

АЛЬБОМ

ВКР

ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ
КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(2025-2026)



О КАФЕДРЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЭИ



Заведующий кафедрой

Куликов Роман Сергеевич

111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, ауд. Ж-400; +7 495 362-77-52;
RTS@mpei.ru

Кафедра радиотехнических систем входит в Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова НИУ «МЭИ». Официальная страница кафедры определяет ее специализацию как радиосистемы навигации, управления, связи и локации.

Кафедра готовит специалистов, умеющих проектировать сложные радиосистемы: выбирать критерии эффективности, учитывать противоречивые требования и согласовывать решения с системами других уровней.

Особое направление кафедры — системы навигации. На официальной странице отмечены разработки для системы ГЛОНАСС, работа Лаборатории навигационных систем и участие кафедры в конференции «Радионавигационные технологии в приборостроении».

Технологии кафедры применяются в аэрокосмических и военных комплексах, беспилотных системах, робототехнике и телекоммуникациях. На кафедре также развиваются студенческие проекты на стыке радиолокации, навигации, связи, управления, робототехники, дополненной и виртуальной реальности и искусственного интеллекта.

Заведующий кафедрой: Куликов Роман Сергеевич. Контактная информация кафедры на портале МЭИ: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, ауд. Ж-400; телефон +7 495 362-77-52; RTS@mpei.ru.

ИЗ ИСТОРИИ КАФЕДРЫ

Кафедра РТС создана на радиотехническом факультете МЭИ по приказу Минвуза СССР от 23 мая 1961 года. Основу кафедры составили преподаватели кафедры радиоприемных устройств МЭИ во главе с профессором Л.С. Гуткиным.

Официальная историческая справка МЭИ называет кафедру одной из первых системных кафедр радиотехнического профиля, созданных в СССР. Первым заведующим был профессор Л.С. Гуткин, затем кафедрой руководили Ю.П. Борисов, С.В. Первачев, Ю.А. Евсиков, А.И. Перов; с 2017 года кафедрой руководит Р.С. Куликов.

В результате учебно-исследовательских работ на кафедре возникла научно-педагогическая школа в области разработки, проектирования и анализа сложных радиотехнических систем.

Среди направлений, выделенных в исторических материалах кафедры: проектирование и оптимизация информационных систем и радиоустройств, теория оптимальных методов радиоприема, статистический анализ радиосистем, математическое моделирование радиосистем, системы передачи информации по каналам связи.

В 80-х годах кафедра курировала студенческое конструкторское бюро по космической технике, где был изготовлен и запущен первый в СССР студенческий спутник.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ И УЧЕБНЫЕ КУРСЫ



Логотип кафедры РТС.

На официальной странице кафедры указаны направления подготовки: 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 11.03.01 «Радиотехника», 11.04.01 «Радиотехника», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии».

Для абитуриентов кафедра указывает, что студенты радиотехнического факультета проходят на РТС базовые дисциплины, а выпускную квалификационную работу, диссертацию или диплом можно выполнить на кафедре.

В бакалавриате и магистратуре по направлению «Радиотехника» со специализацией «Радиотехнические системы связи и навигации» студент углубленно изучает связь или навигацию. В специалитете «Радиоэлектронные системы и комплексы» к четвертому году выбираются направления: радионавигация, системы передачи информации, радиолокация, антенные системы.

Среди основных курсов кафедры на портале МЭИ перечислены системы передачи информации, радионавигация, радиоавтоматика, основы теории радиосистем передачи информации, основы теории радионавигационных систем и комплексов, математическое моделирование радиотехнических устройств и систем.

РАЗРАБОТКА РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА С ЦИФРОВЫМ ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЕМ

Студент: Сосин Дмитрий Сергеевич (ЭР-12м-23)

Научный руководитель: Р.С. Куликов

Тип работы: магистерская диссертация, 2025

Выпускная работа магистра посвящена разработке аппаратной части радионавигационного приемника с цифровым гетеродинированием.

Цель работы из презентации: разработать аппаратную часть радионавигационного приемника с применением операций цифрового гетеродинирования с настраиваемой частотой для обеспечения приема различных радионавигационных сигналов, реализованную на ПЛИС.

В числе задач указаны выбор блока цифровой обработки, разработка алгоритма частотного преобразования входного сигнала, создание компьютерной модели, реализация алгоритма на Verilog, верификация и экспериментальное тестирование устройства.

Фрагмент из ВКР: АННОТАЦИЯ К МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ НА ТЕМУ «Разработка радионавигационного приемника с цифровым гетеродинированием» Выпускная работа магистра посвящена разработке аппаратной части радионавигационного приемника с цифровым гетеродинированием. Магистерская диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка используемых источников информации. Работа состоит из введения, постановки задачи, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Введение посвящено актуальности использования цифровых радиоприемников с возможностью гибкой и масштабируемой настройки в задачах радионавигации с

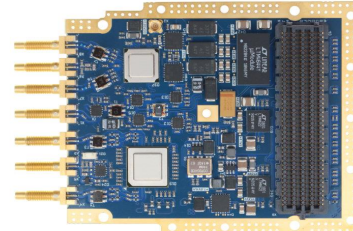
использованием ГНСС. В первой главе приведен анализ разработанного алгоритма частотной обработки сигнала. Во второй главе приведен о компьютерное моделирование алгоритма в программной среде Matlab/Octave. В третьей главе приведен анализ различных ПЛИС для реализации устройства, а также описание архитектуры выбранной ПЛИС с описанием критериев выбора, а также описание реализации алгоритма частотной обработки в действующей архитектуре. В четвертой главе рассмотрено экспериментальное тестирование реализованного устройства с применением имитации радионавигационных сигналов. В заключении констатируется достижение цели работы и приводятся основные результаты ВКР. Работа содержит 69 страниц, 24 рисунка, 2 таблицы и приложения. 7

Выбор модуля цифровой обработки

Несущий модуль
FMC132P



Мезонинный модуль
FM214x3GDA



Основные характеристики:

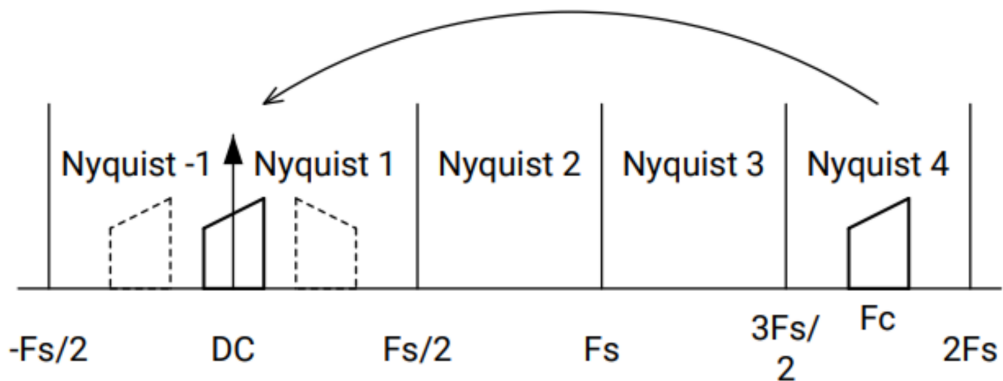
Частота дискретизации АЦП: 2,5 – 3,1 ГГц

Возможность интеграции цифрового блока понижения частоты в АЦП

Коэффициент децимации: от 2 до 48

5

Эффект копирования спектра при дискретизации из четной зоны Найквиста



8

РАЗРАБОТКА РАДИОСИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ С НЕОГРАНИЧЕННЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Студент: Черных Сергей Владимирович (ЭР-12м-23)

Научный руководитель: Р.С. Куликов

Тип работы: магистерская диссертация, 2025

Выпускная работа магистра посвящена разработке радиосистемы локальной навигации с активными опорными точками и пассивными носимыми модулями.

В аннотации ВКР указано, что такая архитектура обеспечивает навигационное решение на борту потребителя и снимает ограничение на количество потребителей системы.

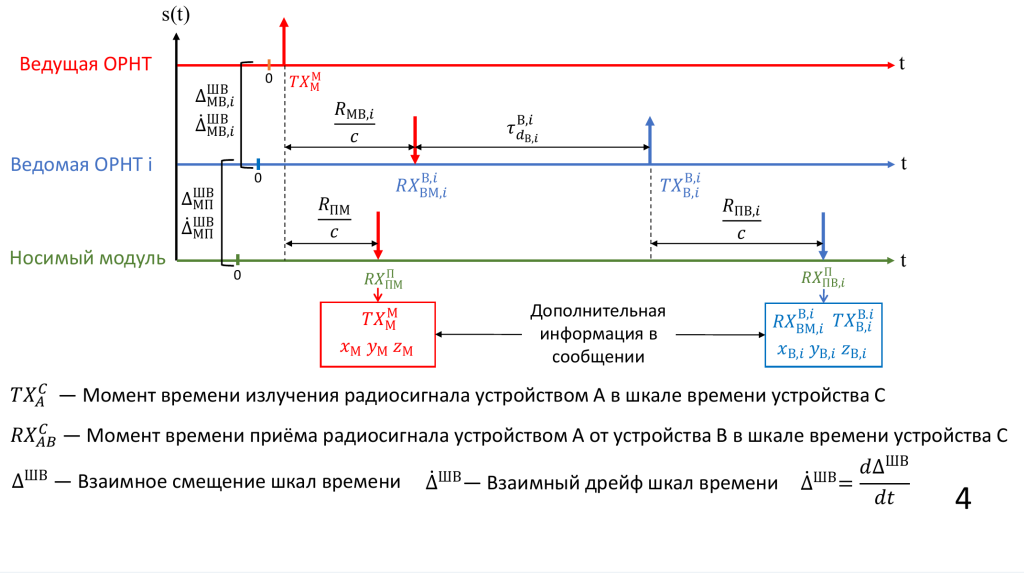
В работе рассмотрены алгоритмы перевода интервалов времени между шкалами устройств, алгоритмы коррекции шкал времени, синтез имитационной модели локальной навигационной системы, моделирование для статических и динамических носимых модулей, разработка программного обеспечения и экспериментальное исследование макета.

Фрагмент из ВКР: АННОТАЦИЯ К МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ НА ТЕМУ «Разработка радиосистемы локальной навигации с неограниченным количеством потребителей» Выпускная работа магистра посвящена разработке принципиально новой радиосистемы локальной навигации с активными опорными точками и пассивными носимыми модулями, что обеспечивает неограниченное количество потребителей этой системы.

Магистерская работа состоит из введения, постановки задачи, шести основных глав, заключения и списка используемых источников информации. В первой главе приведен обзор разностно-дальномерной архитектуры построения локальной навигационной

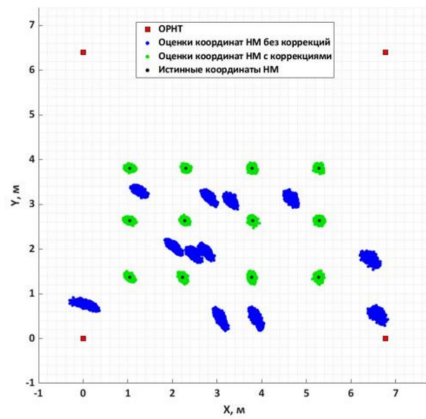
системы с пассивными и опорными навигационными точками и активными носимыми модулями. Предложен принципиально новый подход к построению разностно-дальномерной архитектуры локальной навигационной системы с активными опорными навигационными точками и пассивными носимыми модулями для обеспечения навигационного решения на борту потребителя и снятия ограничения на количество потребителей. Во второй главе представлен алгоритм перевода интервалов времени из шкалы времени одного устройства в шкалу времени другого устройства, а также алгоритм коррекции шкалы времени в системе с активными опорными навигационными точками и пассивными носимыми модулями. В третьей главе приведен синтез имитационной модели локальной навигационной системы с активными опорными точками и пассивными носимыми модулями. В четвертой главе приведены результаты имитационного моделирования локальной навигационной системы с активными опорными точками и пассивными носимыми модулями с различными значениями смещений и дрейфов шкал времени для статических и динамических носимых модулей.

СШП ЛНС с активными ОРНТ и пассивными НМ



4

Результаты моделирования



Время моделирования: 300 с

Период излучения: 0.1 с

СКО первичных измерений: $\sigma_R = 10^{-10}$ с

$$\sigma_{д,г} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ 1/с}$$

$$\sigma_{д,м} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ 1/с}$$

$$\Delta_0^{MB_i} = 0 \dots 17 \text{ с}$$

$$\Delta_0^{MP} = 0 \dots 17 \text{ с}$$

$$\dot{\Delta}_0^{MB_i} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ с/с}$$

$$\dot{\Delta}_0^{MP} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ с/с}$$

Дрейфы ШВ есть ->

-> систематические погрешности есть ->

-> коррекции ШВ компенсируют систематические погрешности

8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛИНИИ ГИБРИДНОЙ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE

Студент: Шубин Евгений Дмитриевич (ЭР-12м-23)

Научный руководитель: А.Ю. Сизякова

Тип работы: магистерская диссертация, 2025

Выпускная работа магистра посвящена исследованию радиолинии гибридной низкоорбитальной спутниковой системы связи, обеспечивающей прямой доступ к пользовательским устройствам с применением технологии LTE.

