

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Современные сети Wi-Fi
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

Е.М. Хоров, канд. техн. наук

И.А. Левицкий

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 20.04.2020

Аннотация

В данном курсе рассматриваются проблемы современных сетей Wi-Fi, обеспечивающих высокую скорость, низкое энергопотребление, многошаговую передачу информации, а также работающих в миллиметровом диапазоне радиоволн. Особое внимание уделено актуальным задачам развития технологии Wi-Fi, нашедших свое отражение в последних дополнениях к стандарту, в том числе тех, что разрабатываются на момент чтения курса: 11ax, 11ay, 11ba, 11be и других.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами основ функционирования, архитектуры и протоколов современных сетей Wi-Fi, в том числе сетей Wi-Fi, ориентированных на специальные сценарии использования (многошаговые беспроводные сети, плотные беспроводные сети, высокоскоростная беспроводная передача больших объемов данных и др.).

Задачи дисциплины

- формирование представления об эволюционном развитии технологии Wi-Fi, многообразии современных сетей Wi-Fi и сценариях их использования, а также о направлениях развития технологии Wi-Fi сегодня;
- изучение применимости различных сетей Wi-Fi при решении тех или иных телекоммуникационных задач;
- изучение основных протокольных особенностей различных современных сетей Wi-Fi;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований современных сетей Wi-Fi.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные типы современных сетей Wi-Fi и сценарии их применения;
- основные отличительные особенности тех или иных сетей Wi-Fi, а также алгоритмы/методы/механизмы, которые в них применяются;
- современные направления развития технологии Wi-Fi.

уметь:

- свободно ориентироваться во всём многообразии современных сетей Wi-Fi;
- использовать полученные знания о той или иной технологии Wi-Fi для анализа ее применимости при решении конкретной телекоммуникационной задачи, а также для оптимальной настройки протокольных параметров;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных сетей Wi-Fi.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов цифровой беспроводной связи по их техническим описаниям и спецификациям.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Многошаговые сети (дополнение IEEE802.11s)	8			8
2	Высокоскоростные сети Wi-Fi (дополнения IEEE802.11n, IEEE802.11ac)	6			6
3	Плотные сети Wi-Fi (дополнение IEEE802.11ax)	6			6
4	Сети Wi-Fi в миллиметровом диапазоне (дополнения IEEE802.11ad, IEEE802.11ay)	6			6
5	Перспективы развития технологии Wi-Fi	4			4
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Многошаговые сети (дополнение IEEE802.11s)

Сети MANET и mesh-сети. Обнаружение соседей. Математическая модель механизма управления соединениями в многошаговых сетях с протоколами IEEE 802.11s и NHDP. Протоколы маршрутизации: OLSR, HWMP. Резервирование канала. МССА. Математическая модель передачи мультимедийного трафика реального времени методом детерминированного доступа.

2. Высокоскоростные сети Wi-Fi (дополнения IEEE802.11n, IEEE802.11ac)

Адаптация методов доступа к каналу при использовании технологии многоантенных передач ММО и объединении частотных каналов. Агрегирование A-MPDU/A-MSDU. Блочное подтверждение доставленных данных. Технология многопользовательских многоантенных передач MU-MIMO в нисходящем канале. Методы энергосбережения. Процедура разделения ТХОР в дополнении IEEE 802.11ac. Протокол обратной передачи данных (Reverse Direction protocol) в дополнениях IEEE 802.11n.

3. Плотные сети Wi-Fi (дополнение IEEE802.11ax)

Проблемы плотных сетей. Множественный доступ OFDMA с ортогональным частотным разделением. Планировщики ресурсов в сетях IEEE 802.11ax. Метод случайного доступа к каналу на основе технологии OFDMA. Технология многопользовательских многоантенных передач MU-MIMO в восходящем канале. Механизм справедливого распределения общего канального ресурса в сетях IEEE 802.11ax между «устаревшими» (legacy) станциями и станциями 802.11ax. Аналитическая модель настройки параметров EDCA в сетях IEEE 802.11ax. Методы снижения интерференции в плотных сетях Wi-Fi. Адаптивный порог RTS/CTS. Механизмы энергосбережения в сетях IEEE 802.11ax.

