

УДК 519.876.5

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СХЕМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Могилевская Н.С.

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия (344011, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, email: broshka@nm.ru

Подбор эффективного помехоустойчивого кодека к конкретному каналу связи является сложной оптимизационной многопараметрической задачей. Ее удобно решать экспериментально с использованием информационной системы исследования эффективности алгебраических схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных. Дано определение информационной системы и разработана ее структурная схема. В состав схемы кроме исследователя входит три компонента: имитационная модель симметричного цифрового идеально синхронизированного помехоустойчивого канала передачи данных с аддитивными ошибками; база данных условий и результатов экспериментов и блок анализа записей базы данных, позволяющий делать выборки из базы данных по введенным критериям. Описаны связи между элементами информационной системы. Структура имитационной модели цифрового помехоустойчивого канала согласована с классической структурой произвольной имитационной модели, в имитационную модель включены элементы систем связи, влияющие на оценку эффективности помехоустойчивого кодирования.

Ключевые слова: имитационная модель канала передачи данных, информационная система, помехоустойчивое кодирование, эффективность кодирования.

INFORMATION SYSTEM RESEARCH EFFICIENCY ALGEBRAIC ERROR CORRECTION SCHEME IN DATA TRANSMISSION SYSTEMS

Mogilevskaya N.S.

"Don State Technical University", RostovonDon, Russia (344000, Rostov-on-Don, pl. Gagarin, email: broshka@nm.ru

Selection of effective error-correcting codec to a specific communication channel is a complex multi-parameter optimization problem. It is convenient to solve experimentally using information system research efficiency algebraic error correction scheme in data transmission systems. The definition of the information system designed and developed its structural scheme. The structure of the scheme except the researcher has three components: a simulation model of a symmetric digital perfectly synchronized error-correcting data channel with additive errors; database conditions and results of experiments and the analysis block of records in a database, allows you to make a selection from a database based on the criteria entered. Describes relationship between elements of the information system. The structure of the simulation model of error-correcting digital channel is compatible with the classical structure of any simulation model, the simulation model includes elements of communication systems, that affect the evaluation of the effectiveness of error-correcting coding.

Keywords: simulation model of the transmission channel data, information system, error correcting coding and the coding efficiency.

Использование алгебраических схем помехоустойчивой защиты является стандартом для большинства цифровых систем хранения и передачи данных. В настоящее время существует большое количество различных помехоустойчивых кодов, методов их комбинирования и модификации, алгоритмов кодирования и декодирования [3-4, 8-10]. Характеристики каналов связи также отличаются многообразием. В связи с этим при проектировании систем связи возникает задача подбора для каждого конкретного канала наиболее эффективных алгебраических схем помехоустойчивого кодирования. В общем случае подбор помехоустойчивого кодека к конкретному каналу связи является сложной

многопараметрической оптимизационной задачей. Среди параметров, которые могут интересовать разработчиков систем связи можно выделить: уровень и вид ошибок, действующих в канале; корректирующие свойства кодов по отношению к ошибкам различной структуры и интенсивности; связанная с техническими параметрами средств связи допустимая длина кодового слова; существование эффектов “размножения” ошибок в декодере; требования к объему буферной памяти; быстродействие кодера и декодера; требования к качеству используемого физического канала; степень устойчивости кодека к изменениям характеристик канала и другие. Некоторые из этих характеристик нетрудно оценить априорно, для других же получение оценок является сложной математической задачей (см., например, [3-4]). Следует отметить, что точные математические оценки получаются, как правило, лишь в частных случаях и при обременительных ограничениях.

Эффективность подбора кодеков можно качественно оценить, используя натурные испытания, но как с экономической точки зрения, так и с точки зрения оперативности этот метод оценки не является целесообразным. Наиболее эффективным способом решения задачи приемлемого подбора кодека для канала связи является использование имитационного моделирования. Эту задачу эффективно можно решать в рамках информационной системы (ИС), которая позволит проводить имитационные эксперименты, хранить и анализировать их результаты и принимать решение о целесообразности использования исследуемого кодека в рассматриваемом канале связи.