В работе рассмотрены технология гибридных спутниковых сетей связи и архитектурные модели таких систем, а также технология LTE: архитектура сети, структура каналов, модуляция, кодирование и организация ресурсной сетки.

В ВКР приведена методика расчета энергетического бюджета абонентской радиолинии, построена модель радиолинии и выполнена оценка пропускной способности при разных модуляционно-кодирующих схемах LTE.

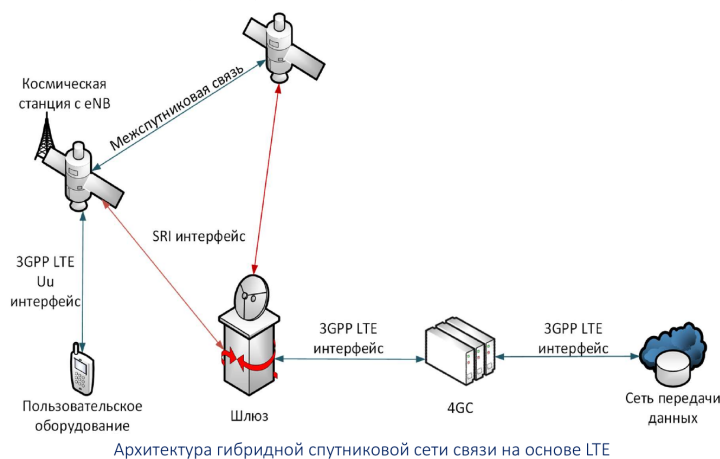
Фрагмент из ВКР: АННОТАЦИЯ К МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ НА ТЕМУ «Исследование радиолинии гибридной низкоорбитальной системы спутниковой связи на основе технологии LTE» Выпускная работа магистра посвящена исследованию радиолинии гибридной низкоорбитальной спутниковой системы связи (ГНССС), обеспечивающей прямой доступ к пользовательским устройствам с применением технологии LTE.

Магистерская диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка используемых источников информации и приложений. В первой главе рассмотрена технология гибридных спутниковых сетей связи, а также архитектурные модели таких систем. Во второй главе приведён обзор технологии LTE: описана архитектура

сети, структура каналов, особенности модуляции, кодирования и организации ресурсной сетки. Рассмотрены методы формирования сигнала и обработки данных в нисходящем и восходящем направлениях. В третьей главе изложена методика расчёта энергетического бюджета абонентской радиолинии ГНССС. Приведены расчёты потерь в свободном пространстве и атмосфере, а также определены значения мощности и чувствительности приёмников в восходящем и нисходящем направлениях. В четвёртой главе построена модель абонентской радиолинии и выполнена оценка пропускной способности при различных модуляционно- кодирующих схемах LTE. Рассмотрены режимы с фиксированной и адаптивной модуляцией. Выполнена оценка возможности предоставления телекоммуникационных сервисов абоненту. В заключении сформулированы основные выводы и подтверждено достижение цели работы. Работа содержит 96 страниц, 30 рисунков, 31 таблиц и Приложение. 7

Технология гибридных спутниковых сетей связи

Архитектура гибридной спутниковой сети связи с применением стандарта LTE



Предусматривается прямой спутниковый доступ к пользовательским устройствам и регенерацию сигнала на борту (eNB (базовая станция LTE) является полезной нагрузкой борта) космического аппарата.

4

Расчет энергетического бюджета радиолинии

Нисходящая радиолиния

Расчитанные значения параметров нисходящей радиолинии

Параметр	Значение	Значение	
		Band 20	Band 7
1. Эквивалентная шумовая температура приемника АТ	Тэ _{кв} , дБК	33	
2. Добротность антенной системы АТ	(G/T) _м , дБ/К	-33.6	
3. Чувствительность приемника АТ	R _{м х} , дБВт	-128	-127
4. Мощность сигнала на входе МШУ АТ	R _{м вх} , дБВт	-123	-122
5. Эквивалентная изотропная излучаемая мощность КА	ЭИИМ, дБВт	35	52
6. Мощность сигнала на выходе усилителя КА	R _{к вых} , дБВт	11	13

$$P_{к\ вых} = Z - G_{к\ прд} - R_{м\ х} - G_{м\ прм} + \sum L$$

9

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОСИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СИГНАЛОВ СТАНДАРТА BLUETOOTH

Студент: Макаревич Дмитрий Олегович (ЭРэ-19-19)

Научный руководитель: Н.И. Петухов

Тип работы: дипломная работа, 2025

Целью работы является разработка и исследование алгоритмов обработки измерений радиосистемы локального позиционирования на основе сигналов стандарта Bluetooth.

В презентации в качестве актуальности выделена навигация внутри помещений производственного и социального секторов: предприятия, склады, музеи, торговые центры и другие объекты.

Объектом исследования выступает радиосистема локального позиционирования Minew AoA G2 High-Accuracy Positioning Kit Specification V001 на базе сигналов стандарта Bluetooth. Среди задач указаны анализ документации Bluetooth Low Energy 5.1, реализация алгоритмов сверхразрешения, реализация алгоритма оценки координат на основе линейного фильтра Калмана и проведение экспериментов в статике и динамике.

