

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением
президиума ученого совета ННГУ
протокол от " 16 " января 2024 г. № 1

Рабочая программа дисциплины
Помехоустойчивое кодирование в системах радиосвязи

Уровень высшего образования
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Программа аспирантуры
Радиофизика

Научная специальность
1.3.4 Радиофизика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2024 год начала подготовки

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Помехоустойчивое кодирование» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2-ом году обучения в 3 семестре.

Цель дисциплины – углубленное ознакомление аспирантов теорией помехоустойчивого кодирования. Основной задачей лекционного курса является рассмотрение различных современных кодов: блоковых, циклических, сверточных, кодов с малой плотностью проверки на четность, турбокодов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- Различные виды кодов;
- Основные критерии декодирования различных кодов;
- Практические аспекты применения кодов в современных системах связи;

Уметь:

- Анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач;
- Использовать полученные знания с учетом новейшего отечественного и зарубежного опыта для обработки сигналов в современных системах связи;

Владеть:

- Методами построения моделей и расчета характеристик кодеров и декодеров.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1

Структура дисциплины

| Наименование раздела дисциплины | Всего, часов | В том числе | | | | | |
|---|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-------|--|
| | | Контактная работа, часов | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часов |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего | |
| 1. Введение | 2 | 1 | - | - | - | 1 | 1 |
| Часть 1. Классические методы помехоустойчивого кодирования | | | | | | | |
| 2. Основные критерии, применяемые при декодирование принятой последовательности | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 3. Линейный блоковые коды, их представление и основные свойства | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |

| | | | | | | | |
|--|----|----|---|---|---|----|----|
| 4. Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блочных кодов | 8 | 4 | - | - | - | 4 | 4 |
| 5. Циклические коды, их представление и основные свойства | 8 | 4 | - | - | - | 4 | 4 |
| 6. Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 7. Сверточные коды, их представление и свойства | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 8. Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| Часть 2. Современные методы помехоустойчивого кодирования | | | | | | | |
| 9. Декодирование по критерию максимума апостериорной информации | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 10. Основные принципы построения и декодирования турбо кодов | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 11. Коды с малой плотностью проверки на четность. Кодирование и представление кодов | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| 12. Итеративное декодирование кодов с малой плотностью проверки на четность. Практические аспекты их применения в современных системах связи | 6 | 3 | - | - | - | 3 | 3 |
| Аттестация по дисциплине – зачет | | | | | | | |
| Итого | 72 | 36 | | | | 36 | 36 |

Таблица 2

Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля* |
|---|--|--|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Введение | Историческая справка. Основные задачи теории помехоустойчивого кодирования. | Лекции | - |
| Часть 1. Классические методы помехоустойчивого кодирования | | | | |
| 2 | Основные критерии, применяемые при декодировании принятой последовательности | Декодирование по критерию максимума правдоподобия. Декодирование по критерию минимума расстояния для двоично-симметричного канала связи. | Лекции | - |
| 3 | Линейные блочные коды, их представление и основные свойства | Порождающая и проверочная матрицы кода. Систематический код. Свойства линейных кодов. | Лекции | - |

| | | | | |
|---|---|--|--------|---|
| | | Геометрическая интерпретация. Модификация кодов. | | |
| 4 | Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блоковых кодов | Построение стандартного расположения. Понятие синдрома. Геометрическая интерпретация. Декодирование линейных кодов. | Лекции | - |
| 5 | Циклические коды, их представление и основные свойства | Определение. Полиномиальное представление. Порождающий полином. Свойства циклических кодов. | Лекции | - |
| 6 | Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов | Аппаратная и программная реализации процедуры кодирования циклических кодов. Декодер Меггита. | Лекции | - |
| 7 | Сверточные коды, их представление и свойства | Диаграмма состояний. Решетчатая диаграмма. Матричное и полиномиальное представления кодов. | Лекции | - |
| 8 | Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи | Метрика ребра и пути. Алгоритм Витерби. Декодирование с «мягкими» и «жесткими» решениями де-модулятора. Практические приемы упрощения сложности декодирования. | Лекции | - |
| Часть 2. Современные методы помехоустойчивого кодирования | | | | |
| 9 | Декодирование по критерию максимума апостериорной информации | Алгоритм декодирования по критерию максимума апостериорной информации для сверточных кодов. Логарифмическое представление. | Лекции | - |
| 10 | Основные принципы построения и декодирования турбо кодов | Параллельное соединение сверточных кодов. Внутренний интерливер. Итеративное декодирование турбо кодов. Практические аспекты их реализации. | Лекции | - |
| 11 | Коды с малой плотностью проверки на четность. Кодирование и представление кодов | Определение кодов. Двудольный граф. Матричное представление кодов. Алгоритмы кодирования. | Лекции | - |
| 12 | Итеративное декодирование | Итеративное декодирование кодов с малой плотностью | Лекции | - |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| | кодов с малой плотностью проверки на четность. Практические аспекты их применения в современных системах связи | проверки на четность. Примеры кодов, используемых в современных системах связи. Основные архитектуры декодеров. | | |
|--|--|---|--|--|

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Собеседование с обучающимися во время аудиторных занятий.
3. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде семинаров по современным проблемам радиофизики, проводимым на кафедре факультативно.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

| Оценка | Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i> | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. Основные критерии декодирования помехоустойчивых кодов. Декодирование по критерию минимального расстояния для двоично-симметричного канала и двоичного канала с аддитивным белым гауссовским шумом.
2. Основные задачи теории помехоустойчивого канального кодирования. Расстояние и вес Хэмминга. Статистическая модель системы связи. Классификация схем помехоустойчивого кодирования. Границы помехоустойчивости и их геометрическая интерпретация.
3. Введение в алгебру. Построение поля $GF(p^m)$. Понятие векторного пространства.
4. Определение линейного блочного кода. Порождающая и проверочная матрицы. Процедура кодирования систематического кода. Соотношение между порождающей и проверочной матрицами. Процедуры выкалывания, расширения и выбрасывания для модификации линейных блочных кодов.
5. Свойства линейных блочных кодов. Минимальное расстояние линейного блочного кода. Связь минимального расстояния кода и количества исправляемых ошибок. Геометрическая интерпретация.
6. Синдромное декодирование линейных блочных кодов. Понятие синдрома. Стандартное расположение. Таблица синдромов.
7. Границы помехоустойчивости линейных блочных кодов. Границы Синглтона и Хэмминга.
8. Примеры построения линейных блочных кодов. Коды Хэмминга и их свойства. Минимальное расстояние кодов Хэмминга.
9. Определение циклического кода. Алгебраическая связь вектора и его циклического сдвига. Свойства циклических кодов. Порождающая матрица циклического кода. Систематические циклические коды.
10. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов. Ускоренные методы кодирования циклических кодов. Практическое применение циклических кодов.
11. Декодирование циклических кодов. Вычисление синдрома циклических кодов. Теорема Меггита. Структурная схема декодера Меггита.
12. Определение кодов Рида-Соломона. Построение и схемная реализация процедуры кодирования.
13. Декодирование кодов Рида-Соломона. Декодер Питерсона-Горенштейна-Цилера.
14. Определение сверточного кода. Диаграмма состояний, решетчатая диаграмма, ребро, путь. Процедура кодирования. Завершение кодирования в нулевое состояние и сверточный код с циклической структурой. Простейшие примеры сверточного кодирования.
15. Декодирование сверточных кодов. Метрика ребра, частичного пути и пути. Алгоритм Витерби. Вычислительная сложность алгоритма Витерби. Пример декодирования Витерби для простейших сверточных кодов.
16. Практические особенности применения сверточных кодов в системах связи. Процедура блочного и сверточного интерливинга. Повышение скорости кодирования сверточных кодов с помощью процедуры выкалывания.
17. Декодирование сверточных кодов с мягкими решениями. Вычисление LLR для 16-QAM модуляции.
18. Турбо кодирование. Структурная схема процедуры кодирования, на примере параллельного соединения двух сверточных кодов. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации. BCJR алгоритм декодирования.
19. Коды с малой плотностью проверки на четность. Методы построения и описания кодов с помощью двудольного графа. Регулярные коды. Построение кодов Галлагера и Мак-Кея. Декодирование кодов с малой плотностью проверки на четность.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: «Книга по требованию», 2013.
2. Прокис Джон Цифровая связь. М.: Радио и связь. 2000.

б) дополнительная литература:

1. Феер К. - Беспроводная цифровая связь: Методы модуляции и расширения спектра. - М.: Радио и связь, 2000. - 520 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>; <http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор: к.ф.-м.н. А.В. Давыдов

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент И.Ю. Грязнова

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. А.А. Мальцев

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «18» декабря 2023 года, протокол № 09/23.