для улучшения покрытия рекомендуется минимизировать металлические предметы и оптимизировать размещение мебели. Исследование внесло вклад в моделирование радиопокрытия в помещениях.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы: люди и мебель влияют на распространение Wi-Fi и сотового сигнала, причем сидящие ослабляют его на 2–3 дБ, стоящие – на 5–6 дБ; движение добавляет 1–2 дБ. Металлическая мебель создает интерференцию, деревянная также ослабляет сигнал, но меньше. Для улучшения Wi-Fi следует минимизировать металлические объекты на пути от роутера и размещать людей так, чтобы они не блокировали сигнал. Бетонные и кирпичные стены ослабляют сотовый сигнал на 10–12 дБ, поэтому важно снизить количество преград между точкой входа и зонами использования [4].

Список используемых источников

1. Болотов А. Н., Мартынов С. В. Методы моделирования распространения радиоволн в помещениях. // Радиотехника, 2020.
2. Артемьев М. А. Принципы метода трассировки лучей, его преимущества и ограничения // Научно-исследовательский Центр "Science Discovery". 2023. № 14. С. 95–99.
3. Пименов Ю. В., Вольман В. И., Муравцов А. Д. Техническая электродинамика. Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 2000.
4. Ликонцев А. Н., Назаров А. М., Абдукадыров А. Х., Мадаминов Х. Х. Ослабление напряженности поля в коридорах зданий с использованием модели прямоугольного волновода. // Научно-практический журнал «Поколение Мухаммада ал-Хоразмий», 2019. № 1 (7). С. 83–85.

Likontsev A., Mezhevov P., Urum V. **INDOOR RADIOWAVE PROPAGATION.**
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The study focuses on improving radio coverage models within buildings, taking into account the influence of wall materials, furniture, and the presence of people, which significantly weaken the signal. The data obtained will help create more accurate models to ensure high-quality communication indoors.

Key words: radio coverage, signal attenuation, obstacles, interference, communication quality.

УДК 621.396.99
ГРНТИ 49.33.29

РАЗРАБОТКА И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО РАСЧЕТУ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ONEPLAN RPLS-DB LINK

А. Н. Ликонцев, Д. С. Попов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная статья посвящена разработке и методическому обеспечению лабораторной работы по расчету радиорелейной линии в программном обеспечении ONEPLAN RPLS-DB LINK. В статье будут рассмотрены основные аспекты разработки и внедрения лабораторной работы, а также результаты тестирования разработанной методики и программного обеспечения на студентах.

радиорелейные линии, программное обеспечение ONEPLAN RPLS-DB LINK, методика расчета, лабораторная работа

Информационные технологии играют ключевую роль в современном обществе, проникая во все сферы деятельности человека, включая телекоммуникации. Радиорелейные линии связи являются одним из основных элементов телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивая передачу данных на большие расстояния. В связи с этим возникает необходимость в подготовке специалистов, способных разрабатывать и эксплуатировать радиорелейные линии связи.

Для этого необходимо разработать и внедрить в учебный процесс новые методики и программное обеспечение, которые позволят студентам получить практические навыки расчета радиорелейных линий. Данная статья посвящена разработке и методическому обеспечению лабораторной работы по расчету радиорелейной линии с использованием программного обеспечения ONEPLAN RPLS-DB LINK.

Описание программного обеспечения ONEPLAN RPLS-DB LINK

Программное обеспечение ONEPLAN RPLS-DB LINK представляет собой инструмент для расчета и проектирования радиорелейных линий связи [1]. Оно позволяет определить основные параметры линии, такие как длина, высота антенн, мощность передатчика и т. д. Это программное обеспечение широко используется в телекоммуникационной отрасли и может быть полезным инструментом для студентов, изучающих радиорелейные технологии. Пример профиля представлен на рис. 1.

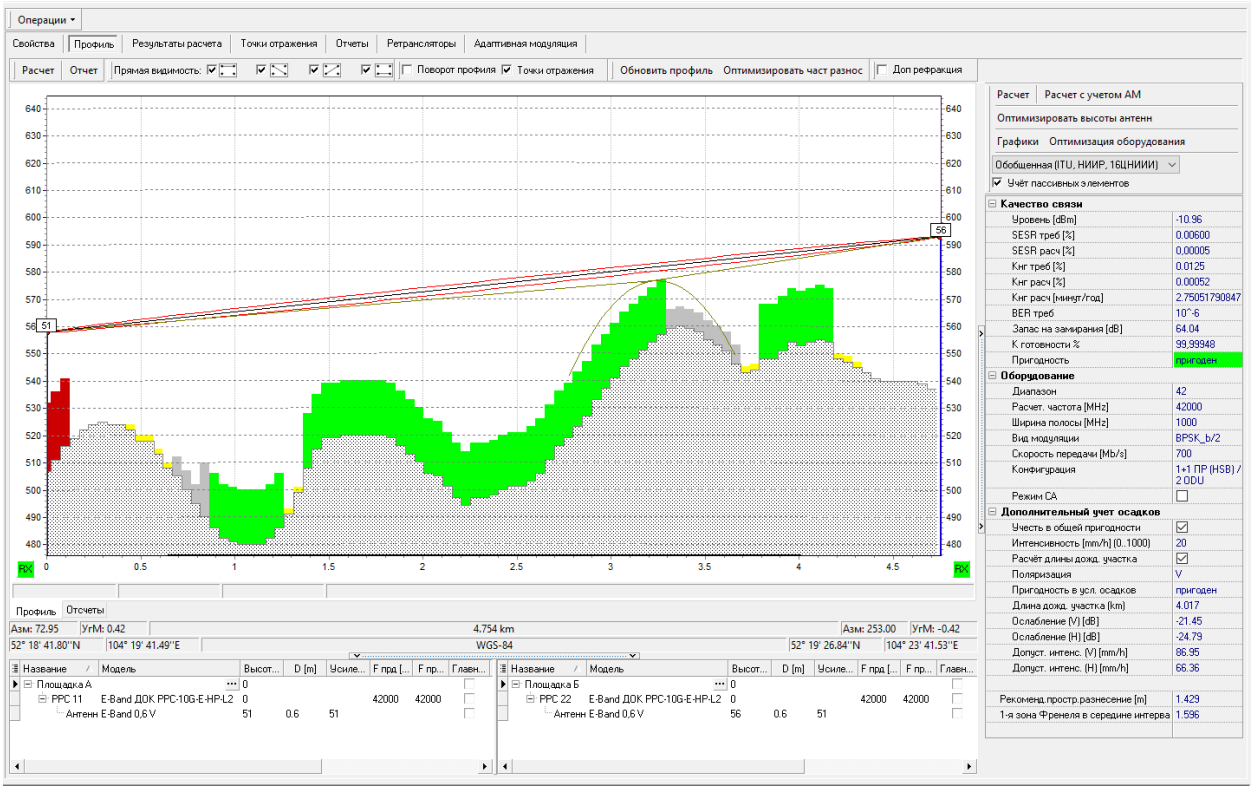


Рис. 1. Панель профиля «ONEPLAN RPLS-DB Link»

Методика расчета радиорелейной линии

Методика расчета радиорелейной линии включает в себя следующие этапы [2]:

1. Выбор аппаратуры.
2. Выбор места и построения профиля.
3. Определение основных параметров линии: длины, высоты антенн, мощности передатчика и др.
4. Расчет по обобщенной (ITU, НИИР и 16 ЦНИИИ) методике.
5. Проверка соответствия рассчитанных параметров требованиям стандартов.
6. Корректировка параметров при необходимости.

Эта методика позволяет студентам научиться рассчитывать основные параметры радиорелейных линий и проверять их соответствие требованиям стандартов.

Пример расчета радиорелейной линии с использованием ONEPLAN RPLS-DB LINK

Рассмотрим пример расчета радиорелейной линии ПунктА<->ПунктБ E-диапазона (рис. 2), длина интервала 4176 м [3]. Высота антенн составляет 28 м, а мощность передатчика – 26,5 дБм. Используя методику расчета и программное обеспечение ONEPLAN RPLS-DB LINK, можно определить параметры из таблицы 1.

ТАБЛИЦА 1. Основные показатели качества пролета

Скорость Mbit/s	9979
SESR, %	0,0001
КНг, %	0,0028
КНг мин год	15
SESR треб, %	0,006
КНг треб, %	0,0125
Полоса, MHz	2000

где SESR треб (%) – требуемое значение показателя качества по ошибкам (доли секунд, сильно пораженных ошибками) для РРИ;

SESR (%) – рассчитанное значение показателя качества по ошибкам (доли секунд, сильно пораженных ошибками) для РРИ;

Кнг треб (%) – требуемое значение коэффициента (показателя) неготовности для РРИ;

Кнг (%) – рассчитанное значение коэффициента (показателя) неготовности, в % для РРИ;

Кнг расч (мин/год) – рассчитанное значение коэффициента (показателя) неготовности, в минут/год для РРИ.



Рис. 2. РРЛ ПунктА <-> ПунктБ

Этот пример показывает, как можно использовать методику расчета и программное обеспечение для определения параметров реальных радиорелейных линий.

Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы

Методические рекомендации включают в себя цели, задачи, порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета [4]. Целью лабораторной работы является приобретение студентами практических навыков расчета радиорелейных линий с использованием программного обеспечения ONEPLAN RPLS-DB LINK. Задачи работы включают в себя:

– изучение методики расчета радиорелейных линий;
– освоение программного обеспечения ONEPLAN RPLS-DB LINK;
– выполнение расчета радиорелейной линии на примере;
– оформление отчета о лабораторной работе.

Порядок выполнения работы включает в себя изучение теоретического материала, выполнение расчета на примере, оформление отчета и защиту лабораторной работы. Требования к оформлению отчета включают в себя четкость и логичность изложения, наличие всех необходимых расчетов и выводов.

Тестирование разработанной методики и программного обеспечения на студентах

Тестирование проводилось на группе студентов, обучающихся по специальности «РТ-21». Результаты тестирования показали, что студенты успешно освоили методику расчета радиорелейных линий и научились использовать программное обеспечение ONEPLAN RPLS-DB LINK для выполнения расчетов. Лабораторная работа способствовала развитию у студентов навыков расчета радиорелейных линий и работы с программным обеспечением. Студентам понравилась лабораторная работа, и они оценили ее полезность для будущей профессиональной деятельности.

Заключение

Разработанная лабораторная работа по расчету радиорелейных линий с использованием программного обеспечения ONEPLAN RPLS-DB LINK является эффективным инструментом для подготовки специалистов в области телекоммуникаций. Она позволяет студентам приобрести практические навыки расчета основных параметров радиорелейных линий и проверить их.

Список используемых источников

1. Одоевский С., Степанец В. Проектирование РРЛ: программный комплекс ONEPLAN RPLS // Первая миля, 2016. № 8 (61). С. 18–23.
2. Ларин Е. А. Метод расчета ослабления радиоволн в дожде на приземных трассах // Электросвязь, 1982. № 8. С. 48–54
3. Гомзин В. Н., Лобач В. С., Морозов В. А. Расчет параметров цифровых РРЛ, работающих в диапазонах частот выше 10 ГГц // СПб: СПбГУТ. 1998.
4. Курицын С. А. Основы построения телекоммуникационных систем передачи. Выбор, 2004.

Likonstev A., Popov D. **DEVELOPMENT AND METHODOLOGICAL SUPPORT OF A LABORATORY WORK ON THE CALCULATION OF THE RADIO RELAY LINE IN THE ONEPLAN RPLS-DB LINK SOFTWARE.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article is devoted to the development and methodological support of laboratory work on the calculation of a radio relay line in the ONEPLAN RPLS-DB LINK software. The article will consider the main aspects of the development and implementation of laboratory work, as well as the results of testing the developed methodology and software on students.

Key words: radio relay lines, ONEPLAN RPLS-DB LINK software, calculation methodology, laboratory work.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.49.313

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ГНСС ПРИ ПОГРЕШНОСТЯХ ЭТАЛОННОГО СИГНАЛА

А. В. Максимова
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматривается пространственная обработка сигналов в глобальных навигационных спутниковых системах на основе градиентного алгоритма адаптации антенных решеток в условиях погрешностей эталонного сигнала. Представлены результаты моделирования в среде MATLAB и предложения по использованию таких алгоритмов в системах спутниковой навигации.

пространственная обработка сигналов, адаптивный алгоритм минимума среднеквадратической ошибки, ГНСС, MATLAB

Наличие сложной помеховой обстановки и малый уровень сигнала от спутника в точке приема при работе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) приводит к необходимости применения специальных методов обработки сигналов, позволяющих повысить помехоустойчивость навигационного приемника и снизить влияние помех на аппаратуру потребителей.

Одним из эффективных методов борьбы с помехами является пространственная фильтрация с помощью адаптивных антенных решеток (ААР) [1]. Их особенность заключается в возможности управления диаграммой направленности (ДН) путем изменения амплитудно-фазового распределения (АФР) поля на элементах антенной решетки. Основной задачей адаптивной фильтрации является выбор оптимального вектора весовых коэффициентов (ВК).

В случае стационарной сигнально-помеховой обстановки, т. е. когда параметры сигнала и помехи не меняются с течением времени, для определения ВК можно применять адаптивный алгоритм Уидроу-Хоффа, широко используемый благодаря тому, что его вычислительная сложность – наименьшая среди всех известных алгоритмов адаптивной фильтрации [2]. Данный алгоритм является итерационным и использует метод наименьших квадратов LMS (Least Mean Squares) для вычисления ВК, которые минимизируют среднеквадратическое отклонение (СКО) между выходным сигналом фильтра и эталонным сигналом. При этом вектор ВК можно представить рекуррентным соотношением:

$$\vec{W}_{k+1} = \vec{W}_k + \mu e_k \vec{X}_k = \vec{W}_k + \mu\left(\vec{z}_{\text{эт}\,k} - \vec{W}_k^T\,\vec{X}_k\right)\vec{X}_k\,,$$

где $\vec{W}_k$ – вектор ВК в момент k, μ – шаг адаптации, e_k – сигнал ошибки, $\vec{z}_{\text{эт}\,k}$ – эталонный сигнал, $\vec{X}_k$ – принимаемый сигнал

LMS-алгоритм используют, когда можно оценить предельно допустимое значение шага сходимости μ, обеспечивающего устойчивость алгоритма. В ситуациях, где это невозможно, часто применяется нормализованный LMS-алгоритм (Normalized LMS, NLMS), представляющий собой LMS-алгоритм с переменным шагом адаптации:

$$\mu(k) = \frac{\mu_0}{\vec{X}_k^T\,\vec{X}_k}\,,$$

где μ_0 – фиксированное значение шага адаптации, $\vec{X}_k^T\,\vec{X}_k$ – мгновенная оценка энергии сигнала

Будем рассматривать модель 8-ми элементной ААР, принимающей сигнал X:

$$X = S(t) + P(t) + N\,,$$

где $S(t)$ – полезный сигнал, $P(t)$ – сигнал помехи со случайной начальной фазой, N – аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ)

В ГНСС используются фазоманипулированные сигналы (BPSK – Binary Phase Shift Keying) с модуляцией дальномерным кодом, представляющим собой псевдослучайную последовательность (ПСП) [3]. Эталонным сигналом $z_{\text{эт}}$ будем считать сигнал в первом элементе ААР, т. е. сигнал без фазового сдвига.

В спутниковой связи в канале присутствует эффект замирания, который может приводить к скачкам фазы полезного сигнала.

На рисунке 1 приведена зависимость отношения сигнал/помеха+шум (ОСПШ) после фильтрации от ОСПШ до фильтрации алгоритмами LMS и NLMS для следующих случаев: сигнала с BPSK; сигнала с BPSK, модулированного ПСП (кодом Голда) и сигнала с BPSK, получившего скачки фазы $+\Delta\phi$ в канале связи за счет замираний.

Значение ОСПШ после адаптации рассчитывается как:

$$\text{ОСПШ} = \frac{\vec{W}^T\vec{S}\vec{S}^T\vec{W}}{\vec{W}^T\vec{P}\vec{P}^T\vec{W}}$$

Исследование точности алгоритмов адаптации LMS и NLMS по минимуму СКО (МСКО) ошибки от угла прихода помехового сигнала относительно нормали ААР приведено на рис. 2. Значение ОСПШ до адаптации равно 0 дБ. Угол прихода полезного сигнала 0°.

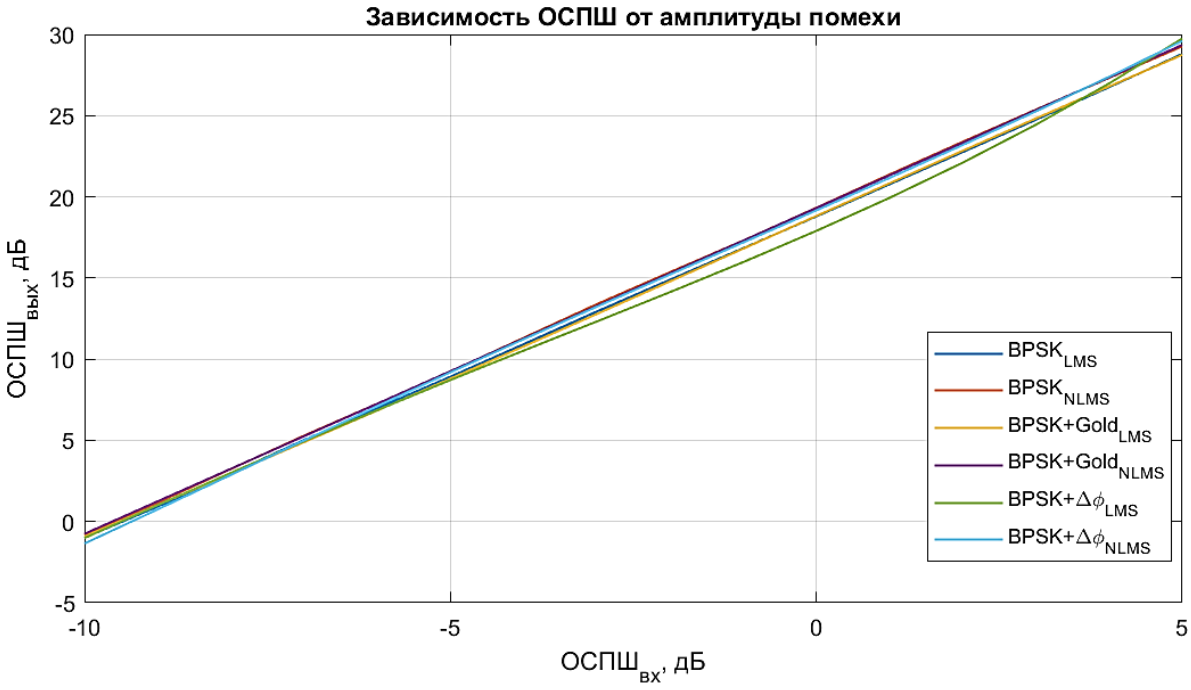


Рис. 1. Зависимость ОСПШ после адаптации от ОСПШ до адаптации

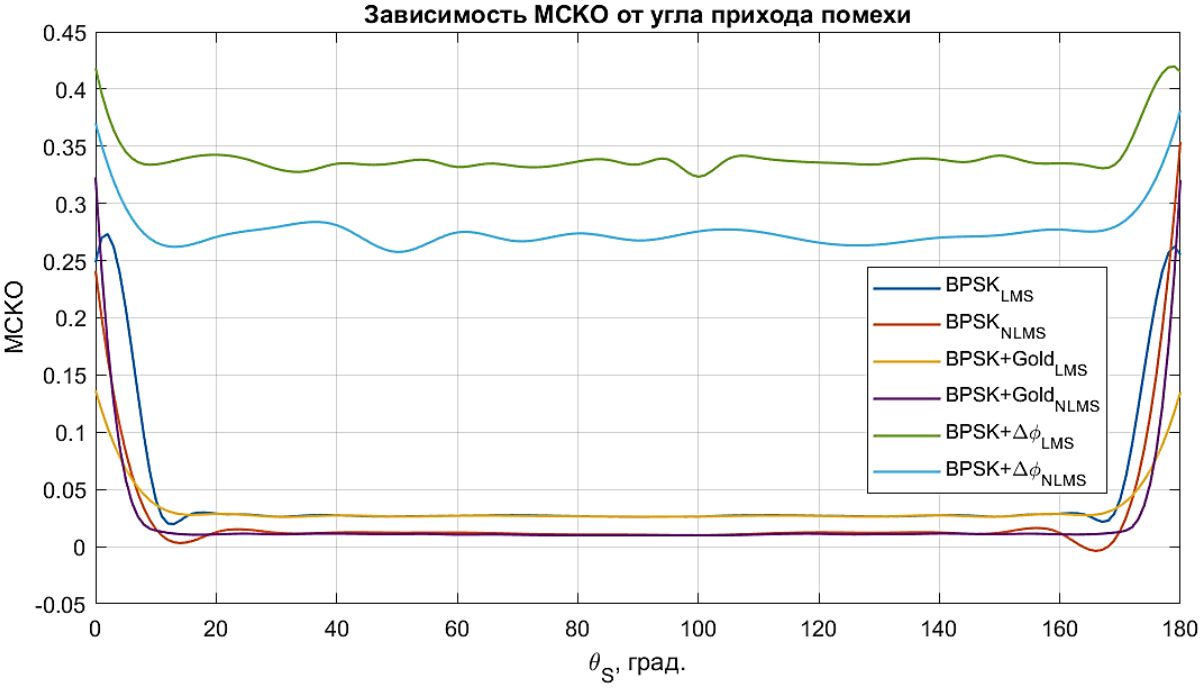


Рис. 2. Зависимость МСКО ошибки от угла прихода помехового сигнала

Видно, что алгоритм NLMS обеспечивает лучшую точность, чем LMS. Сигнал, получивший скачки фазы в канале с замираниями, имеет наихудшее значение МСКО после адаптации.

