



УДК 621.391

© 2020 г. И.В. Кочетова,

А.В. Левенец, д-р техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С АДАПТИВНЫМ ВЫБОРОМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДА ПО ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ

В статье предлагается имитационная модель адаптивной системы передачи дискретных сообщений, в которой информация о состоянии канала связи используется для задания параметров помехоустойчивого кода, что позволяет оперировать пропускной способностью канала связи и оптимизировать работу аппаратуры передачи данных. Проведена оценка эффективности применения в моделируемой системе ряда методов помехоустойчивого кодирования относительно величины E_b/N_0 . Модель позволяет оценить такие параметры как вес передаваемых сообщений, количество повторных сообщений по каналу обратной связи при заданной величине параметра E_b/N_0 .

Ключевые слова: помехозащищенное кодирование, передача данных, канал связи, оценка состояния.

DOI: 10.22250/isu.2020.66.17-24

Введение

Развитие телекоммуникационных технологий подразумевает активную разработку аппаратно-программного обеспечения широкополосных беспроводных сетей связи, обеспечивающих обмен большими объемами различных видов информации (например, измерительными, телеметрическими, аудио- и видеоданными). Также следует отметить, что системы передачи данных являются важнейшим государственным ресурсом, корректное применение которого определяет уровень информационной безопасности страны.

Разработка систем эффективного управления передачей данных представляет собой одну из актуальных научно-технических задач, позволяющей, в частности, снизить требования к необходимой пропускной способности каналов связи, повысить достоверность передачи информации и т.д. Так,

развитие систем помехоустойчивого кодирования дает возможность снизить мощность передающих устройств, за счет чего снижается влияние взаимных помех в системах связи и повышается качество связи, особенно в каналах управления сетевыми ресурсами [1].

Выбор наиболее эффективного помехоустойчивого кода в первую очередь зависит от параметров среды передачи данных, в частности от отношения сигнал/шум. Изменение состояния канала связи в общем случае подразумевает либо изменение параметров текущего кода, либо его замену на другой код. Такое адаптивное управление системой помехоустойчивого кодирования возможно только в случае обеспечения оперативного контроля текущего состояния канала связи.

Теория информации предлагает ряд вариантов решения этой задачи, которые с практической точки зрения не всегда приемлемы. Так, в основе этих решений лежит максимизация суммарной (в ряде случаев взвешенной) пропускной способности всех пользователей системы, что не позволяет учесть ограничения, связанные как с невозможностью достижения пропускной способности канала с помощью существующих методов передачи информации, так и с необходимостью поддержания определенного качества обслуживания отдельных пользователей системы [2, 3].

Следует отметить, что получивший широкое распространение много-частотный метод передачи упрощает реализацию адаптивных алгоритмов и позволяет применять для анализа системы относительно простые математические модели [1]. Очевидно, что адаптивная система передачи данных должна поддерживать несколько методов кодирования и модуляции, которые будут обеспечивать различный уровень защиты передаваемых данных от помех.

Организация адаптивного выбора помехоустойчивого кода

Наиболее часто к современным системам передачи данных предъявляется требование обеспечения высокой скорости передачи данных от источника информации к пользователю, при относительно низкой скорости передачи в обратном направлении. Активное развитие микроэлектронной техники привело к тому, что источник информации (например, информационно-измерительная система) обладает значительными вычислительными возможностями. Таким образом, обеспечивается возможность реализации достаточно сложных адаптивных методов, позволяющих подстроить параметры системы передачи данных под текущее состояние канала (или под требования пользователя), следствием чего является существенное снижение

мощности передаваемого сигнала, необходимой для обеспечения требуемой достоверности [4].

Под эффективным использованием канала связи в первую очередь понимают увеличение скорости передачи полезной информации при сохранении требуемой достоверности обмена данными в любой момент времени. Один из способов изменения скорости передачи связан с оценкой состояния канала связи и выбором наиболее оптимальных параметров системы передачи данных, в частности параметров подсистемы помехоустойчивого кодирования. Далее рассматривается способ передачи дискретных сообщений с однопараметрической адаптацией, подразумевающий применение оценки состояния канала связи для изменения корректирующей способности (и, как следствие, избыточности) помехоустойчивого кода.