Цель настоящей работы состоит в разработке структуры ИС исследования эффективности алгебраических схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных. Такая система должна позволять на основе компьютерных имитационных экспериментов оценивать корректирующие способности помехоустойчивых кодеков по отношению к ошибкам различного типа и подбирать оптимальный по заданным параметрам кодек к конкретному каналу связи. В качестве ядра этой ИС будем рассматривать имитационную модель помехоустойчивого цифрового канала передачи данных (ИМ ЦПК).

Имитационная модель цифрового помехоустойчивого канала

Построим ИМ ЦПК согласно классической структуре произвольной имитационной модели, принятой в общей теории имитационных моделей [7] (см. рис. 1). Блок имитации внешних воздействий (БИВВ) формирует реализации случайных или детерминированных процессов, имитирующих воздействия внешней среды на объект. Блок обработки результатов (БОР) предназначен для получения информативных характеристик исследуемого объекта, а необходимая для этого информация поступает из блока математической модели объекта (БММО). Блок управления имитационной модели (БУИМ) реализует способ

исследования имитационной модели, основное назначение этого блока – автоматизация процесса проведения имитационных экспериментов.

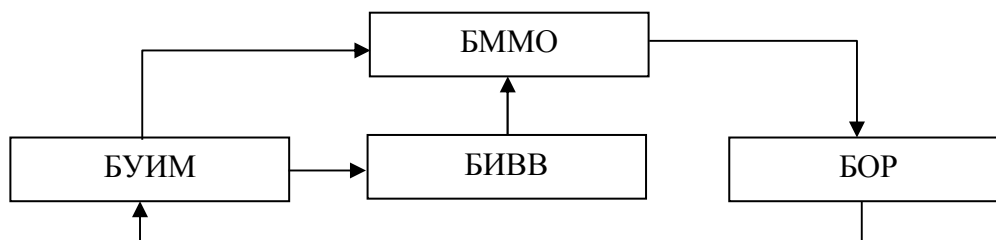


Рис. 1. Структурная схема произвольной имитационной модели

Объектом имитационного моделирования является цифровой помехоустойчивый канал (ЦПК) передачи данных. Следовательно, *блоком математической модели объекта* является блок математической модели ЦПК. На укрупненной структурной схеме (см. рис. 2) БММО схематично представлен семью блоками: источник сообщений, кодер канала, передатчик, линия связи с шумом, приемник, декодер канала и приемник сообщений.

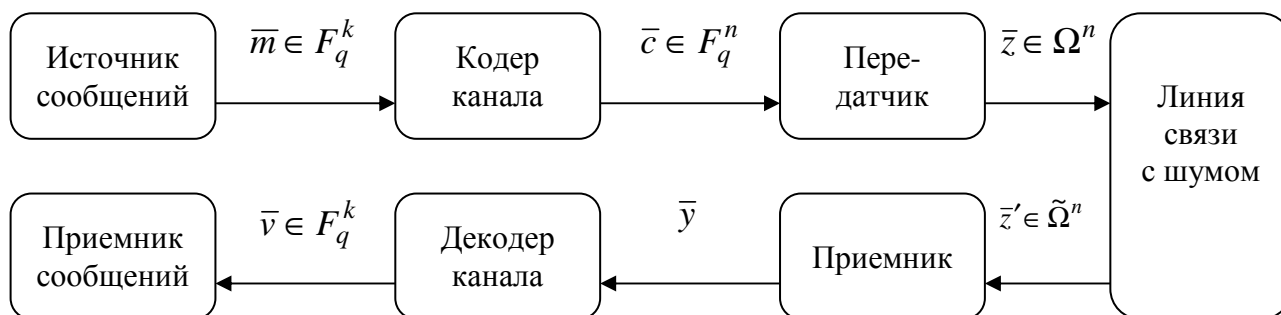


Рис. 2. Схема прохождения данных в моделируемом канале

Источник сообщений выдает информационные векторы $\bar{m} = (m_1, m_2, \dots, m_k) \in F_q^k$, где F_q^k - линейное k -мерное пространство, заданное над полем F_q . С использованием помехоустойчивого (n, k) -кода C длины n и размерности $k (< n)$, заданного над F_q , эти векторы обрабатываются в кодере канала. Сформированные кодовые векторы $\bar{c} \in F_q^n$ поступают в передатчик, который служит интерфейсом к линии связи и преобразует векторы $\bar{c} \in F_q^n$ в векторы $\bar{z} = (z_1, z_2, \dots, z_n) \in \Omega^n$. При этом поле Ω^n может как совпадать, так и не совпадать с исходным полем F_q^n . Так, например, в работе [4] передатчик получает троичные векторы, а новые формирует над полем комплексных чисел. Сформированные векторы $\bar{z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ передатчик на физическом уровне отправляет в линию связи.

