

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт прикладной математики и компьютерных наук
Кафедра «Прикладная математика и информатика»

Утверждено на заседании кафедры
«Прикладная математика и информатика»
24 января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



М.В. Грязев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«Технологии сотовой связи»

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки
01.04.02 Прикладная математика и информатика

с направленностью (профилем)
**Перспективные методы искусственного интеллекта
в сетях передачи и обработки данных**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 010402-01-22

Тула 2022 год

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

Дисциплина (модуль) относится к части дисциплин основной профессиональной образовательной программы, формируемых участниками образовательных отношений

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Учащиеся должны владеть знаниями о принципах работы традиционных компьютерных сетей, программно-конфигурируемых компьютерных сетей в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки»

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

| Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) | |
|--|--|
| Формируемые компетенции (код и наименование компетенции) | Результаты обучения (знания, умения) |
| ПК-4. Способен руководить проектами по созданию комплексных систем искусственного интеллекта. | ПК-4.1. Руководит разработкой архитектуры комплексных систем искусственного интеллекта. |
| | ПК-4.2. Осуществляет руководство созданием комплексных систем искусственного интеллекта с применением новых методов и алгоритмов машинного обучения. |
| ПК-7. Способен руководить проектами по созданию, внедрению и использованию одной или нескольких сквозных цифровых субтехнологий искусственного интеллекта в прикладных областях. | ПК-7.1. Руководит проектами в области сквозной цифровой субтехнологии «Обработка естественного языка». |
| | ПК-7.2. Руководит проектами в области сквозной цифровой субтехнологии «Рекомендательные системы и системы поддержки принятия решений». |

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 24 академических часа контактная работа с преподавателем - 12 академических часа занятий лекционного типа, 12 академических часов занятий практического типа, 82 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

| Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Номинальные трудозатраты обучающегося | | | Всего академических часов | Форма текущего контроля успеваемости* (наименование) |
|---|---|----------------------|---|---------------------------|--|
| | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы | | Самостоятельная работа обучающегося, академические часы | | |
| | Занятия лекционного типа | Практические занятия | | | |
| Тема 1. Введение в технологии сотовых сетей; Физический и канальный уровни технологий LTE и NewRadio (NR) (часть 1) | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |
| Тема 2. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 2); Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 3) | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |
| Тема 3. Методы повышения эффективности радиоинтер- | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |

| | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|-------|
| фейса LTE и NR; Нумерация и идентификация в сетях LTE и 5G | | | | | |
| Тема 4. Функционирование сети радиодоступа; Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов S1, X2 и т.д.) | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |
| Тема 5. Задача динамического планирования радиоресурсов в сотовых сетях; Управление сессиями абонентов, сетевые политики, качество сервиса | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |
| Тема 6. Эволюция технологии LTE и 5G; Подсистема IP-multimedia (IMS); Базовые станции 5G в России и мире | 2 | 2 | 14 | 18 | опрос |
| Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют) | — | — | | | — |
| Промежуточная аттестация (зачет) | | | | | |
| Итого | 12 | 12 | 84 | 108 | — |

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

| № п/п | Наименование разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплин |
|-------|--|--|
| 1. | Тема 1. Введение в технологии | Общие аспекты построения сотовых сетей (лицен- |

