



Институт проблем передачи информации им.А.А.Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05«Теория информации и теория кодирования»
Специальность 01.01.09;05.13.17;(05)*05.12.13.
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.05 «Теория информации и теория кодирования»

для специальности 01.01.09; 05.13.17;(05)*05.12.13

аспирантура

Разработчик программы:
К.т.н.-Д.С.Осипов

Одобрена на заседании УС
«03» сентября 2018г.

Председатель УС
В.И.Венец (подпись)



Москва, 2018



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности. Программа ОД.А.05 «Теория информации и теория кодирования» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)*05.12.13.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)*05.12.13
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)*05.12.13

2 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель курса: подготовка аспирантов, владеющих методами теории кодирования и теории информации на высоком профессиональном уровне, позволяющем применять полученные знания для проведения самостоятельных научных исследований и изучения современных телекоммуникационных систем

Задачи курса:

- обобщить и систематизировать знания аспирантов в области алгебры конечных полей
- дать аспирантам, обучающимся по специальности 01.01.09 “дискретная математика и математическая кибернетика”, общее представление о роли, которую кодирование источника и помехоустойчивое кодирование играют в современных системах передачи и хранения информации, и важнейших результатах в области теории кодирования и теории информации
- сформировать у аспирантов навык самостоятельного построения и использования математических моделей в задачах теории кодирования и теории информации

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы (180 часа)

4 4.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных			Сам. работа		
				Лекц.	Лаб.	Прак.			КСР
1.	Теория информации и теория кодирования	180	90	45		45		90	Кандидатский экзамен

4.2. Содержание дисциплины

1. Общая структура системы связи.

2. Информация и неопределенность. Энтропия как мера неопределенности. Собственная информация, связь информации и энтропии. Взаимная энтропия.



3. Кодирование источников. Энтропия, задача кодирования источников, типичные последовательности. Основная теорема кодирования (для источника). Неравномерное кодирование: свойство однозначной декодируемости и свойство префикса, неравенство Крафта, коды Шеннона-Фано, Гилберта-Мура и Хаффмана.
4. Модели каналов: дискретные каналы без памяти. Пропускная способность канала и ее связь со взаимной информацией и скоростью передачи. Основная теорема кодирования (для канала с шумами) и экспонента случайного кодирования.
5. Коды, исправляющие ошибки. Основные параметры кодов, расстояние кода и его связь с корректирующей способностью. Границы существования и не существования кодов
6. Элементы теории групп и конечных полей: абелевы группы, кольца, идеалы, конечные поля. Минимальные функции и циклотомические классы.
7. Классификация кодов. Линейные коды и методы их описания. Методы модификации кодов: удлинение, укорочение, выкалывание, полонение, выбрасывание. Дуальные (двойственные) коды
8. Совершенные коды и коды МДР. Важнейшие классы алгебраических кодов: коды Хэмминга, БЧХ, Рида-Соломона. Декодирование кодов БЧХ и Рида-Соломона.
9. Методы декодирования блочных кодов, использующие оценки надежности.
10. Блочные коды с малой плотностью проверок (МПП коды). Алгоритмы декодирования: мажоритарное декодирование и его модификации, алгоритм "распространения доверия" и его модификации. Граф Таннера МПП кода и связь его свойств с вероятностными характеристиками декодера. Методы анализа блочных МПП кодов.
11. Сверточные коды - основные определения и характеристики. Методы декодирования сверточных кодов: алгоритм Витерби, последовательное декодирование, списочное декодирование, апостериорно-вероятностное декодирование.
12. Сверточные МПП коды: методы их построения и декодирования.
13. Методы комбинирования кодов. Каскадные конструкции на базе блочных кодов.
14. Конструкции турбо кодов и другие каскадные конструкции на базе сверточных кодов.

5 *Контрольные вопросы*

1. Понятие производной для конечномерных отображений.
2. Необходимые и достаточные условия минимума для конечномерной задачи без ограничений.
3. Принцип Лагранжа для конечномерной задачи с ограничениями типа равенств.
4. Принцип Лагранжа для конечномерной задачи с ограничениями типа равенств и неравенств.
5. Необходимые условия экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления.
6. Необходимые условия экстремума в задаче Больца.
7. Необходимые условия экстремума в изопериметрической задаче.
8. Необходимые условия экстремума в задаче Лагранжа.
9. Необходимые условия минимума в задаче оптимального управления.



10. Понятие выпуклого множества, выпуклой оболочки множества, выпуклой функции. Основные операции над выпуклыми множествами.
11. Формулировка конечномерной теоремы отделимости для выпуклых множеств.
12. Понятие субдифференциала выпуклой функции. Примеры.
13. Понятие двойственной задачи к данной задаче. Двойственность в линейном программировании.
14. Постановка задачи оптимального восстановления линейного функционала на классе элементов по неточной информации о самих элементах. Примеры.
15. Теорема двойственности для задачи оптимального восстановления линейного функционала.
16. Постановка задачи оптимального восстановления линейного оператора на классе элементов по неточной информации о самих элементах. Примеры.
17. Постановки задач об оптимальных квадратурах, интерполяции и экстраполяции. Двойственные задачи.
18. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении значения периодической функции в данной точке по ее неточно заданным коэффициентам Фурье.
19. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении значения функции, заданной на прямой, в данной точке по ее неточно заданному преобразованию Фурье.
20. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении периодической функции в среднеквадратической метрике по ее неточно заданным коэффициентам Фурье.
21. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении функции, заданной на прямой, в среднеквадратической метрике по ее неточно заданному преобразованию Фурье.
22. Постановка задачи и формулировка результата о наилучшем восстановлении решения уравнения теплопроводности по его неточным измерениям в отдельные моменты времени.
23. Постановка задачи и формулировка результата о наилучшем восстановлении решения уравнения теплопроводности по неточно заданным начальным условиям.