В силу искажений, действующих в линии связи, на выходе из нее формируются векторы \bar{z}' из поля $\tilde{\Omega}^n$, получаемого как расширение поля Ω^n . Вектор \bar{z}' поступает на вход

приемника, который в зависимости от настроек может выдавать мягкие ($\bar{y} \in \tilde{\Omega}^n$) или жесткие ($\bar{y} \in F_q^n$) решения о принятом сигнале. Используя принятую в теории связи терминологию, можно говорить, что в случае работы приемника в режиме жестких решений, реализуется цифровой канал, а в случае работы в режиме мягких решений – полунепрерывный канал.

Вектор \bar{y} далее поступает в декодер канала. В случае цифрового канала используются декодеры жестких решений, на вход которых поступают значения с выхода демодулятора, преобразующего данные из канала в слова над фиксированным конечным алфавитом. В случае полунепрерывного канала используются декодеры мягких решений (ДМР), особенность которых состоит в том, что в данные из канала связи поступают в декодер без оцифровывания. Обычно использование ДМР дает лучшие результаты по сравнению с декодированием жестких решений, однако обычно декодеры с технологией ДМР обладают большей сложностью [4, 10].

Цель декодера состоит в восстановлении по полученному вектору \bar{y} информационного вектора $\bar{m} \in F_q^k$, посланного ранее источником сообщений. Результат декодирования $\bar{v} \in F_q^k$ поступает получателю сообщения. В зависимости от уровня повреждения вектора \bar{z} в канале связи результат декодирования может совпадать с исходным вектором или отличаться от него. Если $\bar{m} = \bar{v}$, то принято говорить о верном декодировании, иначе говорят об ошибке декодирования.

Очевидно, что выбираемая в имитационной модели пара кодер-декодер должна быть согласованной. То есть, если кодер осуществляет обработку информации по алгоритму кодирования для некоторого кода с фиксированными параметрами, то декодер должен реализовывать алгоритм декодирования для того же кода и с теми же параметрами. Заметим, что для одного и того же кода могут быть использованы различные кодеры и декодеры. Так, например, рассмотрим известные коды Хемминга. Для этих кодов можно, например, построить кодер, использующий порождающий полином, или кодер, использующий порождающую матрицу. Декодировать можно, например, алгоритмом, использующим особый вид порождающей матрицы кода, или алгоритмом по минимуму расстояния [8, 10].

Для придания достаточной гибкости имитационной модели необходимо организовать возможность каскадирования кодеров канала и использование перемежителей и деперемежителей. Каскадирование кодеров заключается в последовательном применении нескольких кодеров и декодеров. Например, в системе записи на компакт-дисках используется каскад из двух кодов Рида-Соломона [3]; Консультативным комитетом по системам космических данных для кодирования в телеметрических каналах, рекомендован каскад из сверточного кода и 48 одинаковых (255, 223)-кодов Рида-Соломона.

Цель применения перемежителей и деперемежителей состоит в декорреляции пакетов ошибок, вносимых каналом связи. Перемежение символов является одним из способов улучшения характеристик помехоустойчивости систем передачи в каналах с группированием ошибок [3]. Очевидно, что, так же как пара кодер-декодер, так и пара перемежитель-деперемежитель должны быть согласованными

Задача *блока имитации внешних воздействий* (см. рис. 1) рассматриваемой ИМ ЦПК заключается в моделировании источника ошибок. Результатом работы этого блока является поток ошибок, который воздействует на передаваемые по линии связи данные. Существует большое количество различных математических моделей источников ошибок [1, 2, 5]. Представляется удобным использовать общую модель источника ошибок канала, которая позволила бы моделировать различные случаи помеховой обстановки, путем изменения ее параметров. Примером такой модели является математическая модель квазипериодических случайных ошибок для двоичных, симметричных и идеально синхронизированных каналов с многобуквенным алфавитом состояний (QРn-модель), позволяющая учитывать нестационарность канала и моделировать принципиально различные случаи помеховой обстановки путем изменения лишь параметров модели [1, 5]. Отметим, что многие известные и широко применяемые на практике модели источников ошибок являются частными случаями QРn-модели.