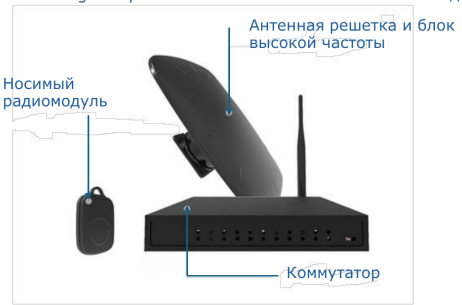
Фрагмент из ВКР: ВВЕДЕНИЕ
Актуальность исследования. В настоящее время системы глобальной навигации, такие как ГЛОНАСС, GPS, BeiDou, Galileo, хорошо развиты и внедрены в повседневную жизнь общества [1]. Но использование их для решения навигационной задачи внутри помещения затруднено эффектами многолучевого распространения сигналов и затухания при прохождении сквозь стены зданий. Актуальность навигации внутри помещений обосновывается потребностью предприятий разного сектора экономики

обеспечивать сантиметровую точность для решения специализированных задач. В качестве примеров можно выделить: обеспечение навигации роботов на складах и в производственных помещениях, в доставке посылок дронами внутри офисных зданий, мониторинг передвижений сотрудников в промышленных локациях и шахтах, обеспечение навигации в торговых центрах, крупных универмагах и престижных торговых местах, в аэропортах, художественных галереях, на вокзалах, стадионах и т. д. Исходя из актуальности данной проблемы исследования постепенно сместились в сторону технологий позиционирования внутри помещений. Основное внимание в вопросе обеспечения навигации внутри помещения было сфокусировано на радионавигационные системы, основанные на стандартах UWB, Wi-Fi, радиочастотной идентификации (RFID) и Bluetooth Low Energy. Среди них технология Bluetooth Low Energy, представленная стандартизированными спецификациями протокола с широким функционалом, низким энергопотреблением и экономической эффективностью [2], постепенно стала центром текущих исследований в области позиционирования внутри помещений.

Макаревич Дмитрий Олегович

Иллюстративные материалы из презентации ВКР


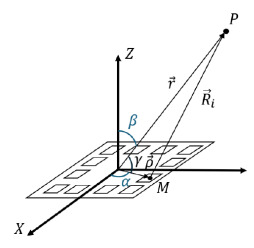
Объектом исследования выступает радиосистема локального позиционирования Minew AoA G2 High-Accuracy Positioning Kit Specification V001 на базе сигналов стандарта Bluetooth.



Компоненты радиосистемы:

1. Носимый радиомодуль является BLE-передатчиком и рассылает пакеты (представлен в виде источника – точка P)
2. Коммутатор и антенная решетка является составными компонентами центрального устройства, которое сканирует пространство на наличие сигналов от носимых радиомодулей.

Особенность радиосистемы: последовательный прием сигнала антенными элементами

3

2. Блок первичной обработки

Постановка задачи блока первичной частоты.

В течение времени накопления 148 мкс был получен массив I и Q компонент, которые являются входными параметрами блока первичной обработки. Необходимо на выходе блока сформировать оценку угловых координат $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ источника сигнала.

$I = [I_1, I_2, \dots, I_N]$ – синфазные составляющие.

$Q = [Q_1, Q_2, \dots, Q_N]$ – квадратурные составляющие.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Студент: Пихлакас А.В. (ЭРэ-19-19)

Научный руководитель: Н.И. Петухов

Тип работы: дипломная работа, 2025

ВКР посвящена разработке имитационной модели системы дифференциальной коррекции и мониторинга системы ГЛОНАСС.

В аннотации указано, что услуги глобальной навигационной спутниковой системы применяются в разных сферах: обеспечение связи, навигация транспорта и другие задачи. Работа включает обзор ГЛОНАСС, описание навигационной аппаратуры потребителя, задачи поиска и обнаружения, а также описание структуры и параметров имитационной модели.

Экспериментальная часть посвящена разработке модели СДКМ, ее интеграции в имитационную модель системы ГЛОНАСС и оценке характеристик системы после добавления модели.

Фрагмент из ВКР: ВВЕДЕНИЕ Темой выпускной квалификационной работы является моделирование системы дифференциальной коррекции и мониторинга. Актуальность данной темы подтверждается тем, что на сегодняшний день как таковой полноценной имитационной модели системы ГЛОНАСС не существует, есть модели отдельных частей, сделанные под конкретную задачу. Поэтому для дальнейшего наглядного отображения развития системы создается имитационная модель всей системы ГЛОНАСС, в которую будет добавлена модель СДКМ, выполненная в ВКР. СДКМ является функциональным дополнением системы ГЛОНАСС и предназначена для повышения точности и обеспечения целостности определения местоположения разных объектов [1].

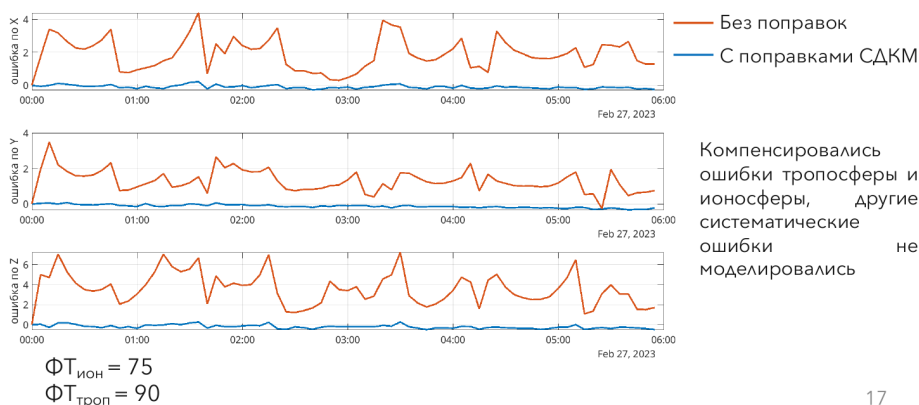
Разработано два варианта модели СДКМ, интегрированные в имитационную модель: на уровне информативных параметров, учитывающих погрешность передаваемой информации, скорость передаваемой информации и т.д.; и модель на уровне сигналов промежуточной частоты, реализованы сигнально-кодовые конструкции, а также алгоритм поиска сигналов СДКМ. Данная модель позволяет моделировать не только то, что есть на данный момент, но и различные модификации (например, 30 космических аппаратов или 5 спутников СДКМ), а также позволяет учитывать, как изменится итоговая погрешность местоопределения, если задать другие параметры системы. 12

1. Структура модели ГЛОНАСС



6

3. Результаты моделирования



17

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНАМ РСПИ В СРЕДЕ GNU OCTAVE

Студент: Провальский Дмитрий Константинович (ЭР-22-19)

Научный руководитель: А.Ю. Сизякова

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2025

ВКР рассматривает практическую реализацию лабораторного практикума по дисциплинам «Радиотехнические системы передачи информации» в среде GNU Octave как альтернативу импортному программному обеспечению SystemView.

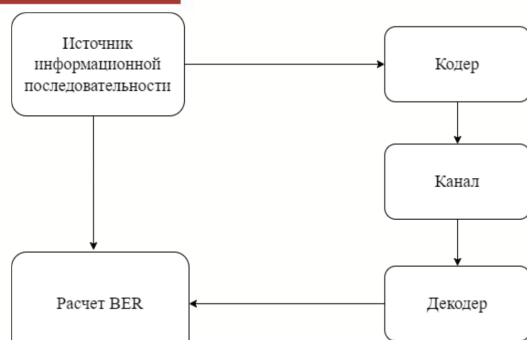
Цель работы — разработка и апробация учебных моделей и лабораторных заданий для дисциплины РСПИ, реализованных в GNU Octave.

