

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

УТВЕРЖДЕНО

**ИО директора физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

Д.А. Гаврилов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы сотовой связи
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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.Н. Красилов, канд. техн. наук, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 22.03.2021

Аннотация

Целью данной дисциплины является изучение студентами основ функционирования, архитектуры и протоколов современных сетей сотовой связи. В рамках курса детально рассматривается технология Long Term Evolution (LTE) и ее модификации LTE-A, LTE-A pro. На сегодняшний день семейство технологий LTE является основой для построения сотовых сетей четвертого поколения. Помимо теоретического материала студентам излагаются современные тренды в исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами основ функционирования, архитектуры и протоколов современных сетей сотовой связи, в том числе технологии Long Term Evolution (LTE) и ее модификаций, широко используемых для построения сотовых сетей четвертого поколения.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов углублённых знаний об архитектуре и основных протоколах современных систем сотовой связи;
- построение у студентов навыков применения полученных знаний при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований сетей сотовой мобильной 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 алгоритмы и протоколы физического, канального и сетевого уровней современных сетей сотовой связи;
- основные понятия, касающиеся архитектуры и функционирования этих сетей;
- современные направления развития технологий сотовой связи.

уметь:

- свободно ориентироваться во всём спектре современных технологий и стандартов сотовой связи;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов сотовой 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	Обзор существующих технологий сотовой связи	4			2
2	Физический и канальный уровни технологии LTE	10			5
3	Задача планирования радио-ресурсов в сотовых сетях	4			2
4	Эволюция технологии LTE	12			6
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Обзор существующих технологий сотовой связи

Общие принципы построения сотовых сетей (лицензируемый спектр, централизованное управление, сеть радиодоступа, ядро сети). История мобильной радиосвязи. Обзор различных поколений сотовых сетей и используемых методов передачи данных (1G - NMT, AMPS, 2G - GSM, IS-95, 3G - UMTS/WCDMA, CDMA2000, 4G – LTE, WiMAX, 5G - NR). Эволюция технологий радиодоступа и принципов построения ядра сети. Стандартизирующие организации, осуществляющие разработку технологий сотовой связи (ETSI, ITU, 3GPP).

2. Физический и канальный уровни технологии LTE

Архитектура сети LTE. Архитектура ядра сети (описание функциональных элементов и интерфейсов). Архитектура сети радиодоступа. Общее описание стека протоколов LTE. Логические каналы, поддержка QoS. Структура кадра. Схемы дуплексной связи (FDD, TDD). Физические каналы (PDCCH, PDSCH, и т.д.). Уровень доступа к среде (архитектура планировщика, HARQ, DRX). Уровень управления радиосоединением (различные режимы работы, механизм повторных передач). Уровень PDCP (алгоритм ROHC, шифрование, упорядочение пакетов). Уровень RRC (установление соединения, рассылка системной/служебной информации).

3. Задача планирования радио-ресурсов в сотовых сетях

Общая формулировка задачи планирования. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, Equal Throughput). Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP/PF). Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP). Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based).

4. Эволюция технологии LTE

Обзор новых функциональных возможностей, введенных в различных релизах технологии LTE (обзор Rel.8-Rel.14). Механизм агрегации каналов (CA). Использование ретрансляторов. Малые базовые станции LTE. Методы снижения межсетевой интерференции (FR, SFR, ICIC, CoMP). Двойное подключение к сети (Dual Connectivity). Взаимодействие с технологиями локальных беспроводных сетей (WLAN Interworking). Принципы работы технологии LTE в нелицензируемых частотных каналах (LTE-LAA). Поддержка трафика межмашинного взаимодействия (MTC, eMTC). Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D). Поддержка сервисов V2X.

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. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006. - 288 с. ISBN: 5-94836-070-9.
2. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. - 536 с. ISBN: 5-93517-248-8.
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. М.: Эко-Трендз, 2010. - 281 с. ISBN: 978-5-88405-094-5.

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Erik Dahlman. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. 3rd Edition. 616 pp. ISBN 9780128046111.

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

1. Электронные ресурсы:

<http://www.3gpp.org>

<http://www.etsi.org>

2. Базы данных телекоммуникационных стандартов сотовых сетей:

<http://www.3gpp.org/specifications>

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 определения, понятия, алгоритмы и протоколы.

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 дифференцированному зачёту.

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:	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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.Н. Красилов, канд. техн. наук, преподаватель

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 «Основы сотовой связи» обучающийся должен:

знать:

- основные алгоритмы и протоколы физического, канального и сетевого уровней современных сетей сотовой связи;
- основные понятия, касающиеся архитектуры и функционирования этих сетей;
- современные направления развития технологий сотовой связи.

уметь:

- свободно ориентироваться во всём спектре современных технологий и стандартов сотовой связи;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов сотовой 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 для сдачи дифференцированного зачета:

1. Общие принципы построения сотовых сетей (лицензируемый спектр, централизованное управление, сеть радиодоступа, ядро сети).
2. Обзор различных поколений сотовых сетей и используемых методов передачи данных.
3. Архитектура сети LTE. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов). Архитектура сети радиодоступа.
4. Стек протоколов LTE. Логические каналы, поддержка QoS.
5. Основные принципы построения физического уровня LTE.
6. Физические каналы в нисходящей линии связи (PDCCH, PDSCH, PCFICH, PHICH, PBCH, PSS/SSS, CRS).
7. Физические каналы в восходящей линии связи (PUCCH, PUSCH, SRS, DM-RS, PRACH).
8. Уровень доступа к среде LTE (архитектура планировщика, HARQ, DRX).
9. Уровень управления радиосоединением LTE (режимы TM/UM/AM).
10. Сетевой уровень LTE (установление соединения, рассылка системной информации).
11. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, Equal Throughput).
12. Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP/PF).
13. Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP).
14. Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based).
15. Агрегация каналов (CA) в сетях LTE.
16. Использование ретрансляторов в сетях LTE.
17. Малые базовые станции LTE.
18. Методы снижения межсетевой интерференции (FR, SFR, ICIC, CoMP).
19. Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D).
20. Поддержка трафика межмашинного взаимодействия (MTC, eMTC).
21. Принципы работы технологии LTE в нелицензируемых частотных каналах (LTE-LAA).

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 в устной форме.

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.