Отметим, что для корректной реализации рассматриваемой системы помехоустойчивый код должен обладать следующими свойствами [5]:

- гибкой (адаптивной) структурой, позволяющей легко изменять параметры кодирования в зависимости от состояния канала связи;
- простым и универсальным алгоритмом декодирования;
- обеспечивать требуемую пользователем достоверность передачи.

Следует подчеркнуть, что помимо избыточности, свойственной всем помехоустойчивым кодам, они обладают также свойством усреднения шума, которое достигается за счет того, что избыточные (например, проверочные) символы зависят от нескольких информационных символов [6].

Реализация адаптивной системы с контролем параметров канала связи возможна как с применением обратной связи, так и без нее [7 – 9].

Помехоустойчивость передачи без обратной связи обеспечивается следующими способами: помехоустойчивым кодированием, передачей с повторением, одновременной передачей по нескольким параллельным каналам. В этом случае требуется не только обнаруживать, но и исправлять ошибки, следствием чего является высокая избыточность помехоустойчивого кода и соответствующее усложнение блока кодирования.

Передача с обратной связью позволяет применять коды с меньшим уровнем помехоустойчивости и соответственно с меньшей избыточностью. В наиболее простом варианте допустимо применение достаточно простых кодов, обладающих только свойством обнаружения ошибок. Дополнительным положительным свойством обратного канала является возможность контроля работоспособности принимающей стороны. Вариант реализации передачи с обратной связью – применение решающей обратной связи, особенностью которой является определение ошибки передачи данных на сто-

роне приемника. В этом случае сообщение всегда кодируется помехоустойчивым кодом, что позволяет приемнику определять наличие ошибок в принятых сообщениях и накапливать необходимую для управления статистику.

Обобщенная модель системы передачи данных с адаптивным выбором кодирования и каналом обратной связи представлена на рис. 1. Функционирование системы происходит следующим образом. Сообщение от источника информации (И) поступает в блок кодирования (БК), где происходит его кодирование некоторым кодом, выбранным согласно текущему состоянию прямого канала связи (ПКС).

После передачи закодированного сообщения через ПКС на приемную сторону блок декодирования (БДК) производит восстановление исходного сообщения и передает его получателю информации (П). Информация о принятых ошибках и общем количестве принятых сообщений поступает в блок статистической обработки (БСО), информация от него поступает в блок формирования оценки состояния канала связи (БФО), результат работы которого (оценка) передается по обратному каналу связи на передающую сторону системы.

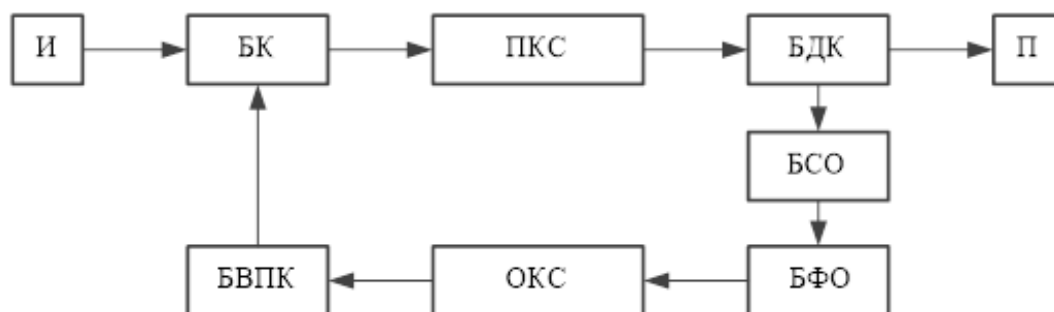


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы передачи данных с решающей обратной связью.

