

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

УДК 621.391.7

Симонович  
Кирилл Александрович

## **КОНТРОЛЬ МОДУЛЬНЫХ ОШИБОК ИТЕРАТИВНЫМИ КОДАМИ**

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание академической степени  
магистра техники и технологии

по специальности

1-45 81 01 – Инфокоммуникационные системы и сети

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

Минск 2020

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Помехоустойчивое кодирование является неотъемлемой частью современных цифровых систем управления. Требуемое качество дискретной информации, используемой в цикле управления, обеспечивается за счет коррекции ошибок, которые объективно возникают в каналах связи. При этом главной тенденцией многих важных систем управления является сокращение временных интервалов обмена данными. В этой связи поиск оптимальных в смысле минимизации временных и вычислительных ресурсов кодеров является неотъемлемой потребностью перспективных управляющих комплексов.

При разработке современных цифровых систем передачи информации одной из важнейших задач является обеспечение высокой достоверности передачи данных. Эффективным методом решения данной задачи является применение помехоустойчивого кодирования информации. Применение помехоустойчивого кодирования данных позволяет либо уменьшить требуемую мощность передатчика при сохранении допустимой вероятности ошибок на символ  $P_k$ , либо повышать дальность связи, либо уменьшить размеры антенных систем, экономить полосы пропускания и улучшить многие другие важные свойства и параметры цифровых систем передачи информации.

Широкое применение на практике получили помехоустойчивые корректирующие коды Хэмминга, БЧХ-коды, сверточные коды, коды Рида-Соломона, коды на основе: турбокоды, каскадные коды и коды с низкой плотностью проверок на четность. Однако при высокой скорости передачи данных (более 100Мбит/с) коррекция ошибок большой кратности данными кодами затруднена из-за больших вычислительных затрат (как аппаратных, так и временных). Применение на практике известных методов коррекции многократных ошибок связано с так называемой «проблемой селектора», причем число селектируемых комбинаций резко возрастает с увеличением кратности исправляемых ошибок. Это, в свою очередь, существенно увеличивает аппаратную сложность и снижает быстродействие декодирующих устройств кодов. Для уменьшения сложности реализации селектора при использовании наиболее широко используемых БЧХ-кодов в [45,46] предлагается классифицировать векторы ошибок на основе теории норм синдромов. Однако при увеличении кратности корректируемых ошибок

также резко возрастает число норм синдромов, что вновь приводит к увеличению сложности кодера.

В последние годы были разработаны алгоритмы декодирования групповых кодов, основанные на применении мягкого решения на выходе дискретного канала связи, известного в теории кодирования как понятие «стирание» (под стиранием понимается состояние ошибочного символа, когда его местоположение известно, но не известно его истинное состояние). Однако известные методы коррекции многократных стираний групповыми кодами имеют большую вычислительную сложность и низкое быстродействие. Для уменьшения вычислительной сложности при коррекции многократных стираний и ошибок предлагается использовать двумерное кодирование данных.

В связи с этим возникают задачи, состоящие в разработке методов, алгоритмов и устройств коррекции многократного стирания как при одномерном, так и двумерном кодировании информации на основе использования двух каналов декодирования, идентификации канала с меньшим числом несогласованных стираний (ошибок) и исправлении ошибок малой кратности корректирующими кодами.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Известно, помехоустойчивое кодирование является неотъемлемой частью современных систем передачи и хранения информации. Это стало возможным благодаря существенным прорывам, достигнутым теорией кодирования за последние годы, а также высокоэффективной элементной базы. В рамках данной магистерской диссертации рассматриваются помехоустойчивые коды, позволяющие контролировать модульные и пакетные ошибки.

*Цель исследования:* анализ современных методов помехоустойчивого кодирования информации, и их обработки итеративными кодами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Анализ эффективного применения помехоустойчивого кодирования для контроля модульных и пакетных ошибок.
- Анализ алгоритмов обработки кодов.

Предметом исследования является помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи. *Объектом исследования* настоящей работы являются методы, алгоритмы и устройства корректирующих помехоустойчивых кодов. Выбор перечисленных объектов обусловлен актуальностью повышения помехоустойчивости инфокоммуникационных систем за счет коррекции многократных ошибок.

### **Апробация материалов исследования**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах : 56-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР (Минск, 2020), Международная научно-практическая конференция «Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях» (Минск, 2020).