С помощью *блока управления* ИМ ЦПК (см. рис. 1) исследователь указывает параметры проводимой серии экспериментов: характеристики последовательности, выдаваемой источником сообщений ИМ ЦПК; кодек или каскад кодеров и перемежителей; параметры источника ошибок; виды статистической обработки результатов эксперимента и необходимость их хранения. БУИМ проверяет корректность введенных параметров проводимых экспериментов. В блоке БУИМ указывается также, какие именно виды статистической обработки применять к результатам имитационных экспериментов в блоке БОР. Следует отметить, что непосредственно в ходе выполнения плана имитационных экспериментов на установки параметров блока БУИМ могут повлиять результаты обработки данных в блоке БОР. Таким образом, возникает задача коррекции заданных параметров.

Одной из задач, решаемых *блоком обработки результатов* (БОР) в ИМ ЦПК, является вычисление ряда характеристик ошибок, внесенных каналом, и ошибок, оставшихся в сообщении после декодирования. Полагаем целесообразным предоставлять исследователю возможность оценивать основные параметры, рекомендованные к измерению Международным институтом электросвязи ITUT (рекомендации G.821, G.826 и M.2100). К этим параметрам для бинарного канала относятся, в частности, следующие: ВІТ – число

ошибочных битов, EB – число ошибочных блоков, BER – частота битовых ошибок, BLER – частота блоковых ошибок, коэффициент ошибок по блокам и др.

Схема ИС исследования эффективности алгебраических схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных

В настоящее время понятие информационной системы российскими терминологическими ГОСТами не определено. Согласно широко используемому международному справочнику «ATIS Telecom Glossary 2000», выпущенному институтом стандартов США, существует три определения ИС. Самое популярное и наиболее общее из них говорит, что ИС – это автоматизированная система, которая включает людей, машины и/или методы, организованные для сбора, обработки, передачи и распространения данных. Это определение близко к закрепленному ГОСТ 34.003-90 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения» определению автоматизированной системы. А именно: «Автоматизированная система – система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций». Далее в работе для определенности будем считать, что информационная система исследования эффективности алгебраических схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных – это система, позволяющая на основе компьютерных имитационных экспериментов оценить корректирующие способности помехоустойчивых алгебраических кодеров по отношению к ошибкам различного типа и подобрать оптимальный по заданным параметрам кодек к конкретному каналу связи. В качестве ядра такой ИС будем рассматривать описанную выше ИМ ЦПК.

Структурная схема ИС исследования эффективности схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных представлена на рис. 3. В состав схемы кроме исследователя входит три компонента: описанная выше ИМ ЦПК (рис. 2); база данных (БД), и блок анализа записей базы данных (БАЗ).

