

Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин

*Рязанская государственная радиотехническая академия***ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАСКАДНОЙ СХЕМЫ КОДИРОВАНИЯ НА БАЗЕ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА И КОДОВ ХЭММИНГА**

Рассмотрена каскадная схема кодирования, состоящая из самоортогонального кода, декодируемого с помощью многопорогового декодера, и кода Хэмминга. Представлены результаты компьютерного моделирования данной схемы.

При проектировании современных систем телекоммуникаций одной из важнейших является задача обеспечения высокой достоверности передачи данных. К наиболее эффективным методам решения данной задачи следует отнести применение корректирующих кодов, в разработке которых теория помехоустойчивого кодирования в последние десятилетия имеет очень значительные успехи. Применение помехоустойчивого кодирования в цифровых системах передачи данных также позволяет получить энергетический выигрыш кодирования (ЭВК), каждый децибел которого по оценкам западных специалистов более 20 лет назад оценивался в миллионы долларов, поскольку его можно использовать для уменьшения мощности передатчика, повышения скорости передачи данных, уменьшения размеров очень дорогих антенн, повышения дальности связи, экономии полосы пропускания и улучшения многих других важных свойств систем передачи данных.

На сегодняшний день теории кодирования известно несколько методов кодирования/декодирования [1..4], позволяющих работать вблизи пропускной способности канала. Среди них можно выделить многопороговые декодеры (МПД) [3, 4], поскольку они позволяют почти оптимально декодировать даже очень длинные самоортогональные коды (СОК) с линейной сложностью практической реализации от длины кода.

На рис. 1 представлены зависимости вероятности ошибки декодирования МПД для СОК с кодовой скоростью $1/2$ и кодовым расстоянием 7, 9, 11, 13 и 15, выбранных в соответствии с критерием минимизации эффекта размножения ошибок (РО). При получении данных зависимостей использовалось около 15 итераций декодирования. Для сравнения на рисунке пунктирными линиями представлены зависимости вероятности ошибки при оптимальном декодировании данных кодов. Как следует из данного рисунка, применение МПД для декодирования кодов с малым РО обеспечивает почти оптимальное декодирование, что позволяет получить ЭВК более 7 дБ при $P_b=10^{-5}$. Заметим, что такие результаты недостижимы при использовании практически реализуемого оптимального алгоритма Витерби из-за экспоненциально растущей при увеличении конструктивной длины кода сложности его декодирования.

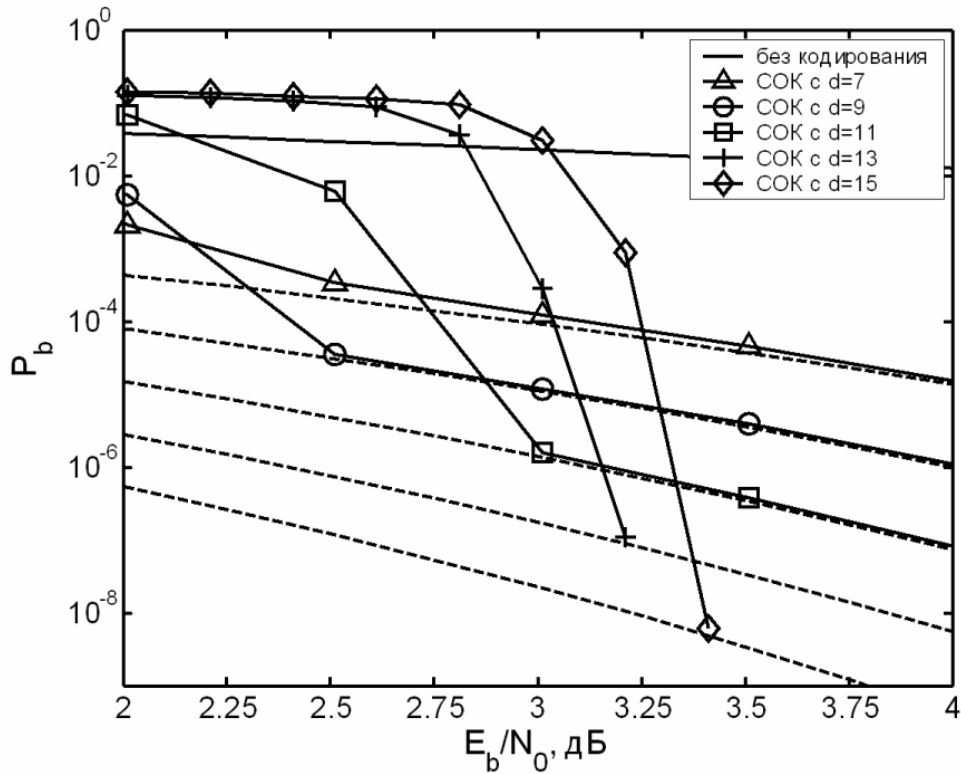


Рис. 1 Характеристики МПД в гауссовском канале

Из дальнейшего анализа представленных зависимостей видно, что при увеличении кодового расстояния используемых СОК в пределах можно получить большую эффективность, но при этом область, в которой МПД начинает оптимально их декодировать сдвигается в сторону меньших шумов. Данное свойство существенно затрудняет уменьшение вероятности ошибки декодирования при большом шуме в канале связи.

