AP19679505 Исследование и развитие алгоритмов многопорогового декодирования сверточных кодов и их программно-аппаратная имплементация для высокоскоростных радиоканалов с замираниями-н.р. Сайлау кызы Ж

Актуальность исследований связана с реализацией задач государственной программой «Цифровой Казахстан», Закона Республики Казахстан «О национальной безопасности» и Государственной концепции кибербезопасности «Киберщит Казахстана» по обеспечению информационной безопасности информационно-коммуникационной инфраструктуры, поддержанию и развитие эффективной системы защиты информационных ресурсов и инфраструктуры связи. Развитие национальной системы радиосвязи является важным компонентом национальной и информационной безопасности, так как она обеспечивает взаимосвязь между службами специальных госорганов, Вооруженных Сил, органов правопорядка, скорой медицинской помощи, пожарных и поисково-спасательных команд.

В настоящее время высокоскоростные надежные системы радиосвязи связи реализуются с применением технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, что позволяет обеспечить требуемую спектральную эффективность и высокую емкость данных. Но при широкополосной беспроводной связи на больших расстояниях возникает много ошибок, что приводит к необходимости также использовать методы прямой коррекции ошибок. Идея проекта заключается в разработке и программно-аппаратной реализации эффективных схем коррекции ошибок для использования в сетях радиосвязи с замираниями, а также при наличии доплеровского сдвига и межсимвольной интерференции.

Целью проекта является исследование и разработка методов и средств коррекции ошибок, обеспечивающих работу вблизи пропускной способности канала, при их использовании в быстроменяющихся цифровых системах радиосвязи совместно с технологиями мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов и многопозиционной модуляцией, пространственно-временным кодированием и предкодированием.

Ожидаемые и достигнутые результаты

1. Проведены работы по изучению специфики цифровых радиосистем передачи информации для систем подвижной радиосвязи при наличии замираний, радиомодемов, радиосистем получения видео, аудио информации, определены требования, используемые при выборе методов помехоустойчивого кодирования по критерию максимального значения ЭВК, быстродействию, сложности программной и аппаратной реализации кодеров и декодеров.

Исследованы основные принципы реализации LDPC кодера. Реализованы программной и аппаратной реализации кодирования и декодирования с алгоритмами жесткого решения с инвертированием битов на основе математических моделей и алгоритмов. По результатам моделирования был проанализирован эффект коррекции ошибок кодов LDPC с использованием графа Таннера для радиоканалов.

По результатам данных экспериментов опубликована одна публикация –1 (одна) статья в материалах VIII Международной научной конференции «Информатика и прикладная математика» (26 - 27 октябрь 2023г., Казахстан, Алматы).

2. Проведен анализ подверженности самоортогональных кодов размножению ошибок с использованием многомерных производящих функций вероятности, так и с применением графа Таннера кода; полученные результаты использованы при построении и выборе кодов для применения в многопороговых декодерах при уровне шума, меньшего пропускной способности радиоканала всего на несколько десятых дБ.

Предложен метод снижения влияния распространения ошибок декодирования, основанный на построении самоортогональных кодов с малой степенью пересечения наборов ошибок управления для различных информационных символов. Использовалась оригинальная программа моделирования сверточных кодеров с ручной и автоматической корректировкой параметров кода, введением ошибок в канале связи и оптимизацией параметров итеративного порогового декодирования. Результаты моделирования показали, что оптимизация пороговых значений и весовых коэффициентов для всех пороговых элементов снижает эффект распространения ошибок и эффективность коррекции ошибок.

По результатам исследований материалы опубликованы и индексированы в базе Scopus в рамках 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (23–25 ноября 2023 г., Турция, Стамбул)

3. Проведены исследования эффективности алгоритмов многопорогового декодирования сверточных кодов для каналов связи с замираниями. Предложена и обоснована модификации схемы коррекции ошибок за счет оптимизации параметров работы многопорогового декодера (МПД), новых алгоритмов работы отдельных функциональных узлов декодера, а также схем каскадирования, составляющим элементом которых являются многопороговые декодеры.

Предложен алгоритм оптимизации параметров многопорогового декодирования символьных самоортогональных кодов, который позволяет позволяет в несколько раз снизить число вариантов перебора при минимизации функции декодирования и уменьшить вероятность ошибки декодирования более чем на 2 порядка.

