

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы помехоустойчивого кодирования

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.19 Основы помехоустойчивого кодирования относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-11: Способен применять положения теории в области электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, кодирования, электрической связи, цифровой обработки сигналов для решения задач профессиональной деятельности;	ОПК-11.1: Знает: - устройство, принципы построения и работы типовых электрических цепей - методы анализа электрических цепей при постоянных напряжениях, гармонических и произвольных воздействиях - технические возможности основных электрических цепей - виды модуляции сигналов - математические модели сигналов - методы спектрального и корреляционного анализа сигналов - спектральные и корреляционные характеристики аналоговых и дискретных детерминированных сигналов - принципы построения систем связи - методы представления сообщений, сигналов и помех - преобразование сигналов в каналах связи - теоретические основы оптимального приема сигналов на фоне помех - структуры оптимальных приемников сигналов на фоне помех - основные понятия теории информации и кодирования: энтропия, взаимная информация, источники	ОПК-11.1: Знать - методы представления сообщений, сигналов и помех - теоретические основы оптимального приема сигналов на фоне помех ОПК-11.2: Уметь - применять корреляционный и спектральный анализ сигналов - выбирать статистические модели сигналов и помех - выбирать структуры оптимальных приемников сигналов на фоне помех - оценивать помехоустойчивость оптимального приема сигналов на фоне помех - вычислять теоретико информационные характеристики источников сообщений и каналов связи - строить и изучать математические модели систем передачи информации для решения расчетных и исследовательских задач ОПК-11.3: Владеть - навыками определения	Собеседование Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

	<p>сообщений, каналы связи, коды - основные результаты о кодировании при наличии и отсутствии шума - основные понятия оптимального кодирования источников информации и помехоустойчивого кодирования каналов связи - физические основы излучения и распространения радиоволн в различных средах - особенности распространения радиоволн различных диапазонов частот - дискретные и цифровые сигналы и системы, способы их представления и описания - основные методы анализа дискретных сигналов и систем - методы проектирования цифровых фильтров - приложения теории цифровой обработки сигналов в задачах приема, передачи и преобразования сообщений - принципы построения систем связи - методы представления сообщений, сигналов и помех - теоретические основы оптимального приема сигналов на фоне помех</p> <p>ОПК-11.2: Умеет: - рассчитывать параметры основных видов электрических цепей в стационарных и переходных режимах процессов в них - экспериментально определять параметры основных видов электрических цепей - производить оценку технических характеристик электрических цепей различного назначения - использовать типовые пакеты прикладных программ для анализа электрических цепей - строить математические</p>	<p>основных параметров помехоустойчивых кодов - навыками реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов</p>		
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

	<p> модели типовых радиотехнических сигналов - выбирать эффективные модели сигналов и методы их формирования - применять корреляционный и спектральный анализ сигналов - выбирать статистические модели сигналов и помех - выбирать структуры оптимальных приемников сигналов на фоне помех - оценивать помехоустойчивость оптимального приема сигналов на фоне помех - вычислять теоретико- информационные характеристики источников сообщений и каналов связи - строить и изучать математические модели систем передачи информации для решения расчетных и исследовательских задач - рассчитывать типовые параметры трасс распространения радиоволн - применять методы цифрового представления сигналов и систем обработки - использовать типовые пакеты прикладных программ для анализа и синтеза систем цифровой обработки сигналов - выбирать структуры оптимальных приемников сигналов на фоне помех ОПК-11.3: Владеет: - навыками экспериментального исследования типовых линейных и нелинейных электрических цепей - навыками расчета параметров элементов электрических цепей - навыками расчета параметров типовых радиотехнических сигналов - навыками формирования </p>			
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

	реализаций типовых радиотехнических сигналов - теоретически обоснованными методами оптимизации приемников сигналов на фоне помех - навыками определения основных параметров помехоустойчивых кодов - навыками реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов			
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Часть 1. Введение	2	1		1	1
Часть 2. Основные критерии, применяемые при декодирование принятой последовательности	4	2		2	2
Часть 3. Линейный блоковые коды, их представление и основные свойства	7	3		3	4

Часть 4. Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блоковых кодов	7	3		3	4
Часть 5. Циклические коды, их представление и основные свойства	7	3		3	4
Часть 6. Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов	8	4		4	4
Часть 7. Сверточные коды, их представление и свойства	9	4		4	5
Часть 8. Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи	9	4		4	5
Часть 9. Декодирование по критерию максимума апостериорной информации	9	4		4	5
Часть 10. Основные принципы построения и декодирования турбо кодов	9	4		4	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Часть 1.

Введение

Часть 2.

Основные критерии, применяемые при декодирование принятой последовательности

Часть 3.

Линейный блоковые коды, их представление и основные свойства

Часть 4.

Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блоковых кодов

Часть 5.

Циклические коды, их представление и основные свойства

Часть 6.

Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов

Часть 7.

Сверточные коды, их представление и свойства

Часть 8.

Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи

Часть 9.

Декодирование по критерию максимума апостериорной информации

Часть 10.

Основные принципы построения и декодирования турбо кодов

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-11:

1. Определение линейного блочного кода. Порождающая и проверочная матрицы. Процедура кодирования систематического кода..
2. Свойства линейных блочных кодов. Минимальное расстояние линейного блочного кода.
3. Синдромное декодирование линейных блочных кодов. Понятие синдрома.
4. Коды Хэмминга и их свойства.
5. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов.
6. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации.
7. Турбо коды
8. Коды с малой плотностью проверки на четность.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-11:

Задача 1

Для линейного двоичного (8, 4) кода уравнения для проверки на четности задаются следующими выражениями

$$v_0 = u_1 + u_2 + u_3$$

$$v_1 = u_0 + u_1 + u_2$$

$$v_2 = u_0 + u_1 + u_3$$

$$v_3 = u_0 + u_2 + u_3$$

$$v_0, v_1, v_2, v_3$$

где u_0, u_1, u_2, u_3 – информационные биты, v_0, v_1, v_2, v_3 – проверочные биты.

- Найти порождающую матрицу и проверочную матрицу данного кода
- Показать, что минимальное расстояние данного кода равно 4
- Построить стандартное расположение для данного кода
- Вычислить таблицу синдромов

Задача 2

Порождающая матрица (6,3) двоичного кода равна

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Найти порождающие и проверочные матрицы эквивалентного систематического кода (два кода называются эквивалентными, если совпадают их кодовые слова)
- Определить число ошибок, которые может исправлять данный код
- Построить стандартное расположение для данного кода
- Построить таблицу синдромов

Задача 3

(15,11) циклический код задается порождающим полиномом $g(X) = 1 + X + X^4 + X^5 + X^6 + X^7 + X^8 + X^9 + X^{10} + X^{11} + X^{12} + X^{13} + X^{14}$.

Найти проверочный полином $h(X)$ кода

- Построить порождающую и проверочную матрицы данного кода в систематическом виде

Задача 4

Для $(2^m - 1, 2^m - m - 1)$ кода Хэмминга определить число синдромов в таблице синдромов.

Задача 5

Для (15,11) циклического кода, заданного порождающим полиномом $g(X) = 1 + X + X^4 + X^5 + X^6 + X^7 + X^8 + X^9 + X^{10} + X^{11} + X^{12} + X^{13} + X^{14}$,

построить схемы кодирования и декодирования.

Задача 6

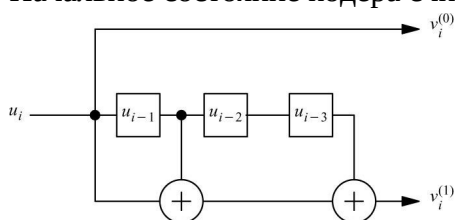
Показать, что
полином

$$g(X) = 1 + X^2 + X^4 + X^6 + X^7 + X^{10} \text{ задает } (21,11) \text{ циклический код.}$$

Построить схему вычисления синдромов. Вычислить синдром полинома $r(X) = 1 + X^5 + X^{17}$

Задача 7

Для сверточного кода, представленного на рисунке, построить диаграмму состояний и решетку. Начальное состояние кодера считать нулевым



Задача 8

Для (58,78) сверточного кода декодировать последовательность
0011111100101110010110000111

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			

(индикатор достижения)							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»

	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-11

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 декодер 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-КАМ 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ермолаев Виктор Тимофеевич. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 368 с. - ISBN 978-5-91326-143-4 : 187.95., 68 экз.

Дополнительная литература:

1. Ермолаев Виктор Тимофеевич. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 368 с. - ISBN 978-5-91326-143-4 : 187.95., 68 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Давыдов А.В., Мальцев, А.А. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования
<http://www.unn.ru/pages/ranking/method/vtpk.pdf>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор(ы): Аверин Илья Михайлович, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.