

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391.7

Пригон
Анна Николаевна

Кодирование информации в норменной обработке БЧХ-кодов

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-45 80 01 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Научный руководитель
Конопелько В.К.
Доктор технических наук, профессор

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

Современные инфокоммуникационные системы вынуждены функционировать, как правило, в каналах с разного рода шумами и помехами. Для защиты информации, передаваемой в зашумленных каналах, от искажений и ошибок общепринято применять помехоустойчивое кодирование. Одной из прикладных задач общей теории телекоммуникаций является повышение помехоустойчивости цифровой передачи, хранения, обработки и коммутации сообщений.

Как наука, теория помехоустойчивого кодирования возникла в конце 40-х годов с появлением работ Шеннона, Хемминга, Голея, и в настоящее время получила широкое распространение в различных областях информатики и радиоэлектроники: системы и сети телекоммуникаций, системы радионавигации, радиолокации, цифровое телевидение, вычислительные машины и системы, компьютерные сети.

Наибольшее распространение получили системы кодирования на основе линейные циклических кодов, таких как коды Хемминга, коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ-коды), коды Рида-Соломона. Без них немислимы системы сотовой связи, защита компьютерной памяти, диспетчерские компьютерные службы и т.д. Созданная белорусской школой теория норм синдромов (ТНС) в середине 90-х г.г., позволила ускорить на порядок синдромные методы коррекции ошибок БЧХ-кодами, до предела расширить спектры корректируемых ошибок. Суть теории заключается в классификации векторов-ошибок на непересекающиеся классы – Γ -орбиты, где каждая Γ -орбита имеет четко очерченный спектр векторов и синдромов, вычислении нормы синдрома, идентификации образующих и текущих векторов ошибок и коррекции ошибок. Отсюда следует, что код может корректировать любой набор K Γ -орбит векторов-ошибок с попарно различными нормами. Практически в любом коде можно построить совокупность Γ -орбит K , содержащий не только произвольные случайные ошибки, допустимые кодовым расстоянием, но и ряд зависимых ошибок, вплоть до полного исчерпания синдромных возможностей кода.

Однако при увеличении кратности корректируемых ошибок число норм возрастает и при $t \geq 4$ число требуемых норм больше числа синдромов, что вновь приводит к повышению сложности селектора. В связи с этим возникает необходимость проведения исследования по нахождению меньшего числа норм для идентификации и коррекции ошибок кратности $t = 3 \dots 7$.

Основным практическим результатом теории норм синдромов явилась серия норменных перестановочных методов коррекции кратных ошибок для семейства кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема, которая отличает: перебор крупных блоков – орбит, возможность исправления дополнительных видов ошибок, снижение вычислительных затрат на реализацию при достаточно высоком быстродействии (n -кратное сокращение вычислительных затрат,

n – длина кода), а также метод сжатия норм синдромов, сокращающий в n^2 раз вычислительные затраты по сравнению с классическими синдромными методами.

Таким образом, целью магистерской работы является систематизация материалов по методам обработки БЧХ-кодов с перспективой снижения сложности декодирования, исследование методов, алгоритмов и устройств норменного декодирования, корректирующих многократные ошибки

Основные задачи в диссертации: исследование методов, алгоритмов коррекции, позволяющих использовать избыточность синдромов для избавления ошибок выше корректирующей способности кодов, развитие альтернативного метода сжатия норм синдромов и его реализации на основе изученного влияния циклотомических подстановок на синдромы ошибок и нормы синдромов сжатия норм синдромов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является развитие методов, разработка алгоритмов и устройств норменного декодирования, корректирующих многократные ошибки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать алгоритмы и устройства по формированию усеченных множеств норм, их идентификации в зависимости от параметров БЧХ-кодов;
- развить методы, разработать алгоритмы и устройства по идентификации множеств норм синдромов на основе циклотомических классов и преобразования синдромов для коррекции многократных ошибок.