6 Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

7 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).



8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. O. Gazi, Information Theory for Electrical Engineers// Springer; 1st ed 2018 276 p.
2. P. Ivaniš, D. Drajić, Information Theory and Coding - Solved Problems// Springer; 1st ed., 2017 517 p.
3. Б. Д. Кудряшов, Основы теории кодирования// БХВ-Петербург, 2016 г. 400 с.
4. J. Bierbrauer, Introduction to Coding Theory// Chapman and Hall/CRC, 2016 512 p.
5. M. Tomlinson, C. J. Tjhai, M. A. Ambroze, M. Ahmed, M. Jibril, Error-Correction Coding and Decoding - Bounds, Codes, Decoders, Analysis and Applications// Springer; 2017 522 p.

Авторы

К.т.н.- Д.С.Осипов



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.04 «Методология научных исследований»
Специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения,
динамические системы и оптимальное управление»
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.04 «Методология научных исследований»
Специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения,
динамические системы и оптимальное управление»
аспирантура

Разработчик программы: д.ф.-м. н. А.М. Красносельский

Одобрена на заседании УС
«03» сентября 2019г.

Председатель УС

В.И.Венец



(подпись)

Москва, 2019 г.



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования (по выбору)»
Специальность 01.01.09 ; 05.13.17; 05.12.13
подготовки аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования»

Специальность 01.01.09;05.13.17; 05.12.13
подготовки аспирантура

Разработчик программы:

Доцент, д.т.н. К. Ш. Зигангиров,
д.ф.-м.н., профессор Г. А. Кабатянский

Одобрена на заседании УС
«03» сентября 2018 г.

Председатель УС
В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2018 г



Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов для специальности 01.01.09; 05.13.17 ; 05.12.13.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению 02.06.01 «Компьютерные и информационные науки» для специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика и по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» для специальности 05.13.17 теоретические основы информатики
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика и специальности 05.13.17-теоретические основы информатики

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Фундаментальная подготовка слушателей в области теории информации и теории кодирования, построение навыков применения теории информации и теории кодирования при конструировании и исследовании телекоммуникационных сетей и систем, оказание консультаций слушателям в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований телекоммуникационных сетей и систем.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 час.).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Теория помехоустойчивого кодирования	180	90	90				90	Кандидатский экзамен

2.2. Содержание дисциплины

1. Введение. Передача данных. Передача данных и хранение информации. Методы модуляций. Каналы связи. Модели каналов. Прием сигналов. Обнаружение сигналов.
2. Элементы теории информации и кодирование дискретных источников сообщений. Основные определения и соотношения теории информации. Метод типов. Кодирование дискрет-



ных источников сообщений. Универсальное кодирование.

3. Общая теория блочных кодов. Блочные коды - основные характеристики. Линейные коды, двойственность. Коды Хэмминга и симплекс-коды. Метод случайного кодирования и пропускная способность канала. Задачи сложности в теории кодирования.
4. Конструкции семейств блочных кодов. Коды Рида-Соломона и коды БЧХ как их подкоды. Алгоритмы декодирования (списочного) кодов Рида-Соломона. Полиномы Жегалкина и коды Рида-Маллера, их декодирование. Коды Гоппы и введение в алгебро-геометрические коды. Каскадные конструкции.
5. Коды на графах. Коды на графах и вычислительное дерево. Блочные коды с малой плотностью проверок (КМПП) на четность. Характеристики блочных КМПП. Алгоритмы итеративного декодирования блочных КМПП. Методы анализа блочных КМПП. Пороги. Обобщенные блочные КМПП. Коды на экспандерах(расширителях)
6. Общая теория сверточных кодов. Сверточные коды - основные определения и характеристики. Методы декодирования сверточных кодов. Апостериорно-вероятностное декодирование сверточных кодов. Конструкции турбо кодов. Итеративное декодирование турбо кодов. Многоуровневые турбо коды.
7. Сверточные КМПП. Построение сверточных КМПП. Сверточные перемежители. Конвейерное декодирование сверточных КМПП. Анализ порогов сверточных КМПП. Другие итеративно декодируемые сверточные КМПП.
8. Другие приложения кодов. Коды, дискретная геометрия и сигналы. Коды и защита информации(розПциап1ш cryptography). Коды для каналов с множественным доступом и задачи поиска.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные методы кодирования, практически используемые в современных телекоммуникационных сетях и системах.
2. По какому критерию выбираются в настоящее время помехоустойчивые коды и методы их декодирования при построении систем передачи данных?
3. На чем были сосредоточены усилия ученых, работавших в области теории кодирования в 60-80 гг. прошлого века, и каковы проблемы, решаемые современными исследователями в этой области?
4. Дайте определение сверточного кода. Какие методы декодирования сверточных кодов вы знаете?
5. Как определяется свободное расстояние сверточного кода? Сформулируйте границы для свободного расстояния. От чего они зависят?
6. Какие коды используются в турбо-кодах в качестве компонентных кодов?
7. Какой итеративный алгоритм используется для декодирования компонентных кодов турбо-



кодов?

