

Минобрнауки России

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Борисов Дмитрий Николаевич

Кафедра информационных систем

05.03.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.04.04 Программная реализация и верификация телекоммуникационных систем

1. Код и наименование направления подготовки:

09.03.02 Информационные системы и технологии

2. Профиль подготовки:

Инженерия информационных систем и технологий

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавр

4. Форма обучения:

Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра информационных систем

6. Составители программы:

Савинков Андрей Юрьевич, д.т.н., профессор

7. Рекомендована:

НМС ФКН, протокол № 5 от 05.03.2025

8. Учебный год:

2028-2029

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель: формирование у студентов базовых знаний и навыков в области программной реализации и моделирования на ЭВМ телекоммуникационных систем при решении задач профессиональной деятельности

Задачи учебной дисциплины:

- изучение методов моделирования телекоммуникационных систем
- изучение инструментов разработки, отладки и верификации программ, используемых при программной реализации и моделирования на ЭВМ телекоммуникационных систем
- изучение приемов и методов оптимизации программной реализации базовых компонентов телекоммуникационных систем
- достижение более глубокого понимания принципов работы телекоммуникационных систем
- достижение более глубокого понимания смысла и взаимного влияния параметров телекоммуникационных систем
- приобретение практических навыков верификации и оценки качества функционирования телекоммуникационных систем

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина относится к части блока Б1.В, формируемой участниками образовательных отношений. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые при изучении следующих дисциплин: теория функций комплексного переменного, теория вероятностей, математическая статистика, алгоритмы и структуры данных, объектно-ориентированное программирование, теория информационных процессов и систем, язык программирования Си.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) и индикаторами их достижения:

Код и название компетенции	Код и название индикатора компетенции	Знания, умения, навыки
ПК-4 Обеспечение работы технических и программных средств информационно-коммуникационных систем	ПК-4.2 Знает методы технического проектирования системы и сопровождения разработанных проектных решений	Знает основные технологии телекоммуникационных систем, базовые принципы цифровой обработки сигналов, методы программной реализации компонентов телекоммуникационных систем и их моделирования, основы планирования статистического эксперимента, методику отладки и верификации программ

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час:

3/108

Форма промежуточной аттестации:

