

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»  
(СГУ)

Кафедра теоретических основ  
компьютерной безопасности и  
криптографии

**Анализ сверточных кодов, близких к оптимальным**

АВТОРЕФЕРАТ

дипломной работы

студента 6 курса 631 группы  
специальности 10.05.01 Компьютерная безопасность  
факультета компьютерных наук и информационных технологий  
Степанова Евгения Александровича

Научный руководитель

к. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

А. Н. Гамова

18.01.2019 г.

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

М. Б. Абросимов

18.01.2019 г.

Саратов 2019

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории развития помехоустойчивого кодирования, основным катализатором появления новых технологий в этой дисциплине служила попытка решения главной проблемы этой области – поиска эффективного и одновременно простого метода декодирования.

Поначалу ведущими направлениями были разработки методов декодирования на базе алгебры конечных полей. Затем интерес специалистов привлекли мажоритарные методы, в данном случае стоит отдать должное Джеймсу Мессу, опубликовавшему в 1963 году книгу «Пороговое декодирование», в которой он раскрыл очень мощный потенциал этих простых методов декодирования. Однако эффект «размножение ошибок» сильно снижал эффективность данного метода.

Чуть позднее пришло время алгоритмов, работающих по принципу максимума правдоподобия. Их еще часто называют оптимальными декодерами. Появление в 1967 году алгоритма Витерби, их ярчайшего представителя, значительно повысило качество исправления ошибок в сильно зашумленных каналах и каналах спутниковой связи. Этот алгоритм является крайне эффективным методом поиска и коррекции ошибок, но он по своей структуре является переборным и сложным для реализации.

Спустя некоторое время взгляд вновь был прикован к мажоритарным методам, предпринимались попытки внедрения простейших итеративных мажоритарных схем. Новым витком в истории помехоустойчивого кодирования стало появление в середине 1970 годов очень эффективного решения проблемы сложности декодирования при одновременной простоте подхода и обходе эффекта размножения ошибок – многопорогового декодера, принцип действия которого основан на работе порогового декодера, но лишен его недостатков.

Целью настоящей работы является рассмотрение и изучение сверточных алгоритмов декодирования: оптимального и неоптимальных. Сравнение их эффективности и скорости работы. В работе описана теория сверточных кодов, подробно изучены алгоритм декодирования Витерби и его недостатки, характерные оптимальным декодерам. Также были сформулированы основные принципы порогового декодирования, которые по сути являются базовыми и для многопорогового декодера, которому отведен один раздел.

В качестве практического приложения к работе реализованы систематический и несистематический сверточный кодер и декодер. Декодер осуществляет декодирование принятой последовательности тремя способами: с помощью алгоритма Витерби, алгоритмов порогового и многопорогового декодирования. Произведены сравнения алгоритмов по основным параметрам помехоустойчивого кодирования.

Дипломная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и 6 приложений. Общий объем работы – 82 страницы, из них 53 страницы – основное содержание, включая 25 рисунков и 10 таблиц, список использованных источников из 21 наименования.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первом разделе дипломной работы «Анализ сверточных кодов близких к оптимальным» описывается теория сверточного помехоустойчивого кодирования. В разделе приводятся основные отличительные особенности сверточных кодов от блоковых, описываются способы задания таких кодов: с помощью полиномов и с помощью диаграммы переходов. Описывается общая схема сверточного кодера и пример кодирования. В конце раздела приводятся основные характеристики и параметры сверточных кодов, которые определяют его структуру.

Второй раздел «Алгоритм декодирования Витерби» посвящен знакомству с алгоритмом Витерби, который является оптимальным декодером. В нем производится описание алгоритма Витерби, его преимущества и недостатки, а также подробно рассматривается пример декодирования по решетчатой диаграмме.

Третий раздел «Пороговое декодирование» содержит описание мажоритарного метода декодирования сверточных кодов, не являющийся оптимальным, но имеет простую реализацию и мало чем отличается по эффективности от алгоритма Витерби. В разделе также говорится об особом классе сверточных кодов, которые наилучшим образом подходят именно для декодирования мажоритарным методом. В конце раздела приводится описание эффекта «размножения ошибок», которое свойственно пороговому методу.

Четвертый раздел «Многopороговое декодирование» посвящен многopороговому декодеру. Данный декодер является развитием простейшего порогового декодера Мессе. В его основе лежит итеративное декодирование, что позволяет вплотную приблизиться к решению оптимального декодера в достаточно широком диапазоне кодовых скоростей и уровней шума в канале. Также многopороговый декодер решает проблему «размножения ошибок». В разделе приводится описание формального алгоритма и основной теоремы

многопорогового декодирования, которая устанавливает свойства, являющиеся основным достоинством многопорогового декодирования.

В пятом разделе «Программная реализация алгоритмов декодирования сверточных кодов» содержится описание работы программ сверточного кодера и декодера. Производится сравнение алгоритмов декодирования по основным параметрам помехоустойчивого кодирования, таким как: скорость декодирования; количество ошибок, которые могут исправить алгоритмы в сравнение с их корректирующими способностями; исправление ошибок после передачи данных по двоичному симметричному каналу связи; средняя вероятность ошибки при определенном уровне сигнал/шум; работа алгоритмов с «пачками ошибок».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время решение проблемы обеспечения высокой достоверности передаваемых данных по всевозможным каналам связи является как никогда актуальной. Решением этой задачи является применение помехоустойчивого кодирования.

