

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Семантическое кодирование в системах беспроводной связи с элементами искусственного интеллекта
<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.А. Ляшев, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций 09.03.2023

## Аннотация

Данный курс предназначен для ознакомления обучающихся с основами принципов комбинирования источника и кодирования канала с применением методов искусственного интеллекта, а также применения семантического кодирования в системах беспроводной связи. Полученные знания актуальны в контексте современных сетей связи.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- Изучение основных принципов комбинирования алгоритмов кодирования источника и кодирования канала с применением методов искусственного интеллекта;
- применение семантического кодирования в системах беспроводной связи.

#### Задачи дисциплины

- Освоение студентами основных алгоритмов сжатия и помехоустойчивого кодирования информации, а также их применения в методах машинного обучения и семантического кодирования;
- приобретение практических навыков использования семантического кодирования;
- приобретение знаний для ориентации в современных технологиях цифровой связи.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях

ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности
--	---

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Общую структуру и задачи блоков системы передачи;
- основы теории сжатия и помехоустойчивого кодирования;
- основы совместного кодирования канала и источника;
- основы семантического кодирования.

уметь:

- Применять знания основ теории сжатия информации и помехоустойчивого кодирования при разработке и построении беспроводных систем передачи данных.

владеть:

- Основными методами сжатия и помехоустойчивого кодирования в системах связи;
- теоретическими и экспериментальными методами исследования с целью изучения перспективных методов и систем.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в кодирование в системах беспроводной связи	1			1
2	Основы теории информации	4	4	4	12
3	Традиционные и современные алгоритмы сжатия с потерями и без потерь	2	3	3	8
4	Методы помехоустойчивого кодирования для систем связи	3	3	4	10
5	Совместное кодирование и декодирование канала и источника с применением методов машинного обучения	2	2	4	8
6	Семантическое кодирование информации	3	3		6
Итого часов		15	15	15	45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

## 1. Введение в кодирование в системах беспроводной связи

Основные элементы системы передачи, понятия кодирования источника, кодирования канала. Постановка задачи кодирования информации. Понятия информационной емкости канала. Понятия информации с точки зрения Шеннона.

## 2. Основы теории информации

Основные понятия теории информации. Собственная информация, взаимная информация, энтропия, пропускная способность, расстояние Кульбака-Лейблера, теорема кодирования источника, теорема кодирования канала, дифференциальная энтропия. Информационные характеристики и классификация источников и каналов.

## 3. Традиционные и современные алгоритмы сжатия с потерями и без потерь

Постановка задачи кодирования источника. Неравномерное кодирование дискретных источников (код Шеннона, код Хаффмена, код Гилберта-Мура). Кодирование источника при неизвестной статистике. Алгоритмы кодирования источников, применяемые в архиваторах (алгоритмы LZ-77, LZ-78). Современные алгоритмы сжатия мультимедиа информации (JPEG, MPEG), трансформеры.

## 4. Методы помехоустойчивого кодирования для систем связи

Постановка задачи кодирования канала. Основные понятия теории кодирования. Критерии декодирования. Классификация алгоритмов помехоустойчивого кодирования. Алгоритмы помехоустойчивого кодирования информации (код с повторением и код с проверкой на четность, код Хэмминга, код Рида-Соломона). Современные алгоритмы помехоустойчивого кодирования. Помехоустойчивое кодирование с использованием машинного обучения.

## 5. Совместное кодирование и декодирование канала и источника с применением методов машинного обучения

Постановка задачи совместного кодирования канала и источника. Применение алгоритмов помехоустойчивого кодирования задаче совместного кодирования канала и источника. Расписание декодирования. Использование методов машинного обучения для совместного кодирования канала и источника.

## 6. Семантическое кодирование информации

Введение в теорию семантического кодирования. Методы семантического кодирования информации. Отличия синтетической и семантической информации. Семантическое кодирование для сжатия мультимедиа информации.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для проведения лабораторного занятия необходимы лабораторные места. На одно такое место необходимо следующее оборудование:

1. Рабочее место студента со стационарным компьютером и установленными операционными системами Windows 10 или Ubuntu;
2. Matlab 2022a с доступными пакетами
  - a. Communicational System Toolbox;
  - b. Python версии 3

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Cover T. M., Joy A. T. Elements of Information Theory 2nd Edition (Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing. – Wiley-Interscience, USA, 2006. – 784 с.
2. Xin, G., Fan, P., EXK-SC: A Semantic Communication Model Based on Information Framework Expansion and Knowledge Collision. Entropy 2022, 24, 1842. 2022. – С. 14.
3. Zhong Y. A Theory of Semantic Information / Proceedings 2017, 1, 129, 2017 – С. 1-12.

#### Дополнительная литература

1. Sommaruga, G. Formal Theories of Information: From Shannon to Semantic Information Theory and General Concepts of Information. – Springer Berlin, Heidelberg, 2009. – 269 с.
2. Niu K., A Paradigm Shift toward Semantic Communications / in IEEE Communications Magazine, T. 60, №. 1, 2022. – С. 113-119.