На рисунке 3 представлена зависимость требуемого количества итераций для достижения сходимости алгоритма адаптации к заданному значению СКО ошибки от угла прихода помехового сигнала.

Алгоритм NLMS требует меньшее количество итераций для достижения заданной точности адаптации, чем LMS. Для сигнала со скачками фазы невозможно достичь заданной точности, что также видно на рисунке 2.

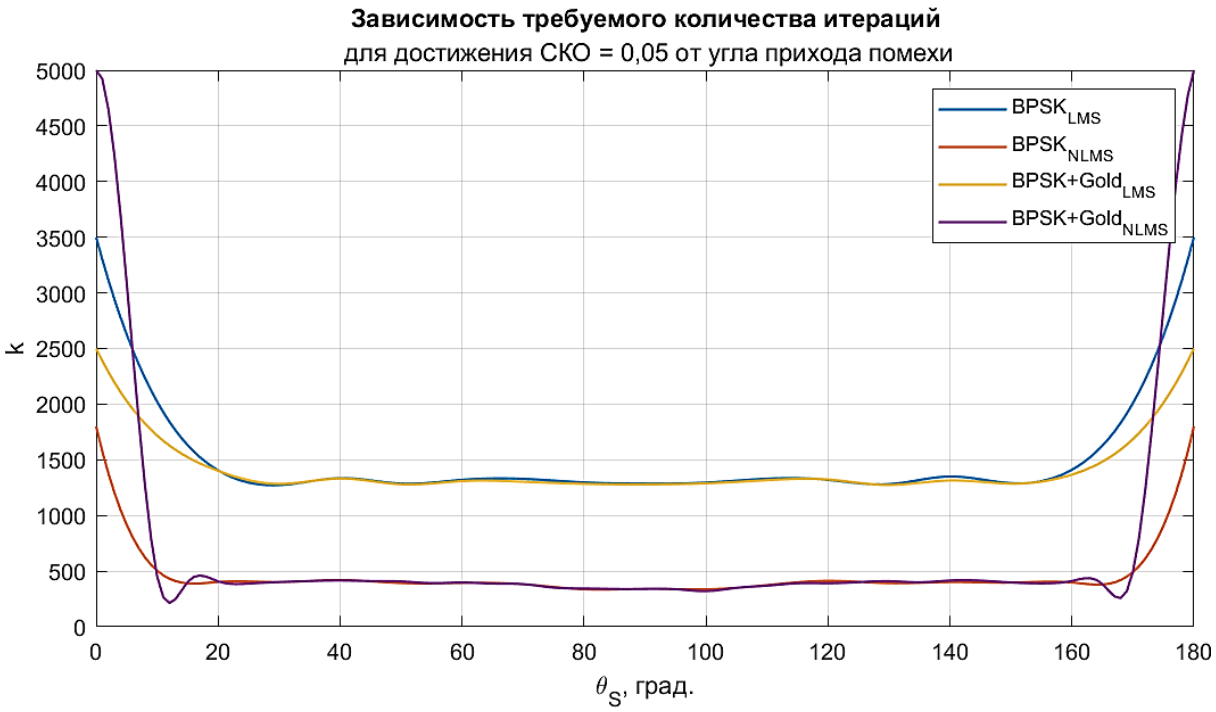


Рис. 3. Сходимость алгоритма адаптации к заданному значению СКО ошибки в зависимости от угла прихода помехового сигнала

На рисунке 4 показана зависимость ОСПШ после адаптации от угла прихода помехи.

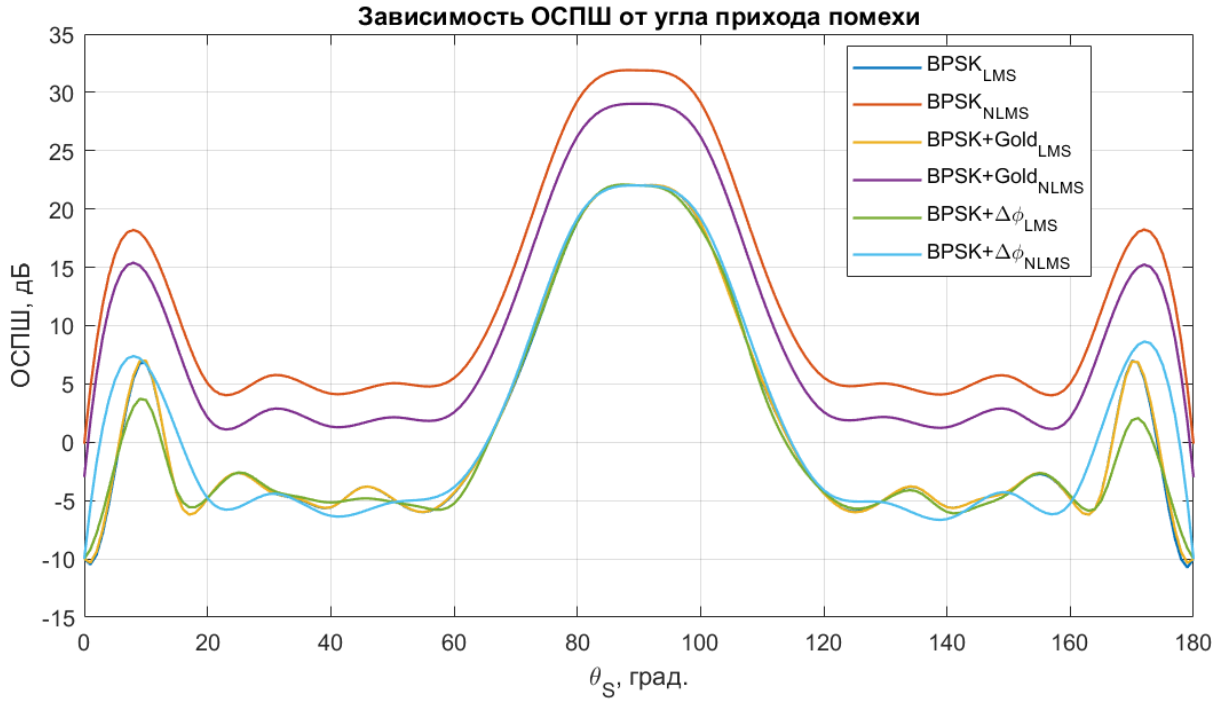


Рис. 4. Зависимость ОСПШ после адаптации от угла прихода помехи

Тенденция изменения ОСПШ от угла прихода помехи одинакова во всех случаях. Наилучшее значение ОСПШ дает адаптация BPSK сигнала, в том числе с кодом Голда. Наихудшее значение ОСПШ получаем при угле прихода помехи 0°, совпадающем с углом прихода полезного сигнала. ОСПШ достигает наибольшего значения при приходе помехового сигнала под углом 90° к нормали ААР.

На основании полученных в ходе исследования результатов, можно сделать следующие выводы.

1. Применение адаптивных алгоритмов в навигационной аппаратуре потребителей ГНСС позволяет повысить помехоустойчивость навигационных систем в условиях воздействия пространственно-сосредоточенных помех.

2. Погрешности в задании эталонного сигнала приводят к некоторому снижения качества алгоритмов, но в целом не являются определяющими для подавления подобных помех.

Список используемых источников

1. Van Trees, Harry L. Optimum Array Processing. Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory / Harry L. Van Trees. JSBN 0-471-09390-4.
2. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. 528 с., ISBN 978-5-94836-342-4.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2010. 800 с., ил. ISBN 978-5-88070-251-0.
4. Бойко И. А., Глушанков Е. И., Рылов Е. А. Моделирование градиентного алгоритма адаптации антенной решетки в среде Matlab // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2022. №1. ISSN 2221-2574.
5. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию / Пер. с англ. Под ред. В. А. Лексаченко. М.: Радио и связь, 1986. 446 с.

Maksimova A. **SPATIAL SIGNAL PROCESSING IN GNSS UNDER REFERENCE SIGNAL ERRORS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Spatial signal processing in global navigation satellite systems based on the gradient algorithm of antenna array adaptation in the conditions of reference signal errors is considered. The results of modeling in MATLAB environment and proposals for the use of such algorithms in satellite navigation systems are presented.

Key words: spatial signal processing, MSE adaptive algorithm, GNSS, MATLAB.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.61.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА MUSIC

Тон Куок Фонг, Е. С. Штрунова
Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина

В данной работе рассматривается задача определения направления прихода взаимно некоррелированных двух сигналов с использованием алгоритма классификации множественных сигналов на базе 16-элементной линейной эквидистантой антенной решетки. Исследуется влияние количества собственных векторов оценки корреляционной матрицы сигналов, используемого для формирования пеленгационного рельефа.

определение направления прихода, MUSIC, критерий Акаике, линейная эквидистантная антенная решетка

Для повышения разрешающей способности (РС) радиотехнических систем и снижения погрешности определения направления прихода (ОНП) сигналов активно применяются методы нелинейного спектрального анализа на базе антенных решеток (АР) [1]. При последовательном обзоре пространства ОНП сигналов основано на оценке положения максимумов пеленгационного рельефа [2]. К алгоритмам этой группы относятся проекционные алгоритмы, основанные на разложении оценки классифицированной выборки межканальной корреляционной матрицы (КМ) входной реализации на собственные значения и собственные векторы. Одним из наиболее распространенных алгоритмов, применяемых к АР различной конфигурация, является алгоритм MUSIC (англ. «multiple signal classification»).

На рис. 1 представлена структурная схема блока ОНП сигналов на основе алгоритма MUSIC. Он предполагает оценку направления прихода в подпространстве шума. На основе шумовой подматрицы строится пеленгационный рельеф (ПР) $P(\theta)$ [2–5]:

$$P(\theta) = \frac{\mathbf{A}^{\mathrm{H}}(\theta)\mathbf{A}(\theta)}{\mathbf{A}^{\mathrm{H}}(\theta)\mathbf{V}_{\mathrm{n}}\mathbf{V}_{\mathrm{n}}^{\mathrm{H}}\mathbf{A}(\theta)},$$

где $\mathbf{A}(\theta)$ – опорный вектор волнового фронта; $\mathbf{V}_{\mathrm{n}}$ – шумовая подматрица размером $M\times(M-K)$, столбцы которой являются собственными векторами для $M-K$ минимальных собственных значений.

При этом разделение матрицы собственных векторов КМ на подматрицы для сигнального и шумового подпространства осуществляется на основе оценки количества источников радиоизлучения в соответствии с информационным критерием Акаике [2].

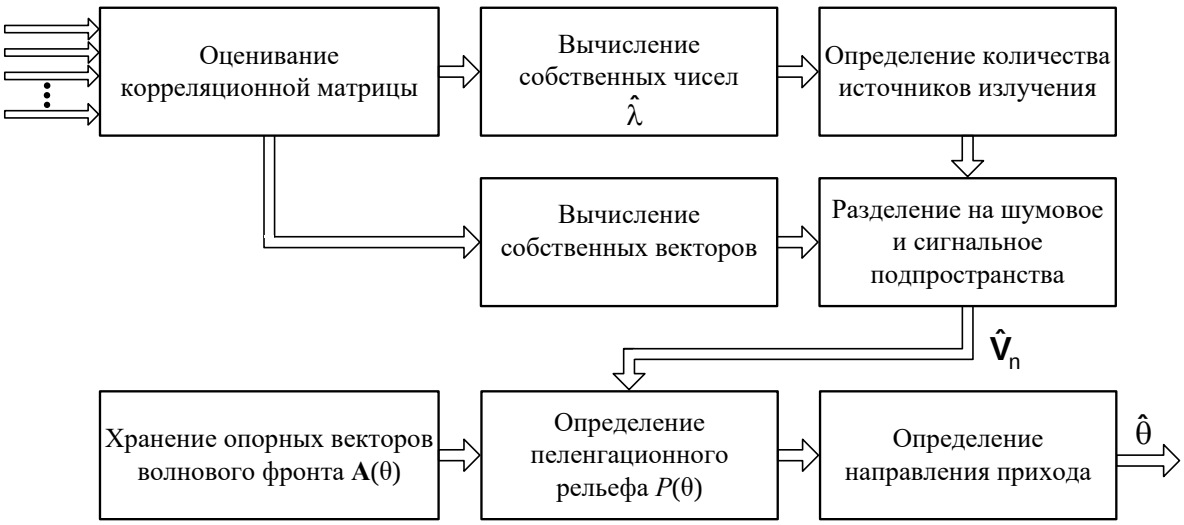


Рис. 1. Структурная схема блока ОНП радиоизлучения

При моделировании случайных процессов широкое распространение получило применение спектральных параметрических моделей сигналов [7, 8]. Для формирования модели сигнала – пространственно коррелированного случайного процесса – применялся метод формирующего фильтра [9]. На рис. 2 представлен угловой спектр моделей 2-х сигналов, приходящих с направления $\theta_1 = 15°$ и $\theta_2 = 25°$ на вход 16-элементной АР.

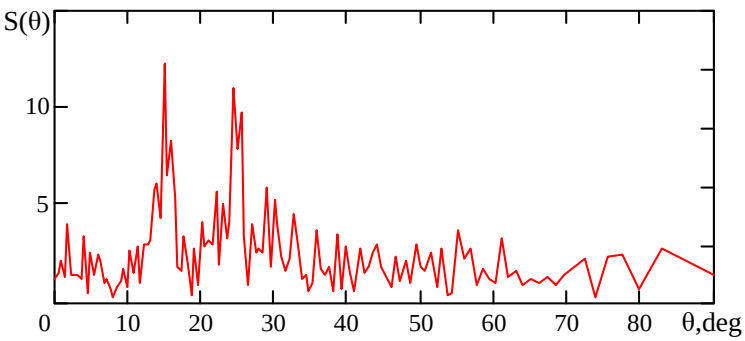
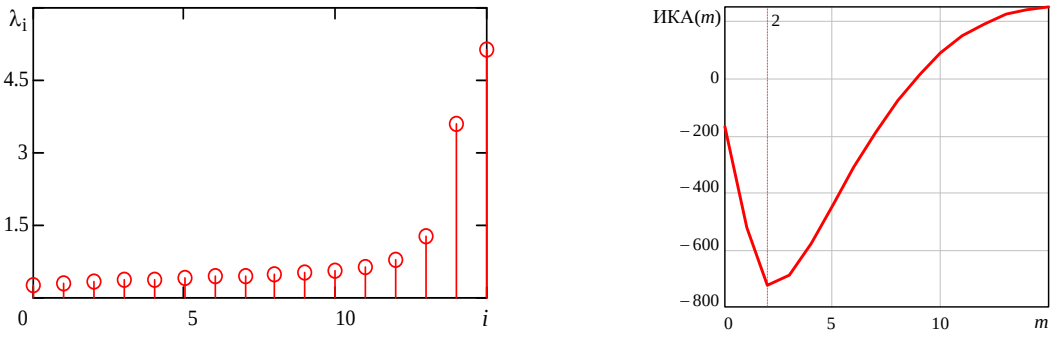


Рис. 2. Спектральный состав модели сигналов

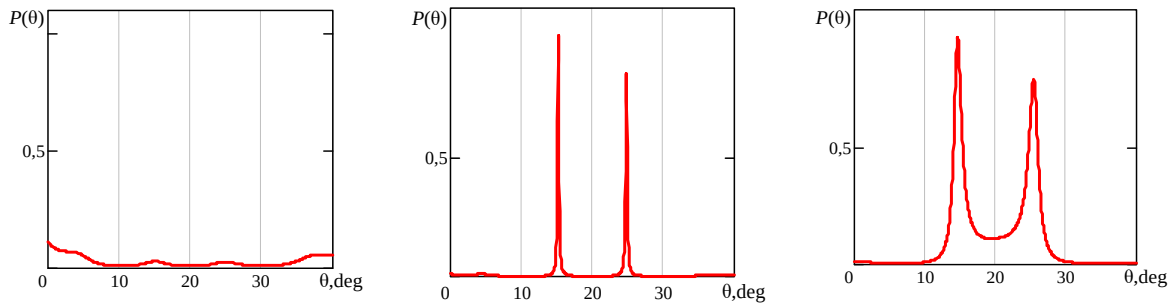
На рис. 3. представлены а) спектр собственных чисел оценки КМ, б) функция Акаике для случая 2-х источников радиоизлучения.



а) б)

Рис. 3. Спектр собственных чисел и результат определения количества ИИ

Для построения ПР ОНП были заданы следующие начальные условия: объем выборки $N = 256$; отношение сигнал-шум $q = 1$; относительная ширина углового спектра 0,01. После оценки количества источников выбираются K собственных чисел, соответствующих собственным векторам, содержащим информацию о сигнале и $M-K$ собственных векторов, содержащих информацию о шуме. На рис. 4 представлен ПР для алгоритма MUSIC для различных значений параметра K.



а) K=1 б) K=2 в) K=3

Рис. 4. ПР для различных значений параметра K

График зависимости суммы ошибки ОНП от параметры K при относительной ширине углового спектра $\Delta S = 0{,}01; 0{,}03; 0{,}04; 0{,}05; 0{,}06$ изображены на рис. 5 при количестве экспериментов $p = 500$.

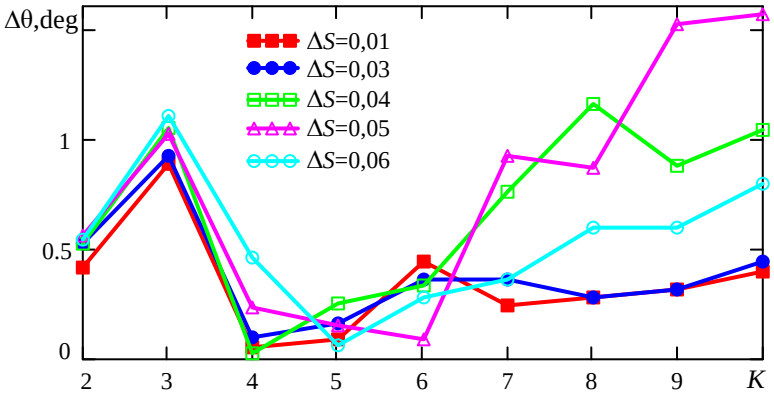


Рис. 5. Зависимости суммы ошибки ОНП от K для различных ΔS

Экспериментальные исследования показали, что погрешность ОНП существенно зависит от количества собственных векторов сигнального подпространства K. С увеличением K ширина главного максимума ПР расширяется. Для минимизации погрешности ОНП в случае двух источников оптимальными значениями K являются 4, 5 и 6.

Зависимость погрешности Δθ ОНП двух сигналов от отношения мощностей сигналов (ОМС) при увеличении мощности 1-го сигнала и неизменной мощности второго сигнала, для случая $K = 2$ представлена на рис. 6.

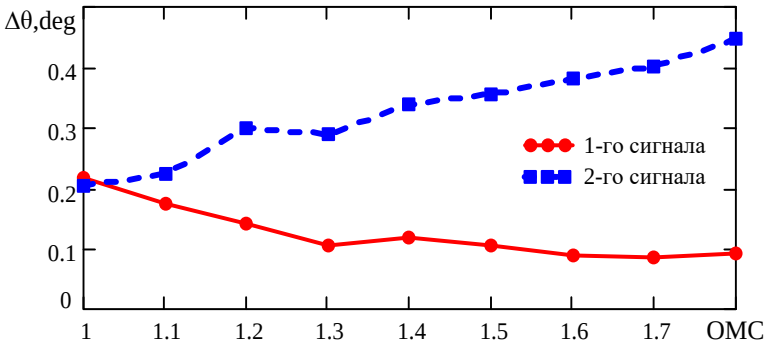


Рис. 6. Зависимость погрешность ОНП от ОМС двух источников

Зависимость погрешности ОНП от разницы углов прихода 2-х равномощных сигналов Δα при $K = 2$ представлена на рис. 7.

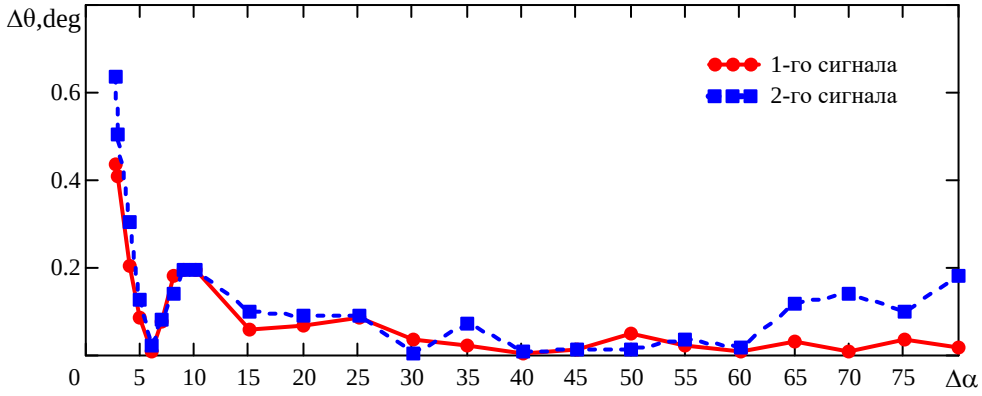


Рис. 7. Зависимость погрешность ОНП от разницы углов прихода 2-х сигналов

Алгоритм MUSIC позволяет осуществлять ОНП для 2-х сигналов с небольшой разницей в мощностях, но при этом увеличивает погрешность ОНП для сигнала с меньшей мощностью (рис. 6). При уменьшении разницы углов прихода 2-х равномощных сигналов до величин меньших, разрешающей способности по апертуре антенны (ширина ДН на уровне 0,707 16-элементной АР с равноамплитудным возбуждением равна 6,375°) (рис. 7), погрешность ОНП увеличивается.