8. Какие два класса блочных кодов с малой плотностью проверок (КМПП) на четность вы знаете?
9. Опишите асимптотические характеристики блочных КМПП кодов при длинах кодов, стремящихся к бесконечности.
10. Какие итеративные алгоритмы декодирования КМПП кодов вы знаете? Сравните их сложности.
11. 11. Опишите алгоритм построения сверточных КМПП кодов.
12. 12. Как ведут себя сверточные КМПП коды когда память кода стремится к бесконечности? В частности, куда стремятся пороги? Сравните их поведение с поведением порогов блочных КМПП кодов.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет. Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь. 1979.
2. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир. 1976.
3. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролируемых ошибок. М.: Мир. 1986.
4. Влэдуц С.Г., Ногин Д.Ю., Цфасман М.А. Алгеброгеометрические коды. Основные понятия. МЦНМО, 2003.
5. Сагалович КХЛ. Введение в алгебраические коды. М.: Минобрнауки РФ, Агентство по печати; МФТИ; ИППИ РАН, 2007.
6. Сидельников В.М. Теория кодирования. М.: Физматлит, 2008.
7. Ромашенко А., Румянцев А., Шень А. Заметки по теории кодирования.



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования»
Специальность 01.01.09; 05.13.17; 05.12.13
подготовки аспирантура

МЦНМО, 2011.

8. Johannesson R., Zigangiroy K.Sh. Fundamentals of convolutional coding. IEEE Press. 1999.
9. Д. Кудряшов. Теория информации. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2018

Авторы

Доцент, д.т.н. К. Ш. Зигангиров, д.ф.-м.н.,
профессор Г. А. Кабатянский



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05 «Технологии сотовой связи»
Специальность– 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИПТИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.05 «Технологии сотовой связи» (по выбору)
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций
и специальность 05.13.17 –Теоретические основы информатики

Разработчики программы:

К.т.н. А.Н.Красилов, к.т.н. Е.М.Хоров

Одобрена на заседании УС
«03» *сентября* 2018г.

Председатель УС
В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2018



Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Технологии сотовой связи» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций и специальности 05.13.17 –Теоретические основы информатики

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций подготовки аспирантура»; по направлению 09.06.01 для специальности 05.13.17 –Теоретические основы информатики
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций и специальности 05.13.17 –Теоретические основы информатики.

1.Цели и задачи освоения дисциплины

Освоение аспиранта основ функционирования, архитектуры и протоколов современных сетей сотовой связи, в том числе технологий построения сетей четвертого и пятого поколений.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы (180 часа).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц	Лаб	Ирак	КСР		
1.	Технологии сотовой связи	180		90				90	экзамен



2.2. Содержание дисциплины

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

2. *Физический и канальный уровни технологии LTE. Архитектура сети LTE. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов S1, X2 и т.д.). Архитектура сети радиодоступа. Описание стека протоколов. Логические каналы, поддержка QoS. Структура кадра. Физические каналы (PDCCH, PDSCH, и т.д.). Уровень доступа к среде (планировщик, HARQ, DRX). Уровень управления радиосоединением (различные режимы работы, механизм повторных передач). Уровень PDCP (алгоритм ROCH, шифрование, упорядочение пакетов). Уровень RRC (установление соединения, рассылка системной/служебной информации).*

3. *Задача планирования радиоресурсов 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). Планировщики для URLLC-трафика.*

4. *Эволюция технологии LTE. Агрегация каналов (CA). 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.*

5. *Сети пятого поколения. Требования к сетям пятого поколения и сценарии использования. Новый радиointерфейс сетей пятого поколения (New Radio): обзор основных механизмов повышения производительности. Новая архитектура сети: SDN, NFV, Cloud-RAN. Открытые задачи.*

Контрольные вопросы

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 и доступа к среде.
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. Физический уровень LTE.
6. Уровень доступа к среде LTE.
7. Уровень управления радиосоединением (уровень RLC) сетей LTE.
8. Сетевой уровень LTE. Процедура подключения к сети, хендовера и поиска абонента.
9. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, Equal Throughput).
10. Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP\PF). Планировщики для URLLC-трафика.
11. Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP).
12. Планировщики для адаптивного видео (PFMR, планировщики, использующие протокол SAND).
13. Агрегация каналов в сетях LTE.
14. Использование ретрансляторов в сетях LTE.
15. Малые базовые станции LTE.
16. Методы снижения межсетевой интерференции (ICIC, CoMP).



17. Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D).
18. Принципы работы технологии LTE в нелицензируемом спектре.
19. Сети пятого поколения. Требования к сетям пятого поколения и сценарии использования.
20. Новый радионтерфейс сетей пятого поколения: обзор основных механизмов повышения производительности.
21. Новая архитектура сети: SDN, NFV, Cloud-RAN.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная 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. 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.
4. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
5. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G / Academic Press, 3rd Edition, 2016, 616 pp. ISBN: 9780128046111.
6. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology / Academic Press, 1st Edition, 2018, 466 pp. ISBN: 9780128143247.

Авторы:

К.т.н. А.Н.Красилов
К.т.н. Е.М.Хоров



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.03 «Теория передачи сигналов»
Специальность— 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.03 «Теория передачи сигналов»
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций
и специальность 05.13.17 Теоретические основы информатики
аспирантура

Разработчик программы:
Доцент, к.т.н. В. Б. Афанасьев

Одобрена на заседании УС
«01» июня 2015 г.

Председатель УС

В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2015 г.



Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.03 «Теория передачи сигналов» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов, обучающихся по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства и специальность 05.13.17 Теоретические основы информатики

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства» и по направлению подготовки 09.06.01 для специальности 05.13.17 Теоретические основы информатики
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства» и специальности 05.13.17 Теоретические основы информатики

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Курс предназначен для фундаментальной подготовки аспирантов в области теории беспроводной связи.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 час.).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Теория передачи сигналов	108	36	36				72	экзамен

2.2. Содержание дисциплины

1. Каналы дискретные и непрерывные с ограниченной полосой пропускания: каналы с интерференцией и без интерференции (теорема Найквиста); импульсная реакция и частотная характеристика канала; каналы с линейными и нелинейными искажениями, с аддитивным и мультипликативным шумом.
2. Пропускная способность каналов с аддитивным шумом. Формирование спектра сигналов (принцип «заполнения водой»).
3. Элементы теории дискретных сигналов и каналов связи:

Физически реализуемые сигналы, частотное представление сигналов. Дискретное преобразование Фурье. Дискретная модуляция: АМ, ЧМ, ФМ, КАМ, АФМ.

4. Модели каналов беспроводной связи:
«Мгновенная» импульсная реакция и частотная характеристика беспроводного канала. Многолучевое распространение сигналов. Допплерово смещение. Нестационарность беспроводного канала. Селективные и общие замирания, каналы с ошибками стираниями и пакетами ошибок.
5. Основы помехоустойчивого кодирования:
6. Коды, исправляющие ошибки: построение, декодирование и модификации кодов, границы скорость-расстояние, спектры расстояний. Циклические коды - построение, свойства и декодирование, коды БЧХ и РС. Исправление пакетов ошибок.
7. Сверточные коды.
8. Представление кодов с помощью графов. Алгоритм декодирования Витерби. Алгоритм декодирования по максимуму апостериорной вероятности.
9. LDPC коды.
10. Построение проверочных матриц и итеративные алгоритмы декодирования.
11. Каскадные кодовые конструкции.
12. Итеративные и каскадные коды (Форни), теорема о кодовом расстоянии, коды Юстессена. Обобщенные каскадные коды Блоха-Зяблова, системы вложенных кодов. Декодирование каскадных кодов, вероятность ошибки. TURBO коды: построение и декодирование.
13. Сигнально-кодовые конструкции (кодовая модуляция).
14. Вложенные системы сигналов в евклидовой метрике. Каскадное построение сложных сигналов. Сигнально-кодовые конструкции MLCM, TCM, VCM. Пространственно-частотно-временные сигнально-кодовые конструкции.
15. Структура модемов беспроводной системы связи.
16. Синхронизация дискретных сигналов и кодов. Синхронизация тактовая, ФАПЧ, скремблирование. Синхронизация кодовых слов, коды с самосинхронизацией.
17. Системы с последовательной передачей элементарных сигналов.
18. Элементарные сигналы с дискретной модуляцией, согласование с каналом. Выравнивание и измерение импульсной характеристики канала. Адаптивное выравнивание канала.
19. Системы с параллельной передачей элементарных сигналов (OFDM).
20. Системы ортогональных поднесущих с дискретной модуляцией. Циклический префикс и согласование с каналом. Измерение «частотной характеристики» канала и коррекция искажений. Адаптивное слежение за характеристикой канала. Обнаружение и коррекция Допплера смещения.
21. Системы множественного доступа.
22. Системы с временным и частотным разделением, OFDMA. Системы с (пространственно-временным) кодовым разделением. Частотно-временные матрицы кодирования для защиты от преднамеренных помех подавления и имитации.
23. Сложность реализации некоторых элементов систем передачи данных.



24. Сложность кодирования линейных блоковых и сверточных кодов. Сложность некоторых алгоритмов декодирования. Сложность декодера Витерби и декодирования по максимуму апостериорной вероятности. Быстрое преобразование Фурье: алгоритмы и сложность.

25. Контрольные вопросы (примеры)

1. Искажения сигналов и помехи, источники и характеристики помех (шумов). Формирование спектра сигналов, пропускная способность каналов.
2. Физически реализуемые сигналы, частотное представление сигналов.
3. Дискретное преобразование Фурье. Дискретная модуляция: АМ, ЧМ, ФМ, КАМ.
4. Импульсная реакция и частотная характеристика дискретного канала. Аддитивный и мультипликативный шум, многолучевое распространение сигналов.
5. Модели каналов беспроводной связи.
6. Коды, исправляющие ошибки: построение, декодирование и модификации кодов, границы скорость-расстояние.
7. Циклические коды: построение, свойства и декодирование.
8. Сверточные коды. Представление кодов с помощью графов. Алгоритм декодирования Витерби.
9. LDPC коды. Итеративные алгоритмы декодирования.
10. Итеративные и каскадные коды (Форни), теорема о кодовом расстоянии.
11. Обобщенные каскадные коды Блоха-Зяблова, системы вложенных кодов.
12. Декодирование каскадных кодов, вероятность ошибки. TURBO коды: построение и декодирование.
13. Вложенные системы сигналов в евклидовой метрике.
14. Каскадное построение сложных сигналов. Сигнально-кодовые конструкции MLCM, TCM, VCM.
15. Пространственно-частотно-временные сигнально-кодовые конструкции.
16. Структура модемов беспроводной системы связи.
17. Синхронизация тактовая, ФАПЧ, скремблирование.
18. Системы с последовательной передачей элементарных сигналов, согласование с каналом.
19. Выравнивание и измерение импульсной характеристики канала. Адаптивное выравнивание канала.
20. Системы с параллельной передачей элементарных сигналов (OFDM).
21. Циклический префикс и согласование с каналом систем OFDM.
22. Измерение «частотной характеристики» канала и коррекция искажений.
23. Адаптивное слежение за характеристикой канала.
24. Демодуляция поднесущих. Обнаружение и коррекция Доплера смещения.
25. Системы множественного доступа с временным и частотным разделением, OFDMA, с (пространственно-временным) кодовым разделением.
26. Частотно-временные матрицы кодирования для защиты от преднамеренных помех подавления и имитации.
27. Сложность кодирования линейных блоковых и сверточных кодов.
28. Сложность некоторых алгоритмов декодирования.



