

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 519.725.3

Илькевич
Владимир Александрович

Применение сверточного кодирования для повышения эффективности
беспроводных систем передачи данных

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 – Радиотехника, в том числе системы и устройства
радионавигации, радиолокации и телевидения

Научный руководитель
Потапов Владимир Дмитриевич
к.т.н., доцент кафедры ИРТ

Минск 2020

ВЕДЕНИЕ

Первый непрерывный рекуррентный код был предложен в 1955 г. Л. М. Финком, который долгие годы заведовал кафедрой в Ленинградской военной академии связи, а затем работал в электротехническом институте связи им. М. А. Бонч-Бруевича.

Код Финка остался незамеченным в Западном мире. Первые сверточные (рекуррентные) коды, исправляющие пакеты ошибок, были найдены позже Хегельбергером. Вайнер и Эш в 1963 г. создали значительную часть математического аппарата теории сверточных кодов и нашли хорошие коды, исправляющие одиночные ошибки. В дальнейшем методы построения сверточных кодов были обобщены на случай двоичных кодов.

Подавляющее число современных систем связи работает при передаче самого широкого спектра сообщений (от телеграфа до телевидения) в цифровом виде. Из-за наличия помех в каналах связи сбой при приеме любого элемента вызывает искажение цифровых данных, что может привести, особенно в системах связи, к катастрофическим последствиям. В настоящее время по каналам связи передаются цифровые данные со столь высокими требованиями к достоверности передаваемой информации, что удовлетворить эти требования традиционным совершенствованием антенно-фидерных трактов радиолиний, увеличением излучаемой мощности, снижением собственного шума приемника оказывается экономически невыгодным или просто невозможным.

Высокоэффективным средством борьбы с помехами в цифровых системах связи является применение помехоустойчивого кодирования, основанного на введении искусственной избыточности в передаваемое сообщение, что приводит к расширению используемой полосы частот и уменьшению информационной скорости передачи.

Теория и техника помехоустойчивого кодирования прошли несколько этапов в своем развитии от эмпирического использования простейших кодов с повторением, с постоянным весом, с одной проверкой на четность до создания основ математической теории – ответвления высшей алгебры и теории чисел с приложением теории к реальным системам связи.

Многообразие существующих кодов делится на два класса: блочные коды и непрерывные коды. В блочных кодах передаваемая информационная последовательность разбивается на отдельные блоки с добавлением к каждому блоку определенного числа проверочных символов. Кодовые комбинации кодируются и декодируются независимо друг от друга. В непрерывных кодах, называемых также цепными, рекуррентными, конволюционными или сверточными, передаваемая информационная последовательность не разделяется на блоки, а проверочные символы размещаются в определенном

порядке между информационными. Процессы кодирования и декодирования также осуществляются в непрерывном режиме.

В связи с прогрессом в теории и технике кодирования в современных системах связи используются в той или иной степени помехоустойчивые коды. Так, в системах персонального радиовызова используются блочные циклические коды, в сотовых системах связи применяются как блочные, так и сверточные коды, в подавляющем большинстве спутниковых систем связи, в основном, используются непрерывные сверточные коды.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цели и задачи исследования

Помехоустойчивое кодирование является очень важной функцией цифровых систем связи. Высокое качество передачи информации обеспечивается за счет коррекции ошибок, возникающих в канале связи из-за помех. Сверточные коды обладают высокой помехоустойчивостью и быстрым декодированием. Они широко используются, например, в мобильных системах связи, в системах спутниковой связи, в цифровом телевидении DVB и т.д. Поэтому поиск оптимальных сверточных кодов является потребностью практики.

В зависимости от требуемой коррекции ошибок применяются сверточные коды с разными скоростями и кодовыми ограничениями. Существует несколько методов поиска сверточных кодов по разным критериям МСР, ПОР, СОР и вероятности битовой ошибки. Для сравнения и оценки качества сверточных кодов используется вероятность битовой ошибки. Эффективность кода тем выше, чем меньше эта вероятность. Актуальным является исследование методов поиска оптимальных сверточных и перфорированных сверточных кодов.

Целью диссертационной работы является поиск оптимальных сверточных и перфорированных сверточных кодов, обладающих высокой помехоустойчивостью. Поставленная цель работы определяет следующие основные задачи:

- анализ существующих методов поиска оптимальных сверточных и перфорированных сверточных кодов;
- поиск оптимальных сверточных кодов по вероятности битовой ошибки, определяемой с помощью симуляции;
- поиск оптимальных сверточных кодов по верхней границе вероятности битовой ошибки на основе усеченной передаточной функции;
- поиск оптимальных перфорированных сверточных кодов с помощью симуляции.

Объект исследования: объектом исследований являются сверточные коды.

Предмет исследования: предметом исследований является повышение достоверности передачи данных в радиоканалах связи.