Зачет с оценкой

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Семестр 8	Всего
Аудиторные занятия	72	72
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия		0
Лабораторные занятия	36	36
Самостоятельная работа	36	36
Курсовая работа		0
Промежуточная аттестация	0	0
Часы на контроль		0
Всего	108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1 Лекции			
1.1	Введение в программную реализацию и верификацию каналов передачи данных интернета вещей	Методика верификации программной реализации каналов передачи данных на основе статистического моделирования, статистический эксперимент, постановка задачи статистического моделирования системы передачи данных, основные статистические характеристики систем передачи данных, выбор языка программирования и среды моделирования, базовая структура модели системы передачи данных	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.2	Элементы теории вероятностей и математической статистики в задачах программной реализации каналов передачи данных и их моделирования	Случайные события и вероятности, теорема Байеса, дискретная и непрерывная случайная величина, функциональное преобразование случайной величины, центральная предельная теорема, оценка параметров распределения, метод максимальной апостериорной вероятности, метод максимального правдоподобия, схема испытаний Бернулли, интервальное (доверительное) оценивание и планирование эксперимента, критерий завершения статистического моделирования	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.3	Анализ и преобразование сигналов при программной реализации каналов передачи данных и их моделировании	Спектр периодического сигнала, спектральная плотность непериодического сигнала, теорема Котельникова (теорема отсчетов, теорема Шеннона-Найквиста), спектр дискретного сигнала, наложение спектров (aliasing), полосовая дискретизация (undersampling), дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье, квантование сигналов, шум квантования, формирование спектральной плотности мощности шума квантования (noise shaping) интерполяция и децимация сигналов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.4	Программная реализация цифровых фильтров	Оптимизированная программная реализация цифрового фильтра, синтез цифрового фильтра, влияние фильтра на статистические характеристики сигнала, реализация фильтра на основе FFT	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.5	Программная реализация модуляции и демодуляции сигналов	Радиосигнал, комплексная огибающая радиосигнала, виды модуляции (манипуляции) при передаче цифровых данных, мягкие решения, оптимизированная программная реализация демодуляторов M-PSK и M-QAM, анализ вероятности ошибки при демодуляции	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.6	Программная реализация помехоустойчивого кодирования и декодирования сигналов	Виды помехоустойчивых кодов, обнаружение ошибок (контрольная сумма, CRC), оптимизированная программная реализация вычислителя CRC, коррекция ошибок (блочные и сверточные коды, турбо-коды), оптимизированная программная реализация кодеров и декодеров.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.7	Программная реализация генераторов псевдослучайной последовательности чисел	Методы генерации последовательностей псевдослучайных чисел (линейный конгруэнтный метод, метод Фибоначчи с запаздываниями, LFSR, GFSR, вихрь Мерсенна), Генерация случайных чисел с заданным статистическим распределением, оптимизированная программная реализация генераторов гауссовского шума, последовательности максимальной длины, коды Голда, последовательность Задова-Чу с областью нулевой автокорреляции, генерация множества последовательностей с заданными взаимнокорреляционными свойствами	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.8	Моделирование каналов распространения сигнала в системах передачи данных	Моделирование шума, моделирование замираний, моделирование многолучевых и многоантенных каналов, моделирование каналов с дисперсией временной задержки, типовые модели канала ITU-R	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
1.9	Приемы и методы моделирования систем передачи данных	Синхронизация компонентов программной модели, визуализация результатов, статистический анализ результатов, битовая, символьная и блоковая ошибка, отношение E_b/N_0 , усреднение по времени и по совокупности реализаций, верификация программной модели	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
2 Практические занятия			

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
3 Лабораторные работы			
3.1	Изучение инструментов сборки и отладки программ	GCC, GDB, make и cmake, сборка и отладка программ, опции компилятора и компоновщика, векторные вычисления, визуализация результатов (построение двумерных и трехмерных графиков средствами Python, отображение погрешностей на графике, использование TeX для подписей и легенды)	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.2	Программная реализация FIFO и линии задержки с отводами	Оптимизированная программная реализация элемента задержки сигнала на заданное число тактов, буфера FIFO и линии задержки с отводами на основе циркулярного буфера	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.3	Реализация простейшей статистической модели канала передачи данных	Программная реализация статистической модели простейшего канала передачи данных для оценки помехоустойчивости BPSK в канале с AWGN	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.4	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье на основе алгоритма Кули-Тьюки и Чирп-алгоритма Блестейна	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.5	Реализация на С и С++ цифрового фильтра	Реализация на основе линии задержки с отводами КИХ и БИХ фильтров, а также сервисных функций для вычисления АЧХ фильтра и коэффициентов передачи для белого шума и псевдослучайной последовательности прямоугольных импульсов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.6	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе интерполятора Лагранжа	Реализация передискретизатора (resampler), преобразующего выборку сигнала на одной частоте дискретизации в выборку того же сигнала на другой частоте дискретизации на основе полинома Лагранжа и исследование его характеристик	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
3.7	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе кубического сплайна	Реализация передискретизатора (resampler), преобразующего выборку сигнала на одной частоте дискретизации в выборку того же сигнала на другой частоте дискретизации на основе кубического сплайна и исследование его характеристик	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.8	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе БПФ	Реализация передискретизатора (resampler), преобразующего выборку сигнала на одной частоте дискретизации в выборку того же сигнала на другой частоте дискретизации на основе БПФ и исследование его характеристик	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.9	Реализация на С и С++ фильтра Фарроу	Реализация вычислительно эффективного управляемого элемента задержки на интервал времени, не кратный периоду дискретизации сигнала	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.10	Реализация на С и С++ генератора ПСП	Реализация на основе сдвигового регистра генератора М-последовательности и кода Голда, исследование автокорреляционной и взаимокорреляционной функции генераторов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.11	Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума	Генерация гауссовского шума методом изотропного вектора и исследование статистических характеристик полученных выборок.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.12	Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний	Генерация рэлеевских замираний методов Джейкса и исследование статистических характеристик полученных выборок	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.13	Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM	Реализация модулятора и мягкого демодулятора для произвольной модуляции M-QAM, исследование SER и BER	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574
3.14	Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби	Реализация кодера сверточного кода и декодера Витерби, оценка энергетического выигрыша от помехоустойчивого кодирования и вычислительной сложности реализации декодера	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=17574