Для решения рассмотренной проблемы можно применить несколько подходов, основанных на использовании МПД в составе различных каскадных схем кодирования. Как показано в [5] добавление к СОК, декодируемому с помощью МПД, внешнего кода с контролем четности позволяет уменьшить вероятность ошибки декодирования в 10–100 раз. Также можно использовать МПД в схемах с параллельным кодированием [6], которые позволяют приблизить область его эффективной работы к пропускной способности канала примерно на 0,5 дБ.

В данной статье представим результаты исследования еще одной каскадной схемы кодирования, позволяющей существенно уменьшить вероятность ошибки декодирования. Предлагаемая схема состоит из внешнего кода Хэмминга (здесь и далее предполагается использование расширенного кода Хэмминга) достаточно большой длины (64, 128 или 256) и внутреннего сверточного или блочного СОК. При этом код Хэмминга декодируется с помощью декодера Чейза, учитывающего информацию о на-

дежности кодовых символов, а СОК – с помощью МПД. Отметим, что при декодировании данной схемы используется итеративный принцип, при котором многократно выполняется декодирование составляющих кодов.

На рис. 2 показаны характеристики данного каскадного кода при использовании тех же СОК с кодовым расстоянием 7 и 9, что и на рис. 1 и кодов Хэмминга длины 64, 128 и 256. Из представленных зависимостей следует, что использование совместно с СОК кода Хэмминга позволяет на два или даже три порядка уменьшить вероятность ошибки декодирования по сравнению с базовым некаскадным МПД. Сравнивая каскадные схемы с кодами Хэмминга различной длины можно заметить, что при большом отношении сигнал-шум лучшей помехоустойчивостью обладают коды с кодами Хэмминга небольшой длины. Это объясняется тем, что корректирующая способность кодов Хэмминга с ростом его длины уменьшается [4], а соответственно уменьшается корректирующая способность всей каскадной схемы. При малом отношении сигнал-шум эффективность кодов Хэмминга с различной длиной примерно одинакова. А так как кодовая скорость кодов Хэмминга с ростом длины кода увеличивается, то при таком отношении сигнал-шум в результате меньших потерь в энергетике коды с большей длиной оказываются лучше.

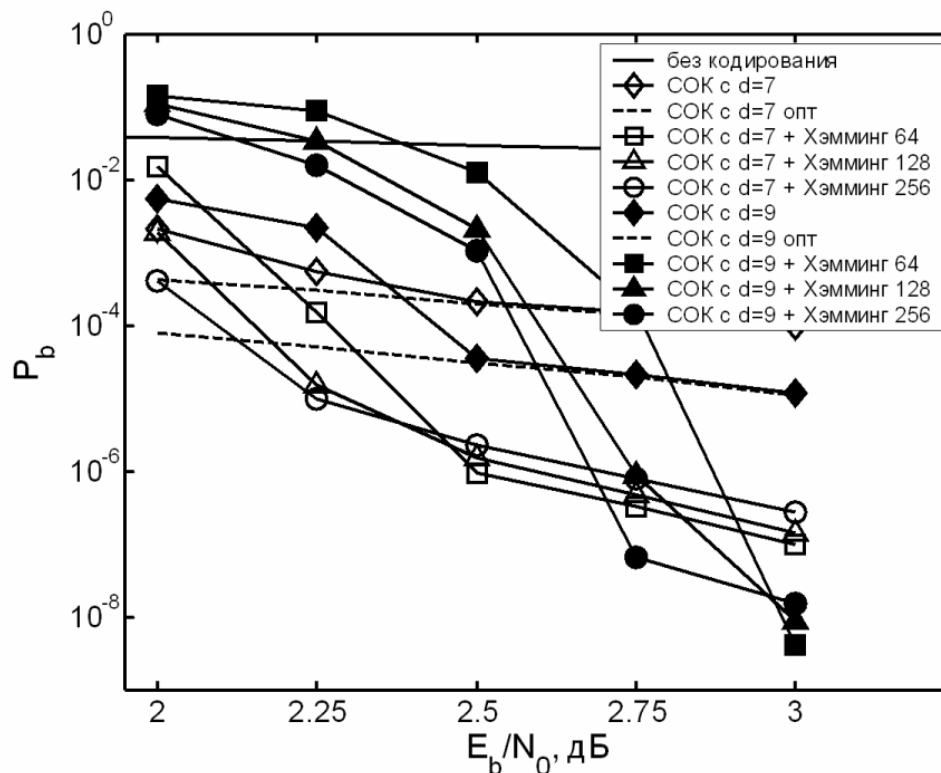


Рис. 2 Характеристики каскадной схемы, состоящей из СОК с кодовой

Более подробную информацию о многопороговом алгоритме декодирования можно найти на веб-сайте [7].

Библиографический список

1. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. “Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes,” // Proceeding of ICC’93, Geneva, Switzerland, May 1993. pp. 1064-1070.
2. Jin H., Khandekar A., McEliece R. “Irregular repeat-accumulate codes,” Proc. 2nd Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics, Brest, France, Sept. 2000. pp. 1–8,
3. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования для цифровых систем связи // Электросвязь. 2003. № 9. С. 34–37.
4. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 126 с.
5. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Использование многопорогового декодера в каскадных схемах // Вестник РГРТА. Рязань 2003. Вып. 11. С. 112–115.
6. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Применение многопорогового декодера в схемах с параллельным кодированием // труды 59 науч. сессии, посв. Дню радио. М.: 2004. Том. 2. С. 121–123.
7. Веб-сайт: www.mtdbest.iki.rssi.ru