Список используемых источников

1. Маврычев Е. А. Пространственное сглаживание для оценивания параметров коррелированных сигналов в антенных подрешетках с частичной калибровкой // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2010. № 1. С. 20–27.
2. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2003. 200 с.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
4. Савинков А. Ю., Тюленев С. И., Вереитин В. В. Моделирование алгоритма многосигнальной классификации для прямоугольной антенной решетки // Вестник Воронежского института МВД России. 2021. № 1. С. 161–168.
5. Петров В. П., Шауэрман А. К. Спектральные способы оценки направления источников сигналов в адаптивных антенных решетках // Вестник СибГУТИ. 2011. № 2. С. 53–62.
6. Андреев В. Г., Чан В. А. Оптимизация статистических моделей кусочно-стационарных радиотехнических сигналов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2022. № 80. С. 3–11.
7. Андреев В. Г., Чан В. А. Параметрический спектральный анализ кусочно-стационарных радиотехнических сигналов с изменяющимися корреляционными свойствами // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. № 83. С. 3–12.
8. Андреев В. Г., Жирков Е. А. Методы анализа световых отражений при лазерном зондировании атмосферы // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. № 85. С. 14–22.
9. Кошелев В. И. АРСС-модели случайных процессов. Прикладные задачи синтеза и оптимизации. М.: Радио и связь, 2002. 112 с.

Ton Quoc Phong, Shtrunova E. **RESEARCH ON THE ERRORS IN ESTIMATING THE DIRECTION OF ARRIVAL OF RADIO EMISSIONS USING THE MUSIC ALGORITHM.**

Ryazan State Radioengeneering University named after V. F. Utkin

This paper considers the problem of determining the direction of arrival of two mutually uncorrelated signals using the Multiple Signal Classification algorithm, implemented with a 16-element linear equidistant antenna array. It investigates the impact of the number of eigenvectors from the estimated signal correlation matrix on the formation of the direction-finding relief.

Key words: Direction of arrival, MUSIC, Akaike criterion, linear equidistant antenna array.

УДК 621.396.96
ГРНТИ 47.49.02

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

А. А. Хренов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена исследованию влияния изменения энергетического параметра, а именно отношения сигнал шум помеха, на оценку точности измерения параметров положения источников радиоизлучения, в частности беспилотных летальных аппаратов, разностно-дальномерной системой за счет применения пространственно-временной обработки сигналов.

разностно-дальномерная система, пространственно-временная обработка сигналов, оценка взаимной задержки сигнала, энергетическая эффективность

В последнее время участились случаи инцидентов с беспилотными летательными аппаратами [1]. Несмотря на ограниченные габариты и дальность действия, малые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют значительную опасность для промышленных и гражданских объектов. В то же время потенциально уязвимым звеном БПЛА указанного типа является необходимость постоянного обмена информацией с пультом оператора для реализации управления планером и его полезными нагрузками. Поэтому разработчики БПЛА постоянно совершенствуют как организацию связи с БПЛА, так и системы применяемых сигналов в направлении повышения помехоустойчивости и скрытности.

Таким образом, задача обнаружения и прогнозирования в реальном масштабе времени параметров траектории движения БПЛА является актуальной. Для решения указанной задачи могут использоваться угломерный или разностно-дальномерный методы определения координат источников радиоизлучений (ИРИ). На практике наибольшее применение получил второй, поскольку ему не требуется информация о точной структуре сигнала, а достаточно указать лишь область спектра, в которой сосредоточена основная энергия сигнала [2].

Параметры положения ИРИ в разностно-дальномерной системе (РДС) определяются через взаимные корреляционные функции на разнесенных приемных постах. Однако, в условиях сложной радиоэлектронной обстановки данный метод работает некорректно. Поэтому появляется необходимость поиска путей повышения эффективности работы РДС в условиях воздействия различного рода

помех. Один из них – это пространственно-временная обработка сигналов (ПВОС) на приемных пунктах, которая позволяет улучшить условия приема сигналов, а именно увеличить отношение сигнал/ шум помеха (ОСШП) и тем самым повысить помехоустойчивость РДС и точность определения координат ИРИ.

Целью данной статьи является исследование влияния ОСШП на оценку точности измерения параметров положения ИРИ разностно-дальномерной системой при применении ПВОС.

В [3] для оценки задержки при больших отношениях сигнал/шум обычно используется следующая приближенная формула:

$$\tilde{\tau} = \frac{R'(\tau)\big|_{\tau=0}}{R''(\tau)\big|_{\tau=0}},$$

где $R(\tau)$ – взаимная корреляционная функция.

Общепринятый подход вычисления дисперсии оценки взаимной задержки сигнала заключается в следующем [4]:

$$\sigma_\tau^2 = \left\langle \tilde{\tau}^2 \right\rangle = \left\langle \frac{R'(\tau)\big|_{\tau=0}}{R''(\tau)\big|_{\tau=0}} \cdot \frac{\dot{R}'(\tau)\big|_{\tau=0}}{\dot{R}''(\tau)\big|_{\tau=0}} \right\rangle.$$

В работе [5] получено общее выражение для определения дисперсии ошибки измерения взаимной задержки сигналов на приемных пунктах РДС:

$$\left\langle \tilde{\tau}^2 \right\rangle = \frac{\mu_1^2 \cdot h_1^2 + \mu_2^2 \cdot h_2^2 + 1}{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2 \cdot \Delta\omega^2 \cdot h_1^2 \cdot h_2^2} = \sigma_\tau^2, \quad (1)$$

где h_1^2 – ОСШП в первом канале, h_2^2 – ОСШП во втором канале (для РДС это сигнал на первом и втором приемных пунктах), $\Delta\omega^2$ – эффективная полоса сигнала. Таким образом выражение (6) определяет связь показателя точности определения времени задержки и ОСШП в РДС.

Применение ПВОС позволяет увеличить ОСШП на приемных пунктах поэтому выражение (1) можно переписать следующим образом:

$$\tilde{\sigma}_\tau^2 = \frac{\mu_1^2 \cdot \left(h_1^2 + \Delta h_1^2\right) + \mu_2^2 \cdot \left(h_2^2 + \Delta h_2^2\right) + 1}{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2 \cdot \Delta\omega^2 \cdot \left(h_1^2 + \Delta h_1^2\right) \cdot \left(h_2^2 + \Delta h_2^2\right)}, \quad (2)$$

где Δh_1^2, Δh_2^2 – увеличение ОСШП за счет ПВОС.

В программной среде MATLAB получены зависимости среднеквадратической ошибки (СКО) времени задержки, пересчитанной в метры, и ОСШП на приемных пунктах РДС. Помехи аппроксимированы гауссовским процессом. Мощность шума гораздо меньше мощности сигнала. Ширина эффективной полосы

сигнала принята равной 20 МГц. На рис. 1 представлены графики зависимости СКО (1) и (2) при ОСШП равным 10 дБ на одном из пунктов и меняющимся от -5 дБ до 5 дБ на другом, а увеличение ОСШП за счет ПВОС всего 1 дБ.

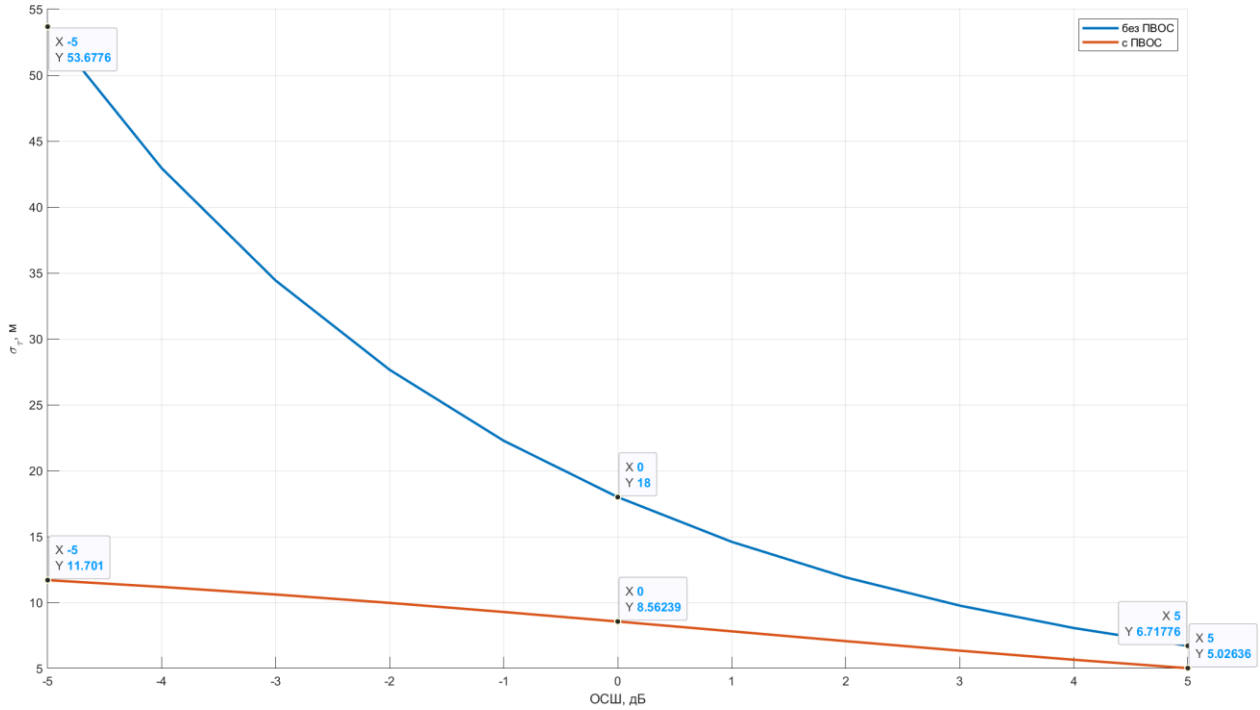


Рис. 1. Зависимости при ОСШП 10 дБ на одном из пунктов

На рис. 2 представлены графики тех же зависимостей, но при ОСШП равным 5 дБ на одном из пунктов.

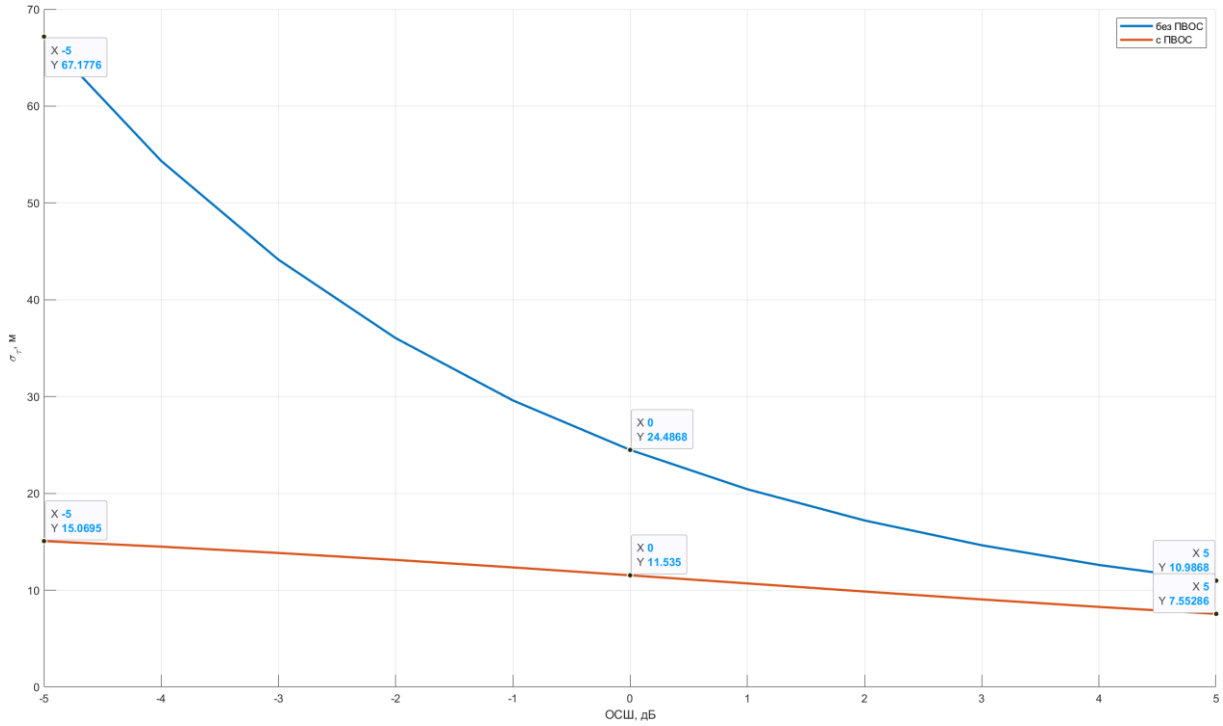


Рис. 2. Зависимости при малом ОСШП 5 дБ на одном из пунктов

Зачастую, РДС работает при таких ОСШП, при которых она становится неэффективной, в связи с этим, полученные в результате исследования графики для наиболее простых условий приема, показывающие тенденцию улучшения точности определения параметров положения ИРИ, говорят о том, что увеличение ОСШП за счет ПВОС, очевидно, открывает еще больше перспектив для повышения точности определения координат в условиях сложной РЭО.

Список используемых источников

1. Кондрякова М. А. Проблемы обнаружения и борьбы с беспилотными воздушными судами // Исследование различных направлений современной науки: сборник материалов XXXVII-ой международной очно-заочной научно-практической конференции в 3 т. М.: НИЦ «Империя», 2023. Т. 3. С. 37–41.
2. Сравнительная оценка разностно-дальномерного и угломерного(пеленгационного) методов определения координат ИРИ. URL: https://uchitu.ru/articles/uglomernyy-metod-opredeleniya-mestopolozheniya.html (дата обращения 04.04.2024).
3. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.: ил.
5. Gromov K. G., GIDL: Generalized Interference Detection and Localization System: A dissertation submitted to the department of aeronautics and astronautics and the committee on graduate studies of Stanford university in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. Stanford, 2002. 246 p.

Khrenov A. **RELATIONSHIP BETWEEN THE ACCURACY OF RADIO SOURCE POSITION DETERMINATION AND ENERGY EFFICIENCY IN THE TIMES DIFFERENCE OF ARRIVAL SYSTEM WHEN USING SIMPLE-TEMPORAL SIGNAL PROCESSING.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article is devoted to the investigation of the influence of changing the energy parameter, namely the signal to noise ratio, on the estimation of the accuracy of measuring the position parameters of radio emission sources, in particular unmanned aerial vehicles, by the times of difference arrival system due to the use of spatial-temporal signal processing.

Key words: times difference of arrival system, spatial-temporal signal processing, estimation of mutual signal delay, energy efficiency.

Секция 2.6. Робототехника и интеллектуальные технологии в автоматизации

УДК 004.852
ГРНТИ 28.23.20

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ В РАЗВИТИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н. Р. Агафонов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Исследование посвящено изучению применения методов машинного обучения для анализа спутниковых снимков с целью распознавания и классификации объектов телекоммуникационной инфраструктуры. В условиях растущих потребностей в расширении и управлении телекоммуникационными сетями автоматизация процессов мониторинга и планирования становится важной задачей. Рассматриваются алгоритмы предобработки данных, архитектуры нейронных сетей для обучения модели и методы интеграции географических данных. Ожидается, что результаты исследования будут способствовать улучшению точности и оперативности анализа, что приведет к повышению эффективности работы операторов связи и развитию инфраструктуры в сложных и удаленных регионах.

обработка спутниковых данных, машинное обучение, телекоммуникация, спутниковые снимки

Телекоммуникационные сети

Современные телекоммуникационные сети играют ключевую роль в обеспечении связи и передачи данных, что делает их важной частью инфраструктуры любого государства. С развитием технологий растет необходимость в применении инновационных методов для управления и оптимизации этих сетей. Анализ спутниковых снимков в сочетании с методами машинного обучения предоставляет новые возможности для автоматизации процессов мониторинга и планирования, что особенно актуально в условиях сложной топографии и расширяющейся географии покрытия.

Цели исследования

Цель данного исследования – изучить возможности применения машинного обучения для распознавания объектов телекоммуникационной инфраструктуры и анализа их географического расположения на основе спутниковых снимков [1]. Это позволит автоматизировать процесс мониторинга и повысить точность планирования сети.

Также основными задачами являются:

– сбор и обработку данных спутниковых снимков с привязкой к телекоммуникационным объектам;

– разработку алгоритмов для предобработки данных и подготовки обучающих наборов;

– обучение модели для распознавания объектов инфраструктуры, таких как вышки сотовой связи, ретрансляторы и кабельные линии;

– сравнение результатов модели с данными, полученными из открытых и собственных источников операторов связи, для оценки точности и корректировки алгоритмов.

Для исследования будет использоваться архитектура сверточных нейронных сетей (CNN), которая продемонстрировала высокую эффективность в задачах анализа изображений [2]. Важно будет адаптировать CNN для распознавания узкоспециализированных объектов, таких как вышки связи и элементы проводной инфраструктуры.

Машинное обучение

В традиционном подходе планирование расположения вышек требует значительных усилий и времени для сбора данных, их анализа и принятия решений. Специалисты часто опираются на опыт, но не всегда могут учесть все важные факторы. Машинное обучение позволяет автоматизировать этот процесс, что сокращает время на принятие решений и повышает эффективность. Например, алгоритмы могут автоматически обрабатывать спутниковые снимки, данные о рельефе и другие географические факторы, что ускоряет анализ и выбор оптимальных мест для установки вышек. В условиях современного телекоммуникационного рынка необходимо учитывать множество факторов при выборе места для установки вышки: плотность населения, топография, существующие здания и объекты, а также требования к покрытию сети [3]. Без машинного обучения обработка такого объема данных вручную становится сложной и трудоемкой задачей. Алгоритмы машинного обучения могут эффективно обрабатывать и анализировать большие объемы данных,

выявляя скрытые закономерности и оптимизируя процесс выбора места для установки вышек.

Планирование расположения вышек сотовой связи связано с необходимостью учета различных факторов: рельефа местности, плотности населения, наличия препятствий (например, зданий или лесов), а также данных о трафике и требованиях к пропускной способности сети. Машинное обучение позволяет интегрировать данные из разных источников, таких как спутниковые снимки, данные о трафике и информацию о природных или искусственных препятствиях, что помогает более точно предсказывать, где потребуется установка новой вышки.

Модели машинного обучения могут не только анализировать текущие данные, но и предсказывать, как изменится спрос на сотовую связь в будущем. Это особенно важно для разработки стратегии расширения сети. Алгоритмы могут выявить закономерности в потребности в связи в различных районах, что позволяет более точно планировать, где и когда будут необходимы новые вышки для удовлетворения будущих потребностей. При планировании расположения вышек сотовой связи без машинного обучения часто возникают ошибки, связанные с недостаточной точностью данных или субъективными решениями. Например, выбор места для вышки может быть сделан на основе ограниченного объема данных или без учета скрытых факторов, таких как сложная топография местности [4]. Машинное обучение позволяет использовать более точные и полные данные, что повышает точность предсказаний и снижает количество ошибок.

Модели машинного обучения могут адаптироваться и улучшаться по мере получения новых данных. Например, если после установки вышки становится ясно, что сигнал не покрывает определенные зоны или появляются новые препятствия (например, строительство зданий), модель может учесть эти изменения и предложить оптимальные решения для расширения покрытия. Это позволяет моделям быть гибкими и адаптивными, что невозможно в случае использования традиционных методов, требующих пересмотра планов вручную.

Несмотря на многочисленные преимущества использования машинного обучения для анализа спутниковых снимков и планирования инфраструктуры, существуют и определенные сложности. Одной из главных проблем может стать доступ к качественным данным. Спутниковые изображения могут варьироваться по разрешению, наличию облачного покрова и другим внешним факторам, что может затруднять точное распознавание объектов. Также могут возникнуть трудности с подготовкой и маркировкой обучающих наборов данных, особенно если требуется ручная разметка специфических объектов, та-

ких как вышки сотовой связи и ретрансляторы [5]. Важно учитывать и правовые аспекты использования спутниковых снимков и данных, особенно при работе с конфиденциальной информацией, связанной с телекоммуникационными сетями. Обработка таких данных требует соблюдения соответствующих стандартов безопасности и конфиденциальности. Также необходимо учитывать вопросы, связанные с лицензированием и правами на использование спутниковых изображений.

Выводы

Использование машинного обучения для планирования расположения вышек сотовой связи открывает новые горизонты в области оптимизации телекоммуникационной инфраструктуры. По сравнению с традиционными подходами, которые требуют значительных временных и человеческих ресурсов, внедрение алгоритмов машинного обучения позволяет автоматизировать процессы и повысить их эффективность. Алгоритмы способны быстро анализировать большие объемы данных, учитывать сложные взаимосвязи и принимать решения с учетом множества факторов, таких как рельеф местности, плотность населения, существующая инфраструктура и требования к пропускной способности сети.

Благодаря возможностям машинного обучения, специалисты получают инструменты для более точного прогнозирования будущих потребностей в покрытии сети. Например, алгоритмы могут анализировать изменения в демографической ситуации или тенденции роста трафика, предугадывая, где в ближайшем будущем потребуется дополнительная инфраструктура. Это помогает операторам связи не только оперативно реагировать на текущие изменения, но и разрабатывать стратегические планы по расширению сети с минимальными затратами и максимальной эффективностью. Одной из ключевых особенностей применения машинного обучения является возможность адаптации моделей по мере поступления новых данных. Если после установки вышки обнаруживается, что покрытие недостаточно или появились новые препятствия, алгоритмы могут обновить свои расчеты и предложить оптимальные корректирующие действия. Такая гибкость позволяет минимизировать количество ошибок и улучшить общее качество обслуживания.

Список используемых источников

1. Березина И. В. Применение методов машинного обучения для анализа спутниковых данных в телекоммуникационных системах // Журнал вычислительных технологий. 2023. №3 (дата обращения 8.11.2024).