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

- 1 <http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха
- 2 <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Лабораторные работы выполняются на стационарных компьютерах или на ноутбуках с использованием программного обеспечения: Matlab 2022a или пакета Python 3 операционных системах Linux и Windows 10.

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Семантическое кодирование в системах беспроводной связи с элементами искусственного интеллекта» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- выполнение лабораторных работ в среде Octave, MatLab или Python
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, практических работ, а также индивидуальных консультаций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.А. Ляшев, канд. техн. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Семантическое кодирование в системах беспроводной связи с элементами искусственного интеллекта» обучающийся должен:

### знать:

- Общую структуру и задачи блоков системы передачи;
- основы теории сжатия и помехоустойчивого кодирования;
- основы совместного кодирования канала и источника;
- основы семантического кодирования.

### уметь:

- Применять знания основ теории сжатия информации и помехоустойчивого кодирования при разработке и построении беспроводных систем передачи данных.

### владеть:

- Основными методами сжатия и помехоустойчивого кодирования в системах связи;
- теоретическими и экспериментальными методами исследования с целью изучения перспективных методов и систем.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Основные элементы системы передачи, понятия информационной емкости канала.
2. Собственная информация, взаимная информация. Свойства.
3. Энтропия, условная энтропия. Свойства.
4. Прямая и обратная теоремы кодирования источника.
5. Информационные характеристики и классификация источников и каналов.
6. Постановка задачи неравномерного кодирования источника.
7. Код Шеннона, код Хаффмена, код Гилберта-Мура.
8. Алгоритмы кодирования источников, применяемые в архиваторах (алгоритмы LZ-77, LZ-78).
9. Современные алгоритмы сжатия мультимедиа информации (JPEG, MPEG).
10. Современные алгоритмы сжатия мультимедиа информации (трансформеры).
11. Постановка задачи кодирования канала, теорема Шеннона.
12. Алгоритмы помехоустойчивого кодирования информации (код с повторением и код с проверкой на четность, код Хэмминга, код Рида-Соломона).
13. Современные алгоритмы помехоустойчивого кодирования.
14. Критерии декодирования.
15. Помехоустойчивое кодирование с использованием машинного обучения.
16. Постановка задачи совместного кодирования канала и источника.
17. Применение алгоритмов помехоустойчивого кодирования задаче совместного кодирования канала и источника.
18. Использование методов машинного обучения для совместного кодирования канала и источника.
19. Основные понятия семантического кодирования. Методы семантического кодирования информации.
20. Семантическое кодирование для сжатия мультимедиа информации.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Изобразить обобщённую блок-схему системы связи. Дать комментарии о факторах, ограничивающих пропускную способность системы. Записать выражения для пропускной способности MIMO канала, MISO, SIMO, SISO канала. Пропускная способность OFDM системы.
2. Дать определение собственной информации, взаимной информации. Сформулировать основные свойства.
3. Дать определение энтропии, условной энтропии. Сформулировать основные свойства.
4. Сформулировать прямую и обратную теорему кодирования источника. Привести схему доказательства.
5. Сформулировать основные информационные характеристики каналов. Привести классификацию каналов, сравнить основные информационные характеристики.
6. Сформулировать задачу неравномерного кодирования источника. Привести примеры её решения в частных случаях.
7. Описать алгоритмы кодирования и декодирования кодами Шеннона, Хаффмана и Гильберта-Мура. Сравнение эффективности кодирования.
8. Описать алгоритмы кодирования семейства LZ. Провести качественное сравнение LZ-77, LZ-78 и LZW.
9. Кратко описать алгоритм работы JPEG и MPEG.
10. Описать принцип работы алгоритмов сжатия мультимедийной информации на базе архитектуры нейронных сетей «трансформер».
11. Сформулировать задачу кодирования канала. Сформулировать теорему Шеннона. Привести выражения для пропускной способности для MIMO канала, MISO канала, SIMO канала, SISO канала. Привести выражение для пропускной способности OFDM-системы.
12. Описать алгоритм кодирования кодом Хемминга и Рида-Соломона. Качественно сравнить эти алгоритмы.
13. Привести классификацию современных методов помехоустойчивого кодирования.
14. Сформулировать критерии декодирования.



15. Привести примеры алгоритмов помехоустойчивого кодирования с использованием машинного обучения.
16. Сформулировать задачу совместного кодирования кодирования канала и источника.
17. Сформулировать особенности применения алгоритмов помехоустойчивого кодирования в задаче совместного кодирования канала и источника.
18. Привести примеры методов машинного обучения в задаче совместного кодирования источника и канала.
19. Сформулировать основные понятия семантического кодирования информации. Привести примеры методов семантического кодирования информации.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

В курс имеются практические и лабораторные работы, в результате выполнения которых обучающийся получает оценку. За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критериев оценивания.

Оценка за дифференцированный зачёт выставляется по результатам защиты лабораторных работ в соответствии с таблицей критериев оценивания.