

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

И.С. Огнев
(подпись)

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Статистические модели многолучевых беспроводных каналов»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности
1.3.4 «Радиофизика»

Форма обучения очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины являются: овладение современными методами описания многолучевых беспроводных каналов, в первую очередь – статистическими моделями.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина относится к разделу дисциплины по выбору вариативной части.

Дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими дисциплинами. Для изучения дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета, бакалавриата, магистратуры в области статистической радиофизики.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- классификацию статистических моделей многолучевых беспроводных каналов связи.

Уметь:

- применять статистическое описание канала для получения характеристик системы связи на его основе.

Владеть:

- навыками выбора статистической модели канала в соответствии с условиями распространения сигнала.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Основные понятия	2	1				10	собеседование
2	Передача и прием дискретных сообщений в многолучевом канале с замираниями сигнала	2	2				10	собеседование
3	Основные характеристики систем с разнесенным приемом	2	2				10	собеседование
4	Передача и прием сигналов в MIMO-системах	2	2				5	собеседование
5	Современные статистические модели многолучевых беспроводных каналов	2	1				10	реферат
		2					12	зачет
	Всего		12			4	92	

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Основные понятия

Сигнально-кодовые конструкции. Модуляции, используемые в системах мобильной связи. Оптимальный прием сигналов с различными модуляциями на фоне гауссова шума. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для сигналов с различными модуляциями. Канальное (помехоустойчивое) кодирование и декодирование. Спектральная эффективность гауссова шумового канала. Классификация моделей многолучевых беспроводных каналов связи.

Тема 2. Передача и прием дискретных сообщений в многолучевом канале с замираниями сигнала

Беспроводная передача сигналов. Влияние земной поверхности. Крупномасштабные замирания сигналов. Мелкомасштабные замирания сигналов. Импульсная характеристика и передаточная функция. Временная дисперсия в канале. Спектральные и корреляционные свойства сигнала. Угловая дисперсия в канале. Пространственная корреляция. Модель Рэлея. Вероятность битовой ошибки в рэлеевском канале. Модель Райса. Вероятность битовой ошибки в райсовском канале. Спектральная эффективность рэлеевского канала. Передача и прием сигналов в OFDM-системе связи. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах связи. Расширение спектра методом прямой последовательности. Разделение пользователей в CDMA-системе. Влияние многолучевости на эффективность CDMA-системы. Спектральная эффективность систем с адаптивной модуляцией или адаптивным управлением мощностью.

Тема 3. Основные характеристики систем с разнесенным приемом

Методы объединения приемных антенн. Когерентный прием сигналов. Прием сигналов с отбором «лучшей» антенны. Вероятность битовой ошибки в рэлеевском канале. Некоррелированные замирания сигналов одинаковой мощности. Некоррелированные замирания сигналов разной мощности. Коррелированные замирания сигналов. Прием сигналов на «лучшую» антенну. Вероятность битовой ошибки в райсовском канале. Некоррелированный райсовский канал. Коррелированные райсовские замирания. Вероятность битовой ошибки при поляризационном разнесении. Спектральная эффективность системы с когерентным приемом сигналов в рэлеевском некоррелированном канале.

Методы неадаптивной разнесенной передачи. Фазовая передача. Ортогональная передача. Ортогональная пространственно-временная передача. Адаптивная передача. Сравнительная эффективность методов разнесенной передачи.

Матрица коэффициентов передачи. Спектральная эффективность ММО-системы без обратной связи. Спектральная эффективность ММО-системы с обратной связью. Сравнение спектральной эффективности при известном или неизвестном канале на передающей стороне линии связи. Спектральная эффективность при различных корреляционных свойствах замираний сигналов.

Тема 4. Передача и прием сигналов в ММО-системах

Общая схема пространственно-временного кодирования ММО-системы без обратной связи. МП-приемник. ZF-приемник. МСКО-приемник. ММО-системы с обратной связью. Формирование независимых собственных подканалов. совместной оптимизации скорости передачи. Ортогональное пространственно-временное блочное кодирование. Коды при произвольном числе передающих и приемных антенн. Вероятность битовой ошибки и спектральная эффективность. Пространственно-временные решетчатые коды.

Оценка импульсной характеристики при заданной длине. Оценка длины импульсной характеристики. Оценка многоканальной импульсной характеристики в системах связи с разнесенным приемом. Оценка передаточной функции канала в OFDM-системе.

Модель Кларка. Спектр Джейкса. Усеченный спектр Джейкса

Тема 5. Современные статистические модели многолучевых беспроводных каналов

Модели с распределениями Накагами- m , Гаусса, альфа-мю, каппа-мю, гамма, логнормальным, хи-квадрат Пирсона и другие. Их особенности и возможности применения, учёт физических аспектов распространения сигнала в каналах.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, практические занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков, а также получению кратких теоретических сведений. Задействованы: решение задач; коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм; анализ конкретных ситуаций; выступления с презентацией доклада.

Консультация – занятие, посвящённое консультациям по организации самостоятельной работы, ответам на вопросы студентов или разбору трудных тем.

