

Применение многопороговых декодеров в системах адаптивного кодирования

Демидов Д. С.

*Демидов Дмитрий Сергеевич / Demidov Dmitry Sergeevich – аспирант,
кафедра вычислительной и прикладной математики, факультет вычислительной техники,
Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань*

Аннотация: в статье предлагается метод применения многопорогового декодера в системах адаптивного кодирования. Предложен алгоритм адаптации многопорогового декодера к внешним условиям, которые влияют на уровень шума в канале передачи данных.

Ключевые слова: многопороговый декодер, адаптивное кодирование, отношение сигнал-шум.

В настоящее время в различных областях передачи цифровой информации активно используются алгоритмы помехоустойчивого кодирования. Данный факт является неудивительным, если оценить потенциальный выигрыш. Одним из алгоритмов помехоустойчивого кодирования, который совмещает в себе невысокую вычислительную сложность и достаточную исправляющую эффективность, является многопороговый декодер (МПД) самоортогональных кодов (СОК).

МПД является развитием простейшего порогового декодера Мессе [1]. МПД дает возможность производить декодирование длинных кодов с линейной сложностью. В то же время, МПД обеспечивает высокое качество декодирования, которое заключается в приближении к эффективности оптимального декодера. Подобная эффективность МПД может быть обеспечена при различных значениях кодовых скоростей и уровней шума в канале передачи данных. Также нельзя не отметить тот факт, что при столь высоких показателях эффективности, МПД прост в реализации и предоставляет высокое быстродействие. МПД подробно описаны в [2].

В современных системах передачи данных, для повышения эффективности их функционирования можно применять так называемое адаптивное кодирование. Основной целью адаптивного кодирования является обеспечение требуемой достоверности передачи данных при минимальной избыточности помехоустойчивого кода. Благодаря чему такое кодирование позволяет увеличить скорость передачи данных за счет адаптации используемого кодера к состоянию канала связи. Обычно данная адаптация заключается в том, что приемник оценивает уровень шума в канале связи и на основании этой оценки выбирает из заданного множества код, который обладает максимальной кодовой скоростью и обеспечивает заданную достоверность. Отметим, что при этом желательно, чтобы процесс смены кода приводил к минимальным изменениям в составе системы передачи данных. В настоящее время адаптивное кодирование набирает все большую и большую популярность [3].

Предложим вариант организации адаптивного кодирования с применением СОК и МПД.

Отметим, что структура кодера СОК имеет по несколько информационных и проверочных ветвей, и его МПД дает возможность управлять долей вводимой избыточности путем простого подключения или отключения некоторых проверочных ветвей. Например, если имеется СОК с кодовой скоростью 8/16, то из него можно получить код с кодовой скоростью 8/15, отключив одну из проверочных ветвей. Аналогично можно получить коды с кодовой скоростью 8/14, 8/13, 8/12, 8/11, 8/10 и 8/9. Преимуществом такого подхода является то, что для декодирования всех этих кодов можно использовать один и тот же многопороговый декодер полного кода с кодовой скоростью 4/12 просто подавая на «отключенные» проверочные ветви нулевые последовательности.

Пусть имеется система передачи информации, в которой применяется модуляция типа QPSK, демодулятор формирует мягкие решения относительно принятых битов и используется канал с аддитивным белым гауссовским шумом. Также пусть в системе требуется обеспечить вероятность ошибки декодирования, меньшую 10^{-5} . Отметим, что перечисленные шаги при необходимости использования других целевых вероятностей ошибки будут такими же.

В процессе решения поставленной задачи был построен блочный СОК с кодовой скоростью 4/12 с $d=17$ (имеется по два отвода от каждой информационной ветви к каждой из проверочных) и длину порядка 100000 битов. Из него можно построить коды с кодовыми скоростями 4/10, 4/9, 4/8, 4/7, 4/6 и 4/5. Кодовые расстояния данных кодов равны 15, 13, 11, 9, 7, 5 и 3 соответственно. Характеристики МПД с не более чем 40 итерациями декодирования для перечисленных кодов (за исключением последнего), и полученные с помощью компьютерного моделирования оценки вероятности их оптимального декодирования даны на рисунке 1. Отметим, что в целом МПД для всех кодов начиная с некоторого уровня шума, зависящего от кода, обеспечивает близкое к оптимальному декодирование.