29. Сложность декодера Витерби.

30. Быстрое преобразование Фурье: алгоритмы и сложность.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Габидулин Э.М., Пилипчук Н.И. Лекции по теории информации. М.: МФТИ, 2007.
2. Галлагер Р., Теория информации и надежная связь. М.: Сов. Радио, 1974.
3. В.И. Коржик, Л.М. Финк. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой. М. «Связь», 1975.
4. В.В. Зяблов, Д.Л. Корбков, С.Л. Портной. Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах. – М. : Радио и связь, 1991.
5. Сагалович Ю.Л. Введение в алгебраические коды. М.: МФТИ, 2007.
6. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986.
7. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1989.
8. Габидулин Э.М., Афанасьев В.Б. Кодирование в радиоэлектронике. М.: Радио и связь, 1986.
9. Касами Т., Токура Н., Ивадари Е., Инагаки Я. Теория кодирования. М.: Мир, 1978.
10. Proakis J.G., Digital Communications. Third edition. McGRAW-Hill, 1995.
11. Морелос-Сарагоса Р., Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2005.
12. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений, Москва – 1970, (capftp@lycos.com)
13. Блох Э.Л., Зяблов В.В. Линейные каскадные коды. М.: Наука, 1982.
14. Richard Poisel, Modern Communications Jamming Principles and Techniques, 2 edition, 2011 ARTECH HOUSE.
15. Системы спутниковой связи (журнал).
16. LTE (журнал).
17. Радиорелейная связь (журнал).

Авторы

Доцент, к.т.н. В. Б. Афанасьев



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05 «Современные сети Wi-Fi» (по выбору)
Специальность— 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.05 «Современные сети Wi-Fi» (по выбору)
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Разработчики программы:

К.т.н. А.Г. Кирьянов, к.т.н. Е.М. Хоров

Одобрена на заседании УС
«03» сентября 2018г.

Председатель УС
В.И.Венец (подпись)



Москва, 2018 г



Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Современные сети Wi-Fi» (по выбору) предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов, обучающихся по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства»

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».
-

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Ознакомление слушателей с новыми протоколами, механизмами и методами доступа, энергосбережения и обеспечения качества обслуживания, определенными в последних версиях стандарта IEEE 802.11 и используемыми в современных сетях Wi-Fi.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часа).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц	Лаб	Ирак	КСР		
1	Современные сети Wi-Fi	180	90	90				90	Кандидатский экзамен



2.2. Содержание дисциплины

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 MIMO 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 TXOP 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 радиointерфейса. 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

Контрольные вопросы

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 широковещательные 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 радиоинтерфейса. 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.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет. Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).



5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005.
2. Matthew S. Gast, 802.11ac: A Survival Guide: Wi-Fi at Gigabit and Beyond. O'Reilly Media. 2013.
3. Matthew S. Gast, 802.11n: A Survival Guide: Wi-Fi Above 100 Mbps. O'Reilly Media. 2012.
4. Khorov E.M., Kiryanov A.G., Lyakhov A.I. IEEE 802.11ax: How to Build High Efficiency WLANs. // In Proc. of IEEE En&T 2015, Moscow, Russia, 2015.
5. Shvets E.A., Lyakhov A.I., Safonov A.A., Khorov E.M. Analytical model of IEEE 802.11s MCCA based streaming in the presence of noise // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. 2011. V. 39. No. 2. P. 38-40.
6. Alexander Ivanov, Evgeny Khorov, Vitaly Zankin, Andrey Lyakhov. Mathematical Model for Scheduling in IEEE 802.11ad Networks // In Proceedings of IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2016), Colmar, France, 11-13 July, 2016.
7. Evgeny Khorov, Vyacheslav Loginov, Andrey Lyakhov. Several EDCA Parameter Sets for Improving Channel Access in IEEE 802.11ax Networks. // In proc. of International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) 2016, Poznan, Poland, 20-23 September, 2016.
8. Evgeny Khorov, Artem Krasilov, Alexander Krotov, Andrey Lyakhov, Will MCCA revive wireless multihop networks? Computer Communications. Volume 104, May 2017, Pages 159–174.
9. Dmitry Bankov, Andre Didenko, Evgeny Khorov, Vyacheslav Loginov, Andrey Lyakhov. IEEE 802.11ax Uplink Scheduler to Minimize Delay: a Classic Problem with New Constraints In proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, Canada, 2017.
10. Khorov E.M., Ivanov A.S., Lyakhov A.I., Zankin V.P. Modelling Deterministic Channel Access in Millimetre Wave Wi-Fi. // 12th Int. Symp. on Wireless Communication Systems (ISWCS 2015), 25–28 August 2015, Brussels, Belgium.
11. Кирьянов А.Г., Ляхов А.И., Сафонов А.А., Хоров Е.М. Метод оценки эффективности механизмов управления соединениями в беспроводных самоорганизующихся сетях // Автоматика и телемеханика, 2012, № 5, стр. 39–56. [Kir'yanov, A. G.; Lyakhov, A. I.; Safonov, A. A., Khorov E.M. A method to estimate efficiency of the connection control mechanisms in wireless self-organizing networks // Automation and Remote Control. 2012. Vol. 73, No. 5. P. 797–809].
12. Khorov E.M., Kiryanov A.G., Lyakhov A.I., Safonov A.A. Analytical Study of Link Management in IEEE 802.11s Mesh Networks // International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Paris, France, 2012. P. 786-790. (Best paper award).