Личный вклад магистранта

Основные результаты магистерской диссертации получены лично автором. Автором на основе научной литературы были изучены способы поиска оптимальных сверточных кодов, произведен аналитический расчет эффективности сверточных и перфорированных сверточных кодов, а так же проведено моделирование подтверждающее полученные результаты. Найдены оптимальные сверточные и перфорированные сверточные коды, обладающие высокой помехоустойчивостью, определены диапазоны отношения сигнал/шум.

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликованы 2 научные работы – тезисы докладов 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, проведенной в 2018 г. и 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, проведенной в 2020 г.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав с выводами по первой, второй и третьей главе, заключения, библиографического списка и одного приложения.

Общий объем диссертационной работы составляет 105 страниц, из них 88 страниц основного текста, 29 рисунков на 27 страницах, 26 таблиц, библиографический список из 38 наименования на 3 страницах.

Краткое содержание работы

В первой главе рассмотрели методы канального кодирования, способы задания сверточного кода через задающий полином и матрицу, дана классификация помехоустойчивых кодов и областей их применения, а так же преимуществ и недостатков каждого вида. Приведены основные параметры сверточных кодов, такие как: избыточность кода, память кода, полная длина кодового ограничения (ДКО), кодовое расстояние, корректирующая способность

кода, мощность кода, энергетический выигрыш кода, надежность кодирования и трудоемкость.

Во второй главе изучены основные способы задания сверточных кодов. Способы задания сверточного кода есть способы задания линейного подпространства. Чаще всего используются порождающая матрица и графические способы задания.

Были приведены основные виды сверточных кодов – систематические и несистематические коды, катастрофические коды, прозрачные сверточные коды. Дана краткая характеристика всех известных кодов и их применение в каналах беспроводной передачи данных.

Так же рассмотрен принцип перфорирования сверточных кодов (выкалывание) который позволяет увеличить помехоустойчивость канала передачи данных.

Разобраны методы представления сверточных кодов, так как в отличие от блоковых, каждый из которых описывается единственным порождающим многочленом, сверточный код требует для своего описания несколько порождающих многочленов.

Приведены устройства декодирования сверточных кодов для порогового декодирования, последовательного декодирования и декодирования по алгоритму Витерби с примерами работы каждого, преимуществами и недостатками их аппаратной реализации. Более подробно представлен алгоритм Витерби – так как он является самым распространенным.

Так как оценка эффективности сверточных кодов является основной целью работы описаны возможности сверточных кодов по исправлению ошибок методом интерливинга, вес и расстояние Хемминга.

В третьей главе изучены три основных метода оценки эффективности сверточных кодов – критерий поиска по максимальному свободному расстоянию (МСР), критерий поиска по профилю оптимального расстояния (ПОР), критерий поиска по спектру оптимального расстояния (СОР). В работе приведены таблицы с уже известными кодами, которые являются лучшими по этим критериям. Затем проведен аналитический анализ этих кодов и рассчитана вероятность битовой ошибки, выбраны лучшие по этому параметру коды. Полученные сверточные коды экспериментально были промоделированы в программной среде Simulink. Все те же самые исследования были сделаны и для перфорированных сверточных кодов, был произведен поиск совместимых по скорости ПСК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы были показаны преимущества использования сверточных кодов в системах беспроводной передачи данных. Сверточные коды могут применяться в сетях мобильной связи, Wi-Max и Wi-Fi. Основным параметром для всех сверточных кодов является вероятность битовой ошибки, которая может быть рассчитана аналитически с помощью формул, а так же при симуляции в программной среде Matlab.

Основные критерии выбора оптимальных сверточных кодов это: поиск по максимальному свободному расстоянию (MCP), поиск по профилю оптимального расстояния (ПОР), поиск по спектру оптимального расстояния (COP). В ходе работы было выявлено что последний критерий самый лучший для поиска.

Существует большое количество оптимальных кодов с одинаковыми кодовыми ограничениями. Поэтому для сравнения этих кодов используется расчет верхней границы вероятности битовой ошибки. Однако ее точное вычисление требует больших временных затрат. Поэтому верхняя граница вычисляется по усеченной передаточной функции сверточного кода.

Для повышения скорости передачи данных применяется перфорирование сверточных кодов – выкалывание или удаление некоторых символов из входной последовательности. Процедура выкалывания сверточных кодов очень часто применяется в стандартах связи, так с помощью шаблонов выкалывания достигают скорости кода $1/2$, $2/3$ и $3/4$ в стандартах связи IEEE 802.11a (Wi-Fi), IEEE 802.16e (WiMAX).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Илькевич, В.А. Анализ эффективности сверточных кодов по верхней границе вероятности битовой ошибки / В.А. Илькевич // Доклады секции «Радиотехника и электроника»: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – 2020 – С.152.

2. Илькевич, В.А. Критерии поиска оптимальных сверточных кодов / В.А. Илькевич // Доклады секции «Радиотехника и электроника»: 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – 2018 – С.137.

Библиотека БГУИР