

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета


(подпись)

И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Цифровая обработка речевых сигналов»

Направление подготовки
«11.03.01 Радиотехника»

Направленность (профиль)
«00 Радиотехника»

Форма обучения
очная

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

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Цифровая обработка речевых сигналов» является обеспечение понимания основных принципов построения систем цифровой обработки речевых сигналов на математическом, программном и аппаратных уровнях.

Дисциплина «Цифровая обработка речевых сигналов» должна способствовать развитию творческих способностей студентов, умению формулировать и решать задачи изучаемой специальности, самостоятельно повышать свои знания. В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания, умения и навыки, позволяющие проводить анализ предпосылок и результатов использования конкретных методов обработки речевых сигналов в радиотехнических системах различного назначения.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений и является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.06.01). Она основывается на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ», «Информационные технологии и программирование», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Электроника», «Основы теории цепей», «Основы цифровой обработки сигналов», «Основы теории информации», «Адаптивная обработка сигналов».

В свою очередь данная дисциплина, помимо самостоятельного значения, является предшествующей для других специальных дисциплин: «Беспроводные сети связи», «Основы телевидения и видеотехники».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-2. Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью модернизации существующих и (или) создания новых перспективных	ИД_ПК-2.3. Проводит теоретические исследования радиотехнических устройств и систем	Знать: – основные задачи цифровой обработки речевых сигналов, возникающие при разработке радиотехнических систем. Уметь: – выбирать среду моделирования для исследования систем цифровой обработки речевых сигналов; – применять объективные методы оценки качества речевых сигналов. Владеть навыками: – выбора алгоритмов и методов цифровой обработки речевых сигналов для решения практических задач радиотехники.

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **2** зачёт. ед., **72** акад. час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационны		
1	Введение	7		1				1	Устный опрос
2	Рчеобразование и слуховое восприятие	7		3		1		2	Устный опрос. Реферат.
3	Оценка разборчивости речевых сигналов	7		2	4			2	Устный опрос Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
4	Показатели качества речевых сигналов	7		1	6	1		2	Устный опрос. Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
5	Детектирование речевой активности	7		1	6			2	Устный опрос Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
6	Шумоподавление.	7		2	6	1		2	Устный опрос. Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
7	Слепое разделение смесей речевых сигналов	7		2	4			2	Устный опрос Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
8	Сжатие речевых сигналов	7		2		1		2	Устный опрос.
9	Распознавание речевых команд	7		2	8			2	Устный опрос. Отчёт по лаборат. работе. Самостоятельная работа.
10	Задача распознавания диктора	7		1		1		2	Устный опрос.
	Промежуточная аттестация	7					0,3		Зачёт
	ИТОГО	7		17	34	5	0,3	15,7	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>								

Содержание разделов дисциплины:

Тема №1. Введение.

- Назначение, задачи и структура курса.
- Актуальность и практическая значимость цифровой обработки речевых сигналов.
- Основные задачи в области цифровой обработки речевых сигналов.

Тема №2. Речеобразование и слуховое восприятие.

- Строение речеобразующего тракта.
- Особенности образования гласных и согласных звуков. Особенности спектров.
- Цифровая модель речеобразования.
- Слуховая система человека.
- Основы психоакустики. Громкость и высота звуков.
- Особенности бинаурального слуха. Локализация источников звука. Бинауральные эффекты..

Тема №3. Оценка разборчивости речевых сигналов

- Понятие фонемной, слоговой, словесной и фразовой разборчивости. Факторы, влияющие на снижение разборчивости.
- Субъективные методы оценки разборчивости.
- Формантные методы оценки разборчивости.
- Модуляционный метод оценки разборчивости и его модификации.

Тема №4. Показатели качества речевых сигналов

- Субъективная оценка качества. Шкала MOS.
- Объективные методы оценки качества речевых сигналов.

Тема №5. Детектирование речевой активности.