### **Личный вклад магистранта**

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании методов и алгоритмов корректирующих помехоустойчивых кодов исправляющих модульные и пакетные ошибки,

постановке и проведении экспериментов по исследованию характеристик, оценке эффективности разработанных алгоритмов и методов, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация, обобщение полученных результатов и их публикация проводилась совместно с научным руководителем, доктором технических наук В.К. Конопелько.

### **Приоритетные направления научных исследований**

Важнейшим требованием к современным цифровым системам передачи информации является обеспечение высокой надежности данных. Эффективным способом решения этой задачи является применение помехоустойчивого кодирования передаваемых данных.

Библиотека БГУИР

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержит 84 страниц машинописного текста, в том числе 35 иллюстраций и 23 таблицы. Список литературы включает в себя 46 наименований.

*Первая глава* посвящена современным методам помехоустойчивого кодирования для контроля за пакетными и модульными ошибками, декодирование кодов Рида – Соломона, низкоплотные модульные коды, итеративные модульные коды.

Во *второй главе* данной диссертации получены аналитические соотношения для расчета числа операций различного типа, выполняемых за одну итерацию декодирования для различных алгоритмов декодирования кодов с низкой плотностью проверок на четность, позволяют сравнивать между собой алгоритмы по критерию сложности. Предложенные модификации алгоритмов декодирования в части расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора позволяют повысить скорость работы декодера при незначительном увеличении требований к памяти для хранения внутренних переменных.

В *третьей главе* предложен алгоритм поиска образующих полиномов, отличающийся от известных тем, что позволяет находить полиномы для построения циклических помехоустойчивых кодов более эффективных по скорости кода, чем коды БЧХ. Поставлен компьютерный эксперимент по поиску образующих полиномов с применением технологий параллельных вычислений для построения кодов, исправляющих независимые и пакетные ошибки. Разработанный алгоритм поиска позволяет находить полиномы для построения кодов, длина которых на 1–5 бит короче, чем коды БЧХ при длине информационного блока до 32 бит и кратности исправляемых ошибок до 4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В связи с бурным развитием инфокоммуникационной сферы в мире, возрастают требования к скорости передачи информации. Это приводит к развитию сложных методов цифровой модуляции, таких как PSK, QAM, OFDM, обеспечивающих большой спектральный выигрыш. Как следствие совершенствуются и методы помехоустойчивого кодирования. В частности, широкое распространение получили недвоичные коды, которые в наибольшей степени соответствуют этим сигналам по своей структуре. Коды Рида Соломона, как яркий пример таких кодов, в настоящее время используется практически во всех современных системах передачи данных. Однако реализация алгоритмов их декодирования является достаточно сложной задачей.

2. Существуют различные подходы к декодированию кодов РС. Выбор того или иного алгоритма зависит от конкретных требований к СПК и ее аппаратных возможностей. БМА имеет сложную ветвистую структуру, что при аппаратной реализации выливается в громоздкие схемы, требующие большого количества вычислительных мощностей. Алгоритм Евклида гораздо проще в реализации, но менее эффективен в силу медленной обработки данных. ГСА эффективен только при низких соотношениях сигнал-шум.

3. Полученные в рамках данной диссертации аналитические соотношения для расчета числа операций различного типа, выполняемых за одну итерацию декодирования для различных алгоритмов декодирования кодов с низкой плотностью проверок на четность, позволяют сравнивать между собой алгоритмы по критерию сложности.

4. Предложенные модификации алгоритмов декодирования в части расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора позволяют повысить скорость работы декодера при незначительном увеличении требований к памяти для хранения внутренних переменных.

5. Разработан алгоритм поиска образующих полиномов, отличающийся от известных тем, что позволяет находить полиномы для построения циклических помехоустойчивых кодов более эффективных по скорости кода, чем коды БЧХ.

6. Поставлен компьютерный эксперимент по поиску образующих полиномов с применением технологий параллельных вычислений для построения кодов, исправляющих независимые и пакетные ошибки. Установлено, что разработанный алгоритм поиска позволяет находить полиномы для построения кодов длиной до 5 бит короче, чем коды БЧХ, при длине информационного блока до 32 бит и кратности исправляемых ошибок до

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

56-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР  
(Минск, 2020),

Международная научно-практическая конференция «Кодирование и  
цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях»  
(Минск, 2020)

1. Помехоустойчивое кодирование с использованием итеративных кодов для исправления модульных пакетных ошибок
2. Контроль модульных ошибок итеративными кодами

Библиотека БГУИР