13. Ляхов А.И., Некрасов П.О., Островский Д.М., Сафонов А.А., Хоров Е.М. Анализ совместного использования проактивного и реактивного методов распространения сетевой информации в многошаговых беспроводных сетях // Информационные процессы. 2012. Том 12, №3. С. 198-212. [Lyakhov, A. I.; Nekrasov, P. O.; Ostrovsky, D. M.; Safonov, A. A., Khorov E.M. Analysis of the joint use of the proactive and reactive methods of the topology information dissemination in ad-hoc wireless networks // Journal of Communications Technology and Electronics. 2012. Vol. 57, No 12. P. 1322–1330].

Авторы:

К.т.н. А.Г. Кирьянов, к.т.н. Е.М. Хоров



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.04 «Математические методы оценки производительности систем,
сетей и устройств в телекоммуникации»
Специальность– 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.04 «Математические методы оценки производительности систем,
сетей и устройств в телекоммуникации»
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Разработчик программы:

Профессор, д.т.н. А.И.Ляхов

Одобрена на заседании УС
«03» сентября 2018г.

Председатель УС
В.И.Венец

(подпись)





1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.04 «Математические методы оценки производительности систем, сетей и устройств в телекоммуникации» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению 11.06.01 – «Электроника, радиотехника и системы связи» подготовки для специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций;
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций; аспирантура

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Овладение слушателями основными математическими методами, применяемыми для оценки производительности современных локальных, городских и персональных широкополосных беспроводных сетей, их протоколов и компонент.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часа).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц	Лаб	Ирак	КСР		
1.	Математические методы оценки производительности систем, сетей и устройств телекоммуникации	108	36	36				72	экзамен

2.2. Содержание дисциплины



1. Вводная лекция: понятие модели, цели моделирования беспроводных сетей, виды моделей, простые примеры моделей и способы их решения.
2. Модели сети IEEE 802.11 с идеальным каналом. Формулы расчета показателей производительности сети IEEE 802.11 с идеальным каналом при известной вероятности передачи (базовый метод доступа и механизм RTS/CTS). Учет вида распределения длин пакетов. Оценка вероятности передачи станции в сети IEEE 802.11 с помощью цепи Маркова (модель Бьянки) и распределения числа попыток.
3. Модель сети IEEE 802.11 с централизованным управлением: режим PCF
4. Оценка производительности локальных беспроводных сетей с протоколом IEEE 802.11 в условиях помех.
5. Моделирование схемы дифференцированного обслуживания (EDCA) в сетях IEEE 802.11. Расчет показателей производительности и оценка вероятностей коллизий для разных категорий доступа.
6. Моделирование и оптимизация надежной многоадресной передачи в широкополосных беспроводных сетях.
7. Mesh-сети. Математическая модель механизма управления соединениями в многошаговых сетях с протоколом IEEE 802.11.
8. Mesh-сети. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сетях с протоколом IEEE 802.11 - 5 случаев. Эффект от использования разных межкадровых интервалов. Синхронная и асинхронная работа станций. Преодоление коллизий. Работа в отсутствие виртуального механизма контроля несущей.
9. Mesh-сети. Математические модели передачи мультимедийного трафика методом детерминированного доступа.
10. Интернет вещей. Математическое моделирование процесса присоединения к сети Wi-Fi HaLow.
11. Интернет вещей. Математическое моделирование трафика межмашинной коммуникации в сетях Wi-Fi HaLow и LoRaWAN.

Контрольные вопросы

1. Понятие модели, цели моделирования беспроводных сетей, примеры моделей.
2. Формулы расчета показателей производительности сети IEEE 802.11 с идеальным каналом при известной вероятности передачи (базовый метод доступа и механизм RTS/CTS). Учет вида распределения длин пакетов.
3. Оценка вероятности передачи станции в сети IEEE 802.11 с помощью цепи Маркова (модель Бьянки) и распределения числа попыток.
4. Оценка производительности локальных беспроводных сетей с протоколом IEEE 802.11 в ус-



ловиях помех,

5. Оценка вероятностей коллизий для разных категорий доступа в сетях IEEE 802.11 с дифференцированным качеством обслуживания.
6. Расчет показателей производительности при известных вероятностях коллизий в сетях IEEE 802.11 с дифференцированным качеством обслуживания.
7. Модели сети IEEE 802.11 с централизованным управлением: режим PCF.
8. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сети. Случай: А передает В, С передает D; все в зоне устойчивого приема друг друга, кроме А и D, которые в зоне интерференции друг друга.
9. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сети. Случай: А передает В, С передает D; все в зоне устойчивого приема друг друга, кроме А и D, которые не слышат друг друга.
10. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сети. Случай: А передает В, С передает D; А и D не слышат друг друга, А и С слышат друг друга; В и С в зоне устойчивого приема друг друга.
11. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сети
12. Случай: А передает В, С передает D; А и D не слышат друг друга, А и С не слышат друг друга, В и D не слышат друг друга, В и С в зоне устойчивого приема друг друга.
13. Протокольная модель интерференции прямых соединений в сети
14. Случай: А передает В, С передает D; А и D не слышат друг друга, А и С не слышат друг друга, В и D не слышат друг друга, В и С в зоне интерференции друг друга.
15. Математическая модель механизма управления соединениями в многошаговых сетях с протоколом IEEE 802.11.
16. Математическая модель передачи мультимедийного трафика методом детерминированного доступа.
17. Моделирование многоадресной передачи в широкополосных беспроводных сетях IEEE 802.11.
18. Математическое моделирование процесса присоединения к сети Wi-Fi HaLow
19. Математическое моделирование трафика межмашинной коммуникации в сетях Wi-Fi HaLow.
20. Математическое моделирование трафика межмашинной коммуникации в сетях LoRaWAN.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.