Принятая оценка состояния канала связи анализируется блоком выбора параметров кодирования (БВПК), который определяет необходимость смены параметров текущего кода или выдает команду для смены текущего кода на более подходящий. Следует отметить, что БВПК может получать дополнительную информацию о канале связи.

Имитационная модель адаптивной системы передачи данных

Разработанная имитационная модель системы передачи данных с обратной связью и адаптивным выбором кодирования в зависимости от состояния канала реализует метод переспроса сообщений на основе решающей обратной связи. Модель разработана в среде имитационного моделирования Simulink пакета прикладных программ Matlab и представлена на рис. 2.

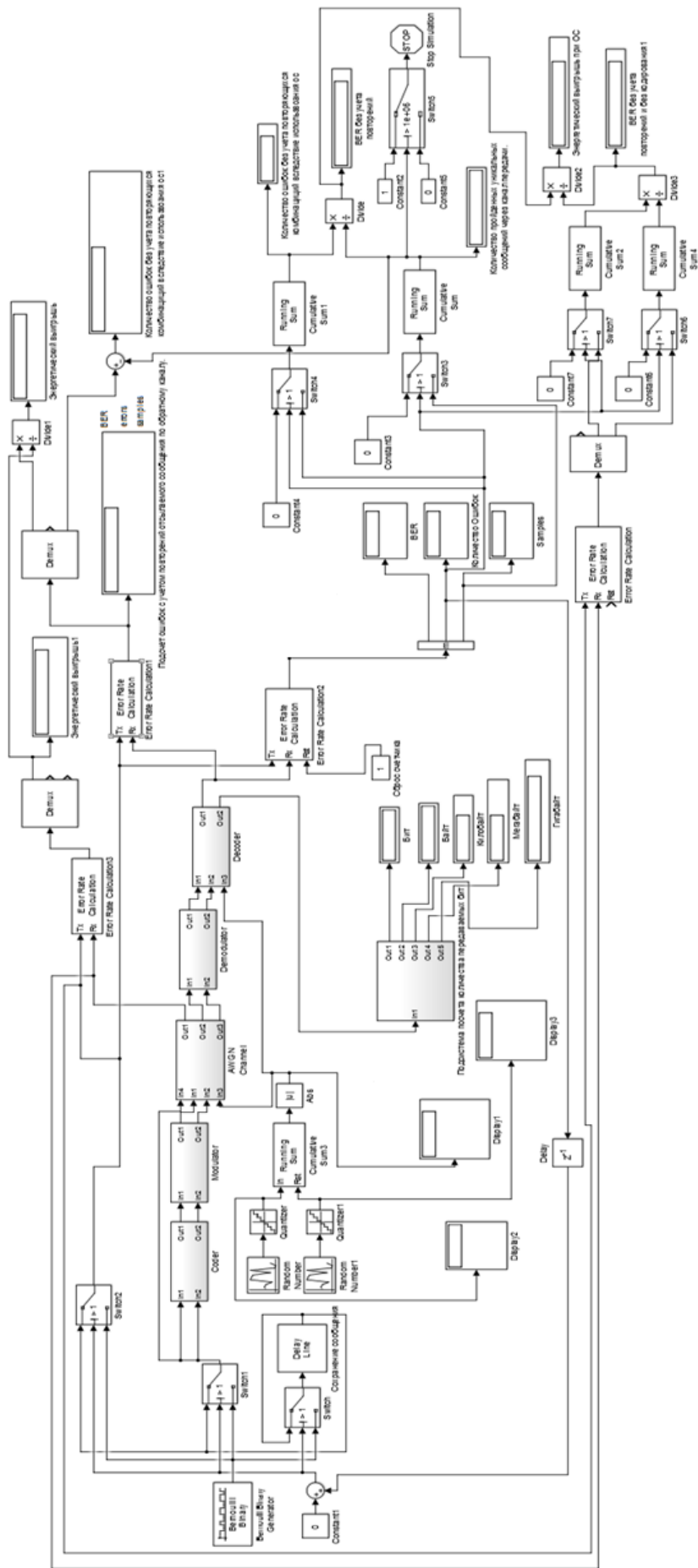


Рис. 2. Simulink- модель системы передачи данных.