Исследована новая каскадная схема кодирования, состоящая из двух МПД с вариацией параметров кодирования в гауссовском канале. Оценены вероятности вероятность ошибки декодирования в области эффективной работы многопорогового декодера и быстродействие программной реализации данных схем конкатенации.

По результатам данных экспериментов опубликована одна публикация –1 (одна), в отечественном издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

4. Было проведено теоретическое и имитационное моделирование применения многопорогового декодирования в цифровых радиосистемах с использованием мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов и многопозиционной модуляцией. Были получены теоретические оценки и экспериментальные характеристики МПД МПД для свёрточных кодов, представляющие зависимость вероятности ошибки декодирования от уровня шума в радиоканалах в условиях замираний, доплеровского сдвига и межсимвольной интерференции.

Полученные результаты подтверждают эффективность МПД в условиях сложных искажений радиоканалов с замираниями. Теоретическое и имитационное моделирование показало, что МПД с OFDM и многопозиционной модуляцией значительно снижает вероятность ошибки декодирования и устойчив к межсимвольной интерференции и доплеровским сдвигам.

Экспериментальные данные демонстрируют способность МПД декодировать длинные коды при минимальной вычислительной сложности, что особенно полезно для высокоскоростных систем передачи данных. В отличие от традиционных методов, МПД обеспечивает надежную коррекцию ошибок и высокую адаптивность, что подтверждает его актуальность в современных радиосистемах.

По результатам данных экспериментов опубликована одна публикация – 1 (одна) в зарубежном издании «Journal of Electrical Systems (JES)», имеющем процентиль 20 по CiteScore в базе Scopus.Также по результатам данных экспериментов опубликована одна публикация – 1 (одна) в материалах XXVI International Conference Digital Signal Processing and Its Applications (DSPA – 2024).

5. Были разработаны методики применения МПД в системах с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами, а также методы и критерии оценки радиоканала с использованием МПД.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность МПД в системах MIMO (Multiple Input Multiple Output) с замирающими радиоканалами, обеспечивая надежную передачу данных даже в условиях сложных многолучевых каналов при использовании OFDM. Разработанные методики применения МПД для систем с несколькими передающими и приемными антеннами позволяют оценивать радиоканал и адаптировать декодирование в зависимости от характеристик замираний, поддерживая при этом низкую вычислительную сложность. Методики подчеркивают преимущества МПД для современных систем связи, где скорость передачи данных достигает десятков и сотен Гбит/с. В отличие от других кодов, которые теряют эффективность в условиях многолучевого распространения, МПД обеспечивает практически оптимальное декодирование даже длинных кодов при минимальной вычислительной сложности. Результаты показывают, что использование МПД в высокоскоростных системах позволяет поддерживать стабильность и надежность передачи данных, делая его перспективным методом для современных систем цифровой связи со сложными условиями передачи.

По результатам данных экспериментов опубликована одна публикация – 1 (одна), в Трудах Международной научно-практической конференции «XVI Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», 2024. По результатам исследований материалы опубликованы и индексированы в базе Scopus в рамках 8th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (6–7 декабря 2024 г., Турция, Стамбул).

6. Были реализованы методы совместной итеративной демодуляции и декодирования для повышения энергетической эффективности цифровых радиосистем передачи данных с МПД. Получены экспериментальные характеристики работы схемы коррекции ошибок с использованием итеративной демодуляции и декодирования, проведённой с помощью имитационного моделирования.

Результаты исследования показали, что разработанные методы совместной итеративной демодуляции и декодирования с использованием МПД существенно повысили энергетическую эффективность цифровых радиосистем передачи данных. Совместная итеративная демодуляция и декодирование позволили улучшить устойчивость системы к помехам и оптимизировать корректировку ошибок, что особенно актуально в условиях сложных каналов с замираниями. Эти подходы не только способствуют снижению энергопотребления, но и поддерживают высокую надёжность передачи данных даже при сложных изменениях в параметрах канала. Результаты подтверждают, что разработанные методы могут успешно применяться для обеспечения оптимального качества связи в современных высокоскоростных радиосистемах, где требуется как энергетическая эффективность, так и устойчивость к интерференции и другим искажениям.

По результатам проведённых экспериментов опубликована одна (1) статья в отечественном научном издании — *«Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева»*, входящем в перечень журналов, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Публикация размещена в №4 за 2024 год. Получено Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №46161 от 21 мая 2024 г. (программа для ЭВМ).