4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005.
2. Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2000. Vol. 18. P. 535-548.
3. Lyakhov A. Yakimov M. Analytical Study of QoS Oriented Multicast in Wireless Networks // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2011. V.11. Article ID 307507.
4. Shvets E., Lyakhov A., Safonov A., Khorov E. Analytical model of IEEE 802.11s MCCA based streaming in the presence of noise // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. 2011. V. 39. No. 2. P. 38-40.
5. Ляхов А.И., Пустогаров И.А., Гудиллов А.С. Проблема неравномерного распределения пропускной способности канала в сетях IEEE 802.11 // Информационные процессы, 2008. Т. 8. № 3. С. 149-167. См. также: A. Lyakhov, I. Pustogarov and A. Gudilov. Direct links in IEEE 802.11: Analytical study of unfairness problem // Automation & Remote Control, 2008. Vol. 69. № 9, pp. 1630-1645.
6. Dongxia Xu, Taka Sakurai, and Hai L. Vu. An access delay model for IEEE 802.11e EDCA // IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009. Vol.8, pp.261-275.
7. Кирьянов А.Г., Ляхов А.И., Сафонов А.А., Хоров ЕМ. Метод оценки эффективности механизмов управления соединениями беспроводных самоорганизующихся сетей // Автоматика и телемеханика. 2012. № 5. С. 39-56.
8. Evgeny Khorov, Alexander Krotov, Andrey Lyakhov. Modelling Machine Type Communication in IEEE 802.11ah networks // IEEE International Conference on Communications (ICC), 8-12 Jun., 2015, London, UK.
9. Dmitry Bankov, Evgeny Khorov, Andrey Lyakhov and Ekaterina Stepanova. Fast centralized



au-thentication in Wi-Fi HaLow networks // Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on. – IEEE, 2017. – PP. 1-6.

10. Dmitry Bankov, Evgeny Khorov, Andrey Lyakhov. Mathematical Model of LoRaWAN Channel Access In proc. of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), Macau, China, 2017
11. Alexander Ivanov, Evgeny Khorov, Egor Kuznetsov, Andrey Lyakhov. Mathematical Study of QoS-aware Multicast Streaming in Wi-Fi Networks // In proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2018), Barcelona, Spain, 2018.

Автор:

профессор, д.т.н, А. И. Ляхов



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН
Программа дисциплины ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей»
Специальность– 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича
Российской академии наук
ИППИ РАН**

Рабочая программа дисциплины

ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей» (по выбору)
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
аспирантура

Разработчик программы:
К.т.н. А. А. Сафонов, д.ф.-м.н. А. Н. Соболевский

Одобрена на заседании УС

«01» июня 2016 г.

Председатель УС

В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2016 г.



Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей» (**по выбору**) предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов, обучающихся по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства»

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины - освоение студентами избранных глав теории вероятностей, в частности, теории массового обслуживания и теории случайных процессов.

Задачи: фундаментальная подготовка студентов в двух областях теории вероятностей: теории массового обслуживания (ТМО) и теории случайных процессов (ТСП); построение у студентов навыков применения ТМО и ТСП в исследовании телекоммуникационных сетей и систем; оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований телекоммуникационных сетей и систем.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 час.).

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Избранные главы теории вероятностей	180	90	90				90	Кандидатский экзамен

2.2. Содержание дисциплины

1. Элементарные и составные события. Дискретные случайные величины, их распределения и совместные распределения, моменты. Маргинальные и условные распределения. Независимые случайные величины. Производящие функции распределения вероятности и моментов. Поведение производящих функций, мат. ожидания и дисперсии при сложении независимых



- случайных величин. Вывод биномиального распределения методом производящих функций. Вывод распределения Пуассона из биномиального распределения методом производящих функций.
2. Непрерывные случайные величины. Кумулятивная функция распределения вероятности (к.ф.р.), функция плотности вероятности (ф.п.в.) и характеристическая функция распределения вероятности (х.ф.). Абсолютно непрерывные и сингулярные распределения. Совместное распределение, маргинальные и условные распределения в непрерывном случае, формула полной вероятности, независимость. Поведение х.ф., мат. ожидания и дисперсии при сложении случайных величин. Логарифм х.ф. (характеристический показатель) и кумулянты случайной величины. Экспоненциальное распределение, его характеристическое свойство («сколько ни ждешь, осталось ждать еще столько же»). Гамма-распределение как сумма экспоненциальных распределений.
 3. Классификация потоков событий. Пуассоновский поток. Поток Пальма. Прореживание пуассоновских потоков. Помеченный пуассоновский поток. Суперпозиция пуассоновских потоков.
 4. Основные понятия теории массового обслуживания. Формула Литтла. Система М/М/1. Передача в канале без шума и длиной пакетов с экспоненциальным распределением как система М/М/1. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди.
 5. Передача пакетов равной длины по беспроводному каналу с белым шумом как система В/В/1. Входной поток малой интенсивности как оп- off-процесс, передача по каналу как бернуллиевский процесс с вероятностью p , отражающей уровень шума в канале. Оценка среднего и дисперсии времени передачи пакета и пропускной способности канала в зависимости от уровня шума.
 6. Система М/Г/1. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди методом производящих функций.
 7. Предельные теоремы. Среднее выборки и дисперсия выборки. Неравенства Маркова, Чебышева, закон больших чисел. Слабая сходимость случайных величин. Непрерывность х.ф. относительно слабой сходимости (без доказательства, но с обсуждением основных идей). Центральная предельная теорема (вывод с помощью х.ф.). Закон больших чисел в форме Хинчина (через х.ф.).
 8. Нормальное распределение и распределение хи-квадрат. Нормальное распределение, гауссовы векторы. Распределение хи-квадрат, число его степеней свободы. Критерий хи-квадрат. Пример проверки статистической гипотезы: бомбардировки Лондона (по В. Фелднеру)
 9. Цепь Маркова с конечным числом состояний. Граф цепи Маркова и матрица вероятностей перехода. Стационарное распределение цепи Маркова. Принцип детального равновесия, обратимые цепи Маркова.
 10. Моделирование процесса переключения сигнально-кодowych конструкций при передаче в беспроводном канале цепью Маркова. Оценка стационарных вероятностей передачи на каждой СКК.
 11. Обнаружение сетей (network discovery) с помощью биконов. Передача биконов без прослушивания (метод ALOHA) и с прослушиванием беспроводной среды (метод CSMA/CA). Оценка вероятности успешной передачи бикона и среднего числа биконов, переданных за окно



