

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ

Директор

 А.В. Замятин

« 16 » июня 2023г.

Рабочая программа дисциплины

Сети 5G/5G+

по направлению подготовки

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль) подготовки:

Обработка данных, управление и исследование сложных систем

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2023

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.02.03.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 Л.А. Нежелская

Председатель УМК

 С.П. Сущенко

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-4 – Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-4.3. Использует современные информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области прикладной математики и информатики с учетом требований информационной безопасности.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат стохастической геометрии и теории массового обслуживания для решения прикладных задач развертывания и эксплуатации сетей 5G.

– Научиться применять методы и инструменты анализа телекоммуникационных данных, в том числе посредством информационных технологий.

– Научиться использовать результаты прикладной математики для освоения и адаптации новых методов решения задач в области своих профессиональных интересов.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Сети 5G/5G+» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 3, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования и результаты обучения по следующим дисциплинам: «Математические методы и модели для компьютерных наук», «Теория телетрафика».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– семинарские занятия: 0 ч.

– практические занятия: 32 ч.;

– лабораторные работы: 0 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Сотовые сети связи

Особенности развития сетей связи, модель взаимодействия OSI история развития ССС, процесс стандартизации ССС, назначение электромагнитного спектра. Основные

особенности и требования к ССС, особенности текущего поколения ССС. Современные сквозные технологии в контексте эксплуатации сетей 5G.

Тема 2. Архитектура сетей связи 5G

Электромагнитный спектр для сетей связи 5G, стек протоколов сетей связи 5G, услуги сетей связи 5G и требования к ним. Функциональные особенности плоскости управления SDN и NFV, функциональные особенности сетей доступа, сеть доступа 5G NR.

Тема 3. Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR

Двухмерные и трехмерные сценарии 5G NR. Модели компонентов системы связи: размещения пользователей, распространения сигнала, антенн, блокировки в двух и трехмерных сценариях. Понятие SIR, функциональные преобразования случайных величин, примеры на основе прямого взаимодействия устройств.

Тема 4. Оценка базовых характеристик систем 5G NR

Общая модель на основе случайных полей, статическая модель блокировки, вероятность экспозиции, вероятность экспозиции совместно с вероятностью блокировки. Оценка помехи, использование формулы Кэмпбелла для оценки помехи, анализ помехи для других типов антенн, применение антенн с дополнительными потерями мощности. Оценка SIR, математические выражения для SIR, варианты решения, решение разложением в ряд Тейлора, формула Шеннона, спектральной эффективности.

Тема 5. Методы повышения надежности в 5G NR

Уровень моделирования обслуживания сессий, базовые соотношения теории массового обслуживания, системы вида М/М(G)/К/К, ресурсные СМО, имитационное моделирование. Стохастическая геометрия и ее приложения к беспроводным сетям связи, совместные модели на основе ТМО и стохастической геометрии. Модели процесса обслуживания абонентов в сетях 5G, метод мультисвязности, метод явного резервирования ресурсов, мультикастинг.

Тема 6. Сети связи 6G терагерцового диапазона частот

Терагерцовый диапазон частот, особенности распространения волн, молекулярная абсорбция, молекулярный шум. Особенности сетей терагерцового диапазона частот: массивные антенные решетки, случайный доступ и поиск луча, микромобильность. Приложения сетей терагерцового диапазона частот: микро- и макроуровни. Микро: связь между ядрами ЦП, Макро: пикосоты. Специфика анализа механизмов обслуживания и доступа в сетях связи терагерцового диапазона частот.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения заданий на взаимное оценивание, тестов по лекционному материалу, выполнения расчетно-графических работ, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть представляет собой один вопрос, проверяющий ИОПК-2.1. Ответ на вопрос первой части дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-7.2. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Исходя из выражения ФР расстояния до ближайшей БС из поля БС с плотностью b , в поле блокеров с плотностью a получите выражение для ФР SNR и скорости Шэннона.

2. Постройте графики для скорости Шэннона как функции от плотности БС и плотности блокеров (радиус блокера – 0.3м, высоту блокера – 1.7м, высоту АУ – 1.5м, высоту БС – 10м, ширина канала связи – 20 МГц, излучаемая мощность антенны БС – 23 дБм, усиления на передаче и приеме – 10 дБ). Поясните полученные результаты.

