

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



«21» июля 2023

Утвержден Ученым Советом ИФИ
протокол № 33

Инженерно-физический институт

Кафедра Телекоммуникаций

Автор(ы): кандидат тех. наук, доцент Бадалян Б.Ф.

Ученое звание, ученая степень, Ф.И.О

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.10 «Теория кодирования и сжатия данных»

Код и название дисциплины согласно учебному плану

Для магистратуры:

**Направление: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и
системы связи**

**Магистерская программа: 071301.00.7 «Беспроводные
коммуникации и сенсоры»**

ЕРЕВАН

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

1.1. В курсе дисциплины «Теория кодирования и сжатия данных» изучается проблема помехоустойчивого кодирования для защиты информации при передаче ее по каналам связи. Систематически излагаются основные понятия теории кодирования и основы теории сжатия сообщений. Приводятся некоторые сведения из теории чисел. Подробно описываются важнейшие классы кодов и принципы сжатия/распаковки данных на основе арифметических и статистических методов. Даны определения границ Хемминга, Синглтона, Варшамова-Гилберта. Приводятся схемы практической реализации популярных кодов. Рассмотрены алгоритмы итерационного декодирования для блочных и сверточных турбо кодов и кодов произведений, которые имеют технологические преимущества перед другими алгоритмами коррекции ошибок и могут найти применение в различных областях связи, обеспечивая высокие характеристики декодирования.

1.2. Данная дисциплина теснейшим образом связана со следующими дисциплинами: информационные технологии, теория информации, теория вероятностей, основы теории чисел, теория построения телекоммуникационных сетей и систем, основы информационной безопасности.

1.3. Для прохождения дисциплины студент должен

- **знать** основы информатики и вычислительной техники, основы теории чисел, теорию информации.

- **уметь** применять отмеченные знания при решении соответствующих задач.

1.4. Дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины следующие: - математика, теория информации, информатика, теория вероятностей и математическая статистика, основы информационной безопасности.

2. Содержание

2.1. **Цель дисциплины** – дать будущим специалистам по телекоммуникациям теоретические знания и сформировать у них практические навыки для решения задач оптимальной передачи сообщений при помощи кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки. Ознакомление студентов с классическими и современными помехоустойчивыми кодами, используемыми для передачи сообщений по различным каналам связи.

Задача – ознакомление студентов с конкретными процедурами и алгоритмами корректирующего кодирования и стандартами сжатия данных.

2.2. После изучения дисциплины студент должен:

- **знать** методы и средства построения различных корректирующих и префиксных кодов, используемых для передачи сообщений в информационных системах;
- **уметь** использовать различные коды для грамотного построения систем передачи цифровой информации;
- **иметь** представление о современных методах сжатия сообщений, а также о существующих методах защиты цифровых данных от ошибок, появляющихся в процессе передачи;
- **владеть** навыками построения и использования кодов, имеющих небольшую сложность практической реализации и обладающих высоким энергетическим выигрышем.

2.3. Трудоемкость дисциплины: в академических часах – 108, в кредитах -3

2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	108
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	34
1.1.1. Лекции	18
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	
1.1.2.1. Обсуждение прикладных проектов	-
1.1.2.2. Кейсы	-
1.1.2.3. Деловые игры, тренинги	-
1.1.2.4. Контрольные работы	-
1.1.2.5. Решение задач	16
1.1.3. Семинары	
1.1.4. Лабораторные работы	-
1.1.5. Другие виды (указать)	-
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	74
1.2.1. Подготовка к экзаменам	
1.2.2. Другие виды самостоятельной работы, в т.ч. (указать)	
1.2.2.1. Письменные домашние задания	
1.2.2.2. Курсовые работы	
1.2.2.3. Эссе и рефераты	
1.2.2.4. Другое (указать)	
1.3. Консультации	
1.4. Другие методы и формы занятий	
Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	зачет

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
---------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