2. Иванов С. М., Петрова О. Н. Машинное обучение для прогнозирования расположения объектов телекоммуникационной инфраструктуры на спутниковых снимках // Международный журнал информационных технологий. 2022. № 4. (дата обращения 8.11.2024).
3. Кузнецов А. Ю., Лебедев В. А. Интеграция географических данных в модели машинного обучения для улучшения мониторинга телекоммуникационной сети // Проблемы телекоммуникаций и связи. 2021. № 2 (дата обращения 8.11.2024).
4. Смирнов И. В., Яковлев П. А. Развитие телекоммуникационной инфраструктуры с использованием спутниковых снимков и алгоритмов машинного обучения // Журнал телекоммуникаций и информатики. 2023. № 1. (дата обращения 8.11.2024).
5. Никифорова Л. С. Применение нейронных сетей для распознавания объектов телекоммуникационной инфраструктуры на спутниковых изображениях // Вестник прикладной математики и информатики. 2022. № 6. (дата обращения 8.11.2024).

Agafonov N. PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ANALYZING SATELLITE IMAGERY FOR THE DEVELOPMENT OF TELECOMMUNICATIONS INFRASTRUCTURE.

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The research focuses on studying the application of machine learning methods for analyzing satellite imagery to identify and classify telecommunication infrastructure objects. With the growing need for expanding and managing telecommunication networks, automating monitoring and planning processes becomes an essential task. The study examines data preprocessing algorithms, neural network architectures for model training, and methods for integrating geographic data. The expected results of the research aim to improve the accuracy and speed of analysis, enhancing the efficiency of telecommunication operators and supporting infrastructure development in complex and remote areas.

Key words: satellite data processing, machine learning, telecommunication, satellite imagery.

УДК 004.8
ГРНТИ 50.41.25

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

А. А. Груздев, В. И. Курносов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Современные информационно-телекоммуникационные системы и сети (ИТКС) характеризуются высокой сложностью и распределенностью. Обеспечение их бесперебойного функционирования требует эффективных систем мониторинга, способных своевременно выявлять аномалии и оповещать ответственных лиц. Традиционные методы мониторинга зачастую не справляются с большим объемом данных и разнообразием параметров, характеризующих состояние сети. В данной статье предлагается система мониторинга на основе технологии обработки больших данных и искусственного интеллекта (ИИ), которая позволяет автоматизировать процесс анализа состояния ИТКС, выявлять скрытые закономерности и предоставлять оперативную информацию для принятия решений.

система мониторинга, искусственный интеллект, информационно-телекоммуникационная система, состояние сети, аномалии, большие данные

Надежность и доступность ИТКС критически важны для многих сфер деятельности. Сбои в работе сети могут привести к значительным финансовым потерям, нарушению бизнес-процессов и снижению качества предоставляемых услуг. В связи с этим разработка эффективных систем мониторинга является актуальной задачей [1]. Технология Big Data дает возможность обработать огромный объем неструктурированных данных, проанализировать их, систематизировать и выявить закономерности там, где человек их не смог бы обнаружить [2].

В качестве прототипа объекта исследования в работе взята распределенная сеть федерального агентства Росморречфлота (рис. 1).

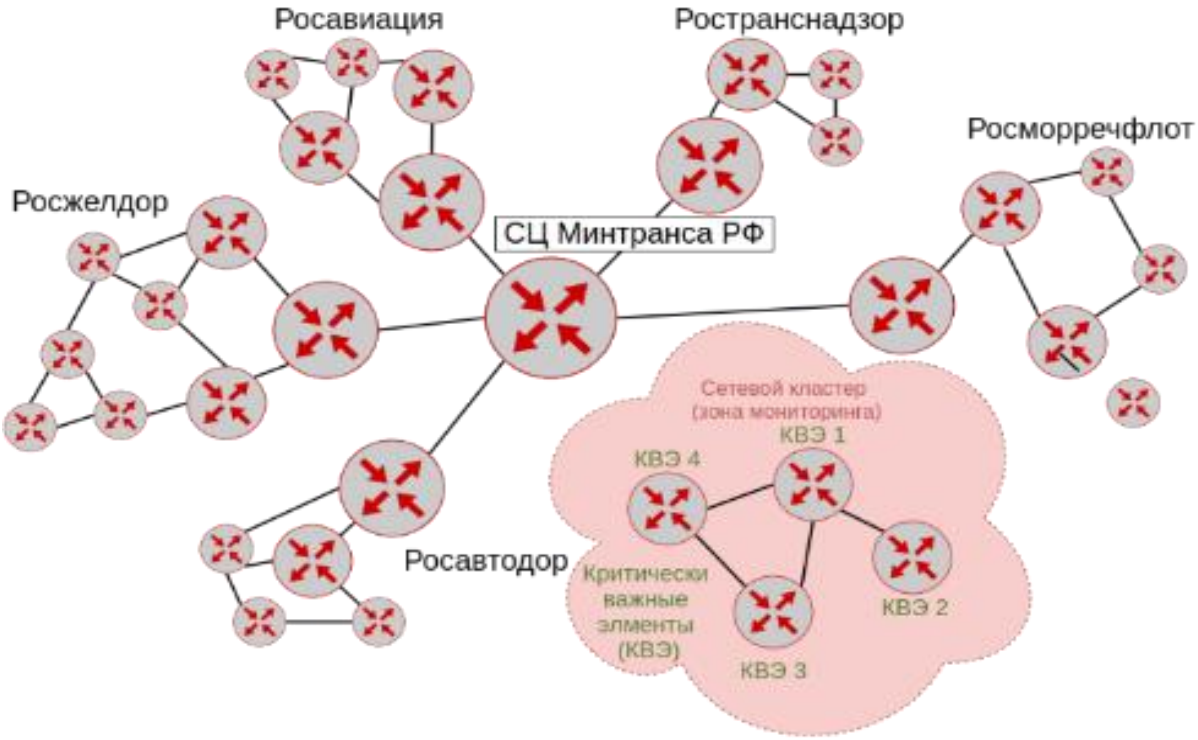


Рис. 1. Гиперграф топологической взаимосвязи зон мониторинга и КВЭ на примере ИТКС ОП Минтранса РФ

Существенно на решение исследуемой задачи влияет организация процедуры мониторинга и ее структура [3]. Для эффективного мониторинга больших ИТКС предлагается использовать метод кластеризации k-средних для разбиения системы на отдельные кластеры. Каждый кластер будет представлять собой группу узлов с похожими характеристиками. Это позволит упростить анализ и управление системой, так как каждый кластер можно рассматривать как отдельную подсистему.

Для каждого кластера формируется общая база знаний, в которой данные обрабатываются с использованием искусственного интеллекта. База знаний включает в себя статистические данные, метрики производительности, условия эксплуатации и другие параметры, необходимые для анализа состояния системы.

На рисунке 2 отображена структура предлагаемой подсистемы мониторинга при обработке накопленной ИИ и потоковых данных, включающая в свой состав три основных модуля на рассматриваемых уровнях и интегрированные в систему: оффлайн-анализа данных, онлайн-анализа данных и поддержки принятия решений.

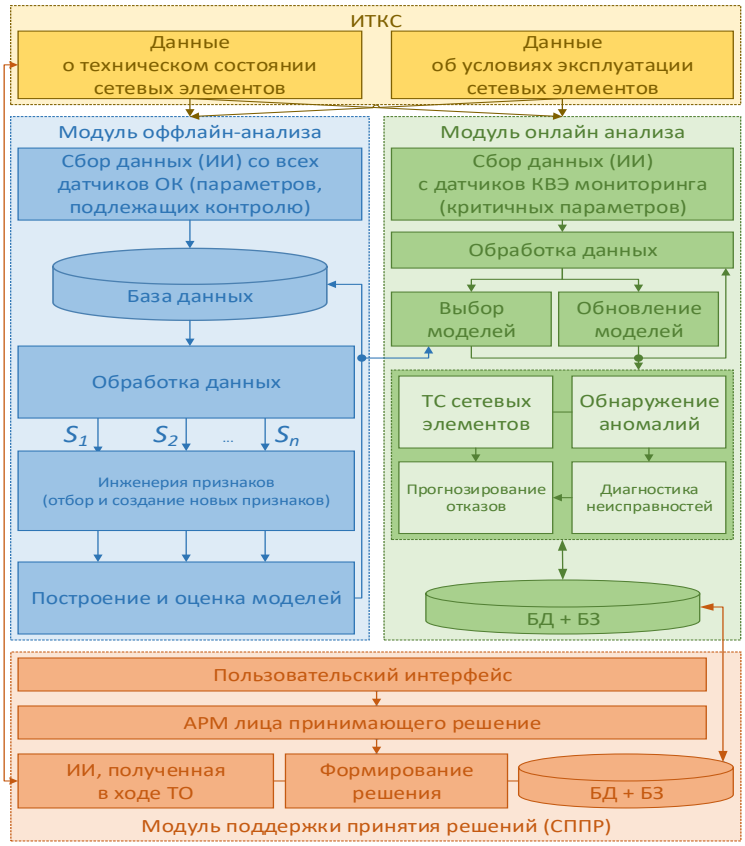


Рис. 2. Предложенная структура процесса сетевого мониторинга

Система мониторинга может быть разделена на два основных типа: пассивный и активный мониторинг.

Пассивный мониторинг: сбор и анализ данных за определенный период времени. Этот тип мониторинга полезен в ситуациях, когда активный мониторинг невозможен, например, из-за сетевых проблем или высокой нагрузки на систему.

Активный мониторинг: оценка состояния системы в реальном времени. Этот тип мониторинга позволяет обнаруживать проблемы на ранних стадиях и принимать меры для их устранения.

Предлагаемая система мониторинга основана на следующих принципах:

– кластеризация сети. ИТКС разбивается на кластеры с помощью метода k-средних. Это позволяет снизить размерность анализируемых данных и упростить процесс обнаружения аномалий;

– формирование базы знаний. Создается единая база знаний, содержащая информацию о структуре сети, характеристиках оборудования, типичных неполадках и методах их устранения;

– использование ИИ. Для анализа данных и выявления аномалий применяются методы искусственного интеллекта, такие как машинное обучение и глубокое обучение;

– визуализация данных. Результаты мониторинга представляются в наглядном виде на специальных витринах данных.

В ходе проведения циклов мониторинга состояния ИТКС база знаний (правил) ее подсистемы мониторинга постоянно пополняется новыми данными (ИИ) и реплицируется с другими серверами мониторинга (подсистемами сети) исходя из динамики процесса оценивания ТС элементов сети, различных аварийных ситуаций и с учетом условий их протекания. Постоянно пополняемые и обновляемые данные содержатся в правилах и применяются ими в различных аварийных ситуациях для обеспечения выработки решений в управляющей системе (СППР), что гарантирует реализацию принципа гибкости архитектуры.

Сбор данных может осуществляться с использованием различных ресурсов, к примеру, с помощью Hadoop. Эта платформа эффективно обрабатывает большие объемы данных в режиме реального времени, что позволяет быстро анализировать и обрабатывать информацию. Данные собираются из множества источников, включая серверы мониторинга, сетевые устройства, каналы связи и маршрутизаторы, что обеспечивает комплексный подход к сбору и обработке информации [4]. Hadoop, благодаря своей архитектуре, позволяет распределять задачи между множеством узлов, что значительно ускоряет процесс обработки данных и обеспечивает высокую степень масштабируемости и надежности системы. Это делает его идеальным выбором для задач, связанных с анализом больших данных. Для обеспечения корректной работы системы искусственного интеллекта необходимо наполнять ее данными из различных источников в больших объемах. Это позволит обучить систему распознавать различные типы неполадок и предсказывать возможные проблемы.

На основе анализа данных искусственный интеллект принимает решения о классификации неполадок, их влиянии на другие компоненты системы и выводе информации в общую систему мониторинга. Решения принимаются с учетом статистических данных, метрик производительности и условий эксплуатации.

Для моделирования сети используется ориентированный граф, где узлы представляют собой сетевые устройства, а связи — каналы связи между ними. Каждый узел характеризуется определенным качеством мониторинга (QoS), которое определяется на основе реальных измерений.

Список используемых источников

1. Будко П. А., Груздев А. А., Шаталов А. Е., Шмидт А. А. Модель формирования системы интеллектуального мониторинга состояния информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота // Морская Радиоэлектроника. 2024. № 2. С. 20–27.

2. Тесленко И. Б., Губернаторов А. М., Дигилина О. Б., Крылов В. Н. Big Data = Большие данные. Владимир: Владимир. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Т. Столетовых. 2021. С. 121.
3. Зацаринный А. А., Шабанов П. А. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров. М.: Торус пресс, 2015. С 232.
4. Груздев А. А., Будко Н. П. Применение витрин данных на основе технологии Hadoop при обработке измерительной информации подсистемой мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Министерства Транспорта России // Гагаринские чтения: материалы XLIX Международной молодежной научной конференции, Москва, 11-14 апр. 2023.

Gruzdev A., Kurnosov V. **SYNTHESIS OF AN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK MONITORING SYSTEM BASED ON BIG DATA PROCESSING TECHNOLOGY.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Modern information and telecommunication systems and networks (ITCS) are characterized by high complexity and distribution. Ensuring their smooth functioning requires effective monitoring systems capable of detecting anomalies in a timely manner and notifying those responsible. Traditional monitoring methods often cannot cope with a large amount of data and a variety of parameters characterizing the state of the network. This article proposes a monitoring system based on big data processing technology and artificial intelligence (AI), which allows you to automate the process of analyzing the state of ITCS, identify hidden patterns and provide operational information for decision-making.

Key words: monitoring system, artificial intelligence, information and telecommunication system, network status, anomalies, big data.

УДК 004.931
ГРНТИ 28.23.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ПОРТРЕТА МУЗЫКАЛЬНЫХ ЖАНРОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Д. С. Крахмалев
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технологии распознавания в музыкальной сфере активно развиваются и все чаще внедряют в себя нейронные сети. Существуют различные системы для имитации звучания различных жанров и исполнителей. Однако присутствует нехватка систем, способных отличать жанры и исполнителей и определять некий, специфичный для них, частотный портрет. Такие системы обычно не доступны обычным пользователям и их функционал используется только в рамках работы с другими системами. Настоящая работа направлена на описание системы распознавания, способной анализировать музыкальные жанры, выявляя их спектральные характеристики.

частотный портрет, акустические отпечатки, отпечатки аудиоданных, аудиопоиск, нейронные сети, искусственный интеллект, кластеризация

Количество музыки, доступной современному человеку, постоянно увеличивается за счет новых технологий при написании и доставки композиции до конечного пользователя. Все большую роль в дистрибуции музыкальных композиций начинают играть различные онлайн-сервисы. Зачастую, они обладают огромными базами композиций, нуждающихся в кластеризации и классификации, поскольку такие сервисы могут предоставлять пользователю некие подборки музыки, подходящей под определенные вкусы. С помощью этих подборок сервис продвигает малоизвестных музыкантов, или предлагает пользователям популярную музыку, похожую на ту, которую пользователь уже слушает. Но для определения вкусов пользователя требуется определение схожести музыкальных композиций. Для этого люди используют музыкальные жанры.

Музыкальные жанры могут быть спорными и субъективными для разных людей, однако большинство музыкальных композиций, написанных в одном жанре, обладает схожим «звучанием». Чтобы прямо определить такое «звучание» требовалось бы создать характеристику каждого жанра и их смешения, что слишком трудозатратно и не объективно. Поэтому в системе для кластеризации музыкальных композиций должно быть достаточно определить некое пространство, в котором с помощью векторного представления можно было

бы определить различные жанры и поджанры, не выделяя их в отдельные сущности, а определяя их схожесть с уже существующими в пространстве. Для этого требуется анализировать частотный портрет.

Человек зачастую способен определить музыкального исполнителя даже для незнакомой песни, если он уже знает «звучание» этого исполнителя. Такое «звучание» представляет собой сложный набор характеристик звука. Туда может входить определенная тональность, гармоники, громкость различных инструментов и их эквализация, качество записи и многое другое.

Классические системы распознавания музыки используют звуковые отпечатки, представляющие собой информацию о пиковых частотах звука в определенные моменты времени. Такие ограниченные данные не подходят для построения характеристики музыкального жанра.

«Отпечаток аудиоданных – это компактная сигнатура на основе данных аудиосигнала, которая обобщает аудиозапись. В процессе получения отпечатков аудиоданных (в системах идентификации аудио на основе содержимого аудиосигнала) извлекают перцепционный дайджест (перцепционный дайджест – это свертка на основе признаков) части аудиосигнала, т. е. отпечаток...» [1].

Создание частотного портрета музыкального жанра – трудно формализуемая задача. Поэтому для ее выполнения подходит подход, основанный на использовании нейронных сетей. Распознавание паттернов музыкальных жанров по спектральной характеристике сигнала является частным случаем распознавания образов. Одной из наиболее распространенных архитектур нейронных сетей, предназначенных для выполнения этой задачи, является сверточная нейронная сеть. Такая система позволяет преобразовать многомерные входные данные в некоторое векторное представление, которое и характеризует принадлежность анализируемой музыкальной композиции к выбранному жанру. Наиболее точные системы для распознавания объектов на изображении и другие сети глубокого обучения могут строиться на основе сверточных нейросетей, например AlexNet, одна из примеров первых успешных систем распознавания [2]. На аналогичных принципах основаны также и современные большие языковые модели, вроде ChatGPT, поэтому адаптация подобной системы для распознавания звуковых данных, а не текстовых или графических, представляется наиболее реализуемым вариантом. Однако для этого требуется предварительная обработка и правильное представление данных.

Для корректного обучения и работы сверточной нейронной сети с аудиоданными производится предварительная их обработка и представление в виде многомерного массива, описывающего различные характеристики изначаль-

ного сигнала. Первым шагом обработки сигнала является преобразование Фурье. Во многих системах, использующих нейронные сети, изначальные данных подготавливаются преобразованием Фурье для дальнейшей работы. Оно позволяет разложить исходный сигнал на гармонические составляющие и получить спектрограмму сигнала [3]. Однако, поскольку частотная характеристика музыкального звука, значимая для человека, представляется не прямой, для получения более информативного спектра звукового файла может быть использовано вычисление мел-частотных кепстральных коэффициентов. Мел-спектрограмма, представляющая спектральную картину, близкую к восприятию человеком, делает особенности музыкального жанра более выразительными для анализа. Таким образом, анализируемый звуковой файл, или данные с микрофона после записи представляются в виде мел-спектрограммы, для упрощения дальнейшего анализа [4].

«Музыкальный звук имеет характерную структуру в спектральном диапазоне. В его составе есть основной тон, как правило, с наибольшей амплитудой, и сопутствующие гармоники – обертоны, наиболее значимыми являются первые несколько гармоник. Именно эти обертоны определяют тембр звука и соответственно музыкальный инструмент» [3]. Обычно основной тон определяется тональностью песни, а характеристика гармоник может зависеть от жанра и исполнителя.

Следующим шагом подготовки входных данных является подгонка данных под размеры входного слоя нейронной сети. Для этого могут использоваться различные методы. Все анализируемые аудиоданные приводятся к единой частоте дискретизации и длине, по которой будет строиться спектрограмма. Однако, чтобы уменьшить размеры входного слоя нейронной сети и увеличить быстроту ее обучения, могут быть применены различные техники для изменения размерности массива информации о частотных характеристиках с каким-то шагом. В простейшем случае по заданному шагу будет взято среднее значение. Однако такой случай может означать потерю данных о направлении тренда изменения уровня частотных характеристик. Для сохранения этих данных можно представить заданный шагом набор данных массива как график, где значения по оси абсцисс представлены номерами элемента массива, а ординат – уровнем звучания данной частоты, а именно мел-частотным коэффициентом. В таком случае можно построить линию тренда и данные упростить до коэффициентов ее уравнения.

Если требуется увеличение количества данных для обучения, то упрощенную приведенным выше методом спектрограмму можно превратить в несколько, задав различные области для чтения и различный шаг упрощения. При изменении шага композиция становится как бы быстрее или медленнее,

однако высота тона не меняется. Изменяя шаг выборки, можно варьировать временные характеристики сигнала, что позволяет сети обучаться на вариативных данных, не теряя общей закономерности жанра. Чтобы высота тона также варьировалась можно изменять pitch композиции при изначальной ее обработке, что является довольно трудоемким, поэтому, если такие вариации требуются, то рекомендуется заранее создать различные варианты композиции с изменением высоты тона.

Нейронная сеть начинает работать с полученными на входе массивами данных одинакового размера. Нейросеть состоит из слоев свертки (CNN) и слоев долгой краткосрочной памяти (LSTM). На первом этапе сверточные слои извлекают локальные признаки, анализируя частотные характеристики звука. После слоев свертки идут слои LSTM. Их задача – обрабатывать временные зависимости в аудиофайле, выявляя последовательные изменения, которые могут быть характерны для разных музыкальных жанров.

В результате получается некоторое векторное представление. Если аудиоданных для полноценного обучения и построения моделью векторного представления на основе «похожести» отдельных композиций недостаточно, то существует возможность задать определенную ось, то есть элемент в выходном векторе, определенному жанру. В таком случае данные для обучения будут задаваться сразу с вектором-образцом, построенным человеком. При обучении система будет подстраиваться под данное ей описание. Тогда, при анализе композиции, вектор, полученный нейросетью, будет направлен к наиболее вероятному жанру, или сочетанию жанров, а на остальных осях стремиться к нулю.

Использование приведенных выше методов позволит построить некоторый частотный портрет, характерный для музыкальных произведений конкретного музыкального жанра. Далее такой частотный портрет может быть использован как для определения музыкального жанра представленной музыкальной композиции, поиска похожих композиций и разделения их на кластеры, так и для выполнения преобразования существующей композиции или построения новой по заданному примеру, трансформируя полученное векторное представление, тем самым имитируя характеристики выбранного жанра музыки.

