

О.А. ГОМЦЯН, Б.Ф. БАДАЛЯН

СЛОЖНЫЕ КОДИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

При проектировании современных телекоммуникационных систем одной из важнейших проблем является обеспечение высокой достоверности передачи информации. Наиболее эффективным методом решения данной задачи является применение корректирующих кодов и сложных кодирующих систем. Рассматриваются различные методы коррекции ошибок, сложные кодирующие системы и оцениваются характеристики этих систем.

Ключевые слова: каналы связи, помехоустойчивое кодирование, дельта-модуляция, сверточные коды, каскадные коды, перемежитель, турбокоды.

Простейшие алгебраические двоичные коды могут успешно применяться для передачи информации в компьютерных сетях связи, обеспечивая необходимую надежность. Это объясняется достаточно высоким качеством проводных и оптоволоконных каналов связи и возможностью переспроса передаваемой информации (понятно, что если мы соединили два компьютера кабелем и переписываем данные с одного диска на другой, то помехи здесь минимальные). Задача кодирования для таких каналов, в основном, сводится только к обнаружению независимых ошибок или пакетов ошибок.

Все многообразие современных коммуникационных линий связи не ограничивается только компьютерными сетями. В настоящее время происходит интенсивное развитие таких цифровых систем связи, как космическая, спутниковая, мобильная и др. Все эти системы используют для передачи беспроводные каналы, в которых на сигнал действуют помехи различной физической природы. Здесь уже переспросы данных не допустимы и корректирующая способность кода определяется только максимальным числом исправляемых ошибок. Предельная мощность передаваемого сигнала в таких каналах жестко ограничивается, что приводит к высокой вероятности возникновения как независимых ошибок, так и пакетов ошибок. Использование в подобных каналах простейших двоичных кодов, например кодов Хемминга, не имеет смысла. Необходимо искать новые методы решения проблемы обеспечения высокой достоверности передаваемой информации.

Ключевым этапом в развитии теории кодирования является появление каскадных кодов, в основе построения которых лежит идея использования нескольких ступеней кодирования [1].

Широкое применение в различных системах связи нашли каскадные схемы кодирования с внешними кодами Рида-Соломона и внутренними сверточными кодами. В таких системах даже при наличии пакетов ошибок весь каскадный код в подавляющем большинстве случаев декодируется правильно.

Нами создана компьютерная модель каскадной схемы, в которой в качестве внешней кодирующей системы служит кодек линейной дельта-

модуляции, а в качестве внутренней - кодер Рида-Соломона [2,3]. Эта каскадная система является достаточно простой с точки зрения как практической, так и программной реализации, поскольку для метода дельта-модуляции требуется только один бит, указывающий на направление изменения амплитуды. Кроме того, коды Рида-Соломона широко используются в технике связи и для их декодирования уже существуют достаточно простые алгоритмы [4]. В схеме использованы также сверточные и спиральные перемежители, которые предназначены для разбиения пакетов ошибок, в результате чего достигается высокая достоверность передаваемой информации.

На рис. 1 представлены зависимости вероятности появления ошибочных битов BER на выходе декодера от уровня шума канала E_b/N_0 для некоторых методов коррекции ошибок. Данные зависимости получены с помощью инструментальных средств Communication Toolboxes и Communication Blocksets компьютерной программы MATLAB 7.5 для случая работы в канале с аддитивным белым гауссовским шумом.