Предметом исследования является обработка информации, основанная на норменном декодировании БЧХ-кодов. Объектами исследования являются методы, алгоритмы и устройства идентификации образующих и текущих векторов ошибок норменного декодирования. Выбор перечисленных объектов обусловлен актуальностью повышения помехоустойчивости телекоммуникационных систем за счет коррекции многократных ошибок.

Эффективным подходом к решению этой проблемы является применение норменного декодирования БЧХ-кодов с уменьшенным числом норм синдромов и развития методов на основе циклотомических классов.

Приоритетные направления научных исследований. Тема диссертационной работы соответствует пункту 5 приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г., «Информатика и космические исследования».

Личный вклад магистранта. Содержание диссертационной работы отражает личный вклад автора. В совместно опубликованных работах автору принадлежат: развитие методов, разработка алгоритмов и устройств

идентификации, образующих и текущих векторов ошибок с использованием методом декодирования с непосредственным выделением нормы синдрома объединенных циклотомических классов. Соавтором основных публикаций автора является научный руководитель, доктор технических наук, профессор В.К. Конопелько, который осуществлял определение целей и постановку задач исследования, выбор методов исследований, принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; 11-я международная научно-практическая конференция «Кодирование и цифровая обработка сигналов и инфокоммуникациях».

Опубликованность результатов диссертации. По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 2 печатные работы, в том числе: 2 статьи в сборниках материалов научных конференций,

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников и одного приложения.

Общий объем диссертационной работы составляет 100 страниц, из них 60 страниц текста, 10 рисунков на 4 страницах, 30 таблиц на 9 страницах, список использованных источников (32 наименования на 3 страницах), список публикаций автора по теме диссертации (2 наименования на 1 странице), 1 приложение на 21 странице и графический материал. Диссертационная работа выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности соответствует норме, установленный кафедрой ИКТ. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОЫ

Во введении рассмотрено современное состояние проблемы повышения помехоустойчивости цифровой передачи, хранения и обработки сообщений, а также описано обоснование актуальности темы.

В общей характеристике работы показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

Первая глава «Классификация векторов-ошибок под действием различных классов подстановок» посвящена систематическому изложению классификации векторов-ошибок линейных кодов под действием группы Г

циклических сдвигов, а также группы G циклических и циклотомических перестановок, принадлежащих $AutC$.

В первой главе также уточняются спектры ошибок линейных кодов, основные типы ошибок, их веса и диаметры, а также описаны Γ -орбиты – основные элементы классификации ошибок – инварианты группы Γ циклических сдвигов, принадлежащей группе автоморфизмов любого циклического кода. По числу элементов Γ -орбиты делятся на полные и неполные. Рассмотрено действие на векторы и на Γ -орбиты ошибок группы циклотомических подстановок, также принадлежащих группе автоморфизмов любого циклического кода C над полем Галуа характеристики два и порожденных степенями автоморфизма Фробениуса конечного поля.

Во второй главе «Основы теории норм синдромов» описываются нормы синдрома для всех БЧХ-кодов и для реверсивных кодов. Теория норм синдромов исследует спектры синдромов Γ -орбит и G -орбит векторов-ошибок для группы Γ -циклических сдвигов и группы G -циклических и циклотомических подстановок. Показано, что при действии циклотомической подстановки φ на вектор ошибок компоненты его синдрома возводятся в квадрат как элементы поля Галуа, что соответствует G -орбите.

Норма синдрома инвариантна относительно группы циклических сдвигов координат векторов-ошибок, то есть эта инвариантная характеристика Γ -орбит. Из исследуемой теории норм синдромов следуют новые методы коррекции ошибок, обобщенная схема которых выглядит следующим образом: по вычисленному синдрому находится его норма, норма определяет Γ -орбиту, которой принадлежит искомый вектор-ошибка. По норме и синдрому определяется величина циклического сдвига образующего Γ -орбиту вектора для получения искомого вектора ошибок.