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение в программную реализацию и верификацию каналов передачи данных интернета вещей	2			1	3
2	Элементы теории вероятностей и математической статистики в задачах программной реализации каналов передачи данных и их моделирования	6			3	9
3	Анализ и преобразование сигналов при программной реализации каналов передачи данных и их моделировании	8			4	12
4	Программная реализация цифровых фильтров	2			1	3
5	Программная реализация модуляции и демодуляции сигналов	4			2	6
6	Программная реализация помехоустойчивого кодирования и декодирования сигналов	8			4	12
7	Программная реализация генераторов псевдослучайной последовательности чисел	2			1	3
8	Моделирование каналов распространения сигнала в системах передачи данных	2			1	3
9	Приемы и методы моделирования систем передачи данных	2			1	3
10	Изучение инструментов сборки и отладки программ			4	2	6
11	Программная реализация FIFO и линии задержки с отводами			2	1	3
12	Реализация простейшей статистической модели канала передачи данных			2	1	3
13	Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье			4	2	6
14	Реализация на С и С++ цифрового фильтра			2	1	3
15	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе интерполятора Лагранжа			2	1	3
16	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе кубического сплайна			2	1	3

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
17	Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе БПФ			2	1	3
18	Реализация на С и С++ фильтра Фарроу			2	1	3
19	Реализация на С и С++ генератора ПСП			2	1	3
20	Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума			2	1	3
21	Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний			2	1	3
22	Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM			4	2	6
23	Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби			4	2	6
		36	0	36	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина требует работы с файлами-презентациями лекций и соответствующими главами рекомендованной основной литературы, а также, обязательного выполнения всех лабораторных заданий в компьютерном классе.

Самостоятельная работа проводится в компьютерных классах ФКН с использованием методических материалов расположенных на учебно-методическом сервере ФКН fs.cs.vsu.ru/library и на сервере Moodle ВГУ moodle.vsu.ru. Во время самостоятельной работы студенты используют электроннобиблиотечные системы, доступные на портале Зональной Библиотеки ВГУ по адресу www.lib.vsu.ru. Часть заданий может быть выполнена вне аудиторий на домашнем компьютере, после копирования методических указаний и необходимого ПО с учебно-методического сервера ФКН.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Скляр Бернارد. Цифровая связь : теоретические основы и практическое применение / Скляр Б. ; Гроза Е.Г. [и др.] (пер. с англ.). – 2-е изд. – М. [и др.] : Вильямс, 2016. – 1099 с. : ил., табл. – ISBN 978-5-8459-2071-3.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Цифровая связь [Текст] : учебное пособие / Д. Прокис; Пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского. – Москва. : Радио и связь, 2000. – 797с. : ил. – Библиогр.: с. 776-789. – ISBN 5-256-01434-X
2	Олифер, В. Г. Основы сетей передачи данных: вводный курс / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер ; Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2003. – 192 с. // ЭБС Университетская библиотека. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=234533

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	Библиотека ВГУ, http://www.lib.vsu.ru
2	Сервер учебно-методических материалов ФКН, \\fs.cs.vsu.ru\Library
3	Образовательный портал "Электронный университет ВГУ", http://edu.vsu.ru

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Сервер учебно-методических материалов ФКН, \\fs.cs.vsu.ru\Library
2	Образовательный портал "Электронный университет ВГУ", http://edu.vsu.ru

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Лекции-визуализации с демонстрацией иллюстративных и графических материалов, анимации, блок-схем алгоритмов и примеров исходного кода, демонстрацией выполнения команд операционной системой, лабораторные работы.