Список используемых источников

1. Веялкин И. А. Шиман Д. В. Обзор структур алгоритмов поиска на основе отпечатков аудиоданных // ТРУДЫ БГТУ. 2015. Физико-математические науки и информатика. С. 195-199.

2. Krizhevsky A., Sutskever I., Geoffrey E. Hinton ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012).
3. Станкевич Ф. В., Спицын В. Г. Нейросетевое распознавание музыкальных инструментов с использованием мел-частотных кепстральных коэффициентов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (1). С. 51–56.
4. Dabral M., Kaur T., Khanna A., Yadav A., Sharma O. How to Apply Machine Learning and Deep Learning Methods to Audio Analysis // Mobile Radio Communications and 5G Networks (MRCN 2023). PP. 11–22.

Krakhmalev D. **DETERMINING THE FREQUENCY PORTRAIT OF MUSICAL GENRES USING A VECTOR REPRESENTATION.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Recognition technologies in the music sphere are actively developing and increasingly incorporate neural networks. Various systems exist to simulate the sound of different genres and artists. However, there is a lack of systems that can distinguish between genres and artists and determine some kind of frequency portrait specific to them. Such systems are generally not available to regular users and their functionality is only used in conjunction with other systems. The present paper is focused on describing a recognition system capable of analysing musical genres by identifying their spectral characteristics.

Key words: Frequency portrait, acoustic fingerprints, audio data fingerprints, audio retrieval, neural networks, artificial intelligence, clustering.

УДК 004.946
ГРНТИ 28.17.33

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ И АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

О. С. Пархачева
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются результаты исследования, посвященного вопросам развития моделирования регионов и административно-территориальных единиц. В ходе анализа были выявлены ключевые недостатки современных геоинформационных и информационных систем, используемых для управления и планирования. Предложен подход к устранению недостатков существующих систем посредством разработки геоинформационной киберсреды, которая представляет собой агентно- ориентированную коммуникационную платформу.

регион, геоинформационные системы, информационные системы, киберсреда

Рост городов, расширение транспортных сетей, строительство новых промышленных и жилых объектов требуют от органов государственной власти и муниципальных структур применения более точных и эффективных методов планирования и управления. В связи с этим информационные и геоинформационные системы занимают ключевую роль в современном управлении регионами и административно-территориальными единицами. Данные системы позволяют не только анализировать текущее состояние инфраструктуры, но и прогнозировать возможные изменения, обеспечивая тем самым устойчивое развитие регионов.

Регион в системе административно-территориального деления Российской Федерации представляет собой территориальную единицу, которая может быть как самостоятельным субъектом федерации, так и его частью. Термин «регион» включает в себя не только физико-географические особенности, но и множество других аспектов, таких как экономические, социальные, культурные, политические и институциональные характеристики. В некоторых субъектах Российской Федерации сосредоточены значительные запасы природных ресурсов, таких как нефть, газ, уголь, лесные ресурсы, что способствует развитию крупных промышленных комплексов. Другие регионы больше ориентированы на аграрный сектор или развивают туристическую сферу, что зависит от природных условий и инфраструктуры. Федеральная структура управления позволяет регионам формировать собственные страте-

гии развития, что особенно важно в условиях такой разнообразной территории и населения. Центральные власти проводят политику по выравниванию экономического потенциала регионов и снижению уровня межрегиональных различий, что выражается в различных государственных программах поддержки и финансирования. Различия между регионами, несмотря на эти усилия, остаются значительными и требуют продолжения работы по улучшению социальной и экономической ситуации в отдаленных и менее развитых регионах [1].

В региональном управлении активно используются различные типы геоинформационных систем (ГИС) и информационных систем (ИС) для планирования, мониторинга и принятия управленческих решений. ГИС используются для работы с пространственными данными и анализа географической информации. Примером геоинформационной системы является ГИС Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС). Система предназначена для анализа и отслеживания информации о потенциально опасных зонах, включая зоны риска природных катастроф [2].

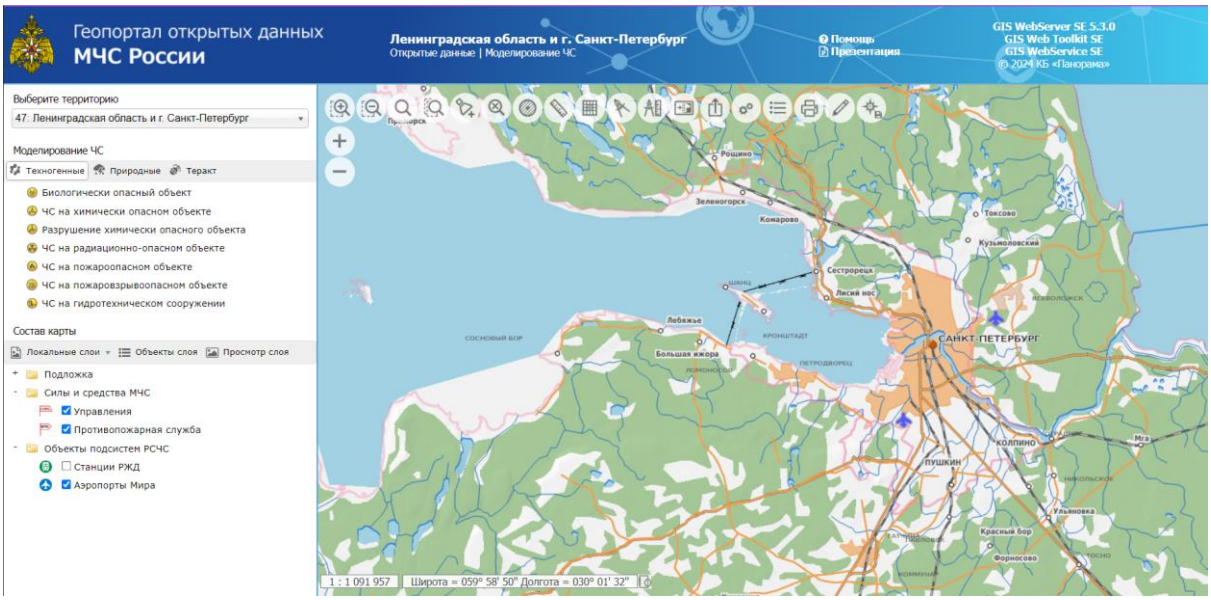


Рис. 1. Пользовательский веб-интерфейс ГИС МЧС

Информационные системы в региональном управлении охватывают более широкий круг задач, включая обработку данных, координацию между ведомствами и управление социальными и экономическими процессами. В 2021 году был официально запущен масштабный проект «ГосТех», инициированный правительством Российской Федерации с целью создания единой государственной цифровой платформы для автоматизации и цифровизации государственных услуг и процессов. Внедрение данной платформы позволит стандартизировать процессы и ИС, что сократит дублирование функций, оптимизирует затраты на их обслуживание и повысит общую эффективность работы государственных учреждений (рис. 2).

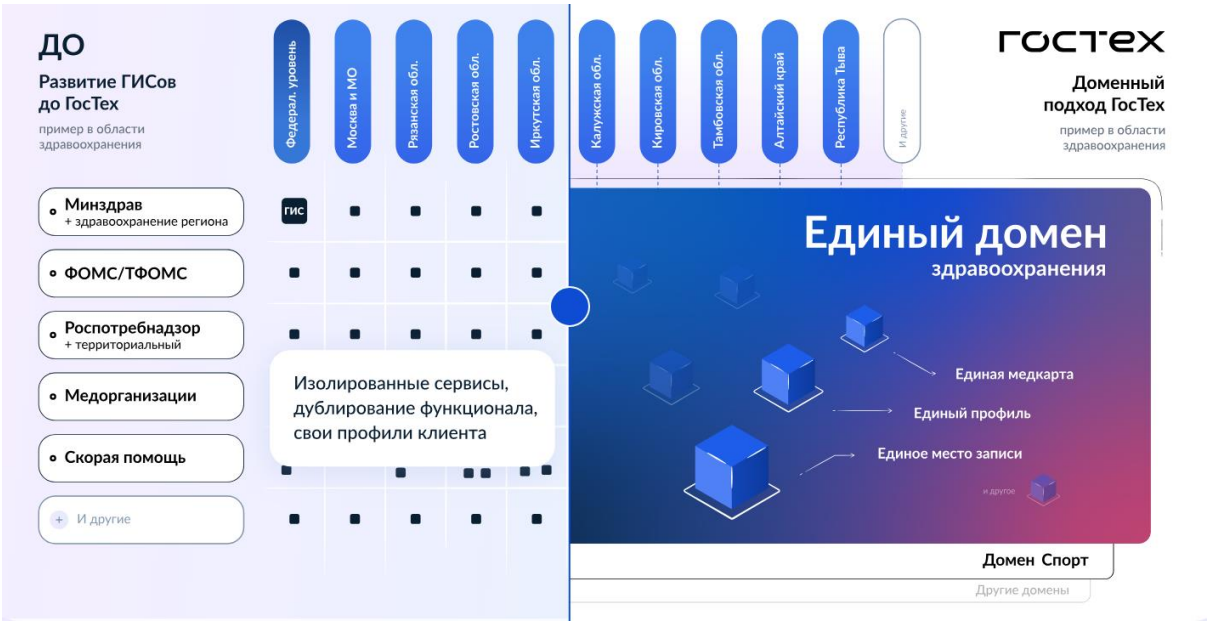


Рис. 2. Проект «ГосТех»

Платформа предназначена для замены устаревших информационных систем, а также для обеспечения эффективного взаимодействия между различными государственными органами и направлено на повышение доступности государственных услуг для граждан и бизнеса. Для интеграции региональных ведомств предусмотрена возможность подачи заявки на подключение к платформе. В зависимости от потребностей ведомства разрабатывается новый сервис либо адаптируются существующие решения в соответствии со стандартами «ГосТех», после чего осуществляется их интеграция в экосистему платформы. Данный подход к формированию единого цифрового пространства имеет ряд недостатков. Переход на единую платформу потребует значительных усилий и координации между многочисленными государственными ведомствами. Интеграция существующих информационных систем с новыми стандартами может оказаться трудоемким и дорогостоящим процессом, особенно для регионов с ограниченными ресурсами. Процесс подачи заявок на разработку и согласование новых сервисов может затягиваться из-за бюрократических процедур, что приведет к замедлению внедрения инновационных решений [3].

Геоинформационные и информационные системы в основном функционируют автономно, что приводит к их фрагментации. Такая разобщенность проявляется в отсутствии синхронизации данных между системами, что затрудняет процесс принятия управленческих решений. Так, данные, получаемые из ГИС, часто не синхронизированы с ИС, занимающимися социальными или экономическими задачами. Данная ситуация приводит к тому, что информация о пространственных объектах, таких как земельные участки или транспортная инфраструктура, может быть недоступна для анализа в контексте со-

циально-экономических процессов, например, планирования бюджетов или распределения социальных услуг [4].

Для решения данной задачи необходимо создание единой геоинформационной киберсреды, представляющей собой агентно-ориентированную коммуникационную платформу. В данной среде организация информации и ее обмен осуществляются посредством агентов, между которыми устанавливаются семантические связи. В качестве агентов могут выступать регионы, области и другие административно-территориальные единицы. Установление связи между агентами не требует их нахождения в одной среде. Связь осуществляется путем отправки запросов, на основании которых в среде отправителя создается прокси-агент получателя. Получатель, в свою очередь, может инициировать ответный запрос для формирования двухсторонней связи.

Создание единой киберсреды будет способствовать повышению эффективности информационного обмена между государственными структурами, что позволит улучшить координацию и сократить дублирование данных. Агентно-ориентированная архитектура обеспечит синхронизацию данных из различных источников, включая геоинформационные, экономические и социальные системы в режиме реального времени, что обеспечивает переход на уровень цифрового двойника. Применение данного подхода позволит устранить фрагментацию данных и значительно повысить аналитические возможности, а также структура способствует полной и адекватной передаче взаимосвязей между представленными объектами.

Список используемых источников

1. Лапаева М. Г., Лапаев С. П. / Регион как пространственная социально- экономическая система государства // Вестник ОГУ. 2012. №8 (144).
2. Геопортал открытых данных МЧС России. URL: https://emercom.gisserver.ru/ (дата обращения 20.10.2023).
3. Проект «ГосТех». URL: https://platform.gov.ru/ (дата обращения 20.10.2023);
4. Кащенко Н. А. Геоинформационные системы: учебн. пос. для вузов / Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. 130 с.

Parkhacheva O. **CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MODELING REGIONS AND ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL UNITS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the results of a study focused on the development of modeling for regions and administrative-territorial units. The analysis revealed key shortcomings of modern geoinformation and information systems used for management and planning. An approach is proposed to address the deficiencies of existing systems through the development of a geoinformation cyberspace, which represents an agent-oriented communication platform.

Key words: region, geoinformation systems, information systems, cyberspace.

УДК 004.457
ГРНТИ 50.41.25

UX/UI ДИЗАЙН СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ УЧЕБНЫМИ ПЛАНАМИ

Д. Ю. Петров
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Представлены результаты разработки веб-приложения для разработки и управления рабочими учебными планами, сформировано требование к необходимым технологиям приведено описание интерфейса приложения, описано создание рабочих учебных планов, их шаблонов, дисциплин и различных элементов интерфейса пользователя. Особенностью предлагаемой системы разработки и управления рабочими учебными планами является возможность встраивания в любую образовательную среду, что позволяет значительно упрощать работу по управлению рабочими учебными планами.

рабочие учебные планы, система управления, жизненный цикл, архитектура системы, domain driven design, интерфейс, веб-приложение

Рабочий учебный план является одним из ключевых частей образовательного процесса. Он определяет то, что и как выполняют студенты, какие дисциплины читаются, какие формы контроля осуществляется, объем и график изучения дисциплин [1]. Создание рабочих учебных планов занимает значительную часть времени, которая могла бы быть потрачена на улучшение качества образования. На данный момент многие учебные заведения сталкиваются с ограничением программного обеспечения, связанного с разработкой рабочих учебных программ. Существующие программы не предоставляют достаточной интуитивности и удобства для эффективной работы пользователя с большим количеством рутинной работы, связанной с учебными планами, например создание и перенос информации из одного учебного плана в другой [2]. Удобный интерфейс и простых инструментов может позволить значительно упростить и ускорить разработку рабочих учебных планов.

Для системы управления рабочими учебными планами будет использоваться технология для разработки веб-приложений blazor. Он позволяет писать приложение с помощью C# вместо Java-script. Клиентская и серверные части могут использовать общую логику, снижая время разработки [3]. Для визуальной составляющей будет задействован bootstrap.

Основное окно модуля «Разработки РУП» представляет собой веб-страницу с возможностью загрузить существующий РУП либо создать новый учебный план.

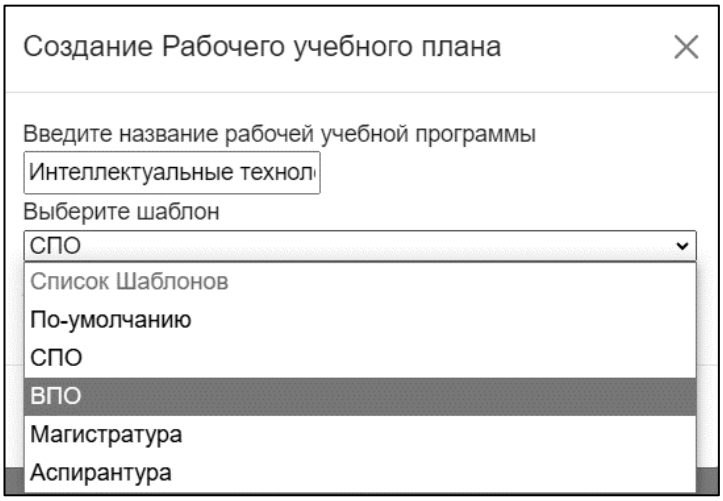


Рис. 1. Создание рабочего учебного плана и выбор шаблона

В случае выбора загрузки существующего, пользователю будет предложен список доступных в системе учебных планов в виде модального окна, также пользователь может импортировать модуль из старой системы, что представляет собой обратную совместимость для редактирования учебных планов, созданных с помощью другого программного обеспечения.

При выборе создания нового рабочего учебного плана пользователю будет предложено модальное окно, в котором он сможет задать название нового учебного плана, а также выбрать один из существующих шаблонов, присутствующих в системе [4]. Шаблоны отличаются по формированию и параметру блоков учебного плана. Поскольку на данный этап разделение пользователей по ролям не предусмотрено, пользователь имеет право создать свой собственный шаблон, создав и разместив блоки РУП на свое усмотрение. Создание нового рабочего учебного плана представлено на рис. 1.

Шаблоны рабочего учебного плана представляют собой древовидную структуру. Каждый из узлов дерева представляет собой определенный блок учебного плана, который может быть задан пользователем. За счет такой структуры пользователь может свободно перемещать и перетаскивать блоки, закрепляя их к конкретным блокам. Также пользователь может указать, какой из блоков может содержать дисциплины, тем самым ограничивая пользователя от ошибок в закреплении дисциплин к блокам, в которых их быть не должно. В основном корневыми узлами являются дисциплины, а также блоки дисциплин по выбору. Структура шаблона представлена на рис. 2.

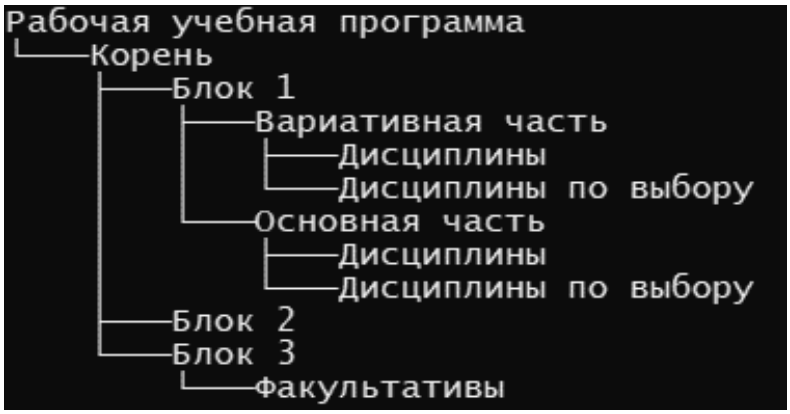


Рис. 2. Структура шаблона рабочей учебной программы

К примеру, был сформирован шаблон, состоящий из 3 блоков. В первый был основной модуль, в который были включены основные дисциплины и дисциплины по выбору. Во второй блок также был помещен вариативный модуль с дисциплинами по выбору. В третьем блоке была размещена модуль практики. Каждый из модулей может быть скорректирован, задавая ключевые особенности, например отключая отображения своего названия в путь либо разрешая перемещать данный модуль после создания шаблона, что делает систему крайне гибкой, это позволяет решать как стандартные, так и уникальные задачи создания рабочих учебных планов.

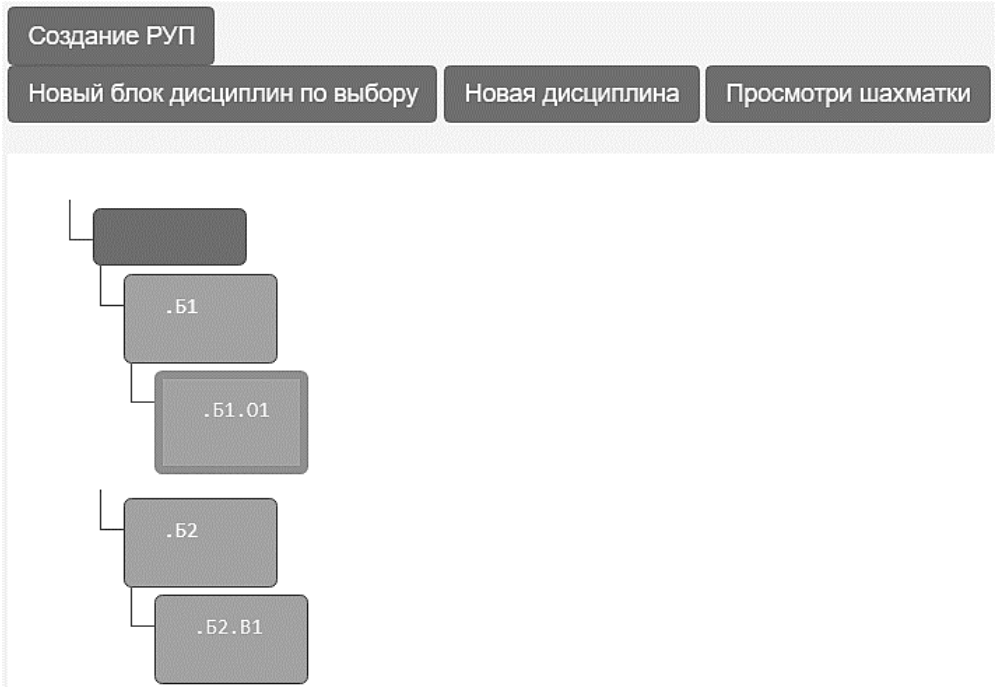


Рис. 3. Рабочий учебный план в системе

В результате была сформирована заготовка учебного плана, который после создания можно отредактировать, добавив или удалив дисциплины в модули, разрешающие добавлять их.

Как видно на рис. 3, перед работой с дисциплинами в плане, пользователю необходимо выделить модуль, с которым он будет работать в режиме дерева. Если модуль не указан, то система не позволит пользователю создать новую дисциплину, поскольку модуль создания не указан.