<i>1</i>	2	3	4	5	6
МОДУЛЬ 1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	5	4		1	-
Введение. История кодирования для обнаружения и исправления ошибок. Приложения.	1	1	-	-	-
Раздел 1. Элементы систем цифровой связи	2	2			-
<i>Тема 1.1. Структурная схема системы передачи цифровой информации</i>	1	1			-
<i>Тема 1.2. Модели каналов связи и ошибки в дискретном канале</i>	1	1		-	-
Раздел 2. Основные проблемы, связанные с кодированием	2	1	-	1	-
<i>Тема 2.1. Пропускная способность канала связи. Классификация помехоустойчивых кодов</i>	2	1	-	1	-
МОДУЛЬ 2. ЭФФЕКТИВНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ КАНАЛА БЕЗ ПОМЕХ	5	2		3	-
Раздел 3. Определение количества информации	2	1		1	-
<i>Тема 3.1. Энтропия и избыточность</i>	2	1		1	-
Раздел 4. Эффективное и арифметическое кодирование источников дискретных сообщений	3	1		2	-
<i>Тема 4.1. Коды Шеннона-Фано и Хаффмана</i>	3	1		2	-

МОДУЛЬ 3. КОДИРОВАНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ	6	3		3	-
Раздел 5. Кодирование информации при передаче по дискретному каналу с помехами	4	2	-	2	-
<i>Тема 5.1. Теорема кодирования для канала с помехами</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 5.2. Принципы построения помехоустойчивых кодов</i>	2	1	-	1	-
Раздел 6. Оценки корректирующих возможностей кода	2	1	-	1	
<i>Тема 6.1. Границы Хемминга, Синглтона, Варшамова-Гилберта.</i>	2	1	-	1	-
МОДУЛЬ 4. ВАЖНЕЙШИЕ КЛАССЫ КОДОВ	11	5		6	-
Раздел 7. Линейные блочные коды	7	3		4	-
<i>Тема 7.1. Кодирование и декодирование блочных корректирующих кодов</i>	4	2		2	-
<i>Тема 7.2. Код Хемминга</i>	3	1		2	
Раздел 8. Кодирование и декодирование информации циклическими кодами	4	2		2	
<i>Тема 8.1. Циклические коды, коды БЧХ и Рида-Соломона</i>	4	2		2	-
МОДУЛЬ 5 СВЕРТОЧНЫЕ И ИТЕРАТИВНО ДЕКОДИРУЕМЫЕ КОДЫ	9	4		5	-
Раздел 9. Двоичные сверточные коды	5	2		3	-
<i>Тема 9.1. Основные структуры сверточных кодов и методы декодирования</i>	5	2		3	-
Раздел 10. Итеративно декодируемые коды	4	2		2	
<i>Тема 10.1. Составные коды</i>	4	2		2	-
ИТОГО	36	18		18	-

2.3.3 Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Введение

История кодирования, используемого для обнаружения и исправления ошибок. Роль и место теории кодирования в современных телекоммуникационных системах, основные приложения. Содержание дисциплины теория кодирования [1, гл.1].

Раздел 1. Элементы систем цифровой связи

Тема 1.1. Структурная схема системы передачи цифровой информации

Сообщение и сигнал. Система связи, канал связи. Кодирование и модуляция, демодуляция и декодирование, мягкие и жесткие решения детектора [2, часть 2, гл.1]

Тема 1.2. Модели каналов связи и ошибки в дискретном канале

Двоичный симметричный канал, дискретный канал без памяти, канал с аддитивным белым гауссовским шумом. Помехи в дискретном канале. Виды и источники помех [б.3, § 1.2]

Раздел 2. Основные проблемы связанные с кодированием

Тема 2.1. Пропускная способность канала связи. Классификация помехоустойчивых кодов

Производительность источника дискретных сообщений, техническая и информационные скорости передачи, пропускная способность канала. Согласование физических характеристик сигнала и канала. Общие сведения о кодах и схемах кодирования, блочные и сверточные коды, групповые коды, систематические и несистематические коды, каскадные и некаскадные коды [3, гл.7, б.1, гл.1].

МОДУЛЬ 2. ЭФФЕКТИВНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ КАНАЛА БЕЗ ПОМЕХ

Раздел 3. Определение количества информации

Тема 3.1. Энтропия и избыточность

Понятие источника информации. Источники сообщений и их свойства. Понятие избыточности информации. Количественная оценка информации. Энтропия, ее свойства. Энтропия как мера неопределенности выбора [2, часть 1, гл.1].

Раздел 4. Эффективное и арифметическое кодирование источников дискретных сообщений

Тема 4.1. Коды Шеннон-Фано и Хаффмана

Задача кодирования источников информации. Сжатие информации методом RLE. Эффективное кодирование. Условия взаимной однозначности алфавитного кодирования. Неравенство Крафта. Теорема Шеннона о кодировании источника. Код Шеннона-Фано, код Хаффмана. Сжатие/распаковка данных арифметическим методом [2, часть 1, гл.2,3,6].

МОДУЛЬ 3. КОДИРОВАНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ

Раздел 5. Кодирование информации при передаче по дискретному каналу с помехами

Тема 5.1. Теорема кодирования для канала с помехами

Основная теорема Шеннона о кодировании для канала с помехами [3, гл.9].

Тема 5.2. Принципы построения помехоустойчивых кодов

Разрешенные и запрещенные кодовые комбинации. Кодовое расстояние и вектор ошибок. Декодирование по методу максимального правдоподобия [3, гл.9].

Раздел 6. Оценка корректирующих возможностей кода

Тема 6.1. Границы Хемминга, Джоши, Варшамова-Гилберта.

Качества блокового кода. Совершенные коды. Верхняя граница Хемминга и нижняя граница Варшамова-Гилберта. Граница Синглтона [3, гл.9].

МОДУЛЬ 4. ВАЖНЕЙШИЕ КЛАССЫ КОДОВ.

Раздел 7. Линейные блоковые коды

Тема 7.1. Кодирование и декодирование блоковых корректирующих кодов

Линейные блоковые коды: построение и основные свойства. Порождающая и проверочные матрицы систематического линейного кода. Декодирование по минимуму расстояния и синдрому. Декодеры максимального правдоподобия. Вычисление синдрома. Декодирование по стандартной таблице [1, гл. 1].

Тема 7.2. Код Хемминга

Коды Хемминга: процедуры кодирования и декодирования. Вероятность ошибки декодирования. Расширенные и укороченные коды Хемминга [2, часть 2, гл.2].

Раздел 8. Кодирование и декодирование информации циклическими кодами

Тема 8.1. Циклические коды, коды BCH и Рида-Соломона

Кольца. Группы. Конечные поля, поля Галуа. Определение циклического кода, свойства. Архитектура кодера и декодера для циклического кода. Код Боуза-Чоудхури-Хоквингема. Декодирование кодов БЧХ по формулам. Декодер Питерсона-Горенштейна-Цирлера. Недвоичные циклические коды. Код Рида-Соломона, его свойства. [2, часть 2, гл.3,5]

МОДУЛЬ 5. СВЕРТОЧНЫЕ И ИТЕРАТИВНО ДЕКОДИРУЕМЫЕ КОДЫ

Раздел 9. Двоичные сверточные коды

Тема 9.1. Основные структуры сверточных кодов и методы декодирования

Кодирование информации сверточными кодами. Декодирование сверточных кодов: алгоритм Витерби. Перфорированные сверточные коды [2, часть 2, гл. 4.].

Раздел 10. Итеративно декодируемые коды

Тема 10.1. Составные коды

Модификация и комбинирование кодов. Каскадные коды. Перемежение/деперемежение данных в инфокоммуникационных системах. Итеративно декодируемые коды: турбо коды и произведение блочных кодов. Коды с низкой плотностью проверок на четность [1, гл. 6, 8].

2.3.4. Краткое содержание практических занятий - 18 часов.

1. Передача изображений между абонентами телефонной сети стандарта ISDN
2. Определение информационного потока при импульсно-кодовой модуляции
3. Энтропия непрерывного источника информации
4. Количество информации как мера снятой неопределенности
5. Теорема Шеннона о кодировании источника
6. Сжатие информации методом RLE
7. Код Шеннона-Фано, код Хаффмана. Кодирование изображений
8. Кодовое расстояние Хемминга и его связь с корректирующей способностью
9. Границы для минимального расстояния кодов
10. Линейные коды, исправляющие ошибки: построение и основные свойства
11. Вектор ошибок. Возможности исправления ошибок линейными кодами
12. Порождающая и проверочная матрица систематического линейного кода
13. Декодирование по минимуму расстояния и синдрому, вычисление синдрома
14. Табличное синдромное декодирование
15. Передача данных с использованием кодов Хемминга (7,4) и (15,11)
16. Конечные поля. Арифметика полей Галуа
17. Сопряженные элементы поля и минимальные многочлены
18. Полиномиальное описание циклических кодов
19. Порождающий и проверочный многочлены циклического кода
20. Построение проверочной матрицы циклического кода по корням его порождающего многочлена
21. Декодирование кодов БЧХ по формулам
22. Декодирование кодов БЧХ алгоритмом ПГЦ

23. Кодирование информации кодами Рида-Соломона
24. Декодирование кодов Рида-Соломона
25. Кодирование информации сверточными кодами
26. Декодирование сверточных кодов: алгоритм Витерби
27. Кодирование информации каскадными кодами
28. Перемежение кодовых слов
29. Итеративное декодирование параллельного составного кода
30. Итеративное декодирование последовательных схем составного кодирования
31. Графы Таннера

2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Учебные методические пособия
- Вычислительная техника
- Проектор
- Слайдоскоп

2.5. Распределение весов по модулям и формам контроля

Формы контролей	Весы форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Весы форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Весы оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Весы итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Весы результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля	
	M1 ¹	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3			
Контрольная работа					1							
Тест												
Курсовая работа												
Лабораторные работы												
Письменные домашние задания												
Реферат												
Эссе												
Семинары												
Решение задач		1										
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0,5				
Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0,5				
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей												
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										1		
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей												
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля												0.4
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)												(Зачет) 0.6
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

¹ Учебный Модуль

3. Теоретический блок

Рекомендуемая литература

а) Базовые учебники

1. **Морелос - Сарагоса Р.** Искусство помехоустойчивого кодирования.- М.: Техносфера, 2005.- 320 с.
2. **Вернер М.** Основы кодирования: Учебник для ВУЗов.-М.: Техносфера, 2004.- 288с.
3. **Костров Б. В.** Основы цифровой передачи и кодирования информации.- М.: «ТехБук», 2007.-192 с.

б) Основная литература

1. **Золотарев В. В., Овечкин Г. В.** Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник.-М.: Горячая линия-Телеком, 2004.-126 с.
2. **Клюев В. В.** Теория электрической связи: учебник.-Минск: Техноперспектива, 2008.-423 с.
3. **Матвеев Б. В.** Основы корректирующего кодирования: теория и лабораторный практикум: Учебное пособие.- 2-е изд., стер.- СПб.: Издательство «Лань», 2014.-192 с.
4. **Банкет В. Л.** Помехоустойчивое кодирование в телекоммуникационных системах: учебн. пособие. - Одесса: ОНАС им А.С. Попова, 2011. - 104 с.
5. **Шлома А. М., Бакулин Г. М., Крейнделин В. Б., Шумов А. П.** Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи.- М.: Горячая линия-Телеком, 2008.- 344 с.
6. **Шавенько Н.К.** Основы теории кодирования и сжатия сообщений: учебно-методическое пособие. – М: МИИГАиК, 2020. – 87 с.
7. **Першин В. Т.** Основы современной радиоэлектроники : учебное пособие / В. Т. Першин. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 541 с.
8. **Кларк Дж., Кейн Дж.** Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ.-М.: Радио и связь, 1987.

г) Дополнительная литература

1. **Бабков В. Ю., Цикин И. А.** Сотовые системы мобильной радиосвязи: учеб. пособие.-2-е изд., перераб. и доп.-СПб.:БХВ-Петербург, 2013.-432 с.
2. **Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С.** Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. Пособие.-М.: Эко-Трендз, 2005.-392с.
3. **Касами Т., Токура Н., Ивадари Ё., Инагаки Я.** Теория кодирования Пер. с яп.- М.: Мир, 1978.
4. **Блейхут Р.** Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ.М.: Мир, 1986.
5. **Марков А.А.** Введение в теорию кодирования. Учеб. пособие.- М.: Наука, 1982.

4. Перечень вопросов для итогового контроля

1. Роль и место теории кодирования в современных телекоммуникационных системах, основные приложения. Содержание дисциплины теория кодирования, помехоустойчивое кодирование.
2. Понятие сообщения и сигнала. Структурная схема системы передачи цифровой информации
3. Двоичная и многопозиционная модуляция
4. Основные модели каналов связи
5. Помехи в дискретном канале, виды и источники помех
6. Производительность источника дискретных сообщений, техническая и информационные скорости передачи, пропускная способность канала
7. Согласование физических характеристик сигнала и канала
8. Общие сведения о кодах и схемах кодирования
9. Примерная классификация помехоустойчивых кодов
10. Источники сообщений и их свойства. Понятие избыточности информации.
11. Количественная оценка информации. Энтропия, ее свойства. Энтропия как мера неопределенности выбора
12. Эффективное кодирование. Условия взаимной однозначности алфавитного кодирования
13. Теорема Шеннона о кодировании источника.
14. Код Шеннона-Фано, код Хаффмана
15. Арифметическое кодирование
16. Основная теорема Шеннона о кодировании для канала с помехами
17. Разрешенные и запрещенные кодовые комбинации. Кодовое расстояние и вектор ошибок
18. Декодирование по методу максимального правдоподобия
19. Совершенные коды. Верхняя граница Хемминга и нижняя граница Варшамова-Гилберта. Граница Синглтона
20. Линейные блочные коды: построение и основные свойства. Порождающая и проверочные матрицы систематического линейного кода
21. Декодирование по минимуму расстояния и синдрому. Декодеры максимального правдоподобия. Вычисление синдрома
22. Коды Хемминга: процедуры кодирования и декодирования
23. Расширенные и укороченные коды Хемминга

24. Передача данных с использованием кодов Хемминга (7,4) и (15,11)
25. Кольца. Группы. Конечные поля, поля Галуа
26. Определение циклического кода, свойства. Архитектура кодера и декодера для циклического кода
27. Код Боуза-Чоудхури-Хоквингема. Декодирование кодов БЧХ по формулам
28. Декодер Питерсона-Горенштейна-Цирлера
29. Недвоичные циклические коды. Код Рида-Соломона, его свойства
30. Декодирование кодов Рида-Соломона
31. Кодирование информации сверточными кодами
32. Декодирование сверточных кодов: алгоритм Витерби
33. Перфорированные сверточные коды
34. Модификация и комбинирование кодов. Каскадные коды
35. Виды перемежителей
36. Итеративно декодируемые коды: турбо коды и произведение блочных кодов
37. Коды с низкой плотностью проверок на четность

Учебная программа:

одобрена Кафедрой телекоммуникации

Зав. кафедрой: А.К. Агаронян

(подпись)