- Параметры речевого сигнала: энергия, энергия Тигера-Кайзера, число пересечений через ноль, мел-частотные кепстральные коэффициенты. Простейшие методы детектирования речевой активности.
- Стандартизованные методы детектирования речевой активности.
- Детектирование речевой активности с использованием моделей гауссовых смесей.

Тема №6. Шумоподавление.

- Подавление шума в спектральной области. Априорное и апостериорное отношения сигнал/шум. Функция коррекции спектра. Музыкальный шум.
- Бинарные маски.
- Нелокальное усреднение во временной области.
- Нейросетевые алгоритмы шумоподавления.

Тема №7. Слепое разделение смесей речевых сигналов.

- Формулировка задачи. Модели образования и разделения смесей.
- Анализ независимых компонент.
- Разделение недоопределённых смесей.
- Оценка работы алгоритмов слепого разделения.

Тема №8. Сжатие речевых сигналов.

- Разновидности ИКМ. Неравномерное и адаптивное квантование.
- Линейное предсказание. Речевые кодеки на основе линейного предсказания.

Тема №9. Распознавание речевых команд.

- Метод на основе нелинейного преобразования масштаба времени.
- Метод на основе кластеризации.
- Применение нейронных сетей в задачах распознавания речи.

Тема №10. Задача распознавания диктора.

- Идентификация и верификация диктора. Открытая и закрытая задачи.
- Метод на основе моделей гауссовых смесей.
- Универсальная фоновая модель.
- Нейросетевые подходы.

Список лабораторных работ

1. Оценка разборчивости речевых сигналов с использованием формантного метода.
2. Исследование корреляционных связей между значениями показателей качества речи.
3. Изучение работы детектора речевой активности.
4. Исследование работы методов шумоподавления, работающих в спектральной области.
5. Слепое разделение смесей речевых сигналов.
6. Распознавание речевых команд на основе динамического преобразования масштаба времени.

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

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Практическое занятие – занятие, посвящённое освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных знаний.

Лабораторное занятие – это проведение студентами по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений, то есть это изучение каких-либо явлений с помощью специального оборудования. Лабораторные занятия, являясь одной из форм учебных занятий, дают возможность наглядно сформировать представление об изучаемых явлениях и процессах, помогают овладеть техникой эксперимента, а также решать практические задачи путём постановки опыта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

для выполнения лабораторных работ:

- Matlab.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

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

а) основная литература

1. Топников А.И. Введение в слепое разделение речевых сигналов: практикум / Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова Ярославль: ЯрГУ, 2015. – 44 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20150705.pdf>
2. Топников А.И. Цифровая обработка речевых сигналов: практикум. / А. И. Топников; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2018. – 39 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20180714.pdf>
3. Приоров А.Л., Хрящев В.В. Обработка и передача мультимедийной информации: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2010. 188 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100706.pdf>

б) дополнительная литература

1. Брюханов Ю.А. Цифровые цепи и сигналы: Учеб. пособие. 2-е изд. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 154 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20050703.pdf>
2. Ковалгин Ю.А., Вологдин Э.И. Цифровое кодирование звуковых сигналов: Учеб. пособие для вузов. СПб.: Корона-Принт, 2004. 234 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=355242&cat_cd=YARSU
3. Тараканов А.Н., Хрящев В.В., Приоров А.Л. Адаптивная цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2001. 134 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20010738.pdf>

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 практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

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

Число посадочных мест в аудитории для проведения практических занятий должно быть больше либо равно списочному составу группы обучающихся.

Авторы:

Доцент кафедры
цифровых технологий и
машинного обучения, к.т.н.,

А.И. Топников

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Цифровая обработка речевых сигналов»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Список тем для проведения устных опросов

