

**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:	Моделирование беспроводных сетей
по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы
	Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий
	кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Э. Шашин, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 14.03.2024

Аннотация

Программа учебного курса направлена на знакомство студентов с основными принципами и методами моделирования беспроводных систем. Курс включает изучение различных моделей каналов, алгоритмов предсказания каналов, алгоритмов управления радиоресурсами и других протоколов и алгоритмов, применяемых в беспроводных сетях. Курс предполагает практическое исследование рассматриваемых моделей и алгоритмов с использованием современных инструментов моделирования беспроводных систем (Network Simulator 3, MATLAB и др.)

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Овладение студентами основными инструментами, применяемыми для оценки производительности современных беспроводных сетей, их протоколов и компонент.

Задачи дисциплины

- изучение основных подходов к формализации работы современных беспроводных сетей, их протоколов и компонент;
- освоение современных систем имитационного моделирования современных беспроводных сетей;
- освоение современных подходов к моделированию и предсказанию каналов;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований систем сотовой связи.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях

ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности
--	---

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные подходы к формализации работы современных беспроводных сетей, их протоколов и компонент;
- основные подходы к моделированию и предсказанию каналов;
- основные понятия и утверждения, используемые для оценки производительности беспроводных сетей;
- основные системы имитационного моделирования современных беспроводных сетей.

уметь:

- с помощью современных систем имитационного моделирования разрабатывать модели функционирования беспроводных сетей, их протоколов и компонент;
- применять современные методы моделирования и предсказания канала для использования в алгоритмах управления радиоресурсами;
- применять современные системы имитационного моделирования телекоммуникационных беспроводных сетей, их протоколов и компонент для анализа их производительности и надежности.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации.

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	Модели ММО-канала			6	12
2	Предсказание ММО-канала			6	12
3	Моделирование алгоритмов управления радиоресурсами			6	12
4	Моделирование метода доступа к восходящему каналу без запроса полосы			6	12
5	Моделирование каналов миллиметрового диапазона и механизма двойного подключения			6	12
Итого часов				30	60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Модели MIMO-канала

Основы моделирования беспроводного канала: TDL, CDL, GSCM модели. Установка среды моделирования Quadriga, WLAN/5G Toolbox. Моделирование беспроводного MIMO-канала. Реализация алгоритмов формирования луча и прекодирования (Zero Forcing, Maximum Ratio Combining, и др.).

2. Предсказание MIMO-канала

Классификация подходов к предсказанию канала: авторегрессионные методы и методы на основе разложения канала. Реализация линейной авторегрессионной модели. Нейросетевые алгоритмы, их особенности и реализация. Анализ эффективности рассмотренных алгоритмов по метрикам MSE и SINR.

3. Моделирование алгоритмов управления радиоресурсами

Основы моделирования сотовых сетей в среде NS-3 (модуль 5G-LENA). Реализация алгоритмов планирования радиоресурсов (PF, EDF и др.). Сравнение эффективности алгоритмов планирования в различных сценариях. Алгоритмы выбора СКК в сотовых сетях. Моделирование и анализ их эффективности в различных сценариях.

4. Моделирование метода доступа к восходящему каналу без запроса полосы

Метод доступа к восходящему каналу без запроса полосы (англ.: grant-free), сравнение с методом доступа с запросом полосы. Модель grant-free в среде NS-3. Анализ эффективности метода grant-free в сценарии обслуживания URLLC-трафика. Сравнение схем выполнения повторных попыток передачи (повторы на основе обратной связи, безусловные повторы).

5. Моделирование каналов миллиметрового диапазона и механизма двойного подключения

Миллиметровый диапазон в сетях 5G и особенности его использования. Модели миллиметровых каналов для различных сценариев. Механизм двойного подключения (англ.: Dual Connectivity) сетей 5G. Обзор алгоритмов балансировки трафика и переключения между активными базовыми станциями. Анализ эффективности механизма двойного подключения с использованием моделей миллиметровых каналов в среде NS-3.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектор или плазменная панель), доской, ноутбуком. Компьютерный класс с установленной средой имитационного моделирования Network Simulator 3 и MATLAB.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

фонд литературы кафедры

1. Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Skold. 5G NR. The Next Generation Wireless Access Technology. 2d edition. Elsevir, 608 pp. ISBN: 9780128223208.
2. NS-3 Documentation. Электронный ресурс: <https://www.nsnam.org/documentation/>
3. MATLAB Documentation. Электронный ресурс: <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
4. 5G-LENA Documentation. Электронный ресурс: <https://cttc-lena.gitlab.io/nr/html/>

Дополнительная литература

1. Лой А., Кельтон В. «Имитационное моделирование»: Питер, 2004.
2. Sassan Ahmadi. 5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards. 1st Edition, 960 pp. ISBN 9780081022672 .
3. Вишневский В.М. Теоретические основы построения компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
4. Klaus Wehrle, Mesut Günes, James Gross “Modeling and Tools for Network Simulation” Springer, 2010.

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

<http://www.3gpp.org>
<http://www.etsi.org>
<https://www.nsnam.org>
<https://www.python.org/>
<https://www.mathworks.com/>
<https://cttc-lena.gitlab.io/>

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

На лабораторных занятиях используются персональные компьютеры и специализированное программное обеспечение.

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 определения, понятия, подходы к формализации работы беспроводных сетей, основные системы имитационного моделирования.

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;
- выполнение дополнительных заданий по лабораторным работам;
- подготовка к дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций, сдачи лабораторных работ и домашних заданий.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.Э. Шашин, ассистент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Моделирование беспроводных сетей» обучающийся должен:

знать:

- основные подходы к формализации работы современных беспроводных сетей, их протоколов и компонент;
- основные подходы к моделированию и предсказанию каналов;
- основные понятия и утверждения, используемые для оценки производительности беспроводных сетей;
- основные системы имитационного моделирования современных беспроводных сетей.

уметь:

- с помощью современных систем имитационного моделирования разрабатывать модели функционирования беспроводных сетей, их протоколов и компонент;
- применять современные методы моделирования и предсказания канала для использования в алгоритмах управления радиоресурсами;
- применять современные системы имитационного моделирования телекоммуникационных беспроводных сетей, их протоколов и компонент для анализа их производительности и надежности.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала после проведения каждой лабораторной работы проводится сдача в форме устного опроса по теме лабораторной.

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

1. Модели беспроводного канала: TDL, CDL, GSCM.
2. Алгоритмы формирования луча и прекодирования.
3. Классификация подходов к предсказанию канала.
4. Нейросетевые алгоритмы предсказания канала.
5. Алгоритмы планирования радиоресурсов в сотовых сетях.
6. Алгоритмы выбора СКК в сотовых сетях.
7. Метод доступа к восходящему каналу без запроса полосы.
8. Схемы выполнения повторных попыток передачи при использовании метода доступа к восходящему каналу без запроса полосы.
9. Механизм двойного подключения сетей 5G.
10. Алгоритмы балансировки трафика и переключения между активными базовыми станциями.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - 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 баллов - 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 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, 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 баллов - 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 баллов - 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 баллов - 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 балла - 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 балла - 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 балла - 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 балл - 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

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости и путем организации специального.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

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