При организации адаптивного кодирования для каждого из кодов были выделены диапазоны отношений сигнал/шум, в которых этот код обеспечивает требуемые характеристики и обладает минимальной избыточностью, и, в результате, были определены границы использования каждого из кодов (таблица 1). Отметим, что код со скоростью 4/11 был исключен из рассмотрения из-за его слишком

малого рабочего диапазона отношений сигнал-шум.

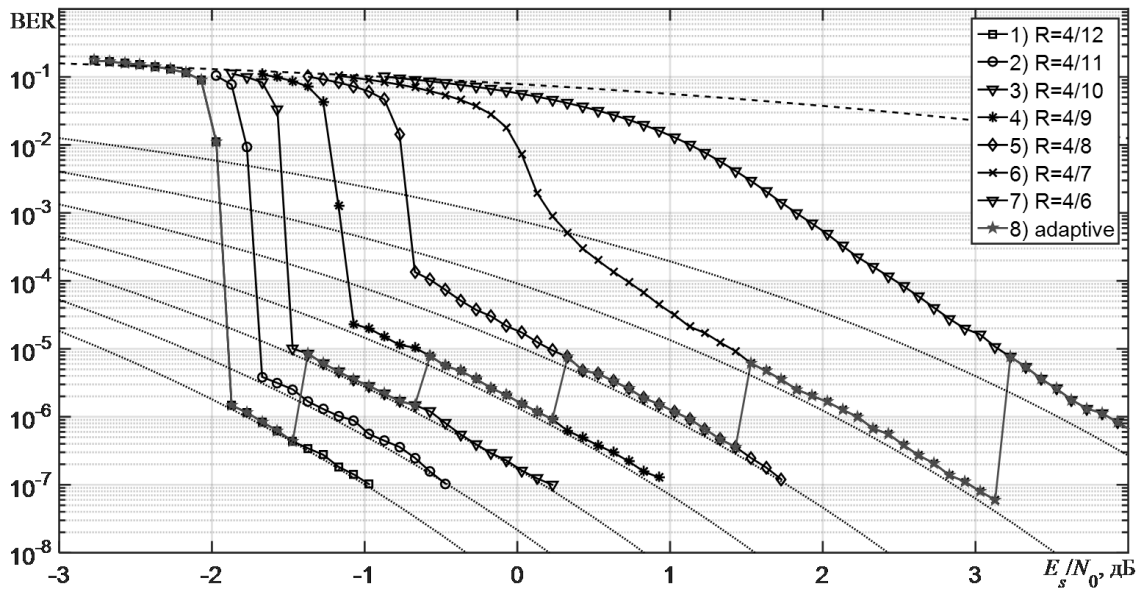


Рис. 1. Характеристики МПД для кодов с разной кодовой скоростью и характеристики адаптивного декодера

Таблица 1. Рабочие диапазоны отношений сигнал/шум для различных кодовых скоростей

Кодовая скорость	Минимальное E_s/N_0 , дБ	Максимальное E_s/N_0 , дБ
4/12	$-\infty$	-1,42
4/10	-1,42	-0,62
4/9	-0,62	0,28
4/8	0,28	1,48
4/7	1,48	3,18
4/6	3,18	$+\infty$

Итоговая кривая зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал-шум показана на рисунке 1 кривой «8) adaptive». Следует отметить, что получаемый выигрыш в скорости от применения предложенного адаптивного кодирования будет зависеть от состояния канала связи: чем лучше канал, тем больше получаемый выигрыш. Также отметим, что предложенный подход к построению схем адаптивного кодирования легко реализуется и при изменении исходных данных (тип модуляции и канала, целевая вероятность ошибки и т.п.)

