

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Беспроводные системы связи и их безопасность

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.39 Беспроводные системы связи и их безопасность относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-11.2.: Способен контролировать работоспособность и оценивать эффективность средств защиты информации в системах подвижной цифровой защищенной связи;	ОПК-11.2..1: Знает: - методы контроля работоспособности и оценки эффективности средств защиты информации в системах подвижной цифровой защищенной связи ОПК-11.2..2: Умеет: - оценивать эффективность средств защиты информации в системах подвижной цифровой защищенной связи ОПК-11.2..3: Владеет: - навыками контроля работоспособности средств защиты информации в системах подвижной цифровой защищенной связи	ОПК-11.2..1: Знает архитектуру и функциональное назначение протоколов применяемых в беспроводных системах связи ОПК-11.2..2: Умеет применять методы оценивания параметров в системах мобильной связи ОПК-11.2..3: Владеет методами построения основных процедур обработки сигналов	Собеседование Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	2
самостоятельная работа	37

Промежуточная аттестация	45 Экзамен
---------------------------------	-----------------------------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи)	33	8	16	24	9
Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9	33	8	16	24	9
Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g	33	8	16	24	9
Часть 4. Физический уровень стандарта WiGig IEEE802.11ad	34	8	16	24	10
Аттестация	45				
КСР	2				2
Итого	180	32	64	98	37

Содержание разделов и тем дисциплины

Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи)

Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9

Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g

Часть 4. Физический уровень стандарта WiGig IEEE802.11ad

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 16 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, компьютерных классах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних

условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

– во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.

– контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины выдаются заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-11.2.:

Вариант 1:

1. Физический уровень стандарта IEEE 802.11a
2. Поиск соты в LTE.
3. Основные уровни стандарта IEEE 802.11a
4. Отличия SC-FDMA от OFDMA

Вариант 2:

1. Опорные (пилотные) сигналы (общее понятие)
2. Функциональное назначение сигналов в физическом канале PDCCH.
3. Функциональное назначение сигналов в физическом канале PRACH.
4. Функциональное назначение сигналов в физическом канале PUCCH.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом

Оценка	Критерии оценивания
	хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-11.2.:

№п/п	Наименование лабораторных работ
1	Согласованные фильтры
2	Пуассоновские случайные процессы

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-11.2.

1. MAC уровень стандарта IEEE 802.11a. Независимые зоны обслуживания (ad-hoc сети). Зоны обслуживания с точкой доступа. Понятие скрытого узла. Понятие о механизме «множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий».
2. Физический уровень стандарта IEEE 802.11a. Основные параметры стандарта. Структура фрейма. Временная и частотная структура субфреймов “PREAMBLE”, “SIGNAL” и “DATA”. Модуляция данных.
3. Архитектура и функциональное назначение логических узлов опорной сети (Core Network) и сети радиодоступа (Radio Access Network).
4. Синхронизация и поиск соты в LTE.
5. Архитектура и функциональное назначение протоколов Layer 1, Layer 2, Layer 3. Процедура случайного доступа.
6. Технология множественного доступа OFDMA. Технология множественного доступа SC-FDMA, отличия SC-FDMA от OFDMA.
7. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
8. Локализованное и распределённое отображение частотных выборок на поднесущие в SC-FDMA, преимущества и недостатки.
9. Временные структуры кадра LTE.
10. Ресурсная сетка LTE, расстояние между поднесущими, длительность OFDM символа, частота дискретизации, поддерживаемые полосы частот.
11. Последовательности Задова-Чу.
12. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
13. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PBCH.

14. Опорные (пилотные) сигналы, пример процедуры оценивания канала.
15. Пространственное мультиплексирование Closed-loop в LTE Rel-8/9.
16. Функциональное назначение и обработка сигналов в физических каналах PCFICH и PHICH.
17. Опорные сигналы, используемые при передаче от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
18. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDCCH.
19. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PRACH.
20. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDSCH, режимы передачи PDSCH.
21. Разнесённая передача сигналов от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
22. Пространственное мультиплексирование Open-loop в LTE Rel-8/9.
23. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PUCCH.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-11.2.

I. Основные свойства сигналов:

1. Найти энергию треугольного и экспоненциального импульсов вида

$$x(t) = \begin{cases} A \left(1 - \frac{|t|}{9} \right), & |t| \leq 9 \\ 0, & |t| > 9 \end{cases} \quad x(t) = \begin{cases} Ae^{-\alpha t}, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

2. Найти энергию импульса

$$x(t) = \begin{cases} At^n e^{-\alpha t}, & n > 0, \alpha > 0, t > 0, \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

3. Найти спектральную плотность амплитуды и спектральную плотность энергии сигнала равного

$$x(t) = \begin{cases} Ae^{\alpha t}, & t < 0 \\ 0, & t = 0 \\ -Ae^{-\alpha t}, & t > 0 \end{cases}$$

Объяснить, почему спектральная амплитуда является мнимой величиной, а спектральная плотность энергии равна нулю в точке $\omega=0$.