7. Разработаны программные версии многопороговых декодеров для систем радиосвязи, обладающие высоким быстродействием за счёт параллельной обработки вычислений с использованием ресурсов гетерогенных систем на базе открытого стандарта OpenCL. *Получено свидетельство о государственной регистрации прав на программу для ЭВМ №56400 от 3 апреля 2025 г.*

8. Проведены работы по проектированию и имплементации высокоскоростных многопороговых декодеров в виде встроенной системы на программируемых логических интегральных схемах с использованием компилятора OpenCL для реконфигурируемых систем. Результаты исследований были представлены с устным докладом на 29th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2025-Summer I) (25–27 июня 2025 года).

9. Проводятся работы по разработке программ испытаний и методик тестирования программной и аппаратной реализации методов многопорогового декодирования (МПД) для систем радиосвязи. Планируется получение экспериментальных характеристик производительности. По результатам данных экспериментов принята одна публикация, в «ВЕСТНИК КазАТК» отечественном издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

10. Подготовить программную и конструкторскую документацию разработанных программных и аппаратных решений, заявки на получение патента и/или свидетельств государственной регистрации на программные продукты, учебное пособие для внедрения результатов проекта в учебный процесс.

Рисунок 1 – Научная стажировка: в РГРТУ под руководством профессора Овечкина Геннадия Владимировича.
Руководитель проекта: Сайлау кызы Ж.

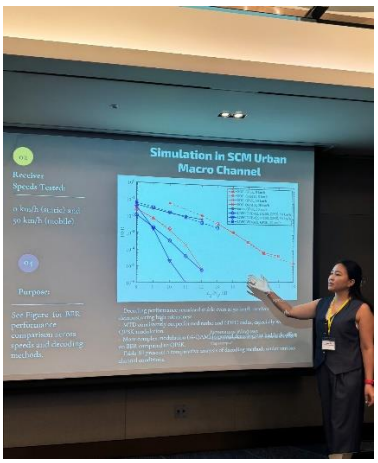

Рисунок 2– Участие в 29th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2025-Summer I) (25–27 июня 2025 года), Корея, Пусан 2025 г.
Руководитель проекта: Сайлау кызы Ж.
Исполнитель проекта: Кожанов М.Г.

Исследовательская группа

1. Сайлау қызы Жұлдыз- научный руководитель, PhD, и.о. доцента НАО КарТУ им. Абылкаса Сагинова», каф. ИТБ
   ORCID: 0000-0001-7605-7634;
   Scopus Author ID: 57440117200
2. Даненова Гульмира Тулендиевна- старший научный сотрудник, к.т.н., доцент НАО КарТУ им. Абылкаса Сагинова», каф. ИТБ
   Хирш Индексі -1
   ORCID: 0000-0003-3301-7282;
   Scopus Author ID: 57140638000

3. Хасенова Зарина Толеубековна- старший научный сотрудник, PhD, декан Школы компьютерных наук ВКТУ им. Д. Серикбаева
   Хирш Индексі =2 (Scopus)
   Хирш Индексі =1 (WoS)
   Scopus Author ID = 57205141835
4. Коккоз Махаббат Мейрамкызы- старший научный сотрудник, к.п.н., доцент НАО КарТУ им. Абылкаса Сагинова, каф. ИТБ
   Хирш Индексі -3
   Researcher ID: P-6669-2017
   Scopus Author ID: 56646533000
   ORCID: 0000-0002-6232-1868
5. Сатыбалдина Дина Жагыпаровна- старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, каф. информационной безопасности ЕНУ имени Л.Н. Гумилева
   ResearcherID: P-1120-2014
   Scopus Author ID: 57193740669
   ORCID: 0000-0003-0291-4685
6. Кожанов Мурат Галиаскарович научный сотрудник, м.т.н., заведующий кафедрой ИТБ
   ORCID: 0000-0002-5310-9953
   ResearcherID: P-1134-2014
   Scopus Author ID: 55946377700
   ORCID: 0000-0002-3271-2163
7. Эгамбердиев Эльдор Улугбекович- научный сотрудник, директор ТОО «Adal Damu»
   ResearcherID: K-5417-2013
   ORCID: 0000-0001-5289-6580
   Scopus Author ID: 57196402736
8. Жакина Мадина Мауленкызы- младший научный сотрудник, Магистрант гр. ВТМ-23-1 КарТУ им. Абылкаса Сагинова», каф. ИТБ
9. Аманов Айдос Нурланович- младший научный сотрудник, Магистрант гр. ВТМ-23-1 КарТУ им. Абылкаса Сагинова», каф. ИТБ

