

## **ВВЕДЕНИЕ**

Быстрый рост объемов обработки данных, развитие цифровых систем вещания и вычислительных сетей предъявляют весьма высокие требования к минимизации ошибок в используемой дискретной информации. Переход всех видов создания, хранения, использования и передачи данных, а также средств вещания на цифровые методы, происходящий сейчас во всём мире, ещё более повышает важность высококачественной передачи цифровых потоков. Успешная работа этих систем возможна только при наличии специальной эффективной аппаратуры, которая позволяет гарантировать достоверную передачу информации. Важнейший вклад в повышение достоверности обмена цифровыми данными вносит теория помехоустойчивого кодирования. На её основе разрабатываются все новые методы защиты от ошибок, базирующиеся на использовании корректирующих кодов.

Повышение достоверности при обнаружении ошибок в системах с переспросом не представляет существенных трудностей. Если же приёмник не имеет возможности организовать переспрос ошибочно принятых сообщений, проблема высококачественного декодирования становится весьма актуальной и чрезвычайно сложной, особенно при значительном уровне шума в канале.

Возможность использования тех или иных алгоритмов коррекции ошибок в системах без обратной связи, где нельзя организовать переспрос, определяется весьма жесткими требованиями, предъявляемыми к этим алгоритмам, например, по числу операций в случае их программной реализации или по размерам, помехоустойчивости, быстродействию, энергопотреблению и технологичности при проектировании специализированных БИС. Большое число регулярно издающихся монографий, посвященных различным аспектам теории помехоустойчивого кодирования, и десятки международных конференций по этой тематике, организуемых каждый год во всём мире, свидетельствуют об огромной сложности и чрезвычайно актуальности проблемы эффективного декодирования.

Данная книга посвящена систематическому изложению методов коррекции ошибок в цифровых данных на базе итеративных мажоритарных методов декодирования, к которым последнее время вновь привлечено внимание специалистов в области систем связи после некоторого периода развития в основном оптимальных декодеров, реализующих алгоритм Витерби, турбо кодов и других схем коррекции ошибок.

Обращение автора к мажоритарным методам декодирования обусловлено в значительной мере тем, что, хотя вся теория кодирования развивается под лозунгами повышения эффективности декодеров при минимальной сложности, реальное положение дел в этой области улучшается в основном за счёт только усложнения алгоритмов декодирования и кодовых конструкций. Поэтому именно методы, изложенные в данной книге можно

отнести к тем алгоритмам, которые действительно являются наименее затратными в вычислительном аспекте.

Невозможно переоценить особую важность для техники связи мажоритарных алгоритмов, которые позволяют исправлять большое число ошибок веса, существенно превышающего половину кодового расстояния используемых кодов. Мажоритарные декодеры рассматривались ранее как в классических монографиях Л.М. Финка, Л.Ф. Бородина, Дж. Месси и В.Д. Колесника и Е.Т. Мирончикова, так и в книгах, изданных позднее. Затем, как известно, последовал период, в течение которого мажоритарные методы были надолго забыты и мало анализировались. Еще более существенным достоинством порогового декодирования оказалась возможность эффективного многократного улучшения решений этого декодера, которая была доказана, в частности, в коллективной монографии «Вычислительные сети», Наука, 1981г., на примере систематических свёрточных кодов. Этот алгоритм, названный многопороговым декодированием (МПД), описан также в ряде других монографий.

Данная книга посвящена изложению результатов обобщающих исследований многопороговых декодеров для двоичных и недвоичных кодов, используемых для передачи сообщений по каналам с ошибками и стираниями. Особое внимание уделяется решению проблемы минимизации объёма вычислений при сохранении максимально высокой энергетической эффективности кодирования и небольшой сложности декодирования.

Теоретическое и экспериментальное исследование, изложенное в данной книге, преследовало две цели:

- 1) теоретическое обоснование метода многопорогового декодирования линейных кодов, сопоставимого по эффективности с лучшими известными алгоритмами;

- 2) анализ специальных методов кодирования с использованием МПД, не уступающих по эффективности лучшим каскадным схемам.

Структурно монография состоит из шести глав.

В первой главе введены основные понятия и определения, используемые в последующих разделах.

Во второй главе сформулированы основные принципы многопорогового декодирования для двоичных симметричных каналов, доказано стремление решений декодеров этого типа к решению оптимального переборного метода коррекции ошибок. Затем этот принцип роста правдоподобия решения МПД обобщается на двоичные гауссовские каналы при использовании «мягких» модемов, недвоичные и несистематические коды и на каналы со стираниями. Рассмотрена и возможность его использования для декодеров, работающих совместно с системами многопозиционных сигналов. Предложены также методы сжатия данных на базе МПД.

В третьей главе рассмотрены причины возникновения эффекта размножения ошибок при пороговом декодировании блоковых и свёрточных двоичных и недвоичных кодов. Результаты анализа размножения ошибок

позволили построить множество кодов, которые наиболее эффективны при использовании в МПД для различных типов каналов связи.

В четвёртой главе выводятся нижние, верхние и приближенные аналитические оценки эффективности процедур многопорогового декодирования для различных кодов.

Пятая глава посвящена изучению экспериментальных результатов исследования МПД, полученных при компьютерном моделировании и при измерениях на специализированных стендах характеристик работы декодеров различного типа для каналов с аддитивным белым гауссовским шумом и в других трактах передачи данных.

В шестой главе обсуждаются вопросы использования МПД в перспективных схемах каскадного, параллельного и других специальных методов кодирования.

В заключении сформулированы обобщающие выводы по проведенному исследованию и предложены направления дальнейшего развития тематики МПД.

Предполагается, что читатели знакомы с основами теории кодирования и методов вычислений в конечных полях. Никаких излишне сложных соотношений, свойств и результатов из теории конечных полей в предлагаемой читателям книге использоваться не будет. Это позволит сосредоточить основные усилия при чтении именно на понимании свойств и возможностей изучаемых многопороговых алгоритмов, что поможет заинтересованным читателям хорошо сориентироваться в современной проблематике построения систем помехоустойчивого кодирования и с максимальной степенью уверенности выбирать пути дальнейшего повышения эффективности таких систем.

Дополнительные информационные, научные и учебно-методические материалы по МПД алгоритмам можно найти на постоянно обновляемом специализированном двуязычном веб-сайте ИКИ РАН по адресу: [www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru).

Возможно, что первая обобщающая монография по многопороговым алгоритмам, в которой используются простые, но иногда весьма нетрадиционные для теории кодирования методы, вызовет у специалистов определённые вопросы и окажется не лишённой некоторых недостатков. Все предложения и замечания автор просит присылать по адресу: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН, В.В. Золотарёву, а также по электронной почте: [zolotasd@yandex.ru](mailto:zolotasd@yandex.ru).