4. Найти взаимную корреляционную функцию двух гауссовых сигналов.

5. Показать, что сигнал в виде постоянного уровня со случайным значением не является эргодическим.

6. Показать, что гармоническое колебание $x(t) = A \cos(\omega t - j) = A \cos y(t)$ с амплитудой, принимающей случайное значение, равновероятное в интервале от 0 до A_{\max} , является нестационарным и неэргодическим сигналом.

7. Докажите, что модуль корреляционной функции

$$|B_x(t_1, t_2)|$$

случайного процесса $x(t)$ меньше или равен половине суммы дисперсий процесса в моменты времени t_1 и t_2 , т.е.

$$|B_x(t_1, t_2)| \leq 0.5 [\sigma_x^2(t_1) + \sigma_x^2(t_2)].$$

8. Покажите, что в формуле (1.1.7) для 64-КАМ сигналов нормирующий множитель, обеспечивающий единичную среднюю мощность, равен

$$k = \sqrt{42}.$$

II. Статистические характеристики многолучевых каналов:

1. Найти фактор L_0 (в дБ) ослабления сигнала в свободном пространстве, если расстояние d между передающей и приемной антеннами составляет 10 км, а передача осуществляется на частоте $f_c = 5$ ГГц.

2. Найти величину ослабления сигнала (в дБ) в свободном пространстве, если расстояние d между передающей и приемной антеннами составляет 1 км, передача осуществляется на частоте $f_c=5$ ГГц, усиление передающей антенны равно $G_t=20$, а приемная антенна является ненаправленной.
3. Найти множитель ослабления земли с коэффициентом отражения равным -1, если расстояние d между передающей и приемной антеннами составляет 2 км, передача осуществляется на частоте $f_c=1800$ МГц, высота передающей антенны $h_t=40$ м, а приемной – $h_r=1,5$ м.
4. Можно ли пользоваться квадратичной формулой Введенского для расчета величины сигнала, если расстояние между передающей и приемной антеннами $d=0.5$ км или 10 км, передача осуществляется на частоте $f_c=900$ МГц, высота передающей антенны $h_t=40$ м, а приемной - $h_r=1,5$ м.
5. Системы связи имеет следующие параметры: мощность передатчика $P_t=1$ Вт, усиление передающей антенны $G_t=20$, приемная антенна является ненаправленной (усиление $G_r=1$), шум-фактор приемника $N_{noise}=3$, передача осуществляется на частоте $f_c=900$ МГц в полосе $W=1$ МГц, расстояние между передающей и приемной антеннами $d=1$ км. Найти ОСШ в свободном пространстве.
6. Пусть максимальная дальность d_{max} связи – это дальность, на которой ОСШ равно $r_{min}=14$ дБ. Найти d_{max} в случае свободного пространства, если мощность передатчика $P_t=1$ Вт, усиление передающей антенны $G_t=20$, приемной $G_r=3$, шум-фактор приемника $N_{noise}=3$, передача осуществляется на частоте $f_c=1800$ МГц в полосе $W=1$ МГц.
7. Система связи имеет следующие параметры: мощность передатчика $P_t=1$ Вт, усиление передающей антенны $G_t=20$, приемная антенна является ненаправленной (усиление $G_r=1$), шум-фактор приемника $N_{noise}=3$, передача осуществляется на частоте $f_c=900$ МГц в полосе $W=1$ МГц, расстояние между передающей и приемной антеннами $d=1$ км. Найти ОСШ, считая, что мощность принимаемого сигнала зависит от расстояния d обратно пропорционально четвертой степени.

8. Импульсная характеристика трех лучевого канала равна

$$h(\tau) = \delta(\tau) + \alpha_2 e^{-j2\pi f_c \tau_2} \delta(\tau - \tau_2) + \alpha_3 e^{-j2\pi f_c \tau_3} \delta(\tau - \tau_3),$$

где $\alpha_2(3)$ и $\tau_2(3)$ –коэффициент и задержка передачи для второго (третьего) луча.

Найти модуль передаточной функции канала, если $\alpha_2=\alpha_3=0.5$ и $\tau_3=3\tau_2$

III. Оптимальный прием сигналов:

1. Сигнал $s(t)$ имеет вид

$$s(t) = \begin{cases} (A/T)t \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t < 0, t > T. \end{cases}$$

Найти ИХ фильтра, согласованного с сигналом $s(t)$, и сигнал на выходе согласованного фильтра при $t=T$.

