

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра теоретических основ  
компьютерной безопасности и  
криптографии

### **Применение сверточных кодов в многопороговом декодировании**

АВТОРЕФЕРАТ

дипломной работы

студентки 6 курса 631 группы

специальности 090102.65 «Компьютерная безопасность»

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Кузнецовой Анастасии Михайловны

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

А.Н. Гамова

Заведующий кафедрой

профессор, к.ф.-м.н.

В.Н. Салий

Саратов 2016

## 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.

Во время поиска решения этой проблемы акценты постоянно менялись. 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 Мессе, опубликовавшему в 1963 году книгу «Пороговое декодирование», в которой он раскрыл очень мощный потенциал таких простых методов декодирования. Это событие ознаменовало новый этап в теории помехоустойчивого кодирования.

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

На протяжении долгого времени, на фоне прогресса в области систем обработки и передачи информации, при проектировании систем обмена данными на первом месте всегда стояло требование к эффективности алгоритмов, потому что количество задач, которые они должны были решать, и поток данных, которые они должны обрабатывать, постоянно росли. И хотя алгоритм Витерби в целом удовлетворял этой заявке, но он терял свою привлекательность с ростом длины кодовых последовательностей, потому что его сложность и время работы значительно увеличивались.

Взгляд вновь был прикован к мажоритарным методам, предпринимались попытки внедрения простейших итеративных мажоритарных схем, но наличие

эффекта размножения ошибок снижало и без того их не очень высокую производительность. 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 многопорогового декодера сверточных кодов, его достоинств и отличительных особенностей, программная реализация этого метода и сравнение его быстродействия с пороговым алгоритмом и алгоритмом Витерби. Поскольку многопороговый метод был построен на базе порогового декодера и в целом использует основные его идеи, за исключением некоторых модификаций, то знакомству с основными понятиями и принципами работы порогового декодера, которые, по сути, являются базовыми для многопорогового декодера, также отведен один раздел. В работе кратко описана и суть алгоритма Витерби, благодаря которой можно сделать выводы о недостатках его работы. Однако и этого достаточно, чтобы в сравнении показать относительную простоту порогового и многопорогового декодеров, чтобы подтвердить, что не зря именно эти методы сместили с «пьедестала» этот тяжеловесный алгоритм. Все методы и алгоритмы описаны для сверточных помехоустойчивых кодов, которые нашли широкое применение в системах сотовой и спутниковой связи.

В качестве практического приложения к работе реализованы систематический сверточный кодер и декодер для такого кода. Декодер может осуществлять декодирование принятой последовательности тремя способами: с помощью алгоритма Витерби, алгоритма порогового и многопорогового декодирования, и делать замеры времени работы каждого из методов, что позволяет сравнивать их быстродействие при работе с длинными кодовыми последовательностями.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе выпускной квалификационной работы «Сверточные коды» кратко освещается теория сверточного помехоустойчивого кодирования. В разделе приводятся основные отличительные особенности этого класса кодов от блоковых, определяются способы задания таких кодов с помощью полиномов и оператора задержки, и с помощью диаграммы переходов и решетчатой диаграммы. Также описывается механизм работы сверточного кодера. В конце раздела приводятся основные характеристики и параметры сверточных кодов, которые определяют его структуру.

Второй раздел «Декодирование по алгоритму Витерби» посвящен знакомству с алгоритмом Витерби. На основе решетчатого представления сверточных кодов представляется описание работы такого декодера, основных элементов и приводится формальный алгоритм его работы.

Третий раздел «Пороговое декодирование» содержит описание мажоритарного метода декодирования сверточных кодов, который отличается относительно простотой реализации по сравнению с алгоритмом Витерби. В разделе также говорится об особом классе сверточных кодов, которые наилучшим образом подходят именно для декодирования этим методом.

Раздел номер четыре «Многopороговое декодирование» посвящен основному алгоритму, рассматриваемому в данной работе. В разделе приводится описание проблемы размножения ошибок, которое свойственно пороговому методу, и далее рассматривается алгоритм многopорогового декодирования, который с легкостью такую проблему решает. Освещаются основные достоинства метода, формальный алгоритм его работы и область применимости.

В пятом разделе «Реализация алгоритма многopорогового декодирования» содержится описание работы программ систематического сверточного кодера и сверточного декодера, работающего в нескольких

режимах декодирования, в том числе разработанного в рамках дипломной работы многопорогового декодера (листинг программ приведен в приложениях А и Б соответственно). Также в разделе представляются снимки экрана, демонстрирующие работу программ в разных направлениях, и приводится сравнение времени работы разных реализованных декодеров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящий момент задача обеспечения достоверной передачи цифровых 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 наравне с блоковыми кодами. В работе была кратко изложена теория этих кодов, описан вариант представления сверточных кодов и общий алгоритм их кодирования. Также в работе были представлены некоторые преимущества сверточных кодов, тем самым был обоснован интерес к рассмотрению именно этих кодов, а не блоковых.