Работа охватывает анализ методов помехоустойчивого кодирования, исследование характеристик аналоговых сигналов при разных типах квантования и моделирование работы демодулятора с системой восстановления несущей. Результаты подтверждают эффективность применения GNU Octave как доступной альтернативы импортным решениям.

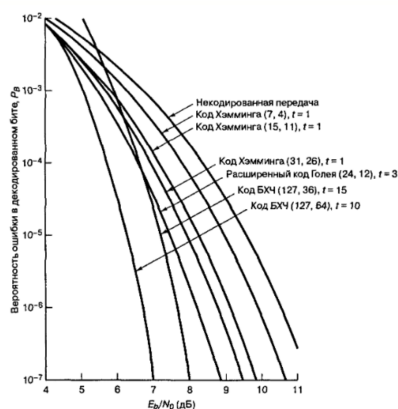
Фрагмент из аннотации: Аннотация В данной выпускной квалификационной работе рассматривается практическая реализация лабораторного практикума по дисциплинам "Радиотехнические системы передачи информации" (РСПИ) в среде GNU Octave как альтернатива импортному программному обеспечению, такому как SystemView. Особое внимание уделено вопросам импортозамещения, соответствующим положениям указа Президента РФ от 30 марта 2022 г. N 166 "О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации", а также приказам Минцифры России, направленным на

позапное замещение зарубежного ПО отечественными и свободно распространяемыми аналогами. Целью работы является разработка и апробация учебных моделей и лабораторных заданий для дисциплины РСПИ, реализованных в GNU Octave. Работа охватывает следующие аспекты: Изучение методов помехоустойчивого кодирования и построение математической модели кодека с использованием кода БЧХ. Проведено моделирование процесса кодирования и декодирования цифрового сигнала в условиях воздействия искажающего канала. Анализ характеристик аналоговых сигналов при равномерном и неравномерном квантовании и ухудшении качества канала передачи (в модели учтено ослабления сигнала в канале) методом построения спектральной плотности мощности (СПМ) процессов на выходе квантователей и сравнительного анализа спектров. Исследуются методы анализа процессов в линеаризованной и нелинейной моделях системы восстановления несущей.

Теория помехоустойчивого кодирования (по ЛР №4)



Модель РСПИ с помехоустойчивым кодом



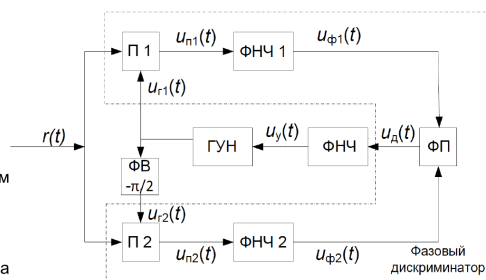
4

Теория по ЛР №5 Совместная работа демодулятора сигнала 2ФМ и СВН



Задачи, выполняемые студентами в этой работе:

- Анализ работы модели демодулятора при $\varphi = 0$.
- Исследование работы модели СВН при $\varphi = 0$.
- Исследование работы СВН при постоянном расфазировании $\varphi \neq 0$.
- Анализ работы СВН при отклонении частоты сигнала 2ФМ от номинального значения.
- Построение дискриминационной характеристики ФД



Функциональная схема СВН, работающей по сигналу 2ФМ

7

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНАМ РСПИ В СРЕДЕ PYTHON

Студент: Тверитин Артем Дмитриевич (ЭР-22-19)

Научный руководитель: А.Ю. Сизякова

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2025

Работа посвящена созданию лабораторного практикума на языке программирования Python в связи с импортозамещением.

В презентации указано, что при переходе на отечественное и нелицензируемое программное обеспечение возникла потребность в новых программных продуктах для лабораторных работ по курсу «Радиотехнические системы передачи информации».

Среди задач: разработка моделей сигналов с фазовой модуляцией, реализация методов формирования, передачи и демодуляции сигналов при влиянии шума и расфазирования, визуализация результатов, построение глаз-диаграмм, сигнальных созвездий и спектров, а также сравнение результатов Python с ранее доступными результатами SystemView.

Преимущества Python



Python позволяет разрабатывать как небольшие учебные модели, так и сложные системы обработки сигналов, включающие машинное обучение, глубокий анализ данных и визуализацию.

Язык легко интегрируется с другими инструментами, включая C++, MATLAB, и аппаратное обеспечение (например, микроконтроллеры)

Гибкость разработки: в Python разработчик может самостоятельно настроить каждый этап обработки сигнала, адаптировать код для различных условий и задач

Простота синтаксиса и наличие готовых библиотек позволяют значительно сократить время на разработку моделей по сравнению с графическими инструментами

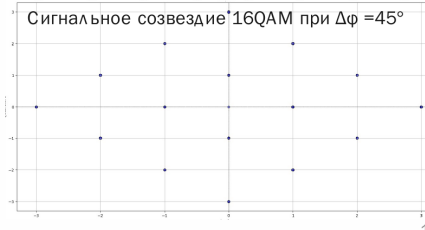
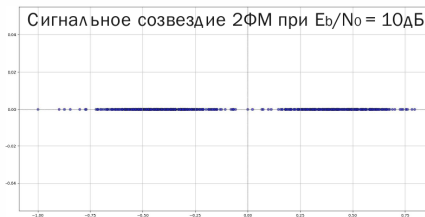
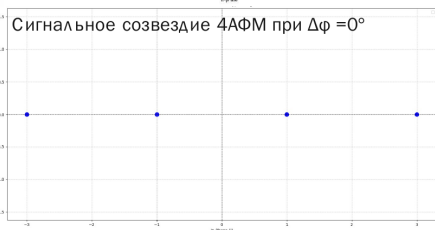
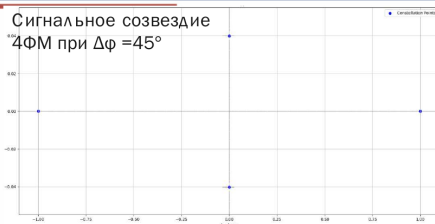
```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy.signal import butter, lfilter, welch, freqz
4 from matplotlib.widgets import Slider
```



Пример реализации сигнала 2ФМ (зеленым овалом отмечены изменения фазы)

5

Сигнальные созвездия



10

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ЗАДЕРЖКОЙ ОГИБАЮЩЕЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ОЦЕНКИ ДОПЛЕРОВСКОЙ ЧАСТОТЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ СРНС ГЛОНАСС L10C КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМНИКА

Студент: Быков Дмитрий Сергеевич (ЭР-21-20)

Научный руководитель: Е.В. Силаева

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2026

Цель работы — изучение алгоритмов слежения за параметрами сигнала, в особенности комплексных алгоритмов.