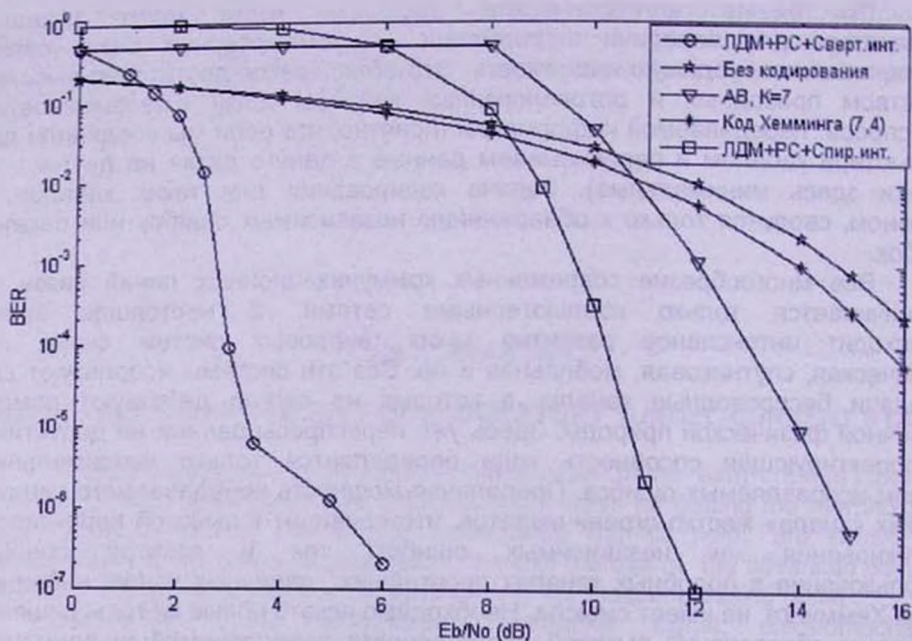


Рис. 1. Оценка эффективности различных методов коррекции ошибок

На рисунке кривая «АВ, K=7» отражает эффективность применения классического алгоритма Витерби (АВ) для декодирования сверточных кодов с длиной кодового ограничения K=7 [5]. Данный метод является оптимальным, однако его сложность растет экспоненциально с ростом длины K, и поэтому на практике декодеры с K>9 не применяются. Поскольку при использовании кодов с $K \leq 9$ эффективность АВ оказывается невысокой, возникает

необходимость поиска более простых с точки зрения практической реализации декодеров.

Дальнейшим развитием каскадных кодов стали турбокоды, образующиеся путем каскадирования двух или более составляющих кодов. Первые турбокоды, предложенные Бери и соавторами в [6], состояли из двух параллельно соединенных через перемежитель сверточных кодов.

На рис. 2 представлены характеристики последовательного турбокода с конструктивной длиной составляющих сверточных кодов $K=3$, псевдослучайным перемежителем и шестью итерациями декодирования [7].

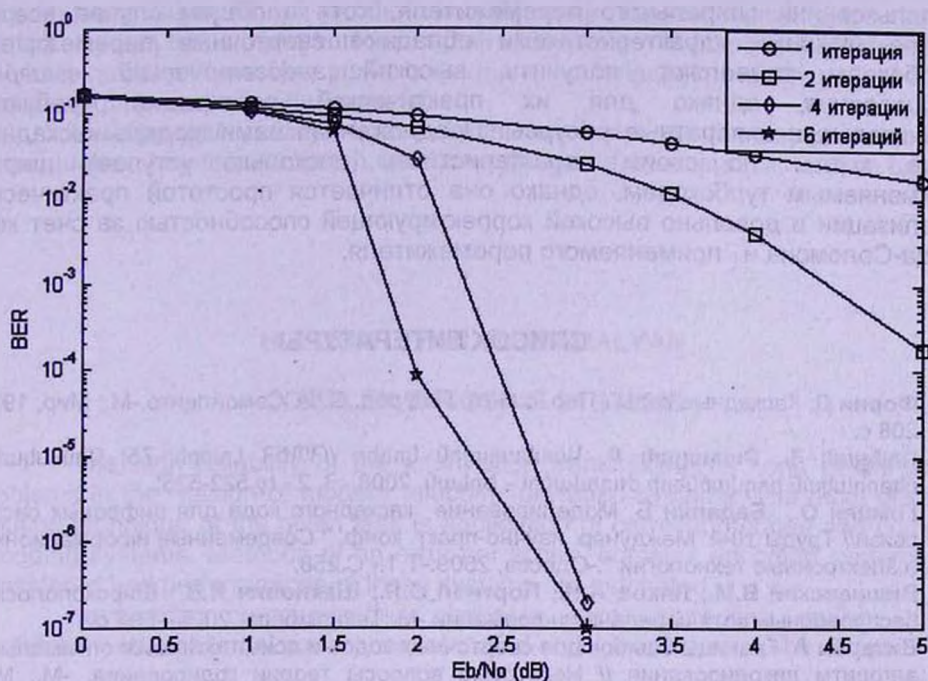


Рис.2. Оценка эффективности турбокода при использовании различного числа итераций декодирования