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Лекционная аудитория, оснащенная видеопроектором.
2. Компьютерный класс для проведения лабораторных занятий, оснащенный видеопроектором, компьютерами с ОС GNU/Linux с установленным ПО: GCC, MS Visual Studio Code и Python с пакетом matplotlib.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Разделы дисциплины (модули)	Код компетенции	Код индикатора	Оценочные средства для текущей аттестации
1	Введение в программную реализацию и верификацию каналов передачи данных интернета вещей Элементы теории вероятностей и математической статистики в задачах программной реализации каналов передачи данных и их моделирования Анализ и преобразование сигналов при программной реализации каналов передачи данных и их моделировании Программная реализация цифровых фильтров Программная реализация модуляции и демодуляции сигналов Программная реализация помехоустойчивого кодирования и декодирования сигналов Программная реализация генераторов псевдослучайной последовательности чисел Моделирование каналов распространения сигнала в системах передачи данных	ПК-4	ПК-4.2	Собеседование

	Приемы и методы моделирования систем передачи данных			
2	Изучение инструментов сборки и отладки программ Программная реализация FIFO и линии задержки с отводами Реализация простейшей статистической модели канала передачи данных Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье Реализация на С и С++ цифрового фильтра Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе интерполятора Лагранжа Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе кубического сплайна Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе БПФ Реализация на С и С++ фильтра Фарроу Реализация на С и С++ генератора ПСП Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби	ПК-4	ПК-4.2	Лабораторная работа

Промежуточная аттестация

Форма контроля - Зачет с оценкой

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Собеседование

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости выполняется по лабораторным работам.

Темы лабораторных работ

1. Изучение инструментов сборки и отладки программ
2. Программная реализация FIFO и линии задержки с отводами
3. Реализация простейшей статистической модели канала передачи данных
4. Реализация на С и С++ быстрого преобразования Фурье
5. Реализация на С и С++ цифрового фильтра
6. Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе интерполятора Лагранжа
7. Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе кубического сплайна
8. Реализация на С и С++ передискретизатора (resampler) на основе БПФ
9. Реализация на С и С++ фильтра Фарроу
10. Реализация на С и С++ генератора ПСП
11. Реализация на С и С++ генератора белого гауссовского шума

12. Реализация на С и С++ генератора рэлеевских замираний
13. Реализация на С и С++ модулятора и демодулятора QAM
14. Реализация на С и С++ сверточного кодера и декодера Витерби

По каждой выполненной работе должен быть предоставлен отчет, включающий исходный код разработанных программ и описание полученных результатов. По отчету преподаватель вправе задать дополнительные вопросы для уточнения уровня понимания материала.

Лабораторная работа оценивается максимум в 100 баллов.

Приведённые ниже задания рекомендуется использовать при проведении диагностических работ для оценки остаточных знаний по дисциплине

Компетенция ПК-4

Задания закрытого типа

- 1) Пусть есть два сигнала $x(t)$ и $y(t)$ со спектрами $X(f)$ и $Y(f)$ соответственно, тогда спектр свертки сигналов $x(t)$ и $y(t)$ равен
 - a) $X(f) * \text{conj}(Y(f))$
 - b) $X(f) + \text{conj}(Y(f))$
 - c) $X(f) - \text{conj}(Y(f))$
 - d) $X(f) / \text{conj}(Y(f))$
- 2) Спектр дискретного сигнала с частотой дискретизации F_d
 - a) Периодический с периодом в частотной области $1/F_d$
 - b) Непериодический в частотной области
 - c) Не определен
- 3) Наличие в тракте прохождения сигнала полосового фильтра
 - a) Приводит к изменению скорости течения модельного времени
 - b) Приводит к сдвигу начала отсчета модельного времени для компонентов модели после фильтра
 - c) Не влияет на параметры модельного времени
- 4) В предметной области телекоммуникаций под интерполяцией сигнала понимают
 - a) Вычисление значения сигнала на момент времени между отсчетами
 - b) Увеличение разрядности представления отсчетов сигнала
 - c) Очистку сигнала от шумов
- 5) Если дано множество отсчетов непрерывного сигнала, взятых через равные промежутки времени, то
 - a) Исходная форма непрерывного сигнала всегда может быть восстановлена по его отсчетам
 - b) Информация об уровне непрерывного сигнала между отсчетами потеряна
 - c) Исходная форма непрерывного сигнала может быть восстановлена по его отсчетам, если спектр сигнала ограничен максимальной частотой $F_{\max}$ и интервал между отсчетами не превышает $1/(2 * F_{\max})$