Задача работы сформулирована как синтез общей схемы комплексной системы фильтрации задержки, включающей следящую систему за фазой сигнала, дискриминатор задержки и комплексный сглаживающий фильтр.

В материалах рассмотрены автономные следящие системы и комплексные алгоритмы слежения, включая алгоритм слежения за задержкой огибающей и фазой сигнала и алгоритм слежения за задержкой огибающей с поддержкой оценки доплеровского смещения частоты.

Фрагмент из ВКР: ВВЕДЕНИЕ 1.

Актуальность Слежение за параметрами сигнала является необходимым условием для решения задачи навигационных определений. Решением задачи будет считаться формирование оценки времени распространения радиосигнала от навигационного спутника до навигационной аппаратуры потребителя (НАП). В НАП должна формироваться точная копия сигнала со спутника, поэтому необходимо формировать текущие оценки задержки огибающей и фазы сигнала. В ГЛОНАСС внедряются сигналы с комбинированным (квадратурно-временным) видом уплотнения: L1SCd, L1SCp, L1OCd, L1OCp. Таким образом, в ближайшем будущем в каждом диапазоне будут передаваться по 4 независимых сигнала.

Поэтому разработка и внедрение систем слежения за параметрами сигнала крайне важна для гражданских и специальных потребителей. 2.

Постановка задачи В данной работе будут исследованы алгоритмы слежения за задержкой огибающей с поддержкой оценки доплеровской частоты перспективных навигационных сигналов СРНС ГЛОНАСС L10C когерентного приемника. Будут рассмотрены дискриминаторы задержки огибающей при приеме пилотной и информационной компонент сигнала L10C, а также их совместной обработки. Далее проводится исследование статистических характеристик дискриминаторов и точности в следящей системе. В конце работы будут представлены выводы по изученному материалу. 10 3.



Слежение за задержкой огибающей

$$\hat{y}_{\omega,k} = -2\pi f_0 v_{\tau,k} + \eta_{\omega,k}$$

Дополнительное наблюдение

$$X_k = (X_{1,k} \ X_{2,k} \ X_{3,k})^T = (\varphi_k \ \omega_{\partial,k} \ v_{\varphi,k})^T$$

Определение вектора наблюдений

$$x_k = (\tau_k \ v_k \ Y_k)^T$$

Определение вектора состояния

$$\hat{f}_k = \hat{\tau}_k + K_{1,k}(\hat{y}_{\tau,k} - \hat{\tau}_k) + K_{2,k}(\hat{y}_{\omega,k} - 2\pi f_0 \hat{v}_k)$$

$$\hat{v}_k = \hat{v}_{\tau,k} + K_{3,k}(\hat{y}_{\tau,k} - \hat{\tau}_k) + K_{4,k}(\hat{y}_{\omega,k} - 2\pi f_0 \hat{v}_k)$$

$$\hat{Y}_k = \hat{Y}_{k-1} + K_{5,k}(\hat{y}_{\tau,k} - \hat{\tau}_k) + K_{6,k}(\hat{y}_{\omega,k} - 2\pi f_0 \hat{v}_k)$$

$$\hat{\tau}_k = \hat{\tau}_{k-1} + T \hat{v}_{\tau,k-1}, \quad \hat{v}_{\tau,k} = \hat{v}_{\tau,k-1} + T \hat{Y}_{k-1}$$

$$K_{1,k} = \frac{D_{11,k}}{D_{\tau}}, \quad K_{2,k} = \frac{2\pi f_0 D_{12,k}}{D_{\tau}}$$

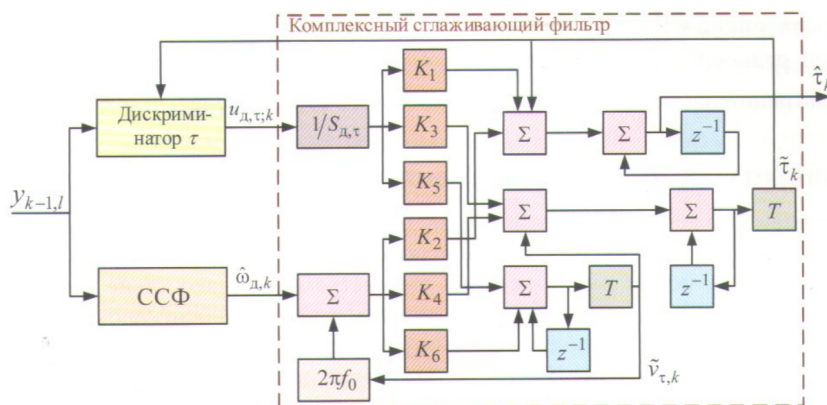
$$K_{3,k} = \frac{D_{12,k}}{D_{\tau}}, \quad K_{4,k} = \frac{2\pi f_0 D_{22,k}}{D_{\tau}}$$

$$K_{5,k} = \frac{D_{13,k}}{D_{\tau}}, \quad K_{6,k} = \frac{2\pi f_0 D_{23,k}}{D_{\tau}}$$

Синтез оптимальной системы фильтрации процесса с помощью уравнений фильтра Калмана

4

Схема комплексной системы фильтрации задержки с поддержкой оценки доплеровского смещения частоты



6

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СИГНАЛАМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА СВЕРХДЛИННОЙ БАЗЕ

Студент: Евсеев Артём Денисович (ЭРэ-19-20)

Научный руководитель: Н.И. Петухов

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2026

ВКР посвящена разработке и исследованию алгоритмов относительного позиционирования по навигационным радиосигналам глобальных навигационных спутниковых систем на сверхдлинной базе.

Цель работы — разработка новых алгоритмов относительного позиционирования по сигналам ГНСС на сверхдлинной базе с улучшенными характеристиками точности без использования корректирующей информации.

В работе представлены обзор подходов к относительному позиционированию, кодовые и фазовые методы определения координат, особенности применения на сверхдлинных базах, а также одномоментный и фильтрационный алгоритмы оценки координат потребителя.