Список публикаций

1. Сайлауқызы Ж. Тізбекті кодтардың көп шекті декодтау параметрлерін оңтайландыру алгоритмін әзірлеу // Труды университета. – 2023. – № 3(92). – С. 474–480. https:// DOI 10.52209/1609-1825_2023_3_474
http://tu.kstu.kz/publication/publication/download/634
2. Сайлауқызы Ж., Сатыбалдина Д., Аманов А.Н., Жакина М.М. Радиоарналар үшін таннер графын қолдану арқылы LDPC кодтарының қателерді түзету әсерін талдау // Международная научная конференция «Информатика и прикладная математика») 26-27 октябрь 2023г., Казахстан, Алматы. С.274-280.
   https://conf.iict.kz/wp-content/uploads/2023/10/collection_CSAM_VIII_2023_1.pdf
3. Zhuldyz Sailau kyzy, Dina Satybaldina, Gulmira Danenova, Makhabbat Kokkoz, Nurlan Tashatov, Design of Majority Decoded Codes and Decoding Algorithm Based on Error Propagation Analysis//7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (23-25 қараша 2023 ж., Түркия, Стамбул).
   http://www.isassymposium.org/isas2023/ISAS2023_Symposium_Information.pdf
4. Сайлауқызы Ж., Хасенова З.Т, Жакина М.М., Аманов А.Н., Построение имитационной модели цифровой радиосистемы передачи данных с

помехоустойчивым кодированием // XXVI International Conference Digital Signal Processing and Its Applications DSPA – 2024, March 27 - March 29
http://dspa-conf.org/storage/Proceedings/DSPA2024_RNTORES_proceedings.pdf

5. Сайлауқызы Ж., Ибрагимов У.М., Шуға төзімді кодтарды қолдану арқылы радиоарнаны бағалау әдістері мен критерийлері // Труды Международной научно-практической конференции «XVI Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», 2024
https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2024/07/2-chast.pdf
6. Dina Satybaldina, Valery Zolotarev, Gennady Ovechkin, Zhuldyz Sailaukyzy, Zarina Khassenova, Eldor Egamberdiyev//Specifics of Applying Multi- threshold Decoding Methods to Correct Errors in Fading Communication Channels//Journal of Electrical Systems (JES) 20-10s (2024):4003-4012
https://journal.esrgroups.org/jes/article/view/5966
7. Сайлауқызы Ж, Даненова Г.Т., Қуаныш А.Қ., Құтжан С.Д.,// Шуға төзімді кодтарды қолдану арқылы радиоарнаны бағалауға арналған бағдарламалық имплементация//Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. №46161 от 21 мая 2024 г. (программа для ЭВМ)
8. Ж. Сайлауқызы, Г.Т. Даненова, М. М. Коккоз//Көп шекті декодерды қолдану арқылы цифрлық радиожүйелердің энергия тиімділігін арттыру әдістерін әзірлеу// Вестник «ВКТУ им. Д.Серикбаева»-2024, №4
9. Gennady Ovechkin, Dina Satybaldina, Zhuldyz Sailaukyzy, Gulmira Danenova//Methods of multi-threshold decoders use in MIMO systems and methods of assessing their performance//International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (6-7 декабря 2024 г., Турция, Стамбул).
10. Эгамбердиев Эльдор Улугбекович, Сатыбалдина Дина Жагыпаровна, Сайлау қызы Жұлдыз//Параллельная реализация систем коррекции ошибок для каналов радиосвязи на основе PyOpenCL// Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. № 56400 от 03 апреля 2025 г. (программа для ЭВМ)

Информация для потенциальных пользователей

Реализация данного проекта по созданию средств коррекции ошибок для радиоканалов составляет поддержку развития беспроводных сетей нового поколения и применение методов построения адаптивных телекоммуникационных систем, позволяющих обеспечить высокую достоверность передачи сообщений в радиоканалах с переменными параметрами

Область применения

Применимость и/или коммерциализуемость полученных научных результатов – ожидаемые научные результаты могут быть использованы для модернизации оборудования систем радиосвязи организаций обеспечивающих национальную безопасность и оборону Республики Казахстан, повышения достоверности передачи информации.

Дата обновления информации: 01.07.2025 г.