В третьей главе «Норменное декодирование БЧХ кодов» описывается и анализируется теория норм синдромов и норменные методы коррекции ошибок на различные классы модификаций БЧХ-кодов, а также показана возможность совместной коррекции двойных ошибок и различных классов пакетных ошибок. В данной главе дается обоснование и изложение метода коррекции кратных ошибок, основанного на соответствующем сжатии множества векторов-ошибок корректируемой совокупности K , путем отображения множества K на ошибки большей кратности, что позволяет сократить число селектируемых норм синдромов и векторов-ошибок.

Установлено, что коды, получаемые из реверсивных или примитивных двоичных БЧХ-кодов с $d=5$ удалением всех слов нечетного веса, корректируют почти все сплошные пакеты ошибок совместно с двойными ошибками. Показано с помощью теории норм синдромов, что при выбрасывании из примитивного БЧХ-кода с минимальным расстоянием 5 слов четного веса образуется модифицированный код с $d=6$, способный корректировать не только двойные ошибки, но и большинство сплошных циклических пакетов ошибок, в частности пакеты длиной 3. Доказывается,

что результат справедлив и для модифицированных аналогичным образом реверсивных кодов с $d=5$. Предложен метод сжатия норм синдромов, позволяющий корректировать ошибки различной кратности. Показано, что данный метод примерно во столько же раз эффективнее норменного метода, во сколько норменный метод эффективнее известных синдромных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над диссертацией проведено исследование методов, алгоритмов и устройств норменного декодирования, корректирующих многократные ошибки. Предложена реализация метода декодера на логических матрицах или на программируемых логических интегральных схемах.

Рассмотрена классификация векторов-ошибок линейных кодов, т.е. разбиение их на непересекающиеся легко конструируемые классы – Γ -орбиты, G -орбиты, A -орбиты. Дана характеристика – норма синдрома, являющаяся инвариантом группы циклических сдвигов Γ и, следовательно, идентификатором Γ -орбит и G -орбит. Исследованы основные свойства норм синдромов.

Показана возможность декодирования любой совокупности Γ -орбит с попарно различными нормами синдромов, что дает конструктивный способ строить расширенные классы декодируемых ошибок по сравнению с традиционными методами и позволяет решать проблему избыточности кодов, разработан метод сжатия норм синдромов, сокращающий в раз вычислительные затраты по сравнению с классическими синдромными методами. Внесен вклад в решение проблемы селектора за счет предложенных алгоритмов сжатия норм синдромов.

Проведенные исследования показывают, что не примитивные БЧХ-коды обладают хорошими корректирующими возможностями, выходящими за пределы конструктивных, имеют эффективные микропроцессорные перестановочные алгоритмы коррекции ошибок.

В соответствии с целью работы произведен анализ существующих решений, результаты исследований диссертационной работе показывают, что не примитивные БЧХ-коды имеют декодирующий потенциал, многократно превышающий конструктивные возможности, имеют эффективные микропроцессорные перестановочные алгоритмы коррекции ошибок, поэтому могут найти достойное место в разрабатываемых и применяемых на практике ИКС.

Предложенные методы и алгоритмы для коррекции многократных ошибок на основе развития методов норменного декодирования БЧХ-кодов могут быть использованы в спутниковых и космических системах связи при передаче изображений, а также в системах обработки и хранения информации

с высокими требованиями к вероятности безошибочного декодирования и быстродействию схем.

Диссертация представляет собой законченную работу и содержит оригинальный материал для практического использования.

Результаты диссертационной работы могут использоваться в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных работ, а также в научных центрах и лабораториях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1–А Пригон, А.Н. Определение норм синдрома БЧХ-кода / А. Н. Пригон, А.В. Курилович // Телекоммуникационные системы и сети: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 104.

2–А Пригон, А.Н. Коррекция трехкратных ошибок БЧХ-кодом методом сжатия норм синдромов / А. Н. Пригон, А.В. Курилович // Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 4 апреля 2019 г. – Минск: БГУИР, 2019. – С. 36.