3. Получите аппроксимацию второго порядка для среднего значения функции SINR и скорости Шэннона методом разложения в ряд Тейлора при условии, что единственным случайным компонентом является расстояние между передатчиком и приемником. Поясните каждый из переходов. Предположив, что это расстояние распределено (i) равномерно от 1 до 100 м, (ii) нормально с средним 50 и дисперсией 20, (iii) экспоненциально со средним 50, и также, используя модель FSPL, предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум – 174 дБ/Гц, интерференция постоянна и равна 10 дБ.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Текущий контроль успеваемости по практическому материалу осуществляется в виде проверки выполнения учебных и домашних расчетно-графических работ. Текущий контроль успеваемости по теоретическому материалу осуществляется в виде тестов. Оценка текущего контроля проводится на основе оценки компетенций, соответствующих текущему разделу дисциплины, согласно таблице.

Расчетно-графические работы	0-5 баллов за выполнение каждой работы (максимум 40 баллов)
Тесты	0-20 баллов за каждый тест (максимум 40 баллов)
Экзамен	0-20 баллов

Итоговая оценка по предмету (экзамен) зачет выставляется следующим образом:

«отлично» – студент набрал не менее 80 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«хорошо» – студент набрал от 65 до 80 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«удовлетворительно» – студент набрал от 50 до 65 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«неудовлетворительно» – студент не сдал расчетно-графические работы, набрал менее 50 первичных баллов или сдал тест на «неудовлетворительно».

Во время экзамена студент может повысить свою оценку, сдав заново соответствующий тест, при условии выполнения остальных требований к оценке.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – Советское радио, 1976. – 656 с.
- Мицель А.А., Катаев М.Ю. Математическое и имитационное моделирование: Методические указания к выполнению практических работ по курсу «Математическое и имитационное моделирование» для студентов, обучающихся по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» всех форм обучения / А.А. Мицель, М.Ю. Катаев. – Юрга: Изд-во ЮТИ (филиал) ТПУ, 2016. – 110 с.
- Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – Москва: Физматлит, 2005. – 296 с.
- Майстренко В.А. Современные информационные каналы и системы связи: учебник / В.А. Майстренко, А.А. Соловьев, М.Ю. Пляскин, А.И. Тихонов. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. – 452 с.
- Самуйлов К.Е., Абаев П.О. Мультисервисные сети связи [Текст/электронный ресурс]: Учебно-методический комплекс / К.Е. Самуйлов, П.О. Абаев. – М.: Изд-во РУДН, 2013. – 363 с.
- Кисель Н.Н. Моделирование распространения радиоволн в пакете Wireless InSite: учебное пособие / Н.Н. Кисель. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 108 с.
- Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания : учебник для вузов / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – Москва: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
- Rappaport T.S. Wireless communications: principles and practice / T.S. Rappaport. – New Jersey: prentice hall PTR, 1996. – 707 с.
- Самуйлов К.Е. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для вузов / К.Е. Самуйлов, И.А. Шалимов, Д.С. Кулябов. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 363 с.
- Гольдштейн Б.С. Сети связи. Учебник для вузов / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
- Тихвинский В.О. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги / В.О. Тихвинский. – Москва: Медиа Паблишер, 2019. – 375 с.
- Bacelli F., Blaszczyszyn B. Stochastic Geometry and Wireless Networks, Part I: Theory / F. Bacelli, B. Blaszczyszyn – NoW Publishers, 2009. – 164 p.
- Haenggi M. Stochastic geometry for wireless networks / M. Haenggi. – Cambridge University Press, 2012. – 284 p.
- Akyildiz I. F. 6G and beyond: The future of wireless communications systems // I. F. Akyildiz, A. Kak, S. Nie – IEEE access, 2020. – Vol. 8. – P. 133995-134030.
- Chettri L., Bera R. A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems // L. Chettri, R. Bera. – IEEE Internet of Things Journal, 2019. – Vol. 7. – №. 1. – P. 16-32.
- Кучерявый А. Е. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021-2024 годы // А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, М. А. Маколкина, А. И. Парамонов, Р. А. Дунайцев, Р. Я. Пирмагомедов, А. С. Бородин, А. Г. Владыко, А. С. А. Мутханна, А. И. Выборнова, С. С. Владимиров, И. В. Гришин. – Информационные технологии и телекоммуникации, 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 1-19.
- Shahzadi, R.. UAV assisted 5G and beyond wireless networks: A survey // R. Shahzadi,, M. Ali, H. Z. Khan, M. Naeem. – Journal of Network and Computer Applications, 2021. – Vol. 189. – P. 1-20.