4. Сети Wi-Fi в миллиметровом диапазоне (дополнения IEEE802.11ad, IEEE802.11ay)

Особенности беспроводной передачи данных в диапазоне 60 ГГц. Сценарии использования сверхвысокоскоростных сетей Wi-Fi. Архитектура сети. Кластеризация. Централизованное и распределенное управление кластером. Временная структура суперкадра. Антенная решетка. Направленные передачи. Процедура фокусировки луча. Пространственное разделение. Квазипериодическое резервирование ресурсов. Аналитическая модель метода детерминированного доступа к каналу в сетях IEEE 802.11ad. Методы ретрансляции данных в сетях IEEE802.11ad/ay: переключение соединения, совместная ретрансляция.

5. Перспективы развития технологии Wi-Fi

Повышение энергоэффективности устройств Wi-Fi с помощью использования дополнительного радиоинтерфейса. Позиционирование устройств Wi-Fi внутри зданий. Li-Fi – передача в спектре видимого излучения. Обеспечение сверхнизкой задержки при доставке данных в сетях Wi-Fi. Полнодуплексная передача.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектор или плазменная панель), доской.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Matthew Gast, 802.11n: A Survival Guide, 1st Edition, O'Reilly, ISBN-13: 978-1449312046
2. Matthew S. Gast. 802.11ac: A Survival Guide: Wi-Fi at Gigabit and Beyond, O'Reilly
3. E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov, G. Bianchi. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 21, Issue 1, Firstquarter 2019

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. E. Perahia, C. Cordeiro, M. Park, and L. L. Yang, "IEEE 802.11ad: Defining the next generation multi-gbps Wi-Fi," in Proc. 7th IEEE Consum. Commun. Netw. Conf., Jan. 2010, pp. 1–5.
2. Evgeny Khorov, Artem Krasilov, Alexander Krotov, Andrey Lyakhov. Will MCCA Revive Wireless Multihop Networks? //Computer Communications. Volume 104, May 2017, Pages 159–174
3. E. Khorov, I. Levitsky, I. F. Akyildiz. Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future (Wi-Fi 7). IEEE Access, 2020

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://standards.ieee.org/about/get/>
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standards.jsp>
<http://www.rle.mit.edu/rgallager/notes.htm>
<https://mentor.ieee.org/802.11/documents>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общими понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и утверждения теории массового обслуживания, теории случайных процессов, современные направления развития теории вероятностей.

Успешное освоение курса требует напряженной самостоятельной работы студента. В программе курса отведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам занятий, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, решение задач;
- подготовка к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Разработчики:

Е.М. Хоров, канд. техн. наук

И.А. Левицкий

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные сети Wi-Fi» обучающийся должен:

знать:

- основные типы современных сетей Wi-Fi и сценарии их применения;
- основные отличительные особенности тех или иных сетей Wi-Fi, а также алгоритмы/методы/механизмы, которые в них применяются;
- современные направления развития технологии Wi-Fi.

уметь:

- свободно ориентироваться во всем многообразии современных сетей Wi-Fi;
- использовать полученные знания о той или иной технологии Wi-Fi для анализа ее применимости при решении конкретной телекоммуникационной задачи, а также для оптимальной настройки протокольных параметров;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных сетей Wi-Fi.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов цифровой беспроводной связи по их техническим описаниям и спецификациям.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

