

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

УДК 621.398

Марчук  
Тимур Михайлович

Декодер символьной синхронизации данных телеметрии на основе  
помехоустойчивого кодирования

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1–39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

---

Научный руководитель  
Матюшков Александр Леонидович  
канд.техн.наук, доцент

---

Минск 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение нашли цифровые телемеханические системы, в которых измеряемая величина передается в виде определенной кодовой комбинации.

Применение цифровых методов передачи информации по сравнению с другими имеет ряд преимуществ. Основными из них являются следующие:

- прием сигнала сводится не к измерению, а к обнаружению 1 или 0;
- сообщения в цифровой форме легко обрабатываются, запоминаются, коммутируются и регистрируются;
- возможна многократная передача без накопления ошибок;
- применение помехоустойчивого кодирования позволяет значительно увеличить достоверность передачи сообщений;
- упрощаются требования, предъявляемые к радиолиниям в отношении калибровки эталонных уровней;
- улучшается использование канала связи в случае применения специальных кодов, статистически согласованных с передаваемыми сообщениями.

Телеметрия – технология, позволяющая передавать измеренные данные на расстоянии. Такой метод сбора данных от устройств позволяет контролировать все процессы из одного места.

Часто применяются в системах передачи цифровой информации сверточные коды. Они обладают высокой помехоустойчивостью и быстрым декодированием, широко используются в системах мобильной и спутниковой связи, в цифровом телевидении *DVB* и в других радиотехнических системах.

Алгоритм Витерби – эффективный и наиболее распространенный алгоритм декодирования сверточного кода. Он основан на работе с решетчатой диаграммой и позволяет получить максимально правдоподобную (МП) оценку переданного кодового слова.

Целью работы является разработка декодера символьной синхронизации данных телеметрии на основе помехоустойчивого кодирования как эффективного средства для борьбы с помехами в цифровых системах связи.

Диссертационная работа предназначена для исследования эффективности применения сверточного кодирования в системе передачи цифровой информации.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Влияние помех в каналах связи вызывает искажение цифровых данных, что может привести, особенно в космических и телеметрических системах связи, к катастрофическим последствиям (полная потеря передаваемой информации).

В настоящее время в космических и телеметрических системах по каналам связи передаются цифровые данные с очень высокими требованиями к достоверности передаваемой информации (максимально допустимая вероятность потери данных –  $10^{-6}$ ). Удовлетворить эти требования традиционными способами (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.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка декодера символьной синхронизации данных телеметрии на основе помехоустойчивого кодирования как эффективного средства для борьбы с помехами в цифровых системах связи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- провести обзор существующих видов помехоустойчивого кодирования;
- разработать структурную схему системы передачи цифровой информации с кодированием;
- выполнить синтез структуры сверточного кодера и декодера Витерби;
- выполнить моделирование системы передачи цифровой информации с кодированием в *Matlab/Simulink*.

**Объект исследования** – система передачи цифровой информации с кодированием.

**Предмет исследования** – декодер символьной синхронизации данных телеметрии на основе помехоустойчивого кодирования.

**Теоретическо-методологическую основу исследования** составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающихся теоретическими и практическими вопросами в области цифровой обработки сигналов,

телемеханики, цифровых систем связи, помехоустойчивого кодирования информации.

**Научная новизна работы.** В результате работы разработана схема системы передачи цифровой информации с кодированием в *Matlab/Simulink*. Для разработанной схемы можно задавать различную скорость передачи информации, параметры сверточного кодера и декодера Витерби, изменять характеристики канала связи и других функциональных блоков, входящих в систему связи.

**Практическая значимость.** На основе разработанной схемы системы передачи цифровой информации с кодированием в *Matlab/Simulink* можно повысить энергетическую эффективность, помехоустойчивость реальных систем связи, оценить вероятность битовой ошибки на приемной стороне при различных характеристиках канала связи и параметрах сверточного кодера и декодера Витерби.

**Достоверность результатов** диссертационной работы подтверждается применением моделирования на ЭВМ в *Matlab/Simulink* при достаточно большом времени моделирования.

