

## ОТЗЫВ

научного руководителя на  
диссертацию Жэнь Сюньхуань

«Декодирование итеративных помехоустойчивых кодов на основе анализа образов ошибок», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

В системах передачи информации для защиты от ошибок широко используется помехоустойчивое кодирование. Среди помехоустойчивых кодов выделяются итеративные коды. Особенностью этих кодов является двухмерное представление кодируемых данных и формировании проверочных бит, как для строк, так и для столбцов. В результате строится так называемый код произведения, позволяющий существенно повысить корректирующую способность. Но при этом возрастает избыточность кода. Однако, декодирование итеративных кодов, как правило, проще и быстрее по сравнению с одномерными кодами. Это делает итеративные коды актуальными для применения в системах передачи данных. Особый интерес итеративные коды представляют для сенсорных, радио- и оптических сетей. В этом случае могут эффективно использоваться итеративные коды Хэмминга и декодирование на основе библиотеки базовых образов ошибок. Библиотека хранит базовые образы, представляющие классы производных образов ошибок, которые могут быть получены путем перестановок строк и столбцов базовых образов. Декодирование сводится к формированию образа ошибок на основе декодируемой матрицы и сопоставлении этого образа с базовыми образами библиотеки для определения класса образа ошибок и выбора соответствующего алгоритма быстрого декодирования. Недостаток известных алгоритмов декодирования итеративных кодов Хэмминга заключается в низкой корректирующей способности, не достигающей теоретически обоснованных значений исходя из кодового расстояния. Известные алгоритмы формирования классов образов ошибок обеспечивают недостаточно высокая компактность классов. Для устранения отмеченных недостатков соискателем выдвинута гипотеза: декодирование итеративных кодов на основе анализа образов ошибок является более эффективным подходом по сравнению с непосредственным многоэтапным декодированием итеративных помехоустойчивых кодов любой сложности, его использование позволит при обработке итеративных кодов Хэмминга повысить корректирующую способность декодеров и достичь теоретически обоснованного максимального количества исправляемых ошибок за счет выбора алгоритма декодирования в зависимости от класса образа ошибок, определяемого по распределению ошибочных бит в кодовой матрице, а при обработке итеративных полиномиальных кодов – уменьшить время идентификации образов ошибок и выбора соответствующего алгоритма декодирования за счет компактности классов образов ошибок. Проверке данной гипотезы посвящена работа Жэнь Сюньхуань.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в период с 2018 по 2024 г. Объектом исследования являлись помехоустойчивые декодеры каналов передачи данных. В качестве предмета исследования выбраны образы ошибок в каналах передачи данных.

В процессе выполнения диссертационной работы соискателем разработаны и исследованы:

- алгоритм синдромного декодирования итеративного классического кода Хемминга, основанный на трех классах образов ошибок и признаках однократных и многократных ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы, позволяющий исправить ошибки кратностью до 4-х и уменьшить вероятность ошибок большей кратности;

- алгоритм синдромного декодирования итеративного расширенного кода Хэмминга, основанный на семи классах образов ошибок и признаках однократных, двукратных и многократных ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы, позволяющий исправить ошибки кратностью до 7-ми и уменьшить вероятность ошибок большей кратности за счет увеличения кодовой избыточности и вычислительной сложности;

- алгоритм формирования классов образов ошибок, основанный на итеративном увеличении кратности и размеров базовых образов и исключении симметричных образов, позволяющий уменьшить вычислительную сложность идентификации образов ошибок при декодировании итеративных полиномиальных кодов.

Для сравнительной оценки эффективности разработанных алгоритмов использованы известные алгоритмы многоэтапного синдромного декодирования итеративных кодов Хэмминга а также ранговый позиционный алгоритмы формирования классов образов ошибок.

В процессе работы над диссертацией Жэнь Сюньхуань показала себя высококвалифицированным специалистом, умеющим самостоятельно решать научные и практические задачи, анализировать полученные результаты. Опытность, настойчивость и целеустремленность в работе соискателя обеспечили высокую научную и практическую значимость полученных им результатов. Они опубликованы в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях и 13 работах в сборниках материалов конференций.

Учитывая изложенное, считаю, что диссертационная работа «Декодирование итеративных помехоустойчивых кодов на основе анализа образов ошибок» по уровню научной новизны и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Ее автор, Жэнь Сюньхуань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за получение новых научно обоснованных результатов, которые заключаются в разработке:

- алгоритма синдромного декодирования итеративного классического кода Хемминга  $7 \times 7$  символов, основанного на трех классах образов ошибок и признаках однократных и многократных ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы, позволяющего исправить ошибки кратностью до 4-х и уменьшить до  $1,9 \times 10^{-2} - 9,1 \times 10^{-1}$  вероятность ошибок с кратностями 5 – 10;

- алгоритма синдромного декодирования итеративного расширенного кода Хэмминга  $8 \times 8$  символов, основанного на семи классах образов ошибок и признаках однократных, двукратных и многократных ошибок строк и столбцов декодируемой матрицы, позволяющего исправить ошибки кратностью до 7-ми и уменьшить до  $3,2 \times 10^{-3} - 5,3 \times 10^{-1}$  вероятность ошибок с кратностями 8 – 12 за счет увеличения кодовой избыточности и вычислительной сложности;

- алгоритма формирования классов образов ошибок, основанного на итеративном увеличении кратности и размеров базовых образов и исключении симметричных образов, позволяющего уменьшить вычислительную сложность идентификации образов ошибок на 44 % при декодировании итеративных полиномиальных кодов.

Полученные результаты позволили соискателю решить актуальную техническую задачу повышения 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.

Научный руководитель  
д.т.н., профессор



В.К. Конопелько