

## ОТ АВТОРА

Выход в свет в 1963 г. книги Дж. Л. Месси «Пороговое декодирование» ознаменовал новый этап в развитии техники помехоустойчивого кодирования. Ясное описание очень простых методов со вполне удовлетворительными характеристиками определило в те годы их место в различных реальных системах связи.

Последующее появление в 1967 г. алгоритма Витерби вывело технику кодирования на принципиально новый уровень качества связи, поскольку предложенный алгоритм обеспечивал в гауссовском канале оптимальное декодирование кодов небольшой длины. В те годы большое число специалистов по теории и технике кодирования обратилось к проблеме повышения именно эффективности кодирования, поскольку всем тогда казалось, что быстрый рост возможностей цифровых технологий позволит очень просто строить каскадные и другие всё более сложные схемы кодирования. В связи с этим обстоятельством проблема сохранения простоты реализации декодеров на длительное время осталась как бы в тени, хотя формально требование простого декодирования никогда не снималось с повестки дня.

Несмотря на то, что публикации по вопросам эффективности пороговых алгоритмов в 70-х гг. продолжали появляться, сформировавшееся мнение большинства специалистов о возможностях мажоритарных схем декодирования стало весьма консервативным. Для этого были все основания. Наиболее серьёзным аргументом считалось наличие эффекта размножения ошибок. Он изначально значительно снижал и без того невысокую эффективность пороговых процедур, поскольку приводил к сильному пакетированию ошибок на выходе декодера. К сожалению, сколько-нибудь результативных методов уменьшения этого эффекта так и не было найдено. Поиск специальных кодов для мажоритарных процедур также не принес более значимых результатов, чем те, которые были уже известны.

До некоторой степени полезные для практики порогового декодирования реальные результаты в те же 70-е гг. были получены многими специалистами в экспериментах по повторному декодированию символов, в частности, в свёрточных кодах. Они показали наличие небольшого дополнительного снижения итоговой вероятности ошибки декодирования в каналах с относительно малым уровнем шума. Но все эти сообщения никак не повлияли на справедливое в целом мнение о недостаточной эффективности пороговых декодеров, особенно при большом уровне шума.

В предлагаемой читателям книге изложены результаты тридцатипятилетних исследований процедур мажоритарного типа, из которых следует, что при выполнении некоторых достаточно простых условий и определённой модификации декодеров порогового типа возможно вполне успешное декодирование многих кодов в широком диапазоне параметров шума канала. Результаты применения таких усовершенствованных мажоритарных алгоритмов, названных многопороговыми декодерами (МПД), оказываются во многих случаях практически близкими к оптимальным, т.е. мало отличающимися по выходной вероятности ошибки от характеристик переборных алгоритмов. Это было показано автором в различных публикациях как теоретически, так и при моделировании работы соответствующих процедур для специальных кодов, удовлетворяющих ряду весьма строгих требований.

Декодеры, построенные в соответствии с изложенными ниже принципами, уже успешно внедрены в многочисленных системах связи. Во всех случаях программной и аппаратной реализации предлагаемых далее методов многопорогового декодирования были получены ожидаемые автором и разработчиками систем связи характеристики, которые были иногда совершенно недоступны для других известных алгоритмов коррекции ошибок с разумной сложностью реализации.

Основные положения, которые фактически и позволили поднять эффективность исключительно простых алгоритмов порогового типа до уровня оптимальных процедур,

состоят всего из двух пунктов, обеспечивших решение задачи принципиального повышения качества декодеров мажоритарного типа.

1. Эффект размножения ошибок при пороговом декодировании действительно очень сильно ограничивает возможности пороговых декодеров. Но этот эффект вполне управляемый. Его правильная интерпретация помогает сформировать требования и критерии, по которым можно строить коды с очень малым уровнем размножения ошибок на выходе соответствующего им декодера, что и позволяет, в конечном счёте, существенно повысить эффективность итеративных процедур порогового типа.

2. Мажоритарные алгоритмы могут быть чрезвычайно эффективными. Существуют весьма простые МПД, которые обладают свойством стремления к оптимальному решению на всех шагах декодирования до тех пор, пока продолжается процесс изменения символов на пороговых элементах декодера.

Первое из приведённых выше утверждений заслуживает длительного обсуждения и серьёзного обоснования, что и сделано в гл. 3. Успешное решение этой сложной проблемы позволило построить коды, которые особенно эффективны при их применении в МПД.

Более необычно второе свойство МПД, алгоритма, очень близкого внешне к классическому декодеру Мессе, но обладающего воистину уникальным свойством стремления к оптимальному переборному решению, если выполнены весьма простые условия. Представляется правдоподобным, что никакие другие известные в настоящее время методы коррекции ошибок не обладают подобными свойствами.

Автор надеется, что читатели этой книги на многие естественные вопросы по проблеме сложности, эффективности и технологичности кодирования и многопорогового декодирования получат в той или иной степени содержательные ответы. В случае заинтересованности они, несомненно, смогут сами продолжить весьма перспективные для всех систем связи исследования МПД процедур, которые уже нашли свое место в целом ряде разработок.

Как будет показано далее, проблема сложности декодирования вовсе не девальвируется с появлением процедур класса МПД. На самом деле при разработке новых алгоритмов и соответствующих им кодов проблемой становится максимально аккуратное и оптимизированное по очень многим критериям одновременное проектирование декодера и применяемого в нём кода. Иначе говоря, простота реализации МПД достигается за счёт более сложного и тщательно организованного этапа проектирования кода и алгоритма его декодирования. В этом случае проблема сложности реализации алгоритма целенаправленно трансформируется таким образом, чтобы технологические задачи построения более эффективного декодера решались именно за счёт тех компонентов, увеличение сложности которых наиболее доступно. Например, в абсолютном большинстве случаев минимизации вычислительных затрат МПД объём его операций декодирования при сопоставимой эффективности оказывается почти на два десятичных порядка меньшим, чем для других алгоритмов за счёт значительного объёма памяти декодера, использующего весьма длинные коды, что вполне допустимо, а иногда даже необходимо в высокоскоростных системах связи. Множество других важных обменных соотношений между параметрами кодов и декодеров также будет обсуждаться ниже.