Как видно из рисунка, турбокод обладает довольно хорошими корректирующими способностями. Однако главная проблема турбокодов состоит в следующем. Авторы этого метода заменили процесс сопоставления экспоненциально большого числа потенциальных решений (т. е. допустимых кодовых слов), например в метрике Хемминга, на процедуры не прямых косвенных оценок расстояний [8]. Эта замена оценок основных параметров на косвенные оказалась весьма дорогой платой. Кроме того, такую совсем непростую итеративную процедуру требуется проводить $I = 5...50$ раз. Это, конечно же, очень много. Число операций на бит для турбокодов составляет

от нескольких тысяч до 10000 операций. Обобщая ранее сказанное, можно отметить, что основная проблема турбокодов - это слишком большой объем вычислений.

В результате исследования наиболее известных методов коррекции ошибок можно отметить, что все они имеют свои достоинства, и недостатки, а также свою сферу применения. Например, коды Хемминга могут успешно применяться в компьютерных сетях, однако обладают невысокой корректирующей способностью. Как видно из рис. 1, предложенная нами каскадная схема кодирования гораздо эффективнее при борьбе с ошибками, чем код Хемминга и алгоритм декодирования Витерби, даже при использовании спирального перемежителя, хотя в общем случае все же более лучшими характеристиками обладают сверточные перемежители. Турбокоды позволяют получить высокий энергетический выигрыш кодирования, однако для их практической реализации требуются значительные аппаратные ресурсы. Предложенная нами модель каскадного кода, хотя по своим характеристикам несколько уступает широко применяемым турбокодам, однако она отличается простотой практической реализации и довольно высокой корректирующей способностью за счет кода Рида-Соломона и применяемого перемежителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форми Д. Каскадные коды / Пер. с англ; Под ред. С. И. Самойленко.-М.: Мир, 1970.- 208 с.
2. Փոփոխական Հ., Բադալյան Բ. Կասկադային կոդեր // ԳԴԵՀ Լրագիր-75: Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2008.- Դ. 2.- էջ 522-525:
3. Гомцян О., Бадалян Б. Моделирование каскадного кода для цифровых систем связи// Труды 10-й Междунар. научно-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии".-Одесса, 2009.-Т.1.- С.258.
4. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации.-М.:Техносфера, 2005. -592 с.
5. Витерби А. Границы ошибок для сверточных кодов и асимптотически оптимальный алгоритм декодирования // Некоторые вопросы теории кодирования. -М.: Мир, 1970.- С. 142-165.
6. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes // Proc. of the Intern. Conf. on Commun.- Geneva, Switzerland, 1993.- P. 1064—1070.
7. Бадалян Б. Компьютерная модель турбокода // Вестник - 76 ГИУА (Политехник): Сборник научных и методических статей.- Ереван, 2009.- Т.1. - С. 358-362.
8. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / Под ред. чл.- корр. РАН Ю.Б. Зубарева.- М.: Горячая Линия-Телеком, 2004.-126 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

Հ.Ա. ԳՈՄՏՅԱՆ, Բ.Ֆ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ

ԲԱՐԴ ԿՈՂԱՎՈՐՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Ժամանակակից հեռահաղորդակցության համակարգերի նախագծման կարևորագույն խնդիրներից է ինֆորմացիայի հաղորդման բարձր հուսալիության ապահովումը: Տվյալ խնդրի լուծման առավել արդյունավետ մեթոդներից է շտկող կոդերի և բարդ կոդավորող համակարգերի կիրառումը: Դիտարկվում են սխալների շտկման տարբեր մեթոդներ, բարդ կոդավորող համակարգեր, գնահատվում է այդ համակարգերի արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. կապուղիներ, աղմկակայուն կոդավորում, դելտա-մոդուլյացիա, փաթեթային կոդեր, կասկադային կոդեր, ինտերլիվեռ, տուրբո կոդեր:

H.A.GOMTSYAN, B.F.BADALYAN

COMPLEX ENCODING SYSTEMS

The high reliability of the information transmission is one of the major problems in the design of modern telecommunication systems. The most effective solution technique of the given task is application of correcting codes and complex encoding systems. Methods of an error correction, complex encoding systems are considered and performances of these systems are estimated.

Keywords: communication channels, error correcting coding, delta-modulation, convolutional codes, concatenated code, interleaver, turbo codes.