При добавлении новой дисциплины, пользователь может указать ряд параметров, либо отредактировать их позже, после успешного создания дисциплины. Выбирая создание блока дисциплин по выбору, пользователь сможет создать простой блок, который сможет содержать в себе ряд дисциплин, ключевой особенностью этого блока является одинаковое значение зачетных единиц среди дисциплин блока, а также эти дисциплины будут отображаться как единый блок при просмотре шахматки [5]. Создание новой дисциплины представляет собой модальное окно, в котором пользователь может задать полное название дисциплины, краткое название или аббревиатуру, количество академических периодов, что указать конкретные академические периоды, в которых будет размещаться дисциплина. Для каждого из академических периодов пользователь может использовать значение зачетных единиц по-умолчанию, либо указать свое значение, при этом система будет предлагать варианты, которые могут подходить под различные формы контроля, например зачет, зачет с оценкой, экзамен или иные, такие как факультатив или, работ по закреплению теоретических знаний путем решения конкретных практических задач, например, курсовых работ. Модальное окно позволяет пользователю выбрать один из наиболее часто встречаемых вариантов параметров дисциплин, либо указать свои собственные. При задании названия дисциплины система позволяет автоматизировать назначение краткого названия дисциплины за счет алгоритма извлечения первых символов из слов, разделенных пробелами или другими символами. При необходимости пользователь может самостоятельно указать необходимую аббревиатуру для дисциплины. Модальное окно создание дисциплины приведено на рис. 4.

При завершении создания дисциплины и нажатию «Создать» пользователь отправляет запрос системе на создание дисциплины с теми параметрами, которые он указал. В результате в дереве рабочего учебного плана под модулем, который был выбран, будет создана пользовательская дисциплина. Для упрощения работы пользователя. Также предусмотрен список ранее созданных дисциплин на случай, если пользователю создает план, в котором данная дисциплина также присутствует, это позволяет значительно экономить время при создании плана.

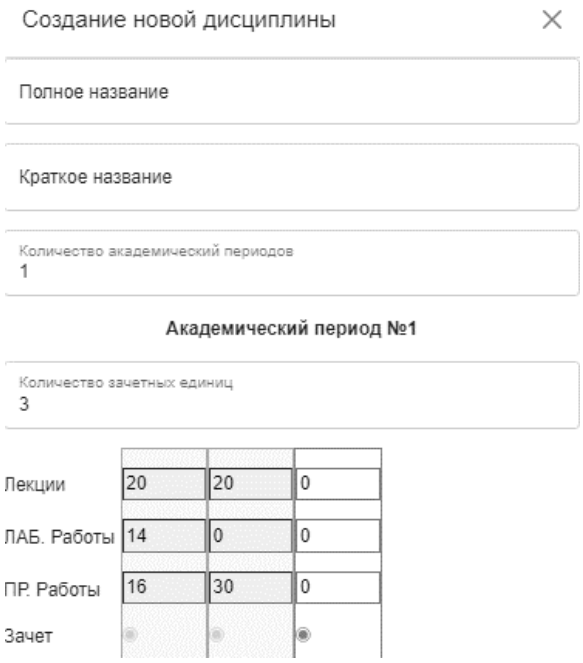


Рис. 4. Создание новой дисциплины учебного плана

Помимо отображения рабочего учебного плана в виде структуры дерева, пользователь может отобразить учебный план в виде таблицы дисциплин по академическим периодам, что более наглядно продемонстрирует размер дисциплины и ее академические периоды. Данная таблица позволяет динамически задавать академические периоды внутри плана без необходимости открывать и редактировать каждую дисциплину по отдельности, вместо этого пользователь может воспользоваться механизмом «Выбери и перенеси», что значительно снижает время работы с рабочим учебным планом. Пример таблицы дисциплин рабочего учебного плана приведен на рис. 5.

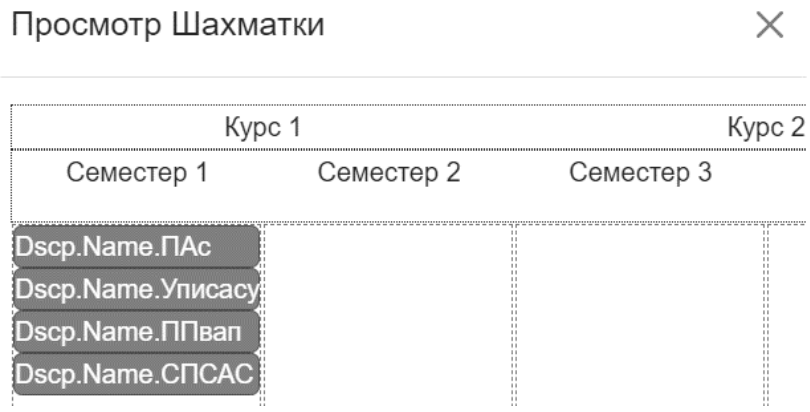


Рис. 5. Таблица дисциплин рабочего учебного плана

Таких образом представленный в статье интерфейс позволяет значительно упростить задачи и снизить время работы с рабочими учебными планами, за счет снижения количества однотипных действий по созданию, редак-

тированию, сохранению и переносу рабочих учебных планов и информации, хранящейся в них.

Список используемых источников

1. Письмо Минобразования России «О рекомендациях по разработке рабочих учебных планов и рабочих программ учебных дисциплин по специальностям среднего профессионального образования (для очной формы обучения)»: федер. Приказ от 24.06.1997г. № 12-52-91ин/12-23 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi /online.cgi?req=doc&base=EXP&n=305435#vneFR8UpdWoFgPb6
2. Олейник П. П. Предметно-ориентированное проектирование структуры базы данных в понятиях метамодели объектной системы // Объектные системы – 2018: материалы VIII Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 10-12 мая 2018 г.) / Под общ. Ред. П. П. Олейника. Ростов-на-Дону: ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платонова, 2018/ С. 41–46.
3. Аллен Э. Типичные ошибки проектирования. СПб: Издательский дом «Питер», 2020. 224 с.
4. Петров Д. Ю. Разработка объектной-модели для системы управления рабочими учебными планами // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; Сборник лучших докладов: в 2 т. Т. 1. / сост. Н. Н. Иванов. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 415–418.
5. Верхова Г. В., Акимов С. В. Комплексная автоматизация управления высшим учебным заведением // Телекоммуникации, 2020. № 7. С. 41-47.

Petrov D. **UX/UI DESIGN OF THE WORK CURRICULUM MANAGEMENT SYSTEM.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The results of the development of a web application for creating and managing working curricula have been presented. The requirement for necessary technologies has been formulated, and a description of the application interface has been provided. The creation of working curricula, their templates, disciplines, and various elements of the user interface are described in detail. A distinctive feature of the proposed system for developing and managing working educational plans is its ability to be integrated into any educational environment, which significantly simplifies the process of managing working curriculum plans.

Key words: working curriculum, control system, lifecycle, system architecture, domain driven design, user interface, WEB-application.

УДК 004.946
ГРНТИ 28.17.33

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

И. Ю. Попов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная статья содержит результаты анализа технологий, которые используются в геоинформационных системах, акцентируя внимание на обработке пространственных данных и их моделей. Рассматриваются актуальные геодезические технологии, обеспечивающие точность и надежность данных, а также методы удаленного зондирования, позволяющие эффективно собирать информацию о земной поверхности. Особое внимание уделяется внедрению искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы обработки и анализа пространственных данных, что способствует повышению эффективности и точности прогнозирования.

геоинформационные системы, удаленное зондирование, GeoAI

Геоинформационная система (ГИС) представляет собой систему, которая обеспечивает сбор, хранение, доступ, визуализацию и распространение данных, связанных с пространственными аспектами.

Геоинформационные системы занимают важное место в современном обществе, предоставляя возможность для проведения всевозможных видов пространственного анализа. Это включает в себя поиск объектов в заданной области, расчет расстояний и маршрутов между ними, а также анализ изменений в пространственных данных и многое другое [1]. С помощью ГИС можно разрабатывать карты и другие визуальные представления пространственной информации. Такие системы способствуют принятию более обоснованных решений на основе пространственных данных и улучшению управления ресурсами и территориями. ГИС становятся все более значимыми при решении глобальных проблем, включая изменение климата, устойчивое городское развитие, борьбу с природными катастрофами и экологическими вызовами. Благодаря способности анализировать пространственные данные на больших территориях и выявлять скрытые закономерности, ГИС выступают в качестве мощного инструмента для создания устойчивых и эффективных решений в области экологии, управления ресурсами и пространственного планирования.

Представление пространственных данных, или их модель, представляет собой метод цифрового описания объектов с пространственными характеристиками, а также структуру для организации таких данных. К наиболее попу-

лярным и универсальным моделям пространственных данных относятся: векторное, растровое, GRID и TIN представления.

Растровая модель описывает пространственные объекты в виде сетки ячеек (пикселов), каждой из которых присвоено значение, указывающее на класс объекта. Такое представление подразумевает географическую привязку. Векторное представление, в свою очередь, цифровое описывает точечные, линейные и полигональные объекты с помощью набора координат.

GRID представление организует пространственные данные в базе геоданных в виде сетки равных по размерам и соседних ячеек, расположенных в строках и столбцах. TIN представление (триангуляционная нерегулярная сеть) является векторным методом отображения поверхностей, при котором осуществляется процесс триангуляции, создающий смежные, непересекающиеся треугольники с вершинами, образованными точками. Геодезические технологии играют ключевую роль в геоинформационных системах (ГИС), поскольку они обеспечивают сбор, обработку и анализ пространственных данных. Геодезия – это наука, изучающая размеры и форму Земли, а также ее гравитационное поле. Геодезические измерения используются для определения координат точек на поверхности Земли. Основные методы включают:

– тригонометрическая съемка – использование угловых и линейных измерений для определения положения точек;

– геодезические GPS-измерения – использование глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), для высокоточного определения координат;

– спутниковая фотосъемка – получение изображений Земли для картографирования и мониторинга изменений;

– лазерное сканирование – метод получения данных о рельефе местности и объектах на поверхности Земли с помощью лазерного луча.

– построение геодезических сетей, которые используются для точного измерения и мониторинга изменений в пространственных данных.

Дистанционное зондирование представляет собой технологию, предназначенную для сбора информации о поверхности Земли с применением различных датчиков, размещенных на спутниках, летательных аппаратах или стационарных объектах. Эта методика позволяет исследовать как естественные, так и измененные человеком ландшафты без необходимости непосредственного контакта с ними. В процессе удаленного зондирования используются устройства, способные фиксировать отраженные или излученные электромагнитные волны. Датчики могут быть оптическими (например, камеры, работающие в видимом диапазоне), инфракрасными или радарными (микроволновыми) и т.д. Получаемые данные могут охватывать различные спектры, вклю-

чая видимый, инфракрасный и радиодиапазон. Каждому типу данных соответствует определенный тип анализа и интерпретации. Схематический пример принципа работы данной технологии представлен на рисунке 1.

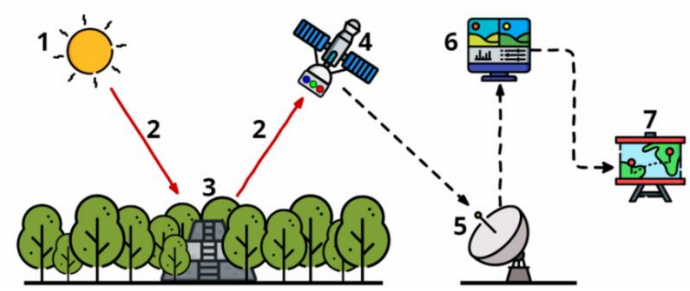


Рис. 1. Принцип работы удаленного зондирования

Преимущества дистанционного зондирования:

– широкий охват: сборка данных на больших территориях, включая труднодоступные или опасные районы.

– скорость и эффективность: сбор данных с использованием спутников происходит быстрее, чем традиционные методы полевых исследований.

– возможность исследовать изменения во времени, что полезно для долгосрочного мониторинга.

Недостатки дистанционного зондирования:

– данные могут быть подвержены шумам и искажениям, которые необходимо корректировать;

– необходимы специальные знания для правильной интерпретации полученных данных.

Цифровая модель поверхности предполагает, что для каждой точки в заданной области можно однозначно определить уровень этой точки. Важно различать цифровые модели поверхностей и способы их представления. В отличие от самих моделей, формы представления ориентированы на визуализацию.

Использование изолиний - один из основных способов представления поверхностей. Изолинии представляют собой линии уровня, которые визуализируют горизонтальные сечения поверхностей. Такие сечения выполняются как с произвольным, так и с равным интервалом. В ГИС изолинии обозначаются как линейные примитивные, то есть линии, которым в качестве их атрибута присваивается значение изолинии, соответствующей ей. Пример представления поверхности изолиниями представлен на рисунке 2.

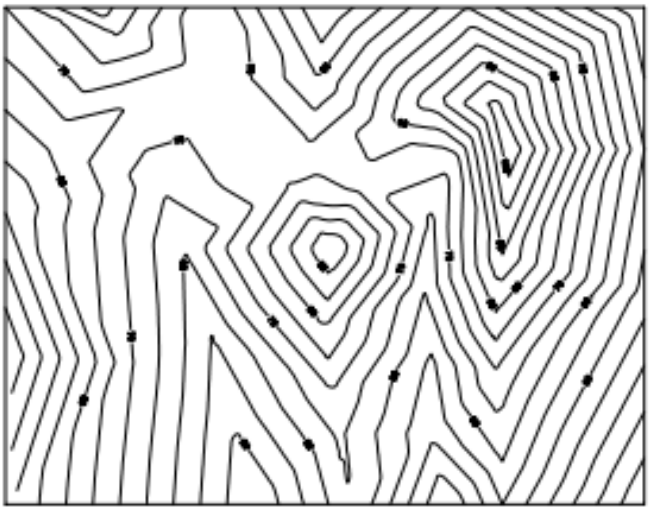


Рис. 2. Представление поверхности изолиниями

В настоящее время в геоинформационных системах такие технологии как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО), становятся все более важными инструментами, что позволяет обрабатывать, анализировать и интерпретировать большие объемы пространственных и географических данных.

Различные зависимости и паттерны в сложных пространственных данных возможно обнаружить с помощью МО [3]. Такие алгоритмы способны анализировать данные о землепользовании, климате, а также целым экосистемам для выявления взаимосвязей и закономерностей. По данным спутниковых изображений с помощью технологий ИИ возможно классифицировать различные типы земельных покрытий, таких как лес, водоемы, горы и так далее. Сверточные нейронные сети (CNN) способны распознавать различные пространственные объекты на очень высоком уровне, так же модели МО способны предсказывать различные изменения в ландшафтах, например, изменение уровня воды, кроме этого, оценить вероятность распространения заболевания на по территории, спрогнозировать стихийные бедствия, а на основе исторических данных нейронные сети могут предсказать зоны затопления и даже изменение климата.

Для логистики и градостроительства очень важно оптимизировать маршруты и транспортные потоки в реальном времени справиться с этой задачей могут алгоритмы МО. Они анализируют данные о трафике, погодные условия и другие факторы. ИИ автоматизирует обработку, анализ и визуализацию огромного объема данных, которым обладает ГИС, что позволяет исследователям сосредоточиться на интерпретации результатов, не тратя время на ручной ввод данных.

GeoAI является примером такой технологии, она извлекает геопространственные данные, используя глубокого обучения, а с помощью машинного

обучения выполняет прогностический анализ [4]. Такая технология позволяет оптимизировать рабочие процессы в генерации данных, используя возможности автоматизации, что повышает эффективность и снижает затраты в ресурсах и времени. GeoAI с помощью датчиков и различных источников, таких как видео, отслеживает и анализирует события и объекты, такой подход обеспечивает быстрое реагирование и позволяет принять упреждающие решения, которые основанные на данных из реальных условий.

Примеры применения ИИ и МО в ГИС:

1. Мониторинг окружающей среды: мониторинг здоровья, оценка уровня загрязнения и изучение изменений в экосистемах.

2. Управление городской инфраструктурой: оптимизация городского планирования, анализ трафика и создание карт.

3. Сельское хозяйство: мониторинг состояния культур с помощью дронов и спутников, оптимизация использования ресурсов для точного земледелия.

Искусственный интеллект и машинное обучение значительно расширяют возможности ГИС, позволяя более точно и эффективно извлекать информацию из сложных пространственных данных. С каждым годом новые достижения в этой области открывают новые горизонты для всех, кто работает с ГИС, разрабатывая более интеллектуальные и устойчивые решения для современных проблем.

Использование различных видов анализа данных в геоинформационных системах требует разработки многоаспектных геоинформационных моделей.

Список используемых источников

1. Кошкарев А. В. Понятие и термины геоинформатики и ее окружения: учебно-справочное пособие. М.: ИГЕМ РАН, 2000. 76 с.
2. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288с.
3. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. Geographic Information Systems and Science. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 350 p.
4. Hu Y. M., Jin Y. On the Structure ofWebGIS. Geomat. Spat. Inf. Technol. 2005. 28. 31–58.

Popov I. **OVERVIEW OF TECHNOLOGIES IN GEOINFORMATION SYSTEMS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article provides an overview of the technologies that are used in geoinformation systems, focusing on the processing of spatial data and their models. Current geodetic technologies are considered to ensure the accuracy and reliability of data, as well as remote sensing methods that effectively collect information about the earth's surface. Special attention is paid to the adoption of artificial intelligence and machine learning in the processing and analysis of spatial data, which contributes to improving the efficiency and accuracy of forecasting.

Key words: Geoinformation systems, remote sensing, GeoAI.

УДК 004.891
ГРНТИ 28.23.20

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Д. Г. Попугаев, А. П. Шабанов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье исследуется вопрос целесообразности использования различных методов машинного обучения для классификации знаний студентов, на примере таких алгоритмов как логистическая регрессия и дерева решений. С помощью инструментов языка программирования Python обучены модели на тренировочной выборке, сделанные предсказания на тестовой выборке позволили определить наиболее точную модели. Основываясь на значениях метрик, полученных в результате предсказания, предложены варианты использования такой модели в системе автоматизированной оценки знаний студентов.

модель, машинное обучение, классификация, логистическая регрессия, дерево решений

В последние годы в связи с развитием и активным использованием различных нейронных сетей, таких как GPT, Gemini и YandexGPT, растет необходимость внедрения моделей искусственного интеллекта в проекты технически продвинутых компаний. Прежде всего это делается для повышения роста эффективности бизнеса, в том числе за счет снижения издержек, ускорения процессов, ресурсной оптимизации, обработки больших массивов данных, а также повышения лояльности клиентов, благодаря более качественным предложениям продуктов и сервисов. В ряде проектов такие модели используются для предсказания какой-либо целевой величины, например, линейная регрессия позволяет спрогнозировать цены на жилье, в таком случае в качестве зависимой, или целевой, переменной берется цена дома, а в качестве независимой можно взять площадь, количество комнат, расположение, а также другие факторы как в их совокупности, так и по отдельности, главное, чтобы каждый из них имел высокий коэффициент корреляции с прогнозируемой величиной.

Линейная регрессия является одним из методов машинного обучения с учителем. Такой вид обучения основан на том, что у будущей модели есть некий учитель, который сообщает ей, как поступать. В данном случае поведение модели определяется размеченными данными, в которых содержится информация о целевом признаке (цены домов), то есть модель обучается на конкретных примерах и правильных ответах к ним.

В данной статье рассматривается возможность применения моделей машинного обучения в сфере образования, а именно в прогнозировании оценки знаний студентов вуза. Использование такой модели позволит упростить рутинный процесс оценки знаний преподавателем, формируя в результате предсказания оценку для каждого студента в зависимости от успехов прохождения дисциплины в течение семестра, или другого временного отрезка.

В качестве обучающего направления взято обучение с учителем, а именно классификация. Задача классификации состоит в предсказании класса объекта на основе признаков в наборе данных. Таким образом задача сводится к предсказанию целевого признака, который является категориальным. Любого студента можно классифицировать по оценке, то есть по целевому признаку будущей модели:

1. В случае традиционной системы оценивания выделяют студентов с оценкой: «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно» и «Неудовлетворительно».

2. В случае бинарной системы студентов можно разделить на тех, у которых оценка «Зачтено» или «Не зачтено».

Следовательно, целевой признак, а именно оценка, в любом из случаев будет категориальным.

Из всех алгоритмов классификации выбраны логистическая регрессия и дерева решений. Данные алгоритмы достаточно просты и обладают всеми качествами для корректного построения модели. Логистическая регрессия наиболее эффективна, если мы рассматриваем именно бинарную систему оценивания, так как данный алгоритм основан на логистической функции (logistic function). Однако более распространенное название этой функции - сигмоида (sigmoid).

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Выходом сигмоиды является число от 0 до 1, которое можно интерпретировать как вероятность принадлежности к классу 1. Тем не менее, данный алгоритм можно использовать в задаче многокатегориальной классификации для случая с традиционной системой оценивания путем использования подхода, который называется «один против всех» (one-vs-over) (рис. 1). Основная задача подхода заключается в следующем: если имеется несколько различных классов, то каждый из классификаторов будет предсказывать вероятности принадлежности каждого объекта к определенному классу.

Помимо логистической регрессии рассмотрен алгоритм дерева решений. Решающее дерево предсказывает значение целевой переменной с помощью применения последовательности простых решающих правил. В самой простой трак-

товке дерево решений представляет собой последовательность конструкций if/else, принятых во многих языках программирования. Этот процесс в некотором смысле согласуется с естественным для человека процессом принятия решений.



Рис. 1. Модель предсказания оценки в традиционной системе оценивания

В результате построения модели алгоритмом дерева решений образуется связный ациклический граф (рис. 2), с вершинами из уточняющих условий и с конченными вершинами, в которых содержится конечный результат - класс объекта [1–2].