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Ответ (буква)
1	a
2	a
3	b
4	a
5	c

Задания открытого типа

- 1) Согласно требованиям технического задания на систему связи, вероятность ошибки при передаче данных не должна превышать 10^{-6} . В ходе моделирования ошибок не фиксируется, сколько экспериментов достаточно

провести, чтобы утверждать, что требования выполняются с доверительной вероятностью ≥ 0.99 (ответ округлить вверх до 10^6)

- 2) Есть КИХ фильтр с симметричной импульсной характеристикой из 17 отсчетов. Найдите задержку сигнала в фильтре (величину задержки выразите интервалах дискретизации сигнала)

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Ответ
1	10 000 000
2	8

Задания с развёрнутым ответом

- 1) Опишите общий алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа произвольной модуляции типа QAM

Ответы на вопросы

Номер вопроса	Ответ (буква)
1	Модуляция QAM кодирует информацию о группе передаваемых битов $b_0, \dots, b_{n-1}$ в комплексной амплитуде A_k передаваемого сигнала, $k \in [0, 2^n)$, в реальных системах обычно n четное. На приемной стороне наблюдается комплексная амплитуда принимаемого сигнала $X = F(A_k)$, где $F()$ – передаточная функция канала распространения, A_k – комплексная амплитуда передаваемого сигнала, при этом значение k априорно неизвестно. В этих условиях требуется определить $\lambda_i = \log(P(b_i = 1)) - \log(P(b_i = 0))$ для $i \in [0, n)$, где $P()$ вероятность единичного или нулевого бита соответственно. На практике обычно рассматривается модель канала AWGN и $X = A_k + \xi$, где ξ – комплексная случайная величина с нормальным независимым распределением действительной и мнимой частей. Тогда $\lambda_i = \log(\sum_{k, b_i=1} \exp(- X - A_k ^2)) - \log(\sum_{k, b_i=0} \exp(- X - A_k ^2))$ Поскольку функция $\exp(-x^2)$ быстро убывает с ростом x, для упрощения вычислений в суммах можно оставить только по одному наибольшему слагаемому, тогда $\lambda_i = \min_{k, b_i=1} (X - A_k) - \min_{k, b_i=0} (X - A_k)$. Данный алгоритм является базовым для демодуляции QAM. С учетом явного вида созвездия модуляции для частных случаев можно выполнить дальнейшее упрощение алгоритма, например для 16-QAM на квадратной эквидистантной сетке могут быть использованы выражения для быстрого приближенного вычисления мягких решений: $\lambda_0 = -\text{Re}(x)$, $\lambda_1 = \text{Re}(x) - 2$, $\lambda_2 = -\text{Im}(x)$ и $\lambda_3 = \text{Im}(x) - 2$

Критерии оценивания	Шкала оценок (в баллах)
Обучающийся точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, указал возможность получения быстрого приближенного решения	3 балла
Обучающийся точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, указал возможность получения быстрого приближенного решения. Допускаются незначительные неточности	2 балла
Обучающийся не достаточно точно описал алгоритм вычисления	1 балл

мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, не указал возможность получения быстрого приближенного решения. Ответ не содержит грубых ошибок и неточностей	
Обучающийся не достаточно точно описал алгоритм вычисления мягких решений по отдельным битам символа модуляции QAM, не указал возможность получения быстрого приближенного решения. Ответ содержит грубых ошибок и неточности	0 баллов