2. Сигнал $s(t)$, определенный на интервале $0 \leq t \leq T$, искажается в гауссовом шумовом канале так, что принимаемый сигнал равен $r(t) = s(t) + z(t)$, где $z(t)$ – шум. Далее сигнал $r(t)$ проходит через оптимальный фильтр с ИХ $h(t)$.

Найти $h(t)$ из условия, что фильтр должен максимизировать выходное ОСШ в момент времени $t = T$.

3. Система связи передаёт один из трёх сигналов $s(t)$, 0 и $-s(t)$, где $0 \leq t \leq T$. Эти сигналы принимаются на фоне белого гауссова шума с нулевым средним и дисперсией N_0 , т.е. принимаемый сигнал равен $r(t) = s(t) + z(t)$, $r(t) = z(t)$ или $r(t) = -s(t) + z(t)$. Оптимальный приёмник вычисляет корреляционные метрики

$$U = \operatorname{Re} \int_0^T r(t) s^*(t) dt$$

и сравнивает значение U с порогами A и $-A$. Если $U > A$, то принимается решение, что передан сигнал $s(t)$, если $U < -A$, то передан сигнал

$-s(t)$, а если $-A < U < A$, то передан нулевой сигнал.

Найти:

а) три условные вероятности ошибки: P_{e1} при условии, что передан $s(t)$, P_{e2} при условии, что передан сигнал $-s(t)$ и P_{e3} при условии передачи нулевого сигнала.

б) среднюю вероятность ошибки P_e как функцию от порога A , предполагая, что три сигнала априорно равновероятны.

4. Основываясь на результатах предыдущей задачи найти величину порога A , которая минимизирует среднюю вероятность ошибки P_e .

5. Квадратурные несущие $\cos(2\pi f_c t)$ и $\sin(2\pi f_c t)$ используются для передачи информации по гауссову шумовому каналу при двух различных скоростях передачи

данных $R_c = 10$ кбит/с и $R_s = 100$ кбит/с. Определите отношение амплитуд сигналов для двух несущих так, чтобы ОСШ на бит $\rho_b = E_b / N_0$

для двух квадратур было бы одинаковым.

6. Система сотовой связи работает в условиях релейских замираний сигналов. Пусть среднее ОСШ $\gamma_0 = 10$. Найти вероятность того, что мгновенное ОСШ будет ниже $3\gamma_0$, γ_0 , $0.3\gamma_0$ или $0.1\gamma_0$.

7. Найти максимальную скорость безошибочной передачи данных в канале без замираний сигналов в единичной полосе частот, если ОСШ 20 дБ.

8. На сколько дБ необходимо увеличить мощность передатчика, чтобы СЭ системы увеличилась с 3 бит/(сек×Гц) до 6 бит/(сек×Гц)?

IV. Системы связи с разнесенным приемом или передачей:

1. Необходимо уменьшить вероятность битовой ошибки с $\text{BER}_1 = 0.001$ до $\text{BER}_2 = 0.0001$. На сколько дБ должна быть увеличена мощность передатчика в двух системах связи, одна из

которых имеет одну приемную антенну, а другая – две антенны с когерентным суммированием сигналов. Считать, что используется двоичная ФМ, среднее ОСШ $\gamma_0 \gg 1$, а замирания сигналов в приемных антеннах являются некоррелированными релеевскими.

2. Прием сигнала в релеевском канале осуществляется двумя антеннами. Замирания в антеннах являются статистически независимыми. Сигналы суммируются с весовыми коэффициентами $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$. Найти среднее ОСШ. Каким будет характер замираний результирующего сигнала?

3. Прием сигнала осуществляется двумя антеннами. В первой антенне сигнал не флуктуирует, а во второй антенне наблюдаются релеевские замирания. Сигналы суммируются с весовыми коэффициентами $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$. Найти среднее ОСШ. Каков характер замираний результирующего сигнала?

4. Прием сигнала осуществляется двумя антеннами. В первой из них сигнал не флуктуирует и имеет мощность P_1 , во второй – имеются релеевские замирания со средней мощностью P_2 . Мощности P_1 и P_2 значительно превышают мощность собственных шумов. Сигналы суммируются с весовыми коэффициентами $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$. Учитывая, что результирующий сигнал имеет райсовские замирания, рассмотреть характер битовой ошибки. При каком соотношении между

P_1 и P_2 добавление сигнала с релеевскими замираниями ведет к увеличению битовой ошибки, а при каком – к ее уменьшению?

5. Пусть используется разнесенный прием на 4 антенны в канале с независимыми релеевскими замираниями. Среднее ОСШ $\gamma_0 = 13$ дБ. Найти вероятность одновременного приема сигналов во всех антеннах с ОСШ, меньшим 10 дБ, а также вероятность того, что этот порог будет превышен. Сравнить полученные результаты со случаем использования одной антенны.