1. Понятие многошаговой сети, основные отличия технологий MANET и Wi-Fi mesh.
2. Основные цели и задачи механизма обнаружения соседей. Критерии эффективности механизма обнаружения соседей. Механизмы обнаружения соседей в протоколах IEEE 802.11s и NHDP.
3. Математические модели механизмов обнаружения соседей в протоколах IEEE 802.11s и NHDP.
4. Понятие маршрутизации. Метрики маршрутизации. Проактивная, реактивная и гибридная маршрутизация. Протоколы маршрутизации OLSR и HWMP.
5. Понятие о резервировании канала. Детерминированный доступ к каналу МССА. Математическая модель передачи мультимедийного трафика реального времени методом детерминированного доступа.
6. Особенности методов доступа к каналу при объединении частотных каналов. Основные принципы технологии многоантенных передач MIMO, MU-MIMO в нисходящем и восходящем каналах.
7. Агрегирование данных при передаче. A-MPDU/A-MSDU. Блочное подтверждение доставленных данных.
8. Процедура разделения TXOP в дополнении IEEE 802.11ac. Протокол обратной передачи данных (Reverse Direction protocol) в дополнениях IEEE 802.11n.
9. Проблема интерференции в плотных беспроводных сетях Wi-Fi и подходы к ее решению: динамический контроль мощности передачи, адаптивная настройка порога детектирования занятости среды, временное разделение канала, адаптивный порог RTS/CTS.
10. Множественный доступ OFDMA с ортогональным частотным разделением. Планировщики ресурсов в сетях IEEE 802.11ax. Метод случайного доступа к каналу на основе технологии OFDMA.
11. Механизм справедливого распределения общего канального ресурса в сетях IEEE 802.11ax между «устаревшими» (legacy) станциями и станциями 802.11ax. Аналитическая модель настройки параметров EDCA в сетях IEEE 802.11ax.
12. Механизмы энергосбережения в сетях IEEE 802.11ax. Различные степени «сна» устройства. Механизм TWT, индивидуальные и ширококвещательные TWT-периоды. Опportunистическое энергосбережение. Открытые вопросы энергосбережения в сетях IEEE 802.11ax.
13. Особенности беспроводной передачи данных в миллиметровом диапазоне, достоинства и недостатки. Сценарии использования сверхвысокоскоростных сетей Wi-Fi в миллиметровом диапазоне.
14. Архитектура беспроводной сети IEEE 802.11ad. Кластеризация. Централизованное и распределенное управление кластером. Временная структура суперкадра.
15. Понятие направленной передачи. Понятие антенной решетки. Процедура фокусировки луча в беспроводной сети IEEE 802.11ad. Пространственное разделение.
16. Квазипериодическое резервирование ресурсов. Аналитическая модель метода детерминированного доступа к каналу в сетях IEEE 802.11ad.
17. Методы ретрансляции данных в сетях IEEE802.11ad/ay: переключение соединения, совместная ретрансляция.
18. Повышение энергоэффективности устройств Wi-Fi с помощью использования дополнительного радиointерфейса. Обеспечение сверхнизкой задержки при доставке данных в сетях Wi-Fi.
19. Позиционирование устройств Wi-Fi внутри зданий. Основные принципы и сценарии использования. Полнодуплексная передача: проблемы использования в беспроводных сетях. Li-Fi – передача в спектре видимого излучения.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Понятие многошаговой сети, основные отличия технологий MANET и Wi-Fi mesh.

2. Повышение энергоэффективности устройств Wi-Fi с помощью использования дополнительного радиointерфейса. Обеспечение сверхнизкой задержки при доставке данных в сетях Wi-Fi.

Билет 2.

1. Основные цели и задачи механизма обнаружения соседей. Критерии эффективности механизма обнаружения соседей. Механизмы обнаружения соседей в протоколах IEEE 802.11s и NHDP.

2. Позиционирование устройств Wi-Fi внутри зданий. Основные принципы и сценарии использования. Полнодуплексная передача: проблемы использования в беспроводных сетях. Li-Fi – передача в спектре видимого излучения.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать 60 мин.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой и проч.