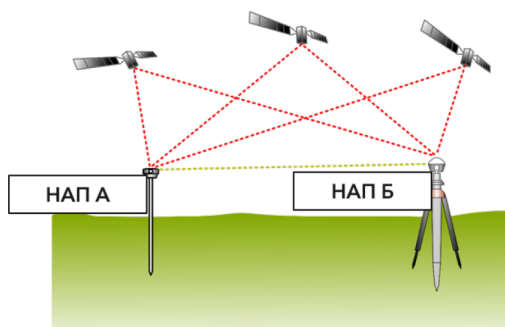
Фрагмент из ВКР: АННОТАЦИЯ
Выпускная квалификационная работа посвящена разработке и исследованию алгоритмов относительного позиционирования по навигационным радиосигналам глобальных навигационных спутниковых систем на сверхдлинной базе. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка используемых источников информации и приложений. В первой главе представлен обзор и анализ существующих подходов к реализации относительного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых

систем. Рассмотрены кодовые и фазовые методы определения координат, а также особенности их применения на сверхдлинных базах. Вторая глава посвящена разработке одномоментного алгоритма оценки координат навигационной аппаратуры потребителя, с применением линейных комбинаций и вторых разностей оценок псевдофаз. Третья глава посвящена разработке фильтрационного алгоритма оценки координат навигационной аппаратуры потребителя и нецелочисленных неоднозначностей оценок псевдофаз. В четвертой главе представлены эргономические требования при проектировании рабочего места, а также рассмотрен туннельный эффект, который проявляется при работе за компьютером. В заключении констатируется достижение цели работы и приводятся основные результаты ВКР. Работа содержит 111 страниц, 41 рисунок, 30 таблиц и 2 приложения. 8

Постановка задачи

1. НАП А и НАП Б **неподвижны**
2. Расстояние между НАП > 1000 км
3. Координаты базовой НАП известны
 $\mathbf{x}_B = [x_B \ y_B \ z_B]^T$
4. Двухчастотные наблюдения:
код + фаза (L1,L2)
5. Наблюдения в ШВ UTC

Требуется оценить координаты целевой НАП $\mathbf{x}_A = [x_A \ y_A \ z_A]^T$ в ГЦСК по всей совокупности наблюдений



4

Фильтрационный алгоритм решения навигационной задачи

Вектор состояния:

$$\mathbf{x} = [x_A \ y_A \ z_A \ \nabla\Delta b_k^{1-2,1-2} \ \dots \ \nabla\Delta b_k^{1-2,1-m}]^T$$

Динамика системы:

$$\begin{aligned} x_{Ak} &= x_{Ak-1} + T_k \xi_{x_{k-1}} \\ y_{Ak} &= y_{Ak-1} + T_k \xi_{y_{k-1}} \\ z_{Ak} &= z_{Ak-1} + T_k \xi_{z_{k-1}} \\ \nabla\Delta b_k^{1-2,1-m} &= \nabla\Delta b_k^{1-2,1-m} + T_k \xi_{\nabla\Delta b_{k-1}} \end{aligned}$$

Вектор наблюдений:

$$\mathbf{y}_k = [\nabla\Delta D_k^{1-2} \ \dots \ \nabla\Delta D_k^{1-m} \ \nabla\Delta\Phi_k^{1-2} \ \dots \ \nabla\Delta\Phi_k^{1-m}]^T$$

Матрица дисперсий шума наблюдений:

$$\mathbf{D}_n = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_{D,n} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_{\Phi,n} \end{bmatrix} \quad \mathbf{D}_{D,n(m-1,m-1)} = \begin{bmatrix} \sigma_{D,n}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{D,n}^2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{D}_{\Phi,n(m-1,m-1)} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Phi,n}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\Phi,n}^2 \end{bmatrix}$$

$\sigma_{D,n}^2$ - дисперсия шума наблюдения псевдодалности
 $\sigma_{\Phi,n}^2$ - дисперсия шума наблюдения псевдофазы

Динамика системы в векторно-матричной форме:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G}\xi_{k-1}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} T & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & T \end{bmatrix} \quad \xi_k = \begin{bmatrix} \xi_{x_k} \\ \xi_{y_k} \\ \xi_{z_k} \\ \xi_{\nabla\Delta b_k} \\ \vdots \\ \xi_{\nabla\Delta b_k} \end{bmatrix}$$

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА РИДА-СОЛОМОНА

Студент: Кочка Кирилл Владимирович (ЭРэ-19-20)

Научный руководитель: Н.И. Петухов

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2026

Цель работы — реализация эффективных программных моделей кодера и декодера Рида-Соломона РС(111, 103) и исследование их характеристик для надежной передачи данных в каналах с возможностью пакетных ошибок.

В работе проведен анализ теоретических основ кодирования в полях Галуа $GF(2^8)$, реализована верификационная модель кодера и декодера в среде высокого уровня GNU Octave/MATLAB.

Также реализована и оптимизирована встраиваемая модель декодера на языке C для микроконтроллеров; экспериментально исследованы корректирующая способность и энергетическая эффективность моделей.

Фрагмент из ВКР: Введение В основе функционирования любой современной цифровой системы, будь то система связи, устройство хранения данных или вычислительный комплекс, лежит фундаментальный принцип: информация должна сохранять свою целостность в процессе передачи, обработки и хранения. Однако на практике данные подвергаются искажениям под воздействием множества дестабилизирующих факторов. В беспроводных системах связи (Wi-Fi, 5G, спутниковая связь) полезный сигнал ослабляется и искажается из -за аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ), многолучевого распространения и замираний (рисунок 1). Это приводит к возникновению как одиночных, случайных битовых ошибок , так и пакетных ошибок, когда целая последовательность бит искажается из

-за кратковременного ухудшения качества канала. Аналогичные проблемы возникают и в системах хранения данных. На оптических носителях, таких как CD или DVD, царапины, пыль или дефекты материала приводят к невозможности считывания целых секторов данных, что также является формой пакетной ошибки (рисунок 2). В системах на базе флеш - памяти деградация ячеек или сбой контроллера могут вызывать схожие по своей природе искажения. 14 Рисунок 1 – Искажение сигнала в канале связи с шумом и замираниями. Рисунок 2 – Пример физического дефекта (царапины) на оптическом диске, приводящего к пакетным ошибкам. 15 Простейшим подходом к обеспечению достоверности является использование механизмов автоматического запроса и повторения (Automatic Repeat Request – ARQ) [1]. Однако этот метод неприменим в системах однонаправленной связи (например, цифровое телевидение) и неэффективен в каналах с высоким уровнем ошибок, так как приводит к значительным задержкам и снижению пропускной способности.

