

## **Вопрос №29**

Как можно считать, что вы решили главную проблему Шеннона, если, например, при использовании данных вашей новой монографии «Теория кодирования как задача поиска глобального экстремума» получается, что МПД в гауссовском канале при кодовой скорости  $R=1/2$  требует на 1 дБ большего уровня энергетике, чем это необходимо при достижении пропускной способности?

## **Ответ 29**

Вы правильно назвали достигнутые алгоритмом МПД параметры. Подчеркнем, что характеристики упомянутого выше кода и его декодера таковы, что его можно легко реализовать и программно, а аппаратная версия алгоритма имеет практически неограниченное быстродействие, кратное скорости используемого числа регистров сдвига в МПД. В аппаратном декодере обсуждаемого типа можно использовать до трёх патентов нашей научной школы, благодаря которым он и может обладать указанными и ещё некоторыми другими полезными свойствами.

Но при всём этом давайте вспомним, что, например, физики хорошо знают о том, что материальные тела не могут достичь скорости света. Так вот граница Шеннона, т.е. пропускная способность канала со случайными ошибками тоже обладает именно этими свойствами. Это хорошо известно и многократно обсуждается с разных сторон в наших книгах по МПД и ОТ, в том числе и в новой монографии. Можно образно сказать, что граница Шеннона обладает свойством абсолютной упругости, т.е. при любой достаточно малой заданной вероятности ошибки декодера всё большее приближение к этой границе требует воистину чрезвычайного роста и вычислительных усилий.

Отметив это, обратимся снова к тому, что же реально может обсуждаемый декодер МПД. Отличие энергетике МПД от границы Шеннона на 1 дБ означает, что необходимая мощность передатчика канала связи, превышает уровень этой границы на 26%, т.е. на четверть от этого абсолютно недостижимого предела, называемого пропускной способностью канала. Вообразите теперь типичного главного конструктора какой-либо реальной сети, который поставит себе задачу отличия энергетике какого-либо декодера от пропускной способности не на 1 дБ, а на 0,5 дБ, т.е. на 12%. Оценить усложнение декодера, необходимое для получения столь небольшой разницы с недостижимым пределом, весьма трудно. Но можно предположить, что сложность декодера по числу операций и по величине задержки составит 20-50 раз. Заметим при этом, что уже сейчас до уровня в 1 дБ, который даёт МПД, не может «дотянуться» ни один другой известный алгоритм с разумной всё же при этом сложностью. А для символьных кодов и кодов, восстанавливающих стирания, трудности реализации любых прочих алгоритмов по числу операций МПД достигает величины от 100 до 1000 раз и более по сложности, причём вероятности ошибки канала, при которых

быстро и успешно работают символьные МПД, в разы (!) больше, чем других методов. И поскольку символьные МПД на порядки проще других, то среди недвоичных кодов в конкуренцию с символьными кодами и МПД вступать никто не может. Это всё также представлено в нашей монографии.

А возвращаясь к двоичным гауссовским каналам, становится совершенно однозначно ясно, что создатели реальных систем связи никогда не согласятся увеличивать более чем на порядок сложность аппаратуры декодирования и её задержки принятия решений, чтобы на величину ~14% улучшить энергетику канала, что как раз примерно соответствует нестабильности параметров аналоговых блоков каналов связи, их шумовых характеристик, коэффициента усиления приёмных блоков и т.д. Т.е. в технике декодирования мы уже вышли на уровень нестабильности характеристик приёмника и более уже вообще никак не улучшим качество цифрового потока на выходе декодера. Технических причин улучшения параметров используемого алгоритма коррекции ошибок больше уже нет! Всё необходимое для повышения эффективности использования дорогих спутниковых и иных цифровых каналов сделано!

Можно ещё вспомнить также, что более 15 лет назад, получив все очень успешные результаты по нашим различным алгоритмам, мы всё же не стали тогда объявлять, что мы уже решили проблему Шеннона, так как по причине слабости вычислительной техники и всё ещё неполной проработки проблем размножения ошибок в гауссовских каналах в то время расстояние наших алгоритмов до пропускной способности было около 2 дБ. Так вот 2 дБ - это очень много, потому что это шкала логарифмическая! Оказалось, что мы сделали это абсолютно правильно, не поддавшись в те годы вполне понятным соблазнам заявления такого вот «лидерства». А нынешняя ситуация такова, что мы проработали двоичные алгоритмы для МПД на гораздо более высоком уровне, обогнали теперь уже вообще все прочие алгоритмы, оставшись вполне реализуемыми, и достигли области уже чрезвычайно высокой «упругости» в непосредственной окрестности пропускной способности каналов связи. Тут уже никакой конкуренции с какими-либо прочими алгоритмами не наблюдается совсем, а технических потребностей вычисления нескольких процентов ёмкости канала при его проектировании, как мы только что показали, уже тоже нет. А это и значит, что проблема Шеннона решена абсолютно для всех реальных цифровых каналов любых типов, других конкурентов у ОТ нет, а расстояние рабочей энергии алгоритмов МПД до пропускной способности действительно очень мало и просто даже несопоставимо с какими-либо другими алгоритмами с разумной сложностью реализации.

Кстати, введённый в нашей новой обсуждаемой здесь монографии коэффициент совершенства (от) Золотарёва (КСЗ), т.е. предложенный автором критерий, характеризующий качество алгоритма, работающего вблизи границы Шеннона, оценивает обсуждаемый алгоритм величиной КСЗ~43, тогда как классический алгоритм Витерби для кода с  $K=7$  имеет КСЗ~5, что подчёркивает качество нашего МПД и, одновременно,

содержательность, адекватность нашего критерия, растущего с приближением к пропускной способности и увеличением уровня достоверности декодирования.

Ну, и наконец, полностью согласимся с вами в том, что к пропускной способности следует и в дальнейшем обязательно двигаться из соображений научного поиска в области достижения глобальных экстремумов в предельно сложных условиях передачи цифровых потоков. Пока именно ОТ абсолютно лидирует в этой сфере теории информации. Мы полагаем, что наше лидерство и в решении этой фундаментальной проблемы теории информации будет достаточно продуктивным.