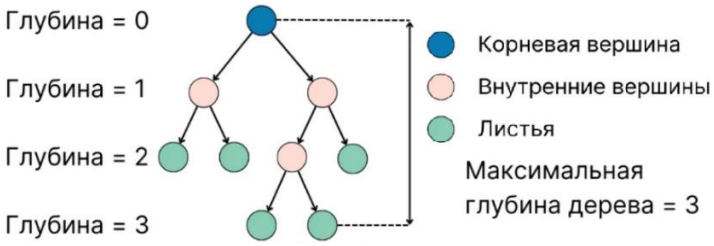


Рис. 2. Структура решающего дерева

Для обучения и тестирования модели необходимы данные. Для определения целесообразности использования таких моделей взяты усредненные данные из онлайн-сообщества специалистов по машинному обучению Kaggle [3]. Исходный набор данных представляет собой таблицу, где строки описывают одного студента по признакам (столбцы). В наборе можно обнаружить ненужные для обучения данные о студенте, например, расстояние до вуза и имена.

Главным инструментом в построении и изучении моделей является язык высокоуровневого программирования Python. Вспомогательным инструментом являются множество его библиотек по математической статистике и алгоритмам машинного обучения.

Матрица корреляций позволила определить наиболее зависимые с целевой переменной признаки: 1) процент отсутствия обязательных занятий; 2) процент нахождения в модуле обучения (образовательная платформа). На

практике могут быть и другие признаки, например, процент выполненных работ, однако в таком случае требуется тщательная подготовка данных, включая их сбор и разведывательный анализ, что рассматривается в дальнейшей перспективе. Распределение величин представлено на рисунке 3.

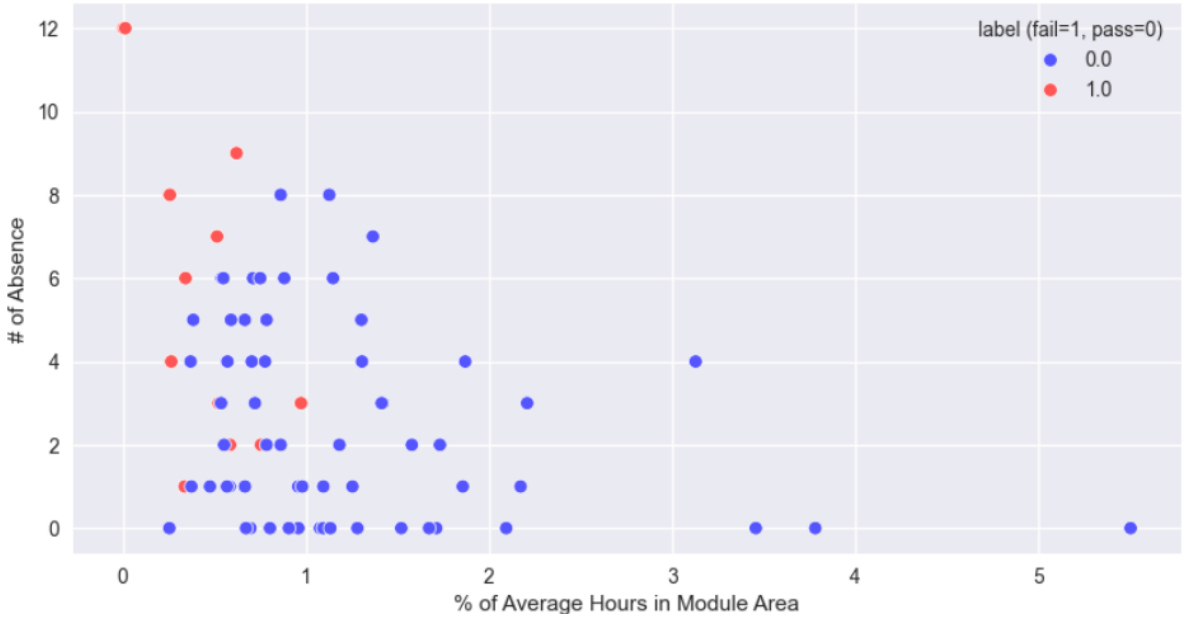


Рис. 3. Распределение признаков

Алгоритм логистической регрессии обучил модель с точностью предсказаний равной 90 %, а алгоритм решающего дерева предсказывает верный класс студента с точностью 95 % (рис. 4).

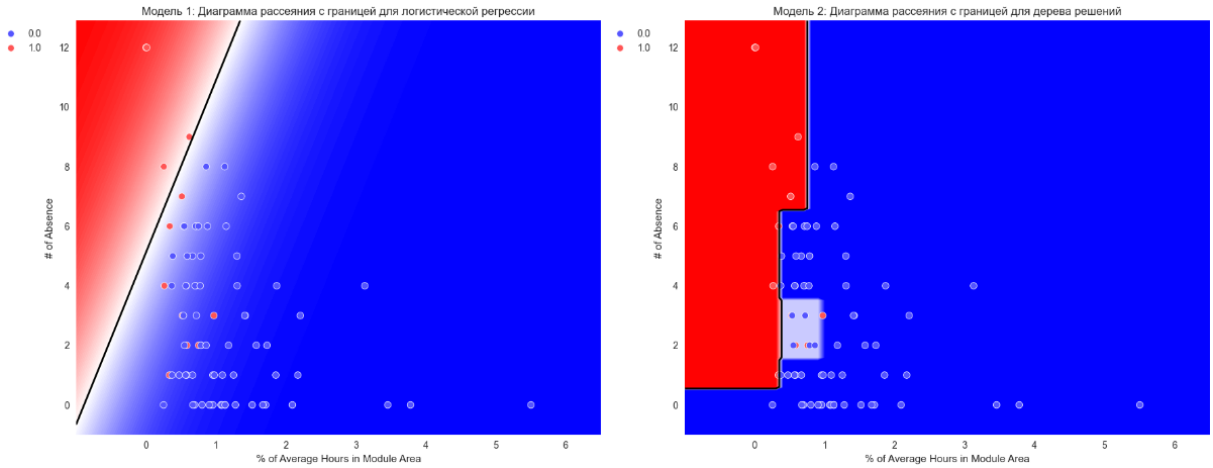


Рис. 4. Границы разбиения классов

Исходя из показателей, обученные модели хорошо проявили себя на тестовом наборе данных, что указывает на их корректность в задаче предсказания оценки студента. Однако алгоритм решающего дерева имеет более высокие показатели метрик. Полный отчет по полученным метрикам для двух моделей представлены в таблице ниже (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Отчет по метрикам моделей

	Метрики						
Метрики / Модели	precision		recall		f1-score		accuracy
	0	1	0	1	0	1	
Логистическая регрессия	0.89	1.00	1.00	0.33	0.94	0.50	0.90
Дерево решений	0.94	1.00	1.00	0.67	0.97	0.80	0.95

Таким образом, модели уже можно использовать на практике, как только будут готовы данные для предсказания. Итоговое решение требует усложнения модели и учета новых дополнительных признаков, данное действие может привести к неэффективности алгоритмов текущих моделей, в связи с чем возникает потребность использования более сложных подходов, таких как ансамблирование (например, случайный лес) и нейронные сети. Подобную модель можно внедрять в проекты образовательных платформ, где на основе всех рассматриваемых данных, находящихся в базе, будет автоматически определяться оценка. По решению преподавателя оценка будет либо утверждена, либо не утверждена и процесс оценивания студента останется за преподавателем.

Список используемых источников

1. Нилд Т. Математика для Data Science. Управляем данными с помощью линейной ал гебры, теории вероятностей и статистики. Астана: «Спринт Бук», 2025. 352 с. ISBN 978-601-08-4357-8.
2. ГрасД. Data Science. Наука о данных с нуля: Пер. с англ. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 416 с. ISBN 978-5-9775-6731-2.
3. Student Grades Prediction Dataset. URL: https://www.kaggle.com/datasets/sujaykapadnis/student-grades-prediction-dataset/data (дата обращения 13.12.2024).

Popugaev D., Shabanov A. **ANALYSIS OF MACHINE LEARNING MODELS IN THE TASK OF CLASSIFYING STUDENT KNOWLEDGE ASSESSMENT.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article examines the feasibility of using various machine learning methods to classify students' knowledge, using the example of algorithms such as logistic regression and decision trees. Using Python programming language tools, models were trained on a training sample, and predictions made on a test sample made it possible to determine the most accurate model. Based on the values of the metrics obtained as a result of prediction, options for using such a model in the system of automated assessment of students' knowledge are proposed.

Key words: model, machine learning, classification, logistic regression, decision tree.

УДК 004.93
ГРНТИ 20.51.23

СОЗДАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА К ОБОРУДОВАНИЮ

И. С. Харитонов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В условиях ограниченного доступа к оборудованию создание синтетических данных становится важным инструментом для разработки моделей машинного обучения. В данной статье рассматривается подход к генерации синтетического датасета для задачи мониторинга промышленного оборудования с использованием графического движка Blender. Описаны этапы создания синтетических данных, включая моделирование сцены, добавление отвлекающих объектов и настройку параметров освещения. Обсуждаются преимущества и ограничения данного подхода, а также его потенциал для решения реальных задач промышленного мониторинга.

Blender, синтетические данные, компьютерное зрение, генерация данных

Синтетические данные – это данные, которые созданы искусственно, а не в результате реальных событий. Они часто создаются с помощью алгоритмов и используются для широкого спектра действий. Синтетические данные могут быть очень похожи на реальные данные, сохраняя все их скрытые характеристики и повторяя все их свойства, при этом соблюдая все же некоторые отличия от реальных данных [1].

С развитием технологий машинного обучения и компьютерного зрения автоматизация процессов мониторинга промышленного оборудования становится все более актуальной [2]. Одной из ключевых задач в этой области является выявление посторонних объектов на конвейерных лентах и дробилках. Традиционные методы сбора данных для обучения моделей машинного обучения предполагают доступ к оборудованию и возможность воссоздания реальных сценариев. Однако в условиях ограниченного доступа к объектам это становится невозможным.

Одним из перспективных решений этой проблемы является создание синтетических данных. Синтетические датасеты позволяют моделировать сложные сценарии без необходимости физического взаимодействия с оборудованием.

Использование синтетических данных активно развивается благодаря возможностям современных графических движков, таких как Blender и Unreal Engine. Эти инструменты позволяют создавать высокореалистичные изображе-

ния, моделируя сложные сцены с учетом освещения, текстур, материалов и других физических характеристик. Blender, в частности, предоставляет широкие возможности для генерации кастомизированных датасетов, включая автоматизацию процесса размещения объектов и изменения параметров сцены. Unreal Engine, благодаря встроенному физическому движку и системе рендеринга, позволяет моделировать динамические сцены и взаимодействие объектов.

Синтетические данные имеют ряд преимуществ по сравнению с реальными. Во-первых, их генерация позволяет избежать затрат на сбор и аннотирование реальных данных, что особенно важно в условиях, где доступ к объектам или оборудованию ограничен. Во-вторых, они обеспечивают полный контроль над условиями эксперимента, включая вариативность сцены, количество объектов и сложность фона [3]. Кроме того, синтетические данные могут включать сложные сценарии, которые трудно или невозможно воспроизвести в реальной жизни.

Несмотря на преимущества, синтетические данные имеют ограничения. Главным из них является разница между синтетическими и реальными изображениями, вызванная упрощением моделей освещения, текстур или физического поведения объектов. Это может привести к тому, что модели машинного обучения, обученные на синтетических данных, будут менее эффективны при работе с реальными данными.

Создание синтетического датасета включает использование скрипта на Python, интегрированного с Blender, для автоматизации процесса генерации изображений и аннотаций.

Для каждого класса объектов, включая отвлекающие элементы (например, куски угля или фоновые текстуры), в Blender были созданы точные 3D-модели. Эти модели учитывали детали текстуры, форму, освещение и взаимодействие с окружающей средой, чтобы максимально имитировать реальные условия. Пример моделей представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Примеры 3D моделей посторонних объектов

Создание синтетического датасета включает использование скрипта на Python, интегрированного с Blender, для автоматизации процесса генерации изображений и аннотаций.

Сцена настраивается с использованием случайного числа источников света. Генерируются параметры для их положения, цвета и интенсивности.

Фоны выбираются случайным образом из предопределенного набора, чтобы обеспечить разнообразие сцен.

Все объекты, включая отвлекающие (например, уголь) и целевые (посторонние предметы), изначально скрываются. Затем случайно выбирается объект, который будет видимым, и назначаются текстуры как для целевых, так и для отвлекающих объектов. Для повышения реалистичности текстуры выбираются случайным образом из заранее подготовленных библиотек.

Целевые объекты и отвлекающие элементы случайным образом размещаются в пространстве сцены. Их позиции и углы поворота рассчитываются в пределах заданных диапазонов. Камера также позиционируется случайным образом, обеспечивая разнообразные углы обзора и ракурсы.

Используя матрицу камеры и ее параметры, скрипт проецирует 3D-координаты объектов в 2D-пространство изображения.[4] Автоматически создаются аннотации в формате COCO.

Скрипт выполняет рендеринг каждой сцены с заданной конфигурацией. На выходе формируется папка с изображениями и файлом аннотаций. Пример сгенерированных изображений представлен на рисунке 2.

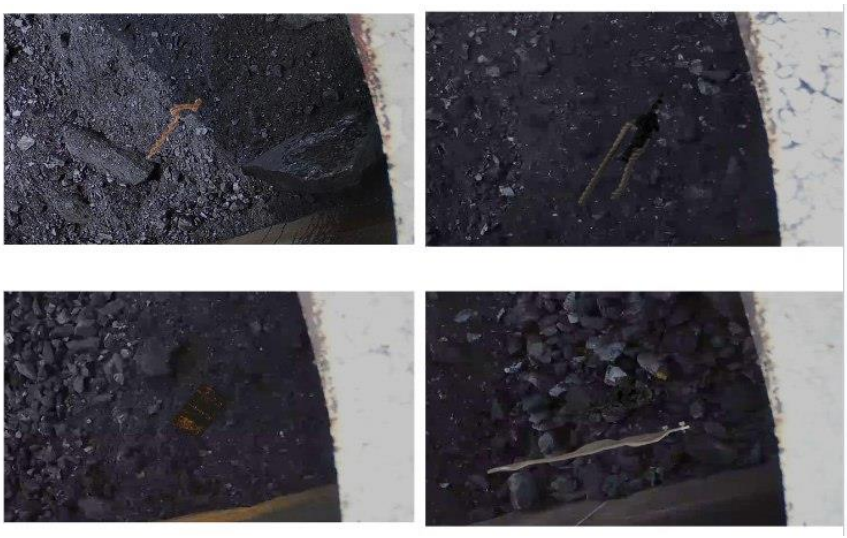


Рис. 2. Примеры сгенерированных автоматически изображений

Создание синтетического датасета с использованием Blender и кастомного скрипта позволило существенно сократить затраты на сбор данных и обеспечило высокую эффективность процесса.

Вместо того, чтобы вручную собирать данные, процесс был полностью автоматизирован. Сотни изображений с аннотациями генерировались за несколько часов, что значительно быстрее по сравнению с неделями или месяцами, необходимыми для традиционной фотосъемки и последующей разметки. Каждая метка стоит от нескольких центов до нескольких долларов, в зависимости от времени, потраченного исполнителем [5].

Не понадобилось организовывать доступ к оборудованию (например, дробилке), строить тестовые установки или использовать дорогостоящую технику для сбора данных.

Аннотации, сгенерированные в формате COCO, сразу готовы к использованию в большинстве библиотек глубокого обучения, таких как TensorFlow или PyTorch [6]. В дальнейшем синтетические данные могут быть объединены с небольшим количеством реальных изображений для оценки их эффективности.

Генератор данных можно быстро настроить под другие проекты или задачи, например, классификацию новых типов объектов или тестирование различных условий освещения.

В данной статье рассмотрен процесс создания синтетического датасета для задачи детекции посторонних объектов на питателе. Описан подход генерации данных с использованием Blender, включающий автоматическую разметку и варьирование параметров сцены для увеличения вариативности данных. Основными преимуществами подхода являются существенная экономия времени и ресурсов. Синтетические данные обеспечивают качественную базу для обучения моделей глубокого обучения, что способствует ускорению исследований в области компьютерного зрения. Рассмотренные методы позволили оптимизировать процесс подготовки данных, обеспечив как экономическую, так и технологическую эффективность.

Список используемых источников

1. Рабчевский А. Н. Синтетические данные и развитие нейросетевых технологий: учебное пособие для вузов / А. Н. Рабчевский. М.: Издательство Юрайт, 2024. 187 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-534-17716-9 // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. URL: https://urait.ru/bcode/545036 (дата обращения 15.11.2024).

2. Васеев И. Е., Годунова Е. А., Санатов Д. В., Семенова М. А., Харитонов М. А. Источники новых индустрий. Выпуск 3. Искусственный интеллект в промышленности : Экспертно-аналитический доклад . 978-5-9909736-4-0.

3. Михайлов А. А. Автоматическая разметка данных для сегментации изображений документов с использованием глубоких нейронных сетей // Труды ИСП РАН, 2022. Том 34. Вып. 6. С. 137–146. DOI: 10.15514/ISPRAS-2022-34(6)-10Hugging Face. URL: https://huggingface.co/cointegrated/rubert-tiny2 (дата обращения 15.11.2024).

4. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений / В. В. Селянкин. СПб.: Лань, 2019. 152 с.
5. Анирад К. Искусственный интеллект и компьютерное зрение. Реальные проекты на Python, Keras и TensorFlow / К. Анирад, Г. Сиддха, Г. Сиддха. Серия «Бестселлеры O'Reilly». СПб: Питер, 2023. 624 с. ISBN 978-5-4461-1840-3.
6. Дэвис Р. Компьютерное зрение. Передовые методы и глубокое обучение / Р. Дэвис, М. Терк. Москва: ДМК Пресс, 2022. 690 с. ISBN 978-5-93700-148-1.

Kharitonov I. **GENERATING SYNTHETIC DATA FOR INDUSTRIAL MONITORING TASKS UNDER LIMITED EQUIPMENT ACCESS CONDITIONS.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In conditions of limited access to equipment, the creation of synthetic data becomes a crucial tool for developing machine learning models. This article explores an approach to generating a synthetic dataset for industrial equipment monitoring tasks using the "Blender" graphics engine. The stages of synthetic data creation are described, including scene modeling, the addition of distractor objects, and lighting parameter adjustments. The advantages and limitations of this approach are discussed, as well as its potential for solving real-world industrial monitoring challenges.

Key words: Blender, synthetic data, computer vision, data generation.

УДК 004.75
ГРНТИ 50.41.25

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Н. Р. Щербаков
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Активное развитие инфокоммуникационных технологий в сфере логистики требует инновационного программного обеспечения на основе технологий блокчейн. Существующее в настоящее время программное обеспечение для обработки корпоративной информации не обладает достаточной защищенностью и технологическим совершенством для защиты информации. Разработанный прототип системы, основанный на цепочке блоков, позволяет решить эту проблему, обеспечивая безопасность данных и невозможность подделки информации.

блокчейн, распределенный реестр, микросервисная архитектура

Применение информационных технологий в корпоративной сфере требует особого подхода к разработке программного обеспечения, которое обрабатывает информацию. Актуальность работы заключается в исследовании эффективности применения программно-алгоритмического обеспечения для управления корпоративной информацией на основе технологии блокчейн. Современный мир характеризуется главенствующей ролью информации, что связано с условиями конкуренции. Вся жизнедеятельность компании и ее дальнейшее существование зависит от своевременно принятых правильных решений. В ряде случаев стратегически верные решения могут перевернуть всю рыночную ситуации [1]. В связи с этим традиционные методы хранения и управления данными с помощью централизованных баз данных сталкиваются с рядом ограничений. Централизованные базы данных имеют единую точку отказа и подвержены различного рода ошибкам. Среди них можно выделить ограниченность в масштабируемости и скорости обработки данных. Проблема сохранения информации является достаточно серьезной [2]. Необходимо создавать технологии хранения, обработки и анализа информации. Все эти действия должны выполнять в крайне надежной системе. Решить эту ситуацию позволяет технология блокчейн и распределенный реестр. В данной статье будет исследована эффективность применения программно-алго-

ритмического обеспечения для управления корпоративной информацией на основе технологии блокчейн.

Одноранговая сеть представляет собой сеть, которая состоит из группы взаимосвязных устройств, которые обмениваются между собой файлами и хранят один и тот же набор данных. Каждый участник выступает в качестве индивидуального пира и выполняет одинаковые задачи. Блокчейн (Blockchain, от англ. block – блок, chain – цепь) представляет собой децентрализованную распределенную база данных,в которой транзакции записываются в виде блоков, сцепленных друг с другом криптографическими подписями. Технология, основанная на цепочке блоков,распределяет данные по сети компьютеров, что обеспечивает высокий уровень устойчивости к сбоям. Программное обеспечение должно быть создано таким образом, чтобы выполнять все действия по обработке корпоративной информации. Важным аспектом программного обеспечения является то, что оно должно быть гибким и адаптируемым. При любых изменениях, начиная от индивидуальных требований потребителя, заканчивая бизнес-процессами компании, программное обеспечение должно удовлетворять условиям и стабильно функционировать. При этом ключевое значение имеет возможность масштабируемости [3].

Распределенный реестр выполняет функции базы данных. Узел представляет собой устройство, на котором установлено соответствующее программное обеспечение и которое совместно с другими узлами ведет распределенные базы данных. Узлы участников сети подключаются друг к другу для обмена и подтверждения информации, что существенно отличается от традиционной архитектуры централизованных систем, в которых присутствует единственный источник достоверных данных [4]. Распределенные реестры позволяют вести актуальные копии базы данных на нескольких узлах, обеспечивая повышенную операционную устойчивость.

