

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра теоретических основ  
компьютерной безопасности и  
криптографии

### **Многопороговый декодер**

АВТОРЕФЕРАТ

дипломной работы

студента 6 курса 631 группы

специальности 10.05.01 Компьютерная безопасность

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Романовича Александра Геннадиевича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

А.Н. Гамова

18.01.2018 г.

Заведующий кафедрой

профессор, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

В.Н. Салий

18.01.2018 г.

Саратов 2018

## ВВЕДЕНИЕ

В нашем современном мире, в течении последних десятилетий, происходит активное развитие цифровой передачи данных. Эти данные передаются по беспроводным каналам связи, в которых на сигнал действуют помехи различной физической природы. Это приводит к тому, что принятые данные, с большой вероятностью, содержат ошибки. В результате возникает задача обеспечения надежной передачи цифровой информации по каналам с помехами. На протяжении всей истории развития помехоустойчивого кодирования, основным толчком в появлении новых технологий в этой дисциплине служила попытка решения главной проблемы этой области - поиска эффективного и одновременно простого метода декодирования.

В течении времени способы решения этой проблемы постоянно менялись. Поначалу ведущими направлениями были разработки методов декодирования на базе алгебры конечных полей. Затем интерес специалистов привлекли мажоритарные методы. Особый вклад в это дело внес Джеймс Месси, опубликовавший в 1963 году книгу «Пороговое декодирование», в которой раскрывался очень мощный потенциал таких простых методов декодирования. Это событие стало новым этапом в области теории помехоустойчивого кодирования.

Далее большое развитие получили алгоритмы, основанные на принципе максимума правдоподобия. Появление в 1967 году их ярчайшего представителя, алгоритма Витерби, 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, за счет переборного метода, является медленным 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.

Интересы вновь пали на мажоритарные методы, 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 данной работы является рассмотрение и изучение многопорогового декодера сверточных кодов, его достоинств и отличительных особенностей, программная реализация этого метода и сравнение его быстродействия с другими алгоритмами, а именно пороговым алгоритмом и алгоритмом Витерби. Поскольку многопороговый метод основан на базе порогового декодера, 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 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 заменили этот мощный 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 на языке C# были реализованы систематический сверточный кодер и декодер для такого кода.

Дипломная работа состоит из введения, 2х основных разделов, заключения, списка использованных источников и 2х приложений. Общий объем работы – 54 страниц, из них 42 страниц – основное содержание, включая 19 рисунков и одной таблицы, список использованных источников из 20 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первом разделе дипломной работы "Многопороговый декодер" описывается теоретическая часть работы. Раздел разделен на подпункты. В первом подпункте рассматривается представление сверточных кодов, способы их задания с помощью полиномов, порождающей матрицы, диаграммы переходов и решетчатой диаграммы.

Во втором подпункте рассматриваются способы кодирования сверточных кодов их структура, а так же основные отличия от блоковых кодов.

В третьем подпункте внимание уделяется пороговому декодированию, его достоинствам и недостаткам, так же приводится алгоритм декодирования, с помощью которого осуществляется декодирование получаемой информации.

Четвертый подпункт посвящен многопороговому декодированию. Рассматривается сам алгоритм, используемый в практической части работы, так же описываются проблемы размножения ошибок, свойственные пороговому методу и далее алгоритм многопорогового декодирования, решающий данную проблему.

В пятом подпункте идет описание алгоритма Витерби. Производится формальное описание алгоритма, его достоинства и недостатки, а так же причина, по которой данный алгоритм был выбран в качестве сравнения с многопороговым декодером.

Во втором разделе производится практическая часть работы. Раздел разделен так же на подпункты.

В первом подпункте производится описание функционирования сверточного кодера для данной дипломной работы, предоставлены снимки экрана демонстрирующие корректную работу.