Сверточные коды относятся к одному из классов помехоустойчивых кодов. В работе была изложена теория этих кодов, описаны разные варианты представления сверточных кодов и общий алгоритм их кодирования. Также в работе были представлены некоторые преимущества сверточных кодов, и тем самым был обоснован выбор к рассмотрению именно этих кодов, а не блоковых.

Были рассмотрены алгоритмы декодирования сверточных кодов, такие как: алгоритм Витерби, являющийся оптимальным декодером; пороговый и многопороговый декодеры, не являющиеся оптимальными, но существенно проще их и мало отличающиеся от них по эффективности.

В заключительном разделе работы представлено описание сверточного кодера и декодера, позволяющего проводить декодирование последовательностей одним из описанных в работе способом. Были произведены замеры времени работы алгоритмов декодирования и сравнение их эффективности исправления ошибок.

По результатам работы алгоритмов декодирования можно сделать вывод, что многопороговый декодер является самым эффективным из тестируемых алгоритмов декодирования. Алгоритм многопорогового декодирования хорошо работает в каналах с разным уровнем шума. МПД имеет линейное время работы, в отличие от алгоритма Витерби и менее подвержен эффекту «размножения ошибок», в отличие от порогового декодера.

Использование алгоритмов декодирования близких к оптимальным дает существенный рост производительности, а незначительное ухудшение

корректирующих способностей делает данные коды очень привлекательными для использования их в системах связи.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Вернер, М. Мир программирования. Основы кодирования : учебник для ВУЗов / М. Вернер ; пер. с нем. Д. К. Зигангирова. М. : Техносфера, 2004. 288 с.
- 2 Месси, Дж. Пороговое декодирование / Дж. Месси ; пер. с англ. Ю. Л. Сагалович. М. : Мир, 1966. 207 с.
- 3 Морелос - Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применения / Р. Морелос – Сарагоса ; пер. с англ. В. Б. Афанасьева. М. : Техносфера, 2005. 320 с.
- 4 Никитин, Г. И. Сверточные коды : Учебное пособие / И. Г. Никитин. СПб. : СПбГУАП, 2001. 80 с.
- 5 Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут ; пер. с англ. И. И. Грушко, В. М. Блиновский. М. : Мир, 1986. 576 с.
- 6 Теория кодирования / Т. Касами, Н. Токура, Ё. Ивадари, Я. Инагаки ; пер. с япон. А. В. Кузнецова. М. : Мир, 1978. 576 с.
- 7 Быков, В. В. Помехоустойчивые коды цифрового телевидения / В. В. Быков, К. В. Меньшиков. М. : Мир, 2013. 21 с.
- 8 Витерби, А. Д. Принципы цифровой связи и кодирования / А. Д. Витерби, Дж. К. Омура ; Пер. с англ. К. Ш. Зигангирова. М. : Радио и связь, 1982. 536 с.
- 9 Кларк, Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. Кларк, Дж. Кейн. М. : Радио и связь, 1987. 392 с.
- 10 Брауде-Золотарев, Ю. Н. Оптимизация порогового декодирования / Ю. Н. Брауде-Золотарев, В. В. Золотарев. М. : Радио и связь, 1979. 41 с.
- 11 Гринченко, Н. Н. Помехоустойчивое кодирование для цифровых систем связи / Н. Н. Гринченко, Г. В. Овечкин //Известия ТРТУ. 2006. № 1. С. 7 - 12

12 Золотарев, В. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : справочник / В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин ; под ред. Чл.-кор. РАН Ю. Б. Зубарева. М. : Горячая линия – телеком, 2004. 126 с.

13 Золотарев, В. В. Многопороговые декодеры и оптимизационная теория декодирования / В. В. Золотарев, Ю. Б. Зубарев, Г. В. Овечкин ; под ред. акад. РАН В. К. Левина. М. : Горячая линия – телеком, 2012. 239 с.

14 Зубарев, Ю. Б. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных / Ю. Б. Зубарев, Г. В. Овечкин // Электросвязь. 2008. № 12. С. 47-63.

15 Степанов, Е. А. Алгоритм декодирования по максимуму апостериорной вероятности / Е. А. Степанов, А. Н. Гамова // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники. Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2017. С. 818–828.

16 Золотарев, В. В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования / В. В. Золотарев ; Под ред. чл.-кор. РАН Ю. Б. Зубарева. М. : Радио и связь, 2006. 262 с.

17 Зубарев, Ю. Б. Обзор методов помехоустойчивого кодирования с использованием многопороговых алгоритмов / Ю. Б. Зубарев, В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин // Цифровая обработка сигналов. 2008. №1. С. 2–11.

18 Золотарев, В. В. Использование многопорогового декодера в каскадных схемах / В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин // Вестник РГРТА. 2003. № 11. С. 112–115.

19 Зубарев, Ю. Б. Достижение характеристик оптимального декодирования на основе многопороговых алгоритмов / Ю. Б. Зубарев, В. В. Золотарев // Мобильные системы. 2007. №2. С. 47-54.

20 Золотарев, В. В. Многопороговые декодеры для каналов с предельно высоким уровнем шума / В. В. Золотарев, Г. В. Овечкин // Телекоммуникации. 2005. № 9. С. 29-34

21 Шувалов, В. П. Передача дискретных сообщений : Учебник для ВУЗов / В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко, В. О. Шварцман и др. ; под ред. В. П. Шувалова. М. : Радио и связь, 1990. 464 с.