Важная роль в системе распределенных реестров отдана защите информации от неправомерного завладения информацией. С помощью мощных способов криптографии система способна защищать данные от несанкционированного доступа [5]. Хакеры не имеют никакой возможности взломать блокчейн, что означает полную сохранность информации. Технологии, основанные на блокчейн, обладают уникальной способностью масштабироваться. Важным качеством данного вида технологий является то, что не существует верхнего предела участниковсети или проводимых в ней операций. Данное качество имеет ключевое значение, так как существенная доля предприятий различного уровня имеет тенденцию к развитию и расширению. Блокчейн представляет собой мощныйинструмент, способный трансформировать различные сферы жизни.

В любой крупной компании имеется определенное количество устоявшихся бизнес-систем, таких как ERP, CRM. Поэтому необходимо, чтобы программное обеспечение имело возможность легко интегрироваться в процессы компании. Легкая интеграция позволяет встроить необходимое программное обеспечение в процессы компании без особых трудностей [6].

Надежность в любой сфере является неотъемлемой характеристикой. В сфере обработки информации данный фактор приобретает колоссальную значимость. Программное обеспечение должно поддерживать стабильную работу без сбоев. Программное обеспечение должно обеспечивать безопасное хранение информации и предотвращать доступ несанкционированных лиц. Основным законом, которому должны следовать разработчикипрограммного обеспечения - действующему законодательству и требованиямв сфере защиты информации и компьютерных технологий. Блокчейн, как одна из технологий цифровой экономики, имеет высокий потенциал в корпоративном управлении, в частности в управлении рисками, поскольку позволяют снизить финансовые риски компании. Корпоративный блокчейн создает прозрачную структуру управления, которая отличается адаптивностью и гибкостью по сравнению с открытой системой.

В программно-алгоритмическом обеспечении с применением блокчейн должна быть использована микросервисная архитектура. В современном мире тенденция перехода к микросервисам, свидетельствует о стремлении к более гибкому подходу к разработке. Одним из основных преимуществ микросервисов является то, что данная архитектура поддерживает независимое развертывание, что обеспечивает возможность улучшать отдельные сервисы, при этом не нарушая функциональность всей системы в целом. Другой характеристикой, которая повышает уровень конкурентоспособности, является то, что микросервисная архитектура имеет высокий уровень устойчивости к сбоям. Данный фактор обусловлен тем, что сервисы имеют слабую зависимость друг от друга. При сбое одного из элементов структуры, вся система продолжит функционировать. Микросервисная архитектура имеет ряд преимуществ перед монолитной архитектурой. Она превосходит монолит своей масштабируемостью и технологическим разнообразием.

В результате проведения исследования и разработки программно- алгоритмического обеспечения для управления корпоративной информацией на основе технологии блокчейн создан прототип системы, которая позволяет держать всохранности ценную коммерческую информацию, также обеспечивает подлинность и невозможность подделки информации.

Список использованных источников

1. Башир И. Блокчейн: архитектура, криптовалюты, инструменты разработки, смарт-контракты / И. Башир. Москва: ДМК пресс, 2018. 538 с.
2. Заварзин А. В. Перспективы технологии блокчейн в контексте роста благосостояния общества. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. С. 76–84.
3. Бутерин В. Блокчейн для бизнеса. М.: Эксмо, 2017. 224 с.
4. Лоран Л. Блокчейн от А до Я. Все о технологии десятилетия / Л. Лоран. М.: Лабиринт, 2018. 256 с.
5. Свон М. Блокчейн. Схема новой экономики. М.: Олимп-Бизнес, 2017. 240 с.
6. Скиннер К. ValueWeb. Как финтех-компании используют Блокчейн и мобильные технологии для создания Интернета. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. 416 с.

Shcherbakov N. **SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT FOR CORPORATE INFORMATION MANAGEMENT BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY.**

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The active development of information and communication technologies in the field of logistics requires innovative software based on blockchain technologies. The currently existing software for processing corporate information does not have sufficient security and technological perfection to protect information. The developed prototype of the system, based on a chain of blocks, allows solving this problem, ensuring data security and the impossibility of information forgery.

Key words: Blockchain, distributed ledger, microservices architecture.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

АБИТОВ Илья Дамирович — магистрант группы ИКТГ-34м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АВАКЯН Сергей Артурович — магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АГАФОНОВ Никита Романович — магистрант группы ИСТ-441м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АГАЯН Дмитрий Александрович — магистрант группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АКИМОВ Сергей Викторович — кандидат техничкских наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой систем автоматизации и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АКИМОВА Ирина Дмитриевна — студент группы ИКТО-18 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АЛЛЁНОВ Антон Андреевич — магистрант группы РД-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АНДРЕЕВ Дмитрий Павлович — студент группы ИКТО-28 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

АНДРЕЕВА Елена Ивановна	кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптических и квантовых систем связи, преподаватель базовой кафедры высокоскоростных магистральных транспортных DWDM-систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
АНТОНЦЕВ Максим Владимирович	магистрант группы ИКТФ-36м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
АРЕФЬЕВ Алексей Сергеевич	магистрант группы Р-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
АСТАФЬЕВА-РУМЯНЦЕВА Ирина Евгеньевна	кандидат философских наук, доцент кафедры социально-политических наук Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАБАНОВ Захар Дмитриевич	магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАЖЕНОВ Дмитрий Денисович	магистрант группы ФП-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАРЫШНИКОВА Анастасия Николаевна	магистрант группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАСКОВА Анастасия Юрьевна	магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАСЫРЕВА Елизавета Олеговна	магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАТАЛИН Никита Сергеевич	студент группы 2215А-24 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
БАТЕНЕВ Максим Константинович	магистрант группы РТ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БАЧАГОВ Иван Сергеевич — магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БЕЗГОДОВ Денис Сергеевич — магистрант группы ФП-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БЕЛЯЕВ Валентин Михайлович — преподаватель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

БЕРЕЗИКОВА Софья Андреевна — магистрант группы ФП-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БЕССОНОВА Екатерина Денисовна — инженер кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БИКБУЛАТОВ Владислав Родионович — адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

БОБРОВСКИЙ Вадим Игоревич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры программной инженерии и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БОЛОТОВ Тимофей Вячеславович — магистрант группы ИКТС-33м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БОРИСОВ Максим Геннадьевич — магистрант группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БРАЗОВСКИЙ Глеб Русланович — аспирант кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БУДАНОВ Егор Владимирович — студент группы РМ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БУРДИН Антон Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, профессор кафедры линий связи и измерения в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, засеститель генерального директора по научной работе и развитиб научно-производственного объединения государственный оптический институт им. С. И. Вавилова

БУЧАТСКИЙ Александр Николаевич — кандидат технических наук, доцент, директор института магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

БЫЛИНА Мария Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой оптических и квантовых линий связи, преподаватель базовой кафедры ВТС DWDM Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВАСИЛЬЕВ Александр Эдуардович — магистрант группы МЗИНТ11 Донского государственного технического университета

ВАСИЛЬЕВ Николай Сергеевич — студент группы ИКФ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВЕРХОВА Галина Викторовна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры систем автоматизации и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВЕТЛУГАЕВ Артем Сергеевич — магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВЛАДИМИРОВ Сергей Александрович — старший преподаватель кафедры систем связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВЛАДИМИРОВ Сергей Сергеевич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВЛАДЫКО Андрей Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиоэлектронных систем и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ВОИЩЕВ Олег Сергеевич — студент группы РТ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ГЕЛЛЕРТ Михаил Евгеньевич — аспирант научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики национального исследовательского университета ИТМО, инженер национального центра квантового интернета национального исследовательского университета ИТМО

ГЛАГОЛЕВ Сергей Фёдорович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ГЛУШАНКОВ Евгений Иванович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ГОНЧАРОВ Роман Константинович — аспирант научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики национального исследовательского университета ИТМО, младший научный сотрудник лаборатории квантовых коммуникаций университета ИТМО

ГОНЧАРОВ Федор Михайлович — аспирант научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики национального исследовательского университета ИТМО, инженер лаборатории квантовых коммуникаций национального исследовательского университета ИТМО

ГОРДЕЕВ Михаил Алексеевич — магистрант группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ГРИШИН Валерий Валерьевич — магистрант группы ФП-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ГРУЗДЕВ Алексей Андреевич — магистрант группы ИСТ-341м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ДАНИЛЬКЕВИЧ Игорь Андреевич — магистрант группы ИКМ-32з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ДЕРКАЧ Алексей Евгеньевич — адъюнкт 31 кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

ДОБЫЧИНА Ярослава Германовна — магистрант Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», сотрудник Службы развития Государственного Эрмитажа, куратор Театра-Лаборатории «Чудесный источник»

ДУНАЙЦЕВ Роман Альбертович — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЕГОРОВ Вадим Анатольевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории систем передачи информации Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЕГОРОВ Владимир Ильич — кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики, директорр лаборатории квантовых коммуникаций, ведущий инженер национального центра квантового интернета национального исследовательского университета ИТМО

ЕЛАГИН Василий Сергеевич — кандидат технических наук, и. о. декана факультета инфокоммуникационных сетей и систем, доцент кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЕЛКИН Сергей Дмитриевич — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЕНИКЕЕВА Екатерина Михайловна — аспирант Санкт-Петербургского государственного университета, ассистент кафедры социально-политических наук Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЖАВОРОНКОВА Вера Владимировна — магистрант группы ИКТМ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЖИРЯКОВ Владимир Петрович — магистрант группы Р41-м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЖУКОВ Иван Сергеевич — магистрант группы МЗИНТ11 Донского государственного технического университета

ЗАХАРОВ Максим Валерьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЗЕМЛЯКОВА Ксения Владимировна — кандидат филологических наук, доцент, доцент кафедры иностранных языков Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ИЗМЕСТЬЕВА Екатерина Александровна — магистрант группы РТ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ИПАТОВ Никита Геннадьевич — магистрант группы ИСТ-431м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, методист (видеограф) ООО «ГАЗИНФОРМСЕРВИС

ИСМАГИЛОВ Азат Олфатович — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории квантовых процессов и измерений, научный сотрудник научно-исследовательского центра оптического материаловедения национального исследовательского университета ИТМО

ИСМАГИЛОВ Равиль Габбасович — доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

КАРТАШОВ Владислав — магистрант группы РТ-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КАТЫКИН Дмитрий Андреевич — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КАЧНОВ Андрей Владимирович — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КИРКУМ Глеб Константинович — магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КИСЕЛЕВ Федор Дмитриевич — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовых коммуникаций национального исследовательского университета ИТМО

КИСЛЯКОВ Сергей Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникацииооных систем, преподаватель базовой кафедры инновационные технологии телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КЛИМЕНКО Василий Павлович — студент группы ИКФ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КНИГИНИЦКИЙ Егор Игоревич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КОЗЛОВ Даниил Васильевич — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КОЗЛОВА Ольга Николаевна	магистрант группы ИКТГ-34м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОЗОДАЕВ Дмитрий Александрович	кандидат физико-математических наук, руководитель ООО «Активная фотоника
КОЗУБОВ Антон Владимирович	кандидат физико-математических наук, доцент научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики национального исследовательского университета ИТМО
КОЗЫРЕВА Екатерина Сергеевна	магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОНДРАШОВ Захар Константинович	генеральный директор Научно-исследовательского института микроэлектронной аппаратуры «Прогресс»
КОПЫЛОВ Дмитрий Андреевич	кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории систем передачи информации Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОРИЦКАЯ Алеся Владимировна	магистрант группы ИКМ-22з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОРОБЕЙНИКОВ Александр Николаевич	магистрант группы ФП-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОРОВИН Константин Олегович	кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
КОРОТИН Владимир Евгеньевич	кандидат технических наук, доцент кафедры беспроводных технологий и системы Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КОТЕНЕВА Екатерина Владимировна — магистрант группы РК-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КОТОВ Тимофей Алексеевич — магистрант группы ИКТС-21м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КРАХМАЛЕВ Дмитрий Сергеевич — магистрант группы ИСТ-341м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КРЕКОВ Владислав Николаевич — магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КРИВЕЦ Андрей Сергеевич — магистрант группы ИКТБ-47м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КРОПАНИНА Анастасия Андреевна — магистрант группы РМ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КУЗНЕЦОВА Елена Алексеевна — магистрант группы РТ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КУКУНИН Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

КУРАШЕВ Заур Валерьевич — начальник лаборатории ФГБУ 16 ЦНИИИ Минобороны России

КУРНОСОВ Валерий Игоревич — доктор технических наук, профессор кафедры интеллектуальных систем автоматизации и управления Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛАРИОНОВА Валерия Сергеевна — магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛЕВИН Кирилл Львович — Кандтдат технических нак, доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС

ЛЕВШУН Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности компьютерных сетей Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛЕГКОДЫМОВ Даниил Михайлович — магистрант группы ИКТЗ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛЕЙКИН Антон Владиславович — старший преподаватель кафедры инфокоммуникацииооных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛИКОНЦЕВ Алексей Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛИТВИНОВ Алексей Сергеевич — магистрант группы РТ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЛУКИНЫХ Сергей Николаевич — преподаватель базовой кафедры ВТС DWDM Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, инженер 1 категории научно-исследовательского отдела ООО «Т8 НТЦ»

ЛЫКОВ Глеб Романович — магистрант группы ИКМ-32з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МАКСИМЕНКО Сергей Олегович — магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МАКСИМОВА Анна Валерьевна — магистрант группы РТ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МАЛЕНКОВ Даниил Андреевич — магистрант группы РК-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МАРОНЧУК Юрий Евгеньевич — магистрант группы ФП-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МАТВЕЕВ Андрей Олегович — магистрант группы РЦТ-11м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МЕЖЕВОВ Павел Александрович — старший преподаватель кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МЕНДЕЛЬСОН Марк Александрович — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории систем передачи информации Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МИНАЕВ Никита Витальевич — магистрант группы ИКМ-21з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МИНИН Евгений Сергеевич — студент группы ИКТС-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МИРОНОВ Кирилл Борисович — магистрант группы ИКПИ-492м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МОЧАЛОВ Андрей Александрович — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

МУРАВЬЕВ Георгий Дмитриевич — магистрант группы ФП-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

НАСЕДКИН Борис Александрович — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории квантовых процессов и измерений, ведущий инженер национального центра квантового интернета, старший научный сотрудник лаборатории квантовых коммуникаций национального исследовательского университета ИТМО

НАУМОВА Виктория Викторовна — аспирант кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

НЕСТЕРЧУК Пётр Анатольевич — магистрант группы РТ-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

НИКИТИН Юрий Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

ОРЕХОВА Виктория Олеговна — студент группы РД-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ОРЛОВ Михаил Алексеевич — магистрант группы ИКТФ-36м, инженер Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ОСТАПЧУК Роман Леонидович — магистрант группы ИКТИ-35м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПАВЛЮК Игнат Фёдорович — студент группы РД-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПАНТЮХИН Олег Игоревич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПАРАМОНОВ Александр Иванович — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПАРФЕНОВ Михаил Сергеевич — адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

ПАРХАЧЕВА Ольга Сергеевна — магистрант группы ИСТ-341м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПЕРЕВЕРЗЕВА Галина Александровна — студент группы ИКВТ-22 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПЕСКОВ Виктор Александрович — руководитель проекта «Интерактивный стереотаксический нейрохирургический фантом» ООО «Стереотаргет»

ПЕТРОВ Даниил Юрьевич — магистрант группы ИСТ-341м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПЕТРОВА Наталия Александровна — магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПИЩУГИНА Александра Дмитриевна — магистрант группы ЭП-31м 2 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОДАЙКО Светлана Викторовна — магистрант группы ИКТС-02м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОЛЯКОВ Сергей Алексеевич — магистрант группы ИКТМ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОНАМАРЕВ Олег Валерьевич — магистрант группы ИКМ-31з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОНОМАРЕВ Юрий Андреевич — инженер ООО «ДОБУС»

ПОНОМАРЕВ Станислав Владимирович — студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОПОВ Данил Сергеевич — магистрант группы РТ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОПОВ Игорь Юрьевич — магистрант группы ИСТ-441м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОПУГАЕВ Даниил Георгиевич — студент группы ИСТ-261 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПОСМЕТЬЕВ Алексей Аркадьевич — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, инженер проектировщик мультимедийных систем ООО «Аметист»

ПРОКОПЬЕВА Екатерина Сергеевна — магистрант группы Р-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ПЩЕЛКО Николай Сергеевич — доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, профессор кафедры физики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина), научный сотрудник ООО «Активная фотоника»

ПУПЦЕВ Ринат Игоревич — старший преподаватель кафедры инфоркоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РЕЗНИКОВ Богдан Константинович — старший преподаватель кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РИДИГЕР Николай Александрович — студент группы РЦТ-12 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РОГОВ Сергей Александрович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РОМАНОВ Иван Радивоевич — магистрант группы ИКТФ-46м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РОЩИНСКИЙ Роман Сергеевич — ассистент кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

РУДЕНКО Николай Валерьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники Донского государственного технического университета

РЫБАКОВ Алексей Игоревич — старший преподаватель кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СВЕТОВА Анастасия Васильевна — магистрант группы ИКТГ-34м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СЕДЫШЕВ Эрнест Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СИЛУЯНОВА Кристина Юрьевна — магистрант группы ИКТГ-34м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СИМОНОВА Виктория Станиславовна — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СИРГАЗИНОВ Тимур Муратович — магистрант группы ИКТИ-45м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СОЛОМАТИН Олег Андреевич — студент группы 71137 национального исследовательского университета ИТМО

СТАРИКОВ Владимир Владимирович — старший преподаватель кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СУСЛИКОВ Никита Викторович — магистрант группы ИКПИ-392м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

СУХОТЕРИНА Анастасия Дмитриевна — магистрант группы РК-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТАМБОВЦЕВ Глеб Ильич — магистрант группы ИКТИ-35м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТАТАРЕНКОВ Дмитрий Александрович — старший преподаватель кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТАФИНЦЕВ Кирилл Евгеньевич — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТЕРЕНТЬЕВА Екатерина Анатольевна — кандидат исторических наук, доцент, доцент кафедры истории Средних веков Санкт-Петербургского государственного университета, доцент кафедры Истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТЕРЕНТЬЕВА Софья Алексеевна — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТИМЧЕНКО Владимир Иванович — кандидат технических наук, преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТИШКИН Тимофей Алексеевич — студент группы ИКВТ-22 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТОЛМАЧЕВ Максим Александрович — магистрант группы ИКМ-22з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТОН Куок Фонг — магистрант группы 410м Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина

ТРАПЕЗНИКОВА Екатерина Алексеевна — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ТУРОВАТОВ Роман Андреевич — студент группы РЦТ-12 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

УРУМ Вадим Алексеевич — магистрант группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ФАДЕЕВ Илья Игоревич — старший преподаватель кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ФЕДОРОВ Сергей Игоревич — аспирант кафедры электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ФЕДОРОВ Сергей Леонидович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ФЕДОТОВ Даниил Дмитриевич — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, инженер кафедры ЦТМ

ФОМИН Павел Викторович — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХАДЖАЕВ Мухаммадзоир Сафармаматович — ассистент кафедры телекоммуникационного инжиниринга Самаркандского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, Самарканд, Узбекистан

ХАЙДАРОВ Артём Витальевич — магистрант группы ИКТС-33м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХАРИТОНОВ Иван Сергеевич — магистрант группы ИСТ-441м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХАФИЗОВ Родион Тимурович — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

НЕСТЕРЧУК Пётр Анатольевич — магистрант группы РТ-42м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХОАНГ Фыок Ньян — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХОДУКИН Павел Антонович — магистрант группы ИКТФ-46м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХРЕНОВ Андрей Александрович — аспирант кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ХРИПУНОВ Максим Денисович — магистрант группы Р-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЦАРЁВ Павел Денисович — студент группы ИКТК-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЦЫГАНОВ Александр Борисович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

ЧАСОВСКИХ Екатерина Ильдаровна — магистрант группы ИКТИ-35м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЧИСТЯКОВ Владимир Викторович — кандидат технических наук, доцент научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики, ведущий инженер национального центра квантового интернета, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовой информатики национального исследовательского университета ИТМО

ЧУДНОВ Александр Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения, Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.

ШАБАНОВ Александр Павлович — преподаватель кафедры систем автоматизации и робототехники, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ШАЛИМОВ Илья Сергеевич — магистрант группы ИКМ-21з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ШАМСИЕВ Бахтияр Газиевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им проф. М. А. Бонч-Бруевича

ШЕЛАМОВА Татьяна Валентиновна	старший преподаватель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
ШЕСТАКОВ Никита Олегович	магистрант группы РТ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
ШИДЛОВСКИЙ Денис Витальевич	магистрант группы РТ-41м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
ШИШКИНА Виктория Юрьевна	магистрант группы ИКМ-32з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
ШТЕРЕНБЕРГ Станислав Игоревич	кандидат технических наук, доцент кафедры защищенных систем связи, заместитель декана факультета кибербезопасности по научной работе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
ШТРУНОВА Екатерина Сергеевна	кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехнических систем Рязанского государственного радиотехнического университета им. В. Ф. Уткина
ШТЫКОВ Фёдор Алексеевич	студент группы РЦТ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
ШУШПАНОВ Дмитрий Викторович	кандидат технических наук, доцент кафедры электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, руководитель магистерской программы «Промышленная электроника»
ЩЕРБАКОВ Никита Романович	магистрант группы ИСТ-441м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МАГИСТРАНТОВ И ИХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ

ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ В МАГИСТРАТУРЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ (ПКМ-2024)

Сборник лучших докладов
Том 1

Научное издание

Вёрстка
М. О. Мотыгина, М. С. Шулындина
Корректура
Д. Н. Яшугин
Дизайн логотипа Г. И. Юрьев
Подписано в печать 31.01.2025
Объём 46,18 усл.-печ. л.

Объединенная редакция рецензируемых научных изданий СПбГУТ
193232 СПб., пр. Большевиков, 22, корп. 1