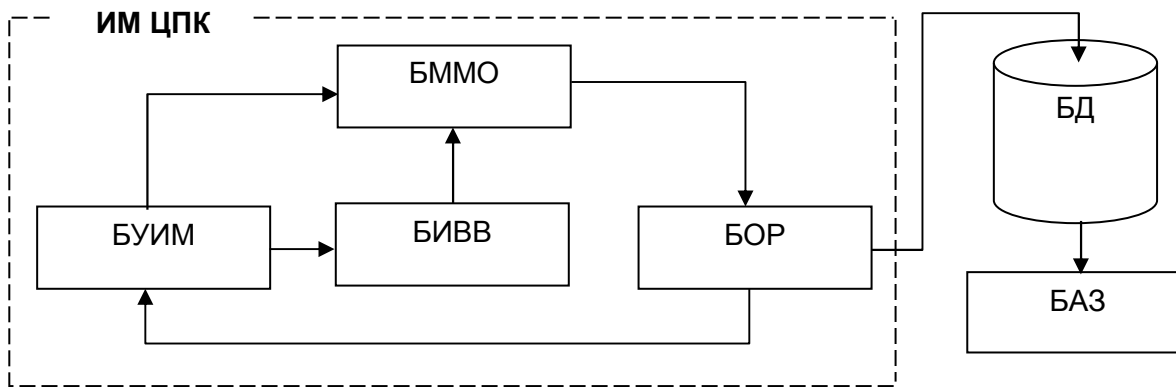


Рис. 3. Структурная схема информационной системы

В базе данных сохраняются все сведения, полно описывающие проведенные эксперименты. К таким сведениям, например, относятся: размер исходного файла (потока информационного сообщения); способ кодирования (использованные кодеки и их параметры, использованные перемежители и их характеристики); характеристика помехи; ВIT; EB; BER; BLER; время проведения эксперимента и другие полезные сведения. БД связана с блоком обработки результатов. Сохраняемые в базе данных параметры позволят в дальнейшем анализировать различные аспекты использования помехоустойчивых кодеков. Блок анализа записей базы данных осуществляет составление выборок записей базы по заданным исследователем условиям и построение различных графиков и таблиц.

Заключение

С использованием построенной ИС исследования эффективности алгебраических схем помехоустойчивой защиты в системах передачи данных удобно решать задачу согласования кодека и канала. Для ее решения необходимо проводить имитационные эксперименты, в которых вместо реальных ошибок канала удобно использовать потоки ошибок, сгенерированные согласно одной из математических моделей источника ошибок. Таким образом, рассматриваемая задача согласования фактически решается не для реального канала, а для приближенной модели этого канала. Для подбора согласованной пары кодек-канал необходимо выполнить следующие этапы: подбор исследователем приемлемой модели источника ошибок и её параметров; выбор подходящих кодеков либо по результатам экспериментов из базы данных ИС, либо на основании других теоретических или практических соображений; проведение экспериментов по исследованию корректирующих способностей кодеков с использованием выбранной модели источника ошибок.

Список литературы

1. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. Математическое моделирование источника ошибок

q-ичного канала передачи данных // Изв. высших учеб. заведений. Сев.-Кав. регион. Серия: Техн. науки. 2008. №1. С. 3-7.

2. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. Математическое моделирование источников ошибок цифровых каналов передачи данных: учеб. пособие. Ростов н/Д: Издат. центр ДГТУ, 2006. – 70 с.

3. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. Методы оценки применимости помехоустойчивого кодирования в каналах связи: учеб. пособие. Ростов н/Д: Издат. центр ДГТУ, 2007. – 87 с.

4. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. Модель троичного канала передачи данных с использованием декодера мягких решений кодов Рида-Маллера второго порядка // Изв. высших учеб. заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 1.

5. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. О математическом моделировании источника ошибок канала нескольких состояний // Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. – 2007. – № 1. С.41-45.

6. Деундяк В.М., Могилевская Н.С. О некоторых экспериментальных исследованиях помехоустойчивых кодеков с помощью имитационной модели канала // Изв. высших учеб. заведений. Сев.-Кав. регион. Серия: Техн. науки. 2003. № 4. С. 7-11.

7. Лоу А., Кельтон Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. – 847с.

8. Могилевская Н.С. Введение в теорию информации: учеб. пособие. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 125 с.

9. Могилевская Н.С., Скоробогат В.Р., Чудаков В.С. Экспериментальное исследование декодеров кодов Рида-Маллера второго порядка // Вестник Донского гос. техн. ун-та. 2008. Т. 8. № 3. С. 231-237.

10. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. — Москва: Техносфера, 2005. — 320 с.

Рецензенты:

Звезда М.Ю., д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Радиоэлектроника», Минобрнауки России, ФБГОУ ВПО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону;

Габриэльян Д.Д., д.т.н., профессор, заместитель начальника научно-технического комплекса «Антенные системы» по науке, Федеральный научно-производственный центр ФГУП «РНИИРС» г. Ростов-на-Дону.