Во втором подпункте описывается работа сверточного декодера, работающего в нескольких режимах декодирования, в том числе разработанного в рамках данной дипломной работы, многопорогового декодера, предоставлены снимки экрана демонстрирующие корректную работу, а так же приведена таблица с характеристиками всех трех кодеров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящий момент задача обеспечения передачи информации без потерь по всевозможным каналам связи является как никогда актуальной. Одним из самых эффективных способов решения этой задачи является применение помехоустойчивого кодирования.

В данной работе была кратко изложена теория сверточных кодов, описаны варианты 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. Целью данной работы было как раз рассмотрение и изучение данного подхода, также была описана основная проблема порогового метода (размножение ошибок) и изложено описание работы многопорогового декодера, лишенного этого недостатка, и его преимуществ.

В практической части работы было 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] / Дж. Месси // М. : Мир, 1966. 99 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
2. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки [Электронный ресурс] / Р. Блейхут. // М. : Мир, 1986. 576 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
3. Вернер М. Основы кодирования [Электронный ресурс] / М. Вернер // М. : Техносфера, 2004. 288 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
4. Никитин Г.И. Сверточные коды: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Г.И. Никитин // СПбГУАП. : СПб, 2001. 80 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
5. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение [Электронный ресурс] / Р. Морелос-Сарагоса. // М. : Техносфера, 2005. 320 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
6. Золотарёв В.В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования [Электронный ресурс] / В.В. Золотарев // М. : «Радио и связь», «Горячая линия – Телеком», 2006. 276 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
7. Быков В. В. Помехоустойчивые коды цифрового телевидения [Электронный ресурс] / В. В. Быков, К.В. Меньшиков // М. : Мир, 2013. 21 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
8. Золотарёв В. В. Помехоустойчивые кодирование. Методы и алгоритмы [Электронный ресурс] / В. В. Золотарев, Г.В. Овечкин // М. : Горячая линия – Телеком, 2004. 126 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
9. Витерби А. Д. Принципы цифровой связи и кодирования [Электронный ресурс] / А. Д. Витерби. Дж. К. Омура // М. : Радио и связь, 1982. 536 с. Загл. с экрана. Яз. рус.
10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Электронный ресурс] / Б. Скляр // М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

11. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки [Электронный ресурс] / Р. Блейхут // М. : Мир, 1986. 576 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

12. Кларк Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи [Электронный ресурс] / Дж. Кларк, Дж. Кейн // М. : Радио и связь, 1987. 392 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

13. Брауде-Золотарев Ю.Н. Оптимизация порогового декодирования [Электронный ресурс] / Ю.Н. Брауде-Золотарев, В.В. Золотарев // М. : Радио и связь, 1979. 41 с. Загл с экрана. Яз. рус.

14. Зубарев Ю.Б. Многопороговые декодеры для высокоскоростных спутниковых каналов связи: новые перспективы [Электронный ресурс] / Ю.Б. Зубарев, В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин, В.В. Строков // М. : Электросвязь, 2005. 10 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

15. Золотарёв В.В. Многопороговые декодеры для каналов с предельно высоким уровнем шума [Электронный ресурс] / В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин // М. : Телекоммуникации, 2005. 29 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

16. Зубарев Ю.Б. Достижение характеристик оптимального декодирования на основе многопороговых алгоритмов [Электронный ресурс] / Ю.Б. Зубарев, В.В. Золотарев // М. : Мир, 2007. 12 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

17. Гринченко Н.Н. Помехоустойчивое кодирование для цифровых систем связи [Электронный ресурс] / Н.Н. Гринченко, Г.В. Овечкин // Таганрог : ТРТУ, 2006. 5 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

18. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю.П. Акулиничев // СПб. : Издательство «Лань», 2010. 240 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

19. Самойленко С.И. Вычислительные сети [Электронный ресурс] / С.И. Самойленко, А.А Давыдов, В.В. Золотарев, Е.И. Третьякова // М. : Наука, 1981. 277 с. Загл. с экрана. Яз. рус.

20. Золотарёв В.В. Эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования для цифровых систем связи [Электронный ресурс] / В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин // М. : Электросвязь. 2003. 34 с. Загл. с экрана. Яз. рус.