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ: Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

а) Профессиональные базы данных:

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

б) Информационные справочные правовые системы:

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Системы и сети мобильной связи [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.А. Райфельд, А.А. Спектор. - Новосибирск : НГТУ, 2019. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778238336.html> (Режим доступа: ЭБС Консультант-плюс, подписка ЯрГУ)
2. Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.В. Смирнова, А.В. Пролетарский и др. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703846209.html> (Режим доступа: ЭБС Консультант-плюс, подписка ЯрГУ)

б) дополнительная литература:

3. Технология OFDM [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлома, А.П. Шумов - М. : Горячая линия - Телеком, 2017. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991205498.html> (Режим доступа: ЭБС Консультант-плюс, подписка ЯрГУ)
4. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов. / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов; УМО по университетскому политехническому образованию - 2-е изд.,испр. - М.: Радио и связь : Горячая линия - Телеком, 2004. - 608 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Электронная библиотека elibrary.ru.
3. Жулябин Д. Ю. Модели каналов для беспроводных систем связи // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, №1 (4), 2014. <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=88> (открытый доступ)
4. Гвоздарев А.С., Гуляева М.А. Статистический анализ усреднённой вероятности правильного обнаружения для случая энергетического приёмника в условиях многолучевого пространства // Журнал радиоэлектроники, 2016, №11. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/12/text.pdf> (открытый доступ)
5. Гвоздарев А. С., Артёмов Т. К., Патралов П. Е., Мурин Д. М. Вероятностный анализ безопасности беспроводной системы связи для канала типа Beaulieu-Xie с затенениями // Информатика и автоматизация, 2022, 21(5), с. 1044-1078. URL: <http://it-ggups.ru/index.php/sp/article/view/15446/15125> (открытый доступ)

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Автор:

Доцент кафедры интеллектуальных информационных радиопизических систем, к.-ф.-м.н., доц.

А. С. Гвоздарев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Статистические модели многолучевых беспроводных каналов»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

В качестве средств текущего контроля используется собеседование, а также написание в течение семестра одного реферата на выбранную тему.

Вопросы к собеседованию

1. Причины и варианты многолучевого распространения сигнала.
2. Влияние и учёт корреляции.
3. Спектральная эффективность канала и влияние на неё различных факторов.
4. Вероятность битовой ошибки и влияние на неё различных факторов.

Темы рефератов

5. Модель беспроводного канала с распределением Накагами-m.
6. Модель канала с распределением Гаусса
7. Альфа-мю канал и особенности его применения.
8. Каппа-мю модель беспроводного канала.
9. Модель канала с гамма-распределением.
10. Модель канала с логнормальным распределением.
11. Модель с распределением хи-квадрат Пирсона.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Причины и варианты многолучевого распространения сигнала.
2. Крупномасштабные замирания сигналов.
3. Мелкомасштабные замирания сигналов.
4. Временная и фазовая дисперсии в канале.
5. Пространственная корреляция.
6. Спектральная эффективность гауссова шумового канала.
7. Спектральная эффективность рэлеевского канала.
8. Некоррелированные замирания сигналов одинаковой мощности.
9. Некоррелированные замирания сигналов разной мощности.
10. Коррелированные замирания сигналов.
11. Вероятность битовой ошибки в рэлеевском канале.
12. Вероятность битовой ошибки в райсовском канале.
13. Матрица коэффициентов передачи.
14. ZF-приемник. МСКО-приемник.
15. Модель Кларка. Спектр Джейкса.

3. Критерии выставления оценки

По окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если:

- подготовленный им реферат соответствует как минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания рефератов);
- и ответ на вопрос в ходе зачёта соответствует минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания ответов на вопросы).

Если же либо реферат, либо ответы на вопросы, либо и то, и то имеет уровень ниже порогового, выставляется оценка «незачтено».

Критерии оценивания ответов на вопросы к зачету

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос билета раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные
Владение методологией	Упомянуты наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
Критический анализ существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.

Критерии оценивания реферата

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Раскрытие темы	Тема раскрыта не полностью, ответ не детализированный, но студент обнаруживает знание и понимание большинства положений	Тема раскрыта полностью, но обобщения не конкретизированы	Тема раскрыта полностью, даны правильные представления и суждения по сути и деталям

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
	ний и сути рассматриваемых вопросов		
Логика изложения и аргументация	Изложение непоследовательное	Есть неточности в последовательности изложения	Изложение последовательное
Примеры	Нет примеров	Имеются примеры, возможно, не все	Имеются все необходимые примеры
Корректность изложения	Есть ряд неточностей в сути вопроса, не являющихся, однако, существенными	Изложение правильное, но допускается 1 неточность в сути содержания вопросов	Ошибок нет
Владение методологией	Упоминаются наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
Критический анализ существующих моделей	Перечисляются достоинства и недостатки существующих моделей	Перечисляются достоинства и недостатки существующих моделей. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих моделей. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.
Грамотность	Много орфографических и грамматических ошибок	Есть отдельные ошибки	Нет орфографических ошибок, грамматически правильные предложения
Оформление	Ошибки в оформлении	Есть отдельные неточности	Полностью соответствует требованиям