

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Методы глубокого обучения
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра интеллектуальных систем
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: К.В. Воронцов, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры интеллектуальных систем 18.01.2023

Аннотация

В рамках курса обсуждаются основные концепции, лежащие в основе современных методов глубокого обучения. Основная цель курса - привить навыки работы с научной литературой, анализа современных методов машинного обучения, а также выявления открытых проблем и возможных способов их решения. Формат курса предполагает изучение и детальную проработку основных научных работ, определивших вид наиболее передовых методов детекции и сегментации объектов, классификации и генерации изображений.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение методов глубокого обучения.

Задачи дисциплины

- Освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области глубокого обучения;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области глубокого обучения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории глубокого обучения;
- современные проблемы соответствующих разделов глубокого обучения;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач глубокого обучения.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области сложных вычислений в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач (в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов;
- предметным языком глубокого обучения в обработке естественного языка и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

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	Сети прямого распространения. Матрично-векторное дифференцирование. Автоматическое дифференцирование.	3	3		3
2	Методы оптимизации нейронных сетей. Регуляризация Dropout. Библиотека pytorch.	3	3		3
3	Инициализация нейронных сетей. Виды нормализации, свёрточные нейронные сети, реализация свёрточных сетей на pytorch.	2	2		3
4	Рекуррентные нейронные сети. Решение задачи машинного перевода. Механизм внимания. Модель Transformer.	3	3		3
5	Локализация и детекция объектов на изображении.	2	2		3
6	Семантическая сегментация изображений. Задача Instance/Panoptic segmentation.	2	2		3
7	Обучение с подкреплением. Марковский процесс принятия решений. Уравнения Беллмана.	3	3		2
8	Алгоритмы Policy iteration, Value iteration. Q-обучение. Модель DQN.	2	2		2
9	Алгоритмы Reinforce, A2C. Многорукные бандиты.	2	2		2
10	Генеративные модели. Модель вариационного автокодировщика	3	3		2
11	Авторегрессионные модели PixelCNN, PixelRNN. Методы репараметризации.	3	3		2
12	Генеративно-состязательные сети и их модификации. Метрики качества изображений	2	2		2
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Сети прямого распространения. Матрично-векторное дифференцирование. Автоматическое дифференцирование.

Многослойный перцептрон и автокодировщик. Функции активации. Методы дифференцирования. Проход по сети вперед и назад.

2. Методы оптимизации нейронных сетей. Регуляризация Dropout. Библиотека pytorch.

Стохастический градиентный спуск, его теоретические свойства. Методы Adagrad, RMSprop, ADAM. Методы библиотеки pytorch.

3. Инициализация нейронных сетей. Виды нормализации, свёрточные нейронные сети, реализация свёрточных сетей на pytorch.

Инициализация константами, Ксавьера, Хе. Layer Norm, Batch Norm, Group Norm, Instance Norm. Свёрточные нейронные сети, различные виды свёрток. Вычисление производных для свёрточного слоя. Модели AlexNet, VGG, Inception, ResNet, Xception, EfficientNet.

4. Рекуррентные нейронные сети. Решение задачи машинного перевода. Механизм внимания. Модель Transformer.

Рекуррентные нейронные сети, процедура обучения. Проблема затухающих и взрывающихся градиентов, способы её решения. Модели LSTM, GRU. Применение рекуррентных сетей для решения практических задач. Dropout и BN в рекуррентных сетях. Модель Seq2seq. Модель Transformer. Модