

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 ученого совета
ННГУ протокол от «02»
декабря 2024 г. № 10

Рабочая программа дисциплины «Современные системы мобильной
связи 4 и 5 поколения: WiFi и LTE и 5G NR»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность
1.3.4. Радиофизика

Программа подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Радиофизика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2025 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Современные системы мобильной связи 4 и 5 поколения: WiFi и LTE и 5G NR» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-ом году обучения в 5 семестре.

Цель дисциплины – углубленное ознакомление аспирантов с современными системами связи с ортогональным частотным мультиплексированием и разбор физического уровня последних релизов стандартов LTE и Wi-Fi.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- основные принципы генерации и обработки сигналов в OFDM и OFDMA системах связи;
- основные принципы передачи и обработки сигналах в MIMO системах связи;
- основные принципы организации передачи сигналов в системах беспроводного доступа в Интернет Wi-Fi (IEEE 802.11).

Уметь:

- рассчитывать теоретическую пропускную способность на физическом уровне систем сотовой связи LTE и беспроводного доступа в Интернет Wi-Fi.

Владеть:

- Владеть методами расчета бюджета линии связи LTE и Wi-Fi.

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					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение	4	2	-	-	-	2	2
Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи)							
2. Обработка сигналов в OFDM-системах связи	4	2	-	-	-	2	2
3. Основные характеристики OFDM-системы связи	4	2	-	-	-	2	2
4. Методы оценки передаточной функции канала	4	2	-	-	-	2	2

5. Методы частотной и временной синхронизации	4	2	-	-	-	2	2
Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9							
6. Технология множественного доступа OFDMA	4	2				2	2
7. Технология множественного доступа SC-FDMA	4	2				2	2
8. Основные схемы пространственной обработки при использовании технологии MIMO	4	2				2	2
9. Синхронизация и поиск соты в LTE	4	2				2	2
10. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале	4	2				2	2
11. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции	4	2				2	2
12. Основные особенности компьютерного моделирования работы передатчика и приёмника на физическом уровне системы связи LTE	4	2				2	2
Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g							
13. Архитектура беспроводных локальных сетей Wi-Fi	6	3				3	3
14. Обзор уровня контроля доступа к среде	6	3				3	3
15. Обзор физического уровня стандарта IEEE802.11a/g	6	3				3	3
16. Основные особенности компьютерного моделирования процедур обработки сигналов на приёмнике и передатчике беспроводной системы связи Wi-Fi IEEE802.11a/g	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. Понятия многолучевого распространения сигналов и межсимвольной интерференции.	Лекции	-
Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи)				
2	Обработка сигналов в OFDM-системах связи	OFDM модуляция. Модуляция и демодуляция OFDM сигнала с использованием быстрого	Лекции	-

		преобразования Фурье. Использование циклического префикса для сохранения ортогональности поднесущих OFDM сигнала в многолучевом канале		
3	Основные характеристики OFDM-системы связи	Модель OFDM системы связи в частотной области. Выбор параметров OFDM системы.	Лекции	-
4	Методы оценки передаточной функции канала	Использование пилотных сигналов для оценки канальной матрицы. Метод наименьших квадратов и метод минимальной среднеквадратичной ошибки	Лекции	-
5	Методы частотной и временной синхронизации	Использование циклического префикса для временной синхронизации. Использование пилотных сигналов для временной и частотной синхронизации	Лекции	-
Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9				
6	Технология множественного доступа OFDMA	Ортогональное частотное мультиплексирование пользователей OFDMA	Лекции	-
7	Технология множественного доступа SC-FDMA	Технология множественного доступа SC-FDMA, отличия SC-FDMA от OFDMA. Локализованное и распределённое отображение частотных выборок на поднесущие в SC-FDMA, преимущества и недостатки	Лекции	-
8	Основные схемы пространственной обработки при использовании технологии MIMO	Пространственное разнесение. Схема Аламоути (SFBC). Пространственное мультиплексирование. Пространственное разделение пользователей	Лекции	-
9	Синхронизация и поиск соты в LTE	Основные этапы синхронизации базовой станции и абонентского устройства в системах LTE. Последовательности Задова-Чу	Лекции	-
10	Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале	Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PBCH, PCFICH, PHICH и PDCCH	Лекции	-
11	Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов,	Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDSCH, режимы передачи PDSCH	Лекции	-

	передаваемых от абонентов на базовые станции			
12	Основные особенности компьютерного моделирования работы передатчика и приёмника на физическом уровне системы связи LTE	Процедура случайного доступа. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PRACH и PUCCH.	Лекции	-
Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g				
13	Архитектура беспроводных локальных сетей Wi-Fi	Топология и основные узлы сети WLAN	Лекции	-
14	Обзор уровня контроля доступа к среде	Основные функции протокола MAC. Основной фрейм MAC уровня. Типы фреймов, их формат и назначение	Лекции	-
15	Обзор физического уровня стандарта IEEE802.11a/g	Назначение и основные параметры физического уровня. Временная и частотная структура фрейма. Временная структура преамбулы фрейма, субфреймов "SIGNAL" и "DATA". Математическое описание сигналов фрейма. Процедуры шифрования, сверточного кодирования и перемежения данных. Модуляции. Используемые диапазоны частот (channelization). Уровни мощности и спектр излучаемого сигнала (спектральная маска).	Лекции	-
16	Основные особенности компьютерного моделирования процедур обработки сигналов на приёмнике и передатчике беспроводной системы связи Wi-Fi IEEE802.11a/g	Требуемая вероятность фреймовых (пакетных) ошибок и необходимая чувствительность приемника. Влияние неидеальности частотной и временной синхронизации. Символьная синхронизация «вслепую» и на основе пилотных сигналов в OFDM системе	Лекции	-

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. MAC уровень стандарта IEEE 802.11a. Независимые зоны обслуживания (ad-hoc сети). Зоны обслуживания с точкой доступа. Понятие скрытого узла. Понятие о механизме «множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий».
2. Физический уровень стандарта IEEE 802.11a. Основные параметры стандарта. Структура фрейма. Временная и частотная структура субфреймов “PREAMBLE”, “SIGNAL” и “DATA”. Модуляция данных.
3. Архитектура и функциональное назначение логических узлов опорной сети (Core Network) и сети радиодоступа (Radio Access Network).

4. Синхронизация и поиск соты в LTE.
5. Архитектура и функциональное назначение протоколов Layer 1, Layer 2, Layer 3. Процедура случайного доступа.
6. Технология множественного доступа OFDMA. Технология множественного доступа SC-FDMA, отличия SC-FDMA от OFDMA.
7. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
8. Локализованное и распределённое отображение частотных выборок на поднесущие в SC-FDMA, преимущества и недостатки.
9. Временные структуры кадра LTE.
10. Ресурсная сетка LTE, расстояние между поднесущими, длительность OFDM символа, частота дискретизации, поддерживаемые полосы частот.
11. Последовательности Задова-Чу.
12. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
13. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PBCH.
14. Опорные (пилотные) сигналы, пример процедуры оценивания канала.
15. Пространственное мультиплексирование Closed-loop в LTE Rel-8/9.
16. Функциональное назначение и обработка сигналов в физических каналах PCFICH и PHICH.
17. Опорные сигналы, используемые при передаче от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
18. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDCCH.
19. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PRACH.
20. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDSCH, режимы передачи PDSCH.
21. Разнесённая передача сигналов от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
22. Пространственное мультиплексирование Open-loop в LTE Rel-8/9.
23. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PUCCH.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Прокис Д. Цифровая связь. Пер. с англ. – М: Радио и связь, 2000. 800 с.
2. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Монография. – Нижний Новгород: ННГУ, 2011. – 368 с.
3. В.Т. Ермолаев, А.А. Мальцев, А.Г. Флакман, О.В. Болховская, А.В. Ключев. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи. Учебное пособие. / Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2014. 234 с.

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.

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. Г.В. Морозов

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

Заведующий кафедрой статистической радиофизики и мобильных систем связи: д.ф.-м.н., профессор А.А. Мальцев

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «28» ноября 2024 года, протокол № 06/24.