Завершая вводные комментарии, автор выражает свою глубокую уверенность, что первое достаточно полное изложение теории МПД, конечно, не лишённое в связи с этим определённых недостатков, позволит читателям найти собственные новые пути дальнейшего роста эффективности декодирования с использованием также и процедур класса МПД. Их универсальность, высокая однородность и крайняя простота обеспечивают существенный рост достоверности передачи данных в каналах с малым уровнем энергии при минимальных затратах на реализацию кодирования.

Внимательный читатель, возможно, отметит, что многие свойства и возможности представленного в книге алгоритма неоднократно рассматриваются и комментируются в различных разделах книги с разных позиций. Автор должен признать, что это действительно

так и сделано с единственной целью наиболее полного, всестороннего и в то же время максимально понятного доказательства или объяснения свойств и возможностей многопороговых декодеров. Такой способ изложения материала диктуется тем, что, хотя все ключевые результаты получены достаточно простыми методами, многие из них всё же не использовались ранее в публикациях по теории и технике кодирования и являются для этой отрасли науки новыми. Это требует очень аккуратного и постепенного предъявления во многих случаях весьма непростых и иногда даже неожиданных результатов, свойств и характеристик алгоритмов. Разнообразные комментарии и формы изложения материала как раз и облегчают читателю задачу понимания представленных в книге результатов, для усвоения которых иногда требуются немалые усилия и время.

В качестве последнего замечания автор считает полезным подчеркнуть, что все исходные предпосылки исследования, теоретические результаты, вытекающие из них практические следствия и выводы по результатам представленного исследования чрезвычайно просты. Они связаны только с самыми общепринятыми понятиями теории и техники кодирования и не требуют знаний специальных разделов других смежных дисциплин. Именно эта возможность взглянуть на потенциальные возможности кодов и многопороговых процедур, исходя только из самых простейших теоретических соображений и здравого смысла, создает условия для очень быстрого обучения студентов и специалистов новым возможностям техники кодирования на основе МПД алгоритмов. В свою очередь, правильное понимание возможностей алгоритмов этого типа позволит в дальнейшем в точных и ясных терминах ставить и успешно решать новые задачи по созданию всё более быстродействующих, дешевых и максимально простых МПД декодеров для различных систем связи.

Автор считает своим приятнейшим долгом поблагодарить воистину огромное количество своих помощников, энтузиастов и просто высокопрофессиональных специалистов, которые в течение 35 лет помогли ему в проведении исследований и применении полученных результатов в конкретных системах и проектах.

Большую поддержку работам по МПД алгоритмам оказывали Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, НИИ «КВАНТ», НИИРадио, Воронежский НИИСвязи, ЛЭИС им. М.А. Бонч-Бруевича, ИКИ РАН и Рязанский ГРТУ.

Наверное, исследования МПД не могли бы быть представлены в своём нынешнем виде, если бы не постоянное внимание к ним академика РАН В.К. Левина, члена-корреспондента РАН Ю.Б. Зубарева, профессоров Э.М. Габидулина, С.И. Самойленко, Ю.Г. Дадаева и В.И. Коржика, которые в своё время высоко оценили представленные материалы исследований по этому алгоритму и способствовали их признанию научно-технической общественностью.

Особенную тёплую признательность автор выражает своему молодому коллеге кандидату технических наук, доценту Г.В. Овечкину, который взял на себя основные заботы по организации публикации этой книги и выполнил практически все редакторские и прочие непростые обязанности, которыми сопровождается выход в свет подобных монографий.

\* \* \* \* \*

Для получения наглядного представления об эффективности работы МПД читателям предлагается небольшой демонстрационный мультфильм-программа, предназначенный для работы на IBM PC-совместимом компьютере под управлением операционных систем MS-DOS или Windows. В нём проиллюстрированы некоторые важнейшие особенности процедур декодирования многопорогового типа при исправлении ошибок в условиях большого уровня шума канала. Возможно, что именно небольшая предварительная подготовка психологического плана с помощью предлагаемой демопрограммы создаст необходимые эмоциональные и гносеологические предпосылки для последующей плодотворной работы с этой книгой. Инструкцию по работе с демонстрационной программой и сам мультфильм можно переписать со специализированного веб-сайта ИКИ РАН [www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru) на

От автора

странице описания методов МПД. Там же можно найти самую разнообразную оперативную информацию по МПД алгоритмам.

Кроме того, на нашем сайте в разделах ответов на вопросы освещён целый ряд проблем, относящихся к общим постановкам задач кодирования и конкретным возможностям МПД алгоритмов.

Значительную поддержку в изучении методов декодирования на основе МПД алгоритмов могут оказать также три очень полезные лабораторные работы. Их можно переписать с образовательной странички нашего веб-сайта и предложить студентам радиотехнических кафедр ВУЗов и слушателям системы профессиональной переподготовки специалистов в области телекоммуникаций.

Дополнительные сведения по многопороговым декодерам и другим полезным методам коррекции ошибок можно найти в нашем справочнике «Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы», который был выпущен в издательстве «Горячая линия – Телеком» в 2004 году.

В.В. Золотарёв