1. Основные задачи в области цифровой обработки речевых сигналов.
2. Строение речеобразующего тракта.
3. Особенности образования гласных и согласных звуков. Особенности спектров.
4. Цифровая модель речеобразования.
5. Слуховая система человека.
6. Основы психоакустики. Громкость и высота звуков.
7. Особенности бинаурального слуха. Локализация источников звука. Бинауральные эффекты.
8. Понятие фонемной, слоговой, словесной и фразовой разборчивости. Факторы, влияющие на снижение разборчивости.
9. Субъективные методы оценки разборчивости.
10. Формантные методы оценки разборчивости.
11. Модуляционный метод оценки разборчивости и его модификации.
12. Субъективная оценка качества. Шкала MOS.
13. Объективные методы оценки качества речевых сигналов.
14. Параметры речевого сигнала: энергия, энергия Тигера-Кайзера, число пересечений через ноль, мел-частотные кепстральные коэффициенты. Простейшие методы детектирования речевой активности.
15. Стандартизованные методы детектирования речевой активности.
16. Детектирование речевой активности с использованием моделей гауссовых смесей.
17. Подавление шума в спектральной области. Априорное и апостериорное отношения сигнал/шум. Функция коррекции спектра. Музыкальный шум.
18. Бинарные маски.
19. Нелокальное усреднение во временной области.
20. Модели образования и разделения смесей.
21. Анализ независимых компонент.
22. Разделение недоопределенных смесей.
23. Оценка работы алгоритмов слепого разделения.
24. Разновидности ИКМ. Неравномерное и адаптивное квантование.
25. Линейное предсказание. Речевые кодеки на основе линейного предсказания.
26. Метод на основе нелинейного преобразования масштаба времени.
27. Метод на основе кластеризации.

28. Применение нейронных сетей в задачах распознавания речи.
29. Идентификация и верификация диктора. Открытая и закрытая задачи.
30. Метод на основе моделей гауссовых смесей.
31. Универсальная фоновая модель.

Критерии оценивания ответов на вопросы

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
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающ ий полный ответ

Примеры работы для самостоятельной работы

Примеры заданий по темам №3-6, 9 приведены в соответствующих разделах издания:

Топников А.И. Цифровая обработка речевых сигналов: практикум. / А. И. Топников; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2018. – 39 с. URL: <http://www.lib.uniya.ac.ru/edocs/iuni/20180714.pdf>

Примеры заданий по темам №7 приведены в следующем издании:

Топников А.И. Введение в слепое разделение речевых сигналов: практикум / Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова Ярославль: ЯрГУ, 2015. – 44 с. URL: <http://www.lib.uniya.ac.ru/edocs/iuni/20150705.pdf>

Критерии оценивания выполнения

Выполнение работы оценивается бинарно («зачтено»/«незачтено»):

«Зачтено» – выполнены все условия задания, результаты адекватные.

«Незачтено» – задание выполнено не полностью, результаты неадекватные.

Список лабораторных работ

1. Оценка разборчивости речевых сигналов с использованием формантного метода.
2. Исследование корреляционных связей между значениями показателей качества речи.
3. Изучение работы детектора речевой активности.
4. Исследование работы методов шумоподавления, работающих в спектральной области.
5. Слепое разделение смесей речевых сигналов.

6. Распознавание речевых команд на основе динамического преобразования масштаба времени.

Защита лабораторных работ

Перед выполнением лабораторных работ необходимо сдать теоретический минимум – ответить кратко, но верно на вопросы из списка вопросов к зачету, относящиеся к теме данной работы.

В ходе защиты лабораторной работы необходимо продемонстрировать адекватность результатов, а также ответить на типичные вопросы и вопросы по теме.

Критерии оценивания ответов на вопросы при допуске и защите лабораторных работ

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Ответы на вопросы при допуске и защите	Правильные ответы на большинство вопросов, однако, излишне краткие или с ошибками в терминологии.	Полные ответы практически на все вопросы с незначительными недостатками и некоторой нехваткой терминологической лексики	Развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.

Критерии оценивания выполнения и защиты лабораторных работ

Выполнение работы оценивается бинарно («зачтено»/«не зачтено»):

«зачтено» — задание выполнено полностью, корректно, в отчёте представлены все необходимые в соответствии с заданием элементы, ответы на вопросы по заданию верные;

«не зачтено» - задание выполнено не полностью, есть ошибки, в отчёте представлены не все необходимые в соответствии с заданием элементы, ответы на вопросы по заданию неверные или не на все вопросы дан ответ.