МПД СОК обладают большим числом настраиваемых параметров, значения которых во многом определяются состоянием канала связи. Например, при большом шуме нужно использовать более мощный код с большим числом итераций декодирования, а при малом шуме можно использовать менее мощный код, с меньшим числом итераций декодирования. Это позволяет адаптировать кодер и декодер под состояние канала связи, например, как было предложено в предыдущем параграфе. Но для того чтобы выполнить такую адаптацию, нужно знать, какой уровень шума действует в канале связи. Подобную информацию кодер от других устройств получить в некоторых случаях не может. Поэтому актуальной является задача самостоятельного определения декодером уровня шума в канале связи по принятому потоку данных.

Из анализа принципов работы МПД следует, что в синдромном регистре перед выполнением первой операции декодирования хранится разность между проверочными символами, полученными на основе принятых из канала информационных символов, и принятых из канала проверочных символов. Тогда значение элемента синдрома равно нулю, если эти символы совпадают, и единице в противном случае. Очевидно, что доля единиц в синдроме зависит от уровня шума в канале связи, т.е. чем больше шум – тем больше единиц в синдроме и наоборот. Соответственно уровень шума можно оценить исходя из доли единиц в синдромном регистре.

Получим математические соотношения, связывающие долю единиц в синдроме и уровень шума. Пусть у нас есть СОК с кодовой скоростью $R = u/(u+v)$, в котором есть u информационных ветвей и v проверочных ветвей. Соответственно, на приемной стороне можно вычислить v синдромов (по 1 на каждую проверочную ветвь). Данные синдромы могут отличаться числом символов, участвующих в их формировании и, соответственно, в них будут разные вероятности появления единичек. Поэтому

вероятности единиц (или вероятности невыполнения проверки) в данных синдромах нужно считать отдельно.

Запишем выражение, связывающее вероятность невыполнения проверки в синдроме с уровнем шума. Это выражение определяет вероятность наличия нечетного числа ошибок во всех элементах, участвующих в формировании синдрома:

$$P_s = \sum_{i=0}^{\lfloor M/2 \rfloor} C_M^{2i+1} P_0^{2i+1} (1 - P_0)^{M-(2i+1)}, \quad (\text{Ошибка! Текст указанного стиля})$$

где M – размерность элемента синдрома, равная числу символов, участвующих в его формировании; P_0 – вероятность ошибки в гауссовском канале.

Отметим, что вероятность невыполнения проверки зависит от вероятности ошибки в канале. Следовательно, оценив P_s по принятому сообщению для каждой из ветвей синдрома, можно найти оценку вероятности ошибки в канале P_0 .

Также известно, что для гауссовского канала при использовании двоичной ФМ между вероятностью ошибки P_0 и отношением сигнал-шум SNR есть зависимость, определяемая выражением:

$$P_0 = Q(\sqrt{2SNR}),$$

где

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

интеграл ошибок.

Тогда, зная оценку для P_0 , можно оценить отношение сигнал-шум SNR в канале связи, на основании чего выбрать нужную конфигурацию МПД.

Предложенный метод позволяет легко изменять конфигурацию МПД СОК в зависимости от отношения сигнал-шум в канале, которое может быть определено на основании содержимого регистра синдрома МПД. Отличительной чертой использования адаптивного кодирования для МПД является отсутствие необходимости изменения кодера или декодера.

Литература

1. Месси Дж. Пороговое декодирование / Пер. с англ. Под ред. Э. Л. Блоха. М.: Мир, 1966. 208 с.
2. Золотарев В. В., Зубарев Ю. Б., Овечкин Г. В. Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 239 с.
3. Кульбида В. А. Система передачи дискретной информации с адаптивным помехоустойчивым кодированием // ОНВ, 2011. № 3 (103). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-peredachi-diskretnoy-informatsii-s-adaptivnym-pomehoustoychivym-kodirovaniem/> (дата обращения: 15.09.2016).