В качестве источника сообщений применялся блок генератора двоичных чисел Бернулли, формирующий через заданные отрезки времени блоки данных фиксированного формата. В том случае, если по обратному каналу связи получен сигнал переспроса, принимается решение о повторной передаче сообщения, в противном случае передается следующий кадр данных.

Данные, подлежащие передаче, кодируются одним из помехозащищенных кодов. В рассматриваемой модели реализованы код Хэмминга, циклический код (7, 4), код БЧХ (7, 4), сверточный код (2, 1, 7), а также предусмотрено их каскадирование.

Передача кодового сообщения в канал связи в предлагаемой модели осуществляется с помощью модуляции сигнала методом двоичной фазовой манипуляции. Следует отметить, что способ модуляции в данной модели не является принципиально важным параметром и может быть выбран любым.

Результаты моделирования

В качестве критерия оценки качества помехоустойчивого кодирования использовалось отношение числа неверно принятых битов к полному числу переданных битов BER (Bit Error Rate).

Моделирование проводилось для следующих случаев:

- без применения помехоустойчивого кодирования;
- с применением одного из реализованных кодов (циклического, Хэмминга и БЧХ);
- с каскадированием кодов: сверточный Хэмминга, сверточный циклический, сверточный БЧХ.

В процессе моделирования результаты оцениваются для различных значений параметра E_b/N_0 , изменяющихся в пределах от 0 до 10 дБ. Для упрощения реализации модели параметры применяемых кодов были унифицированы. Так, код Хэмминга, код БЧХ и циклический код имеют параметры (7, 4), а сверточный код – (2, 1, 7).

Результаты моделирования для различных вариантов помехоустойчивого кодирования представлены на рис. 3.

Следует отметить, что для малых значений параметра E_b/N_0 производительность передачи сообщений без кодирования остается выше, чем для случая применения любого из рассмотренных способов кодирования. Так, при $E_b/N_0 = 2$ дБ, BER для случая без кодирования равно 0,038, а для циклического кода – 0,063. Граничным значением параметра E_b/N_0 , при котором эффективность всех рассмотренных случаев кодирования примерно одинакова, является величина около 5,5 дБ.

При дальнейшем увеличении параметра E_b/N_0 применение помехоустойчивого кодирования приводит к повышению эффективности работы системы. Так, при E_b/N_0 8 дБ BER без применения кодов равно примерно $2,27 \cdot 10^{-4}$, а для циклического кода эта величина составляет $1,0 \cdot 10^{-4}$.