Итоговая оценка за лабораторную работу определяется оценкой за ответы на вопросы, при условии, что за выполнение получено «зачтено».

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Основные задачи в области цифровой обработки речевых сигналов.
2. Строение речеобразующего тракта.
3. Особенности образования гласных и согласных звуков. Особенности спектров.
4. Цифровая модель речеобразования.
5. Слуховая система человека.
6. Основы психоакустики. Громкость и высота звуков.
7. Особенности бинаурального слуха. Локализация источников звука. Бинауральные эффекты.
8. Понятие фонемной, слоговой, словесной и фразовой разборчивости. Факторы, влияющие на снижение разборчивости.
9. Субъективные методы оценки разборчивости.
10. Формантные методы оценки разборчивости.
11. Модуляционный метод оценки разборчивости и его модификации.

12. Субъективная оценка качества. Шкала MOS.
13. Объективные методы оценки качества речевых сигналов.
14. Параметры речевого сигнала: энергия, энергия Тигера-Кайзера, число пересечений через ноль, мел-частотные кепстральные коэффициенты. Простейшие методы детектирования речевой активности.
15. Стандартизованные методы детектирования речевой активности.
16. Детектирование речевой активности с использованием моделей гауссовых смесей.
17. Подавление шума в спектральной области. Априорное и апостериорное отношения сигнал/шум. Функция коррекции спектра. Музыкальный шум.
18. Бинарные маски.
19. Нелокальное усреднение во временной области.
20. Модели образования и разделения смесей.
21. Анализ независимых компонент.
22. Разделение недоопределенных смесей.
23. Оценка работы алгоритмов слепого разделения.
24. Разновидности ИКМ. Неравномерное и адаптивное квантование.
25. Линейное предсказание. Речевые кодеки на основе линейного предсказания.
26. Метод на основе нелинейного преобразования масштаба времени.
27. Метод на основе кластеризации.
28. Применение нейронных сетей в задачах распознавания речи.
29. Идентификация и верификация диктора. Открытая и закрытая задачи.
30. Метод на основе моделей гауссовых смесей.
31. Универсальная фоновая модель.

Критерии оценивания ответов на вопросы

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
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

3 Описание процедуры выставления оценки

Изучение дисциплины заканчивается зачётом. Для подготовки ответа на вопрос билета отводится не менее 40 минут.

Оценка «зачтено» выставляется, если сданы все лабораторные работы, а ответ на вопрос билета дан не ниже чем на пороговом уровне.

Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Цифровая обработка речевых сигналов»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Освоить вопросы дисциплины «Цифровая обработка речевых сигналов» самостоятельно студенту достаточно сложно. Посещение всех предусмотренных занятий является совершенно необходимым. Особое внимание стоит уделить самостоятельной работе, в том числе, для подготовки к выполнению и сдаче лабораторных работ.

Основной формой занятий по дисциплине «Цифровая обработка речевых сигналов» являются практические занятия и лабораторные работы.

Для успешного освоения дисциплины обязательно выполнение всех заданий, они являются формой текущей аттестации. Некоторые задания относятся к категории заданий повышенной сложности, они подразумевают применение вычислительной техники с математическими пакетами, например, Matlab, или их бесплатных, свободно распространяемых аналогов, например, Octave.

Для успешного выполнения лабораторных работ необходимо своевременно осуществлять самостоятельную подготовку, включающую в себя в том числе и материал из дисциплин, освоенных в предыдущих семестрах. При выполнении лабораторных работ в аудитории стоит особое внимание уделять советам и рекомендациям преподавателя. Для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется анализировать получаемые результаты в процессе их получения. После выполнения работы рекомендуется проверить, полностью ли выполнена вся работа, сохранены ли все её результаты. При необходимости можно обратиться за помощью к преподавателю. Перед сдачей лабораторных работ необходимо изучить (повторить) всю необходимую теорию, проанализировать результаты работы.