| | | |
|----|--|---|
| | <p>сотовых сетей; Физический и канальный уровни технологий LTE и NewRadio (NR) (часть 1)</p> | <p>зируемый спектр, централизованное управление, сеть радиодоступа, ядро сети, дуплекс, хендовер, роуминг). Обзор предыдущих поколений сотовых сетей и используемых методов передачи данных (1G - NMT, AMPS, 2G - GSM, 3G - UMTS/WCDMA). Эволюция технологий радиодоступа и принципов построения ядра сети в LTE и 5G. Стандартизирующие организации (ETSI, ITU, 3GPP).</p> <p>Основные потребительские характеристики сетей LTE и 5G. Сценарии использования сетей LTE и 5G.</p> <p>Диапазоны частот. Сетка частот. Виды дуплекса. Принцип формирования OFDM сигнала. Виды модуляции xQAM, xQPSK. Структура кадра. Частотная структура радиоинтерфейса, понятие нумерологии.</p> |
| 2. | <p>Тема 2. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 2); Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 3)</p> | <p>Процедуры цифровой обработки сигнала в канале (продолжение). Архитектура сети радиодоступа. Описание стека протоколов. Логические каналы. Архитектура базовой станции. Варианты разделения протоколов между устройствами CU и DU базовой станции.</p> <p>Процедуры цифровой обработки сигнала в канале (продолжение). Архитектура сети радиодоступа. Описание стека протоколов. Логические каналы. Архитектура базовой станции. Варианты разделения протоколов между устройствами CU и DU базовой станции.</p> |
| 3. | <p>Тема 3. Методы повышения эффективности радиоинтерфейса LTE и NR; Нумерация и идентификация в сетях LTE и 5G</p> | <p>Применение технологии MIMO. Агрегация частот. Подключение абонентского терминала к двум базовым станциям. Компенсация дисбаланса линий вверх и вниз.</p> <p>Нумерация и идентификация абонентского терминала, используемая в опорной сети 5GC. Идентификация, используемая в сети радиодоступа NG-RAN. Идентификация сетевых функций и сетевых слоёв, используемая в опорной сети 5GC.</p> |
| 4. | <p>Тема 4. Функционирование сети радиодоступа; Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов S1, X2 и т.д.)</p> | <p>Виды системной информации, вещаемой в соте. Классификация сот. Процедуры выбора сети. Состояния абонентского терминала, процедуры, выполняемые терминалом в этих состояниях.</p> <p>Сетевые функции для LTE и 5GC, их назначение. Общее представление о технологии NFV. Понятие о сетевом пласте (slice). Примеры реализаций коммерческих сетевых функций и сетевых функций с открытым исходным кодом.</p> |
| 5. | <p>Тема 5. Задача динамического планирования радиоресурсов в сотовых сетях; Управление сессиями абонентов, сетевые политики, качество</p> | <p>Общая формулировка задачи планирования. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, EqualThroughput). Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP\PF). Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP).</p> |

| | | |
|----|--|---|
| | сервиса | Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based). Планировщики для URLLC-трафика. Типы сессий. Режимы обеспечения непрерывности сессий. Модель QoS. Управление QoS |
| 6. | Тема 6. Эволюция технологии LTE и 5G; Подсистема IP-multimedia (IMS); Базовые станции 5G в России и мире | Использование ретрансляторов. Малые базовые станции LTE. Методы снижения межсетевой интерференции (ICIC, CoMP). Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D). Принципы работы технологии LTE в нелицензируемом спектре. Архитектура подсистемы IMS и её основные элементы. Приложения подсистемы IMS. Нумерация и идентификация абонентов в подсистеме IMS. Основные процедуры подсистемы IMS. Стандартизация базовых станций 5G (3GPP, ETSI, O-RAN). Основные производители базовых станций 5G и используемые архитектурные решения. |

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Вопросы для опроса

1. Опишите достоинства и недостатки использования диапазона FR2 по сравнению с FR1
2. Какие достоинства и недостатки вы можете отметить при использовании широкой полосы частот в NR, по сравнению, например, с полосой частот в LTE?
3. Укажите способы разделения радиоканала, используемые в NR. Опишите единицу выделения радиоресурса для абонента.
4. Предположим, что продолжительность кадра, подкадра, слота NR увеличена в 10 раз по сравнению с текущим стандартом. Как это повлияет на соответствие NR сценариям применения 5G?
5. В чём причина использования нескольких видов квадратурной модуляции в NR?
6. Приведите пример какого-либо полезного эффекта от разделения БС 5G на CU и DU.
7. Какие алгоритмы реализуют многоэлементные антенные системы MIMO радиоинтерфейса NR?
8. Каковы возможности технологии FullDimension MIMO (или 3D MIMO) по изменению диаграммы направленности излучения?
9. Как осуществляется управление диаграммой направленности излучения при Beamforming?
10. Какой вариант агрегации частот обозначает запись CA_n1C_n1A?
11. Что обозначает наименование соты PSCell в технологии DualConnectivity?
12. Опишите архитектуру варианта EN-DC технологии DualConnectivity.