б) дополнительная литература:

- Бегишев В. О. Оценка эффективности механизма резервирования полосы пропускания для технологии mmWave в сетях связи пятого поколения // В.О. Бегишев, Э.С. Сопин, Д.А. Молчанов, А.К. Самуйлов, Ю.В. Гайдамака, К.Е. Самуйлов. – Информационно-управляющие системы, 2019. – №. 5 (102). – С. 51-63.

– Гайдамака Ю. В. Моделирование отношения сигнал/интерференция в мобильной сети со случайным блужданием взаимодействующих устройств // Ю. В. Гайдамака, Ю. Н. Орлов, Д. А. Молчанов, А. К. Самуйлов – Информатика и её применения, 2017. – Т. 11. – №. 2. – С. 50-58.

– Гайдамака Ю. В. Оценка характеристик интерференции при взаимодействии беспроводных устройств в смежных помещениях прямоугольной формы // Ю. В. Гайдамака, А. К. Самуйлов, В. О. Бегишев, Р. Н. Ковальчуков, Д. А. Молчанов. – Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт, 2015. – Т. 9. – №. 11. – С. 41-45.

– Боронин П. Н. Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне // П. Н. Боронин, Е. А. Кучерявый, Д. А. Молчанов. – Электросвязь, 2014. – №. 11. – С. 18-21.

– Молчанов Д. А. Оценка отношения сигнал/шум в беспроводных сетях доступа пятого поколения // Д. А. Молчанов, Р. Н. Ковальчуков, А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, А. К. Самуйлов, К. Е. Самуйлов – Электросвязь, 2019. – №. 9. – С. 37-44.

– Петров В. И. Анализ интерференции в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот // В. И. Петров, Д. А. Молчанов, Е. А. Кучерявый. – Информатика, телекоммуникации и управление, 2017. – Т. 10. – №. 1. – С. 27-36.

– Петров В. И. Оценка отношения сигнал/помеха в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот // В. И. Петров, Д. А. Молчанов, Е. А. Кучерявый. – Электросвязь, 2017. – №. 10. – С. 24-29.

– Гайдамака Ю. В. Задачи стохастического моделирования интегрированной всепроникающей наземно-воздушной сети 6G // Ю. В. Гайдамака, Е. А. Кучерявый, К. Е. Самуйлов. – Новые информационные технологии в исследовании сложных структур, 2020. – С. 44-45.

– Дараселия А. В. Анализ стратегии разгрузки базовых станций 5G NR с помощью технологии NR-U // А. В. Дараселия, Э. С. Сопин, Д. А. Молчанов, К. Е. Самуйлов – Информатика и её применения, 2021. – Т. 15. – №. 3. – С. 98-111.

в) ресурсы сети Интернет:

– Открытый курс «Стохастическая геометрия», Лекториум – <https://www.lektorium.tv/node/39390>

– Цикл обучающих видео от команды разработчиков YouGile – <https://ru.yougile.com/training>

– Ознакомительная статья о работе в Notion – <https://checkroi.ru/blog/kak-rabotat-v-notion/>

– Советы для начинающих пользователей Notion – <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/602d39a29a794730cf032cc1>

Тематические журналы:

– Электросвязь – <https://elsv.ru/>

– Т-Comm – Телекоммуникация и транспорт – <https://istina.msu.ru/journals/97645/>

– Информационно-управляемые системы – <http://www.i-us.ru/index.php/ius>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс.Таблицы);

– средства онлайн-коммуникации (Яндекс.Телемост, Voov Meetings);

– средства выполнения и представления расчетно-графических работ (R Studio, MS Power BI);

– онлайн-доски для совместной работы над структуризацией информации (Padlet, Jamboard).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Молчанов Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики,

Лисовская Екатерина Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теории вероятностей и математической статистики,

Лизюра Ольга Дмитриевна, ассистент кафедры теории вероятностей и математической статистики.