**Публикации.** Опубликовано пять печатных работ в материалах научно-технических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Материал изложен на 68 страницах, включает 4 таблицы, 41 рисунок и одно приложение. Список использованных источников информации содержит 28 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **введении** дается обоснование актуальности темы магистерской диссертации, изложение целевой установки, определяются задачи и назначение работы.

В **первой главе** были рассмотрены основные понятия и определения, применяемые в теории кодирования, а также приведена классификация помехоустойчивых кодов, обоснован метод используемой модуляции, вид помехоустойчивого кодера и декодера, более подробно описаны способы задания и основные характеристики сверточных кодов.

В **второй главе** были разработаны обобщенная структурная схема системы передачи цифровой информации с кодированием и на ее основании структурная схема телеметрической системы передачи цифровой информации с

кодированием в СВЧ диапазоне, описаны элементы структурных схем и их функциональное назначение.

В **третьей главе** были разработаны структурные схемы сверточного кодера и декодера Витерби, а также выполнено описание их работы.

В **четвертой главе** была реализована система передачи цифровой информации с кодированием в *Matlab/Simulink*, описаны блоки схемы (параметры и их функциональное назначение), выполнено моделирование системы передачи цифровой информации. По результатам моделирования построены экспериментальные графики энергетической эффективности и сделаны выводы о целесообразности применения сверточного кодирования в телеметрической системе.

В **заключении** подведены итоги диссертационного исследования, дается оценка полученных результатов и практические предложения для их реализации.

В **библиографическом списке** указывается список литературных источников, используемых для написания магистерской диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные радиосистемы передачи телеметрической информации часто работают в сложной электромагнитной обстановке. Для защиты от помех такие системы используют кодирование информации помехоустойчивыми кодами и алгоритмы декодирования.

Поэтому целью работы была разработка декодера символьной синхронизации данных телеметрии на основе помехоустойчивого кодирования как эффективного средства для борьбы с помехами в цифровых системах связи.

В результате выполнения работы был проведен обзор существующих видов помехоустойчивого кодирования, разработана схема телеметрической системы передачи цифровой информации с кодированием в СВЧ диапазоне, схемы сверточного кодера и декодера Витерби, была исследована эффективность применения сверточного кодирования в системе передачи цифровой информации (выполнено моделирование системы передачи цифровой информации с кодированием в *Matlab/Simulink*).

Таким образом, применение сверточного кодирования в телеметрической системе при использовании жесткого решения для декодирования по алгоритму Витерби дает ЭВК почти 2 дБ, а применение мягкого решения для декодирования по алгоритму Витерби – почти 4 дБ.

Полученный выигрыш можно использовать для увеличения дальности связи или же для уменьшения мощности передатчика.

Для разработанной схемы в *Matlab/Simulink* можно задавать различную скорость передачи информации, параметры сверточного кодера и декодера Витерби, изменять характеристики канала связи и других функциональных блоков, входящих в систему связи, оценить вероятность битовой ошибки на приемной стороне.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Марчук, Т. М. Адаптивная обработка сигналов на основе фильтра Калмана / Т. М. Марчук // Радиотехника и электроника: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 108 – 109.

[2] Т. М. Марчук. Блок памяти радиостанции с ППРЧ с защитой от вскрытия информации / Т. М. Марчук, П. В. Поветко // Радиотехника и электроника: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 110.

[3] Марчук, Т. М. Логическое кодирование 8b/10b / Т. М. Марчук // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель-май 2020 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 192 – 193.

[4] Т. М. Марчук. Метод цифровой генерации сигналов DDS / Т. М. Марчук, П. В. Поветко, А.Л. Матюшков // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020: Материалы республиканской научно-практической конференции 28-29 октября 2020 года Минск, Республика Беларусь. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2020. – С. 45 – 48.

[5] П. В. Поветко. Особенности формирования радиосигнала для управления беспилотным летательным аппаратом / П. В. Поветко, Т. М. Марчук, Э. М. Карпушкин // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020: Материалы республиканской научно-практической конференции 28-29 октября 2020 года Минск, Республика Беларусь. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2020. – С. 313 – 315.