передачи.

12. Эргодическая теорема для цепей Маркова. Существование и единственность стационарного распределения в общей неприводимой непериодической цепи Маркова.
13. Вероятностное пространство, алгебра событий, процессы и потоки алгебр.
14. Случайное блуждание и процесс Винера как его предел.
15. Описание статистики случайного процесса в терминах корреляционных функций. Теорема Колмогорова (без доказательства).
16. Марковские процессы. Уравнение Смолуховского. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка (с выводом).
17. Краевые условия для уравнения Фоккера-Планка. Распределение времени выхода. Равновесное распределение вероятности, обратимость, распределение Гиббса.
18. Марковские процессы со скачками. Уравнение Колмогорова-Феллера.
19. Уравнение Ланжевена. Процесс Орнштейна-Уленбека.
20. Стохастические дифференциальные уравнения. Стохастическое дифференциальное исчисление по Ито и по Стратоновичу.
21. Спектральное разложение случайной функции. Стационарные случайные функции, спектральное условие стационарности.
22. Теорема Винера-Хинчина. Формула Найквиста, "белый" и "цветной" шум.
23. Стационарные случайные процессы и эргодическая теория динамических систем.

Контрольные вопросы

1. Распределение вероятности на множестве натуральных чисел: каким условиям удовлетворяет, как задается (перечислите все известные вам способы), какими параметрами может быть охарактеризовано.
2. Распределение вероятности на числовой прямой: каким условиям удовлетворяет, как задается (перечислите все известные вам способы), какими параметрами может быть охарактеризовано.
3. Совместное распределение вероятности нескольких случайных величин. Маргинальные и условные распределения, независимость.
4. Моменты и кумулянты случайных величин: определения и формулы для выражения одних через другие.
5. Потоки событий, марковское свойство и рекуррентность.
6. Основные понятия теории массового обслуживания.
7. Передача в канале без шума и длиной пакетов с экспоненциальным распределением как система $M/M/1$.
8. Передача пакетов равной длины по беспроводному каналу с белым шумом как система $V/V/1$.
9. Система $M/G/1$. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди методом производящих функций.
10. Закон больших чисел (формулировка и доказательство при помощи неравенства Чебышева).
11. Центральная предельная теорема (формулировка и доказательство сходимости к характеристической функции нормального распределения).
12. Серия однотипных вопросов о каждом из основных распределений, встречающихся при



решении задач: биномиальное, распределение Пуассона, геометрическое, отрицательное биномиальное, экспоненциальное, гамма-распределение, нормальное распределение, распределение хи-квадрат, распределение Коши. Для каждого распределения надо дать определение или описание вероятностного эксперимента, приводящего к появлению случайной величины, распределенной по данному закону, вид функции плотности вероятности и характеристической функции, формулы для основных статистических характеристик (мат. ожидание, дисперсия, кумулянты первых четырех порядков).

13. Цепь Маркова с конечным числом состояний: определение при помощи помеченного графа и матрицы, вероятности перехода и маргинальные вероятности, стационарные распределения.
14. Моделирование процесса переключения сигнально-кодовых конструкций при передаче в беспроводном канале цепью Маркова.
15. Передача биконов без прослушивания беспроводной среды (метод ALOHA)
16. Передача биконов с прослушиванием беспроводной среды (метод CSMA/CA)
17. Эргодическая теорема для цепей Маркова: классификация состояний и доказательство для неприводимой нециклической цепи.

3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебнометодические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Ширяев А.Н. Вероятность. Любое издание.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Любое издание.

Дополнительная литература

1. Ван Кампен Н.Г. Стохастические процессы в физике и химии. М.: Высшая школа. 1990.
2. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986.
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1986.

Интернет-ресурсы



1. Markov process. Encyclopedia of Mathematics. URL:
http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=Markov_process&oldid=37905 (версия от 14 марта 2016 г.)
2. Kempthorne P. Mathematical Statistics. MIT OpenCourseWare course. URL:
<https://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-655-mathematical-statistics-spring-2016/> (весна 2016 г.)
3. Polyanskiy Y. Information Theory. MIT OpenCourseWare course. URL:
<https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-441-information-theory-spring-2016/> (весна 2016 г.)

Пособия и методические указания

Рекомендуются следующие сборники задач:

1. Ширяев А. Н. Задачи по теории вероятностей. М.: МЦНМО, 2011.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Любое издание (разделы задач в конце каждой главы).
3. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О, Конкретная математика: Основание информатики. М.: Мир, 1998. Гл. 7, 8 и задачи к ним.
4. Ван Кампен Н. Г. Стохастические процессы в физике и химии. М.: Высшая школа, 1990 (разделы задач в конце каждой главы).

Авторы

К.т.н. А. А. Сафонов, д.ф.-м.н. А. Н. Соболевский