Математическая модель кода РС(111, 103)

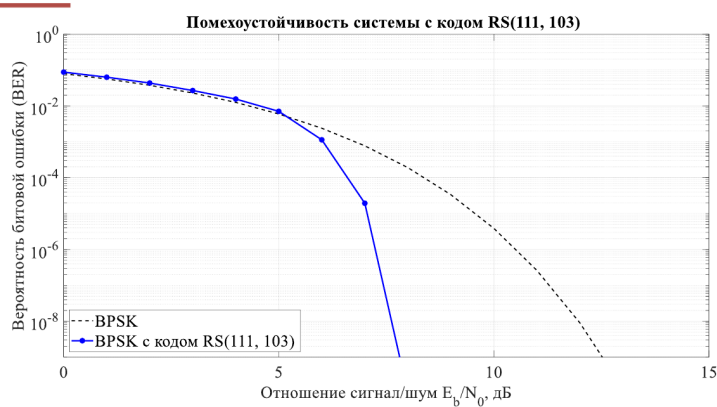


Поле арифметики: Расширенное поле Галуа $GF(2^8)$.
 Порождающий полином: $p(X) = X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$
 Параметры кода:
 - Общая длина блока $N = 111$
 - Информационная длина $K = 103$
 Избыточность: $R = N - K = 8$
 Корректирующая способность: $t = R/2 = 4$ символа.



4

Модель - эксперимент 2. Энергетическая эффективность



Вывод: Выигрыш ~ 1.9 дБ при BER 10^{-4} .

7

РАЗРАБОТКА ДВУХЭТАПНОГО АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА ПО РАДИОСИГНАЛАМ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Студент: Оробченко Степан Владимирович (ЭРэ-19-20)

Научный руководитель: Н.И. Петухов

Тип работы: выпускная квалификационная работа, 2026

Выпускная работа посвящена разработке двухэтапного алгоритма фильтрации параметров угловой ориентации объекта по радиосигналам навигационных спутниковых систем.

Цель работы — разработка алгоритма оценивания пространственной ориентации объекта по радионавигационным сигналам ГНСС совместно с алгоритмом помехоподавления и его исследование методом имитационного моделирования.

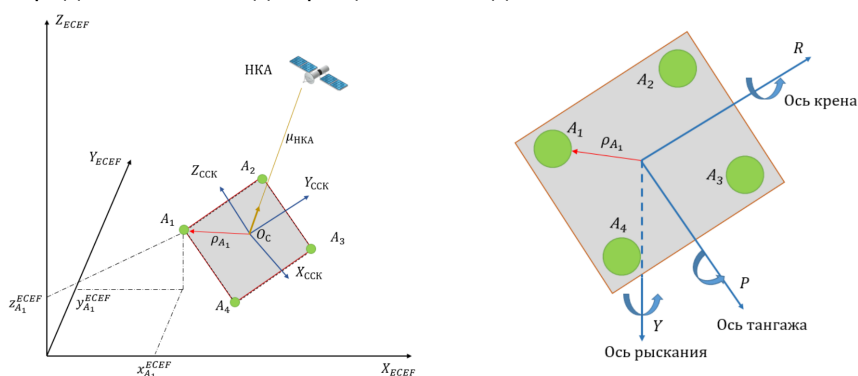
В ВКР разработана математическая и программная модель алгоритмов помехоподавления, исследованы их характеристики, разработан двухэтапный алгоритм оценивания ориентации и проведено исследование функционирования алгоритма в условиях воздействия преднамеренных помех.

Фрагмент из ВКР: АННОТАЦИЯ К выпускной квалификационной работе на тему «Разработка двухэтапного алгоритма фильтрации параметров угловой ориентации объекта по радиосигналам навигационных спутниковых систем» Выпускная работа посвящена разработке двухэтапного алгоритма фильтрации параметров угловой ориентации объекта по радиосигналам навигационных спутниковых систем. Работа состоит из введения, четырех основных глав, заключения и списка используемых источников информации. В первой главе представлен анализ существующих алгоритмов ПОС и их характеристик

помехоподавления. Разработана математическая и программная модель алгоритмов ПОС для последующего использования в алгоритмах оценки ПрО. Проведено исследование характеристик алгоритмов ПОС методом имитационного моделирования, а также дано обоснование выбора критериев применимости алгоритмов ПОС с целью их дальнейшего использования в алгоритмах оценки ПрО. Во второй главе разработан двухэтапный алгоритм оценивания ориентации потребителя в пространстве по радионавигационным сигналам ГНСС при отсутствии преднамеренных помех. На первом этапе разрабатываемого алгоритма производится обработка радиосигналов, излученных с НКА и принятых в заданных дискретных точках пространства с целью формирования оценок радионавигационных параметров сигналов. На втором этапе обрабатываются оценки радионавигационных параметров радиосигналов с целью получения оценок геометрических величин, характеризующих положение объекта в пространстве. Проведено исследование функционирования двухэтапного алгоритма оценивания ориентации потребителя в пространстве по радионавигационным сигналам ГНСС совместно с алгоритмом ПОС в условиях воздействия преднамеренных помех.

Постановка задачи

Рассмотрим геоцентрическую систему координат, связанную с Землей и антенную решетку, с которой жестко связана собственная прямоугольная система координат (ССК). Движение антенной решетки (4 АЭ) относительно НКА представлено в виде вращательного движения относительно точки O_c .

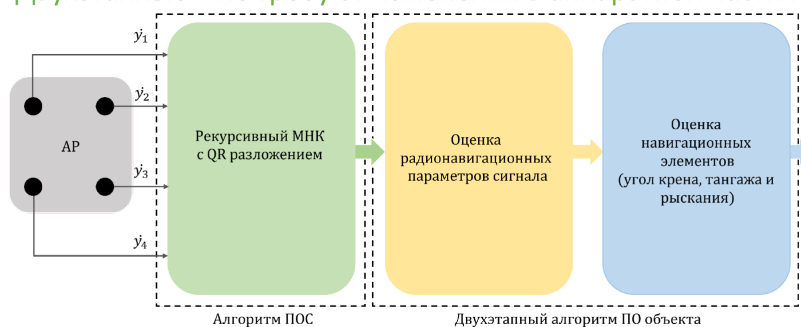


5

Разработка двухэтапного алгоритма оценивания ПО объекта

Для определения пространственной ориентации объекта можно использовать как одноэтапные, так и двухэтапные алгоритмы.

- Одноэтапные – требуют модификации аппаратной части НАП;
- Двухэтапные – не требуют изменения в аппаратной части НАП.



9