20.2 Промежуточная аттестация

Перечень вопросов к собеседованию

1. Постановка задачи статистического моделирования системы передачи данных, основные статистические характеристики систем передачи данных
2. Центральная предельная теорема
3. Оценка параметров распределения, метод максимальной апостериорной вероятности и метод максимального правдоподобия
4. Схема испытаний Бернулли, интервальное (доверительное) оценивание и планирование эксперимента, критерий завершения статистического моделирования
5. Спектр периодического сигнала, спектральная плотность непериодического сигнала
6. Спектр дискретного сигнала, наложение спектров (aliasing), полосовая дискретизация (undersampling), дискретное преобразование Фурье
7. Быстрое преобразование Фурье, алгоритм Кули-Тьюки, чирп-алгоритм Блестейна для выборки произвольной длины, вычисление ОДПФ через прямое БПФ
8. Квантование сигналов, шум квантования, формирование спектральной плотности мощности шума квантования (noise shaping)
9. Интерполяция сигнала: метод Лагранжа, интерполяция сплайнами, интерполяция на основе ДПФ
10. Передискретизация сигнала и формирование задержек, не кратных периоду дискретизации, фильтр Фарроу
11. Оптимизированная программная реализация цифрового фильтра
12. Синтез КИХ-фильтра методом окон
13. Виды модуляции (манипуляции), используемые при передаче цифровых данных
14. Мягкие решения, оптимизированная программная реализация демодуляторов M-PSK и M-QAM
15. Проверка целостности принятого сообщения (бит четности, контрольная сумма, CRC), табличный алгоритм вычисления CRC
16. Сверточный код и декодер Витерби, tail-biting код и его декодирование
17. Турбо-код, MAP и Max-Log-MAP декодер, итеративное декодирование турбо-кода
18. Методы генерации последовательностей псевдослучайных чисел (линейный конгруэнтный метод, метод Фибоначчи с запаздываниями, LFSR, GFSR, вихрь Мерсенна)
19. Генерация случайных чисел с заданным статистическим распределением, оптимизированная программная реализация генераторов гауссовского шума
20. Последовательности максимальной длины, коды Голда, последовательность Задова-Чу с областью нулевой автокорреляции
21. Генерация множества последовательностей с заданными взаимнокорреляционными свойствами
22. Моделирование замираний сигнала в радиоканале, моделирование многолучевых и многоантенных каналов

Описание технологии проведения

Собеседование производится в форме устного ответа на заданный вопрос. При необходимости преподаватель может задавать уточняющие вопросы. Ответ оценивается по 100 бальной шкале.

Примеры КИМ для экзамена

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Постановка задачи статистического моделирования системы передачи данных, основные статистические характеристики систем передачи данных.
2. Оптимизированная программная реализация цифрового фильтра.

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Центральная предельная теорема.
2. Синтез КИХ-фильтра методом окон.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Оценка параметров распределения, метод максимальной апостериорной вероятности и метод максимального правдоподобия.
2. Виды модуляции (манипуляции), используемые при передаче цифровых данных.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Схема испытаний Бернулли, интервальное (доверительное) оценивание и планирование эксперимента, критерий завершения статистического моделирования.
2. Мягкие решения, оптимизированная программная реализация демодуляторов M-PSK и M-QAM.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины, осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. При оценивании результатов промежуточной аттестации используется количественная шкала оценок. Оценки за текущую аттестацию и собеседование суммируются, и результат нормируется к 100 бальной шкале. Полученное значение определяет уровень сформированности компетенций и итоговую оценку (достаточный – удовлетворительно, хорошо, отлично или недостаточный – неудовлетворительно) согласно следующей шкале:

- оценка «отлично» – 90...100 баллов
- оценка «хорошо» – 70...89 баллов
- оценка «удовлетворительно» – 50...69 баллов
- оценка «неудовлетворительно» – 0...49 баллов