Развитие систем связи, появление новых цифровых стандартов способствует увеличению скоростей передачи и объема передаваемых данных, с каждым годом делает их более значительными. Следовательно, требования к применяемым кодам и методам их кодирования и декодирования ужесточаются, современные системы кодирования помимо высокой помехоустойчивости и достоверности при исправлении ошибок должны обладать чрезвычайно высокими скоростями при обработке данных. В результате многолетних исследований было выявлено, что самыми быстрыми будут декодеры, состоящие из большого числа быстрых элементов микроэлектроники, без сверхдлинных цепей обратной связи, снижающих скорость продвижения данных. Существующие на тот момент методы декодирования обладали одним недостатком – объем вычислений на один декодированный символ являлся случайной величиной, что приводило к более сложной схеме построения декодеров. Предложенный Джеймсом Мессе метод порогового декодирования был лишен этого недостатка и задал новое направление в теории сверточного декодирования.

В последние десятилетия 20 века интерес к пороговому методу декодирования снова возрос, это было связано с появлением нового метода – многопорогового декодера, который является развитием простого порогового декодера Мессе и позволяет декодировать очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью исполнения. Исследования выявили, что многопороговые декодеры самоортогональных кодов являются наиболее подходящими из известных на сегодняшний день методов помехоустойчивого декодирования, и решающими озвученные ранее проблемы. Именно рассмотрение и изучение данного подхода и была посвящена настоящая работа, была описана основная проблема порогового метода (размножение ошибок) и изложено описание работы многопорогового декодера, лишенного этого недостатка, и его преимуществ.

В заключительном разделе работы представлено описание сверточного кодера и декодера, позволяющего проводить декодирование последовательностей одним из описанных в работе способов и производить измерение примерного времени их работы. Таким образом, поставленные в начале работы цели были достигнуты.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Месси, Дж. Пороговое декодирование [Электронный ресурс] / Джеймс Месси ; пер. с англ. Ю. Л. Сагалович. – М. : Мир, 1966. – URL: [http://www.studmed.ru/messi-dzh-porogovoe-dekodirovanie\\_ab5d19af32a.html#](http://www.studmed.ru/messi-dzh-porogovoe-dekodirovanie_ab5d19af32a.html#) (дата обращения: 5.09.2015).

2 Теория кодирования [Электронный ресурс] / Т. Касами, Н. Токура, Ё. Ивадари, Я. Инагаки ; пер. с японского А. В. Кузнецова. – М. : Мир, 1978. – URL: [http://sgu.clan.su/load/tokura\\_kasami\\_teoriya\\_kodirovaniya/5-1-0-254](http://sgu.clan.su/load/tokura_kasami_teoriya_kodirovaniya/5-1-0-254) (дата обращения: 5.09.2015).

3 Вернер, М. Мир программирования. Основы кодирования : учебник для ВУЗов [Электронный ресурс]/ М. Вернер ; пер. с нем. Д. К. Зигангирова. – М.: Техносфера, 2004. – URL: [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/"Mir\\_programmirovaniya"/\\_ "Mir\\_programmirovaniya".html](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/) (дата обращения: 3.09.2015).

4 Никитин Г. И. Сверточные коды : Учебное пособие [Электронный ресурс] / Н. Г. Никитин. СПб. : СПбГУАП, 2001 . – URL: [ftp://radiozona.myftp.org/radiotehnika/Knigi\\_po\\_elektronike/Г.И.Никитин, Сверточные коды - СПбГУАП\(2001\)\(PDF\)Русский.pdf](ftp://radiozona.myftp.org/radiotehnika/Knigi_po_elektronike/Г.И.Никитин,Сверточные коды - СПбГУАП(2001)(PDF)Русский.pdf) (дата обращения: 02.10.2015). Загл. с экрана. Яз. рус.

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.: ил.

6 Морелос - Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение [Электронный ресурс]/ Р. Морелос-Сарагоса. М.: Техносфера, 2005. – URL: <http://mirknig.com/knigi/apparatura/1181237130-iskusstvo-pomexoustojchivogo-kodirovaniya-metody.html> (дата обращения: 05.05.2014). Загл. с экрана. Яз. рус.



7 Колесник В. Д. Некоторые циклические коды и схема декодирования по большинству проверок [Электронный ресурс] / В. Д. Колесник, Е. Т. Мирончиков // Проблемы передачи информации. – 1965. – №2. – URL: <http://www.mathnet.ru/links/4cbb34969a5405be49d907da7bebfad9/ppi732.pdf> (дата обращения: 3.09.2015).

8 Золотарёв В. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : Справочник [Электронный ресурс] / В. В. Золотарёв, Г. В. Овечкин ; под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарева. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004. – URL: <http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj1328/file14013.html> (дата обращения: 3.09.2015).

9 Золотарёв В. В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования / В. В. Золотарёв; под ред. чл.-кор. РАН, профессора, доктора техн. наук Ю.Б. Зубарева. – М.: Радио и связь, Горячая линия–Телеком, 2006. – 232 с.: ил.

10 Шувалов В.П. Передача дискретных сообщений. Учебник для вузов [Электронный ресурс] / В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко, В. О. Шварцман и др.; Под ред. В. П. Шувалова. — М.: Радио и связь, — 1990. - URL: [http://stu.sernam.ru/book\\_pds.php](http://stu.sernam.ru/book_pds.php) (дата обращения: 17.11.2015).

11 Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных [Электронный ресурс] / Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин // Электросвязь. М., 2008. № 12. – URL: [http://www.mtdbest.ru/articles/obzor\\_dvoichnie\\_kodi\\_2.pdf](http://www.mtdbest.ru/articles/obzor_dvoichnie_kodi_2.pdf) (дата обращения: 10.12.2015).