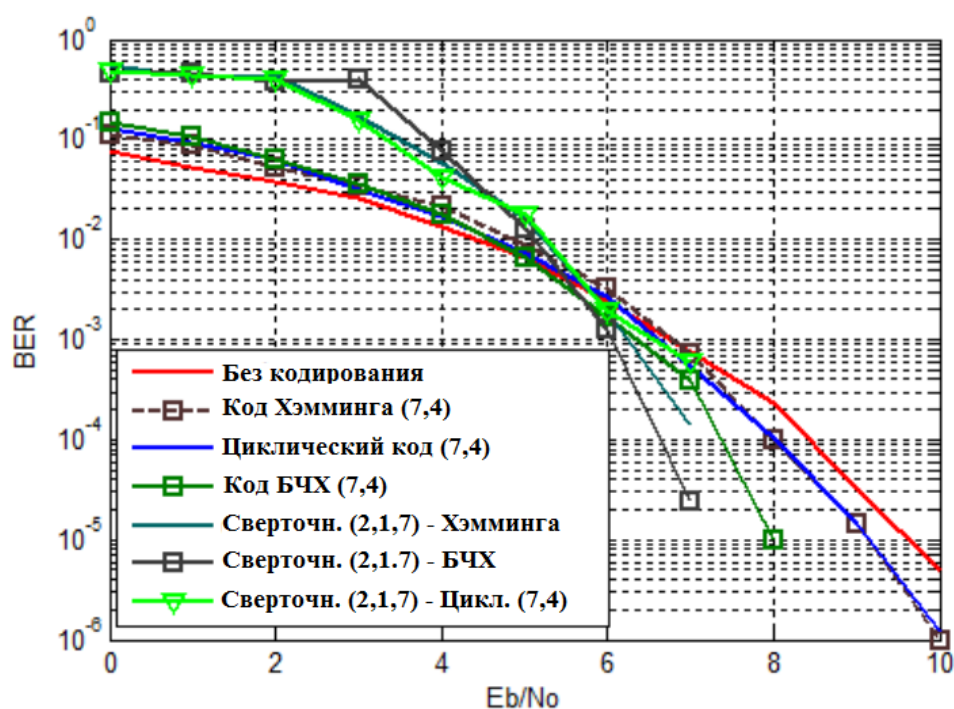


Рис. 3. График зависимости ОСШ от используемого способа кодирования.

Таким образом, можно констатировать, что для случая, когда каскадирование кодов не применяется, циклические коды в целом показывают более высокую производительность по сравнению с кодами Хэмминга, а максимальной эффективностью обладают коды БЧХ, для которых при E_b/N_0 8 дБ BER приближается к значению $1,0 \cdot 10^{-5}$.

При каскадировании кодов наилучшую эффективность среди рассмотренных показало сочетание сверточного кода и кода БЧХ. Так, при E_b/N_0 8 дБ BER без кодирования равно $7,4 \cdot 10^{-4}$, а в случае кодирования – $2,4 \cdot 10^{-5}$. Далее по убыванию следуют комбинации сверточного Хэмминга и сверточного циклического кодов.

Заключение

Предложенная имитационная модель системы передачи данных с обратной связью и адаптивным выбором кодирования в зависимости от состояния канала позволяет при соответствующей настройке блоков кодирования исследовать различные виды помехоустойчивого кодирования и анализировать воздействие различных уровней зашумленности канала на достоверность передачи данных.

Результаты проведенного моделирования показывают, что среди рассмотренных одиночных кодов наилучшую эффективность показывает код БЧХ, а в случае применения процедуры каскадирования кодов максимальную производительность обеспечивает сочетание сверточного кода и кода БЧХ. Очевидно, что производительность может быть улучшена путем добавления большей избыточности, что не всегда приемлемо в силу существенного увеличения сложности системы связи. Дальнейшее развитие модели может быть связано с реализацией других методов организации обратной связи и включением дополнительных методов помехоустойчивого кодирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шувалов В.П., Захарченко Н.В., Шварцман В.О. и др. Передача дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1990.
2. Трифонов П.В. Адаптивная передача в многопользовательских многочастотных системах вещания // Информационно управляющие системы. – 2005. – Т. 1, №14. – С.41-45.
3. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1970.
4. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005.
5. Кульбида В.А. Система передачи дискретной информации с адаптивным помехоустойчивым кодированием // Омский научный вестник. – 2011. – №3(103). – С.284-289.
6. Шувалов В.П. Прием сигналов с оценкой их качества. – М.: Связь, 1979.
7. Гладких А.А., Наместников С.М., Пчелин Н.А. Эффективное перестановочное кодирование двоичных блоковых избыточных кодов // Автоматизация процессов управления. – 2017. – №1(47). – С.67-74.
8. Жидков И.А., Левенец А.В., Чье Ен Ун. Оценка состояния канала связи по результатам декодирования помехозащищенного кода // Информатика и системы управления. – 2009. – №3(21). – С.72-79.
9. Куприянова О. В., Левенец А. В., Чье Ен Ун. Моделирование систем передачи данных с адаптацией к состоянию канала связи // Вестник НГТУ. – 2016. – Т. 62, №1. – С.120-132.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

E-mail:

Кочетова Ирина Валентиновна – 000621@pnu.edu.ru;

Левенец Алексей Викторович – 000621@pnu.edu.ru.