6. В системе с разнесенным приемом и когерентным суммированием сигналов необходимо, чтобы вероятность выходного ОСШ принимать значения меньше некоторого порога γ , была бы равна 0.0005, где $\gamma = 10$ дБ, а среднее ОСШ $\gamma_0 = 15$ дБ. Найти число N приемных антенн, необходимое для выполнения заданных требований.

7. Необходимо уменьшить вероятность битовой ошибки с 10^{-x} до 10^{-y} , где $x < y$. На сколько дБ должна быть увеличена мощность передатчика в системе связи с ортогональной ПВРП из двух антенн? Считать, что используется двоичная ФМ, среднее ОСШ $\gamma_0 \gg 1$, а замирания сигналов в передающих антеннах являются релеевскими и некоррелированными.

8. Система связи использует различные варианты адаптивной РП из двух антенн (АРП(1), АРП(2) и АРП(4)). Мощность передатчика равна 10^{-3} Вт, а мощность шума приемника – 10^{-6} Вт. Значения канальных коэффициентов равны $h_1 = 0.6 + 0.8j$

$$h_2 = 0.6 + 0.2j$$

Найти ОСШ для каждого из этих вариантов адаптивной РП.

V. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием

1. Найти скорость передачи данных (бит/сек) в OFDM-системе со следующими параметрами: ширина диапазона $Df=20$ МГц, длительность защитного интервала составляет $3/4$ от длительности OFDM-символа, скорость кодирования $r_c=1/2$, модуляция – 64-КАМ, на каждые 8 поднесущих используется 1 пилотная поднесущая.
2. Поясните, почему скорость передачи данных (бит/сек) в OFDM-системе зависит от ширины полосы и не зависит от размерности БПФ. Считать, что на всех поднесущих передаются данные.
3. Найти скорость передачи данных (бит/сек) в OFDM-системе со следующими параметрами: размерность БПФ $N_F=512$, расстояние между поднесущими $Df=10$ кГц, длительность защитного интервала составляет $3/4$ от длительности OFDM-символа, скорость кодирования $r_c=1/2$, модуляция – 64-КАМ, на каждые 8 поднесущих используется 1 пилотная поднесущая.
4. Найти пропускную способность (бит/сек/Гц) OFDM-системы со следующими параметрами: ширина диапазона $W=20$ МГц, длительность защитного интервала составляет $3/4$ от длительности OFDM-символа, скорость кодирования $r_c=1/2$, модуляция – 64-КАМ, на каждые 8 поднесущих используется 1 пилотная поднесущая, информация передается пакетами по N_{sym} символов в каждом, вероятность пакетной ошибки – $PER=10\%$.
5. Средняя мощность передатчика в OFDM-системе $P_0=10$ мВт. С какой вероятностью мгновенная мощность P превысит 10, 30 или 50 мВт?
6. Будем полагать, что пространственный канал можно считать частотно-неселективным, если полоса частотной когерентности $\Delta f_H \approx 1/\sigma_\tau$ больше ширины спектра сигнала в 10 раз. СКО задержки составляет $\sigma_\tau=1$ мксек. Можно считать канал частотно-неселективным, если ширина полосы составляет 50 кГц или 5 МГц?
7. Найти отношение мгновенной пиковой мощности к средней мощности (PAPR) временную область при рассредоточенном способе распределения выборок пользователя по поднесущим для 16- и 64-КАМ сигналов.
8. Для оценки коэффициента передачи канала используются два пилотных OFDM-символа, передаваемые через $T=0.1$ мсек. Между этими символами передаются 10 OFDM-символов

данных с интервалом $Dt=0.01$ мсек. Найти оценки коэффициента передачи для этих символов на некоторой поднесущей, если оценки коэффициента передачи по пилотным символам равны

$$\text{и } \hat{H}_2^{(0)} = 1 + j \text{ .}$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Прокис Джон Дж. Цифровая связь = Digital Communications : пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского. - М. : Радио и связь, 2000. - 800 с. : ил. - ISBN 5-256-01434-X, 007-051726 : 190.00., 3 экз.
2. Ермолаев Виктор Тимофеевич. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 368 с. - ISBN 978-5-91326-143-4 : 187.95., 68 экз.

3. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям 090106 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" и 010400 "Информ. технологии" / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 234 с. - ISBN 978-5-91326-255-4 : 220.32., 50 экз.

Дополнительная литература:

1. Тихонов Василий Иванович. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М. : Радио и связь, 1991. - 608 с. : ил. - ISBN 5-256-00789-0 : 2.50., 5 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор(ы): Морозов Григорий Владимирович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.