13. Что такое виртуальная сетевая функция VNF (ВСФ)? Какие функции по управлению VNF реализует платформа NFV?
 14. Дайте общую характеристику задач, решаемых сетевыми функциями UPF и UDR, приведите примеры задач.
 15. Каковы полезные эффекты от построения некоторой системы, в частности, программной части 5GC, в виде ВСФ? Какие могут быть неудобства?
 16. Какова возможная польза от разделения сети на сетевые слои (slices), в приложении к архитектуре 5GC?
 17. Приведите 3 сценария использования спутникового канала совместно с наземной сетью 5G, какая польза есть от спутникового канала в этих сценариях
 18. Какой идентификатор из числа PEI, SUPI, GUAMI присваивается индивидуально абоненту?
 19. Что означает номер MSISDN?
 20. Кем назначаются временные идентификаторы RNTI абонентскому терминалу?
 21. Какими идентификаторами обозначается сетевой пласт (Slice)?
 22. Какие процедуры выполняются при перемещении абонентского терминала, находящегося в состоянии RRC-INACTIVE в соседнюю соту, относящуюся к другой зоне нотификации (RNA)?
 23. Каковы критерии выбора соты абонентским терминалом являются?
 24. Каковы условия выполнения процедуры хендвера при перемещении абонентского терминала в другую соту?
 25. Каковы параметры PDU сессии абонентского терминала?
 26. Как при хендвере обозначается режим смены обслуживающего шлюза UPF, при котором гарантируется непрерывность PDU-сессии?
 27. К какому идентификатору качества 5QI относится поток данных QoSFlow, обеспечивающий передачу голоса в реальном масштабе времени?
 28. Каково назначение подсистемы IMS для сетей связи? Может ли IMS работать в проводных сетях, а не только в мобильных?
 29. Назовите основные услуги мультимедиа-телефонии и хотя бы две дополнительные услуги.
 30. Укажите назначение протоколов SIP и RTP
 31. Чем отличается GSM SIM от USIM?
 32. Приведите примеры контента и метаданных, перехватываемых службой LI (COPM).
- 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Вопросы к экзамену

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 сетей LTE и 5G. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов).
4. Архитектура сети радиодоступа LTE и 5G. Варианты разделения протоколов между центральным и распределённым устройством базовой станции 5G.
5. Физический уровень LTE и 5G.
6. Уровень доступа к среде LTE и 5G.

7. Уровень управления радиосоединением LTE и 5G
8. Управление качеством сервиса в LTE и 5G
9. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, EqualThroughput).
10. Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP\PF).
11. Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP).
12. Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based).
13. Планировщики для URLLC-трафика.
14. Обеспечение качества сервиса в сетях LTE и 5G.
15. Агрегация каналов (CA) в сетях LTE.
16. Использование ретрансляторов. Малые базовые станции LTE.
17. Методы снижения межсетевой интерференции (ICIC, CoMP). Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D).
18. Принципы работы технологии LTE в нелицензируемом спектре.
19. Обзор основных механизмов повышения производительности радиоинтерфейса 5G.
1. 20. Применение в сетях 5G технологий SDN, NFV, Cloud-RAN..

| ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Оценка виды оценоч- ных средств | 2 (не зачтено) | 3 (зачтено) | 4 (зачтено) | 5 (зачтено) |
| Знания (виды оценоч- ных средств: опрос, тесты) | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| Умения (виды оценоч- ных средств: практические задания) | Отсутствие умений | В целом успеш- ное, но не си- стематическое умение | В целом успешное, но содержащее от- дельные пробелы умение (допускает неточности не- принципиального характера) | Успешное и си- стематическое умение |
| Навыки (владения, опыт деятель- ности) (виды оценоч- ных средств: выполнение и защита курсо- вой работы, отчет по практике, от- чет по НИР и т.п.) | Отсутствие навыков (вла- дений, опыта) | Наличие от- дельных навы- ков (наличие фрагментарного опыта) | В целом, сформир- ованные навыки (владения), но ис- пользуемые не в активной форме | Сформированные навыки (владе- ния), применяе- мые при решении задач |

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. 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-

.

Дополнительная литература

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. Erik Dahlman. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. 2021, 3rd Edition. 616 pp. ISBN 9780128046111

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Ubuntu 18.04.
2. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.rostec.ru> – портал ГК Ростех
2. <http://www.rt.ru> – портал Ростелекома
3. <https://grfc.ru/grfc/> - портал ГКРЧ

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <https://www.3gpp.org>
2. <https://www.etsi.org>
3. <https://www.3gpp.org/specifications>
4. <https://itechinfo.ru>
5. <https://5g-russia.ru/>
6. <https://1234g.ru>

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Образовательная организация, ответственная за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Рабочая программа внедрена в соответствии с Соглашением о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий на разработку программ бакалавриата и программ магистратуры по профилю «искусственный интеллект, а также на повышение квалификации педагогических работников образовательных организаций высшего образования в сфере искусственного интеллекта, заключённым «29» сентября 2021 г. № 075-15-2021-1036 между МГУ имени М.В.Ломоносова и Минобрнауки России.