

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
УО «Белорусская государственная
академия связи»

канд. техн. наук, доцент



Е. А. Кудрицкая

«12» декабря 2024 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации

УО «Белорусская государственная академия связи»
на диссертацию Жэнь Сюньхуань
«Декодирование итеративных помехоустойчивых кодов
на основе анализа образов ошибок»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Содержание диссертации соответствует заявленной отрасли «технические науки» и паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, утвержденному приказом ВАК Республики Беларусь от 16.07.2015 № 179, а именно: п. 4 – анализ, синтез и оптимизация сигналов в сетях, системах и устройствах телекоммуникаций, включая исследование и разработку новых сигналов, модемов, кодеков, мультиплексоров и селекторов; п. 5 – разработка и исследование методов достижения потенциальной помехоустойчивости и предельной пропускной способности систем связи.

Диссертационная работа соответствует отрасли технические науки.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи по увеличению эффективности декодеров итеративных помехоустойчивых кодов для беспроводных сенсорных сетей с низким энергопотреблением и

высокоскоростных радио- и оптических сетей на основе анализа двумерных групповых ошибок различной кратности.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем.

1. Автором разработан и представлен трехклассовый подход к образам ошибок, учитывающий признаки однократных и многократных ошибок как в строках, так и в столбцах декодируемой матрицы, что обеспечивает:

- возможность исправления ошибок кратностью до четырех;
- значительное снижение вероятности ошибок с кратностью шесть (в 7 и 2 раза) по сравнению с двухэтапным и трёхэтапным декодерами;
- введение принципов адаптивного анализа ошибок на основе их кратности, что повышает эффективность декодирования без значительного увеличения вычислительной сложности.

2. Автором синтезирован синдромный декодер итеративного расширенного кода Хэмминга 8×8 символов. Показано, что семиклассовая классификация ошибок, включающая однократные, двукратные и многократные ошибки, а также их пространственное распределение (строки и столбцы) позволяет:

- исправлять ошибки кратностью до семи;
- уменьшать вероятность ошибок с кратностью девять в 20 раз по сравнению с двухэтапным декодером, в 4 раза по сравнению с четырехэтапным декодером, в 36 раз по сравнению с двухрежимным двух- пятиэтапным декодером.

Автор показал, что увеличение кодовой избыточности и вычислительной сложности может быть использовано для достижения высокой эффективности декодирования, что подчеркивает новизну подхода в контексте современных требований к системам передачи данных.

3. Автором разработан итеративный формирователь классов образов ошибок, основанный на новых подходах. Введен метод итеративного увеличения кратности и размеров базовых образов, позволяющий учитывать более сложные структуры ошибок.

Исключаются симметричные образы для минимизации избыточности и оптимизации идентификации ошибок, что снижает вычислительную сложность на 33–44 % по сравнению с ранговыми и позиционными формирователями. Предлагаемый подход актуален для сложных итеративных кодов, где традиционные методы могут быть недостаточно эффективными.

4. Предложены инновационные подходы к обеспечению потенциальной помехоустойчивости беспроводных сенсорных сетей с низким энергопотреблением и высокоскоростных радио- и оптических сетей:

– реализована интеграция анализа пространственной структуры ошибок; все предложенные решения используют характеристики ошибок в строках и столбцах декодируемой матрицы, что позволяет значительно снизить вероятность ошибки;

– представлен подход в части комбинирования теоретических и практических улучшений; уменьшение вероятности ошибок и вычислительной сложности делает результаты применимыми в реальных системах передачи и хранения данных;

– достигнуты адаптивность и масштабируемость; предложенные подходы могут быть адаптированы для других классов кодов и использованы в условиях высоких плотностей ошибок.

3. Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Соискателю может быть присуждена искомая ученая степень за следующие результаты.

1. Разработан алгоритм трехклассового синдромного декодера итеративного классического кода Хэмминга 7×7 символов, отличающийся от известных двухэтапного и трехэтапного декодеров выбором последовательности операций исправления и стирания ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы в зависимости от класса образов ошибок.

Научная новизна предлагаемого декодера состоит в том, что введено новое разделение ошибок на три класса, позволяющее адаптировать процесс декодирования к конкретному образу ошибок и эффективно управлять последовательностью операций исправления и стирания ошибок. Представлен новый подход к исправлению и стиранию ошибок для строк и столбцов декодируемой матрицы, учитывающий характеристики каждого класса образов ошибок и обеспечивающий более точное восстановление данных.

Научная и практическая значимость декодера заключается в том, что обеспечивается уменьшение вероятности битовых ошибок до 6,1 раза по сравнению с двухэтапным декодером и до 3,0 раза по сравнению с трехэтапным декодером. Выигрыши достигаются за счет увеличения вычислительной сложности декодирования, обусловленного анализом образов ошибок.

2. Разработан семиклассовый синдромный декодер итеративного расширенного кода Хэмминга 8×8 символов, отличающийся от известных двухэтапного, четырехэтапного и двухрежимного двух-пятиэтапного декодеров выбором последовательности операций транспонирования, исправления и стирания ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы в зависимости от класса образов ошибок.

Научная новизна предлагаемого декодера состоит в том, что разработан эффективный алгоритм декодирования на основе операций транспонирования, исправления и стирания ошибок строк и столбцов, адаптируемый к конкретным классам образов ошибок. Введено разделение ошибок на семь классов, что позволяет использовать оптимизированные алгоритмы для каждого класса, увеличивая точность декодирования.

Научная и практическая значимость предлагаемого декодера заключается в том, что обеспечивается уменьшение вероятности битовых ошибок до 1,6 раза по сравнению с двухэтапным декодером, до 4,9 раза по сравнению с четырехэтапным декодером, до 1,1 раза по сравнению с двухрежимным двух-пятиэтапным декодером.

3. Разработан итеративный формирователь классов образов ошибок, отличающийся от известных рангового и позиционного формирователей операциями расширения множества классов и проверки диагональной симметрии базовых образов, позволяющий повысить эффективность декодирования сложных итеративных кодов за счет компактности классов.

Научная новизна алгоритма состоит в том, что представлены новые операции расширения множества классов и проверки диагональной симметрии базовых образов, которые ранее не применялись в ранговых и позиционных формирователях. Указанные операции позволяют более точно классифицировать ошибки и учитывать их пространственную структуру. Итеративный процесс формирования приводит к созданию более компактных и обобщённых классов ошибок, что упрощает их обработку и сокращает избыточность при декодировании, что позволяет оптимизировать вычислительные ресурсы без потери точности.

Научная и практическая значимость алгоритма заключается в том, что за счет улучшенного распределения ошибок по классам достигается увеличение эффективности декодирования сложных итеративных кодов, особенно в условиях высокой плотности ошибок или сложной структуры матрицы кодирования.

4. Замечания по диссертации

1. Объем первой главы, посвященной сравнительному анализу помехоустойчивых кодов, видится избыточным.

2. Хотя сравнение с двухэтапным и трехэтапным декодерами демонстрирует улучшение характеристик, не приведено сравнение с другими, возможно, более современными или адаптивными методами декодирования (методы на основе машинного обучения; алгоритмы на основе факторных графов, полярные коды, алгоритмы адаптивного декодирования), что могло бы четче обозначить эффективность предложенного подхода.

3. Значительное повышение временной (в 2,4–3,3 раза) и пространственной сложности декодера вызывает вопросы о его применимости в устройствах с ограниченными ресурсами, таких как сенсорные сети, что требует дополнительного обоснования или предложений по снижению вычислительной нагрузки.

4. Недостаточно рассмотрен вопрос, как предложенные декодеры будут вести себя в условиях изменяющейся плотности ошибок или нестабильных параметров канала, что может оказаться важным фактором для практического использования.

Приведенные выше замечания ни в коей мере не снижают научной и практической значимости полученных результатов.

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

На основании анализа содержания диссертации, используемых методов исследования и интерпретации полученных результатов, их научной и практической значимости можно сделать вывод, что научная квалификация автора работы Жэнь Сюньхуань соответствует учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций.

6. Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в диссертационной работе Жэнь Сюньхуань результаты могут быть использованы на практике специалистами, занимающимися проектированием эффективных систем проводной и беспроводной цифровой связи: подвижная связь (G/5G); беспроводные сети (Wi-Fi, ZigBee, LoRa); спутниковая связь; системы Интернета вещей (IoT); сенсорные сети и т.д.

Все разработанные алгоритмы будут особенно востребованы в условиях, где традиционные методы исправления ошибок либо недостаточно эффективны, либо не справляются с высокой плотностью ошибок. Уникальные свойства

предложенных решений делают их перспективными для использования в реальных системах.

7. Заключение

Автор диссертационной работы Жэнь Сюньхуань заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертационная работа Жэнь Сюньхуань рассмотрена на научном собрании Учреждения образования «Белорусская государственная академия связи» (протокол № 9 от 12 декабря 2024 г.) на основании приказа ректора академии № 310 от 05.12.2024 г., на котором соискатель выступил с докладом.

В голосовании приняли участие участники научного собрания, имеющие ученые степени доктора наук – 3 человека и кандидата наук – 15 человек.

ЗА – 18, ПРОТИВ – НЕТ, ВОЗДЕРЖАЛИСЬ – НЕТ.

Председатель научного собрания:

д-р. техн. наук, профессор,
зав. кафедрой ЗОЖ



В. И. Курмашёв

Эксперт:

канд. физ.-мат. наук, доцент,
проректор по научной работе



В. В. Дубровский

Секретарь научного собрания:

канд. физ.-мат. наук, доцент,
зав. кафедрой ИКТ



С. Ю. Михневич

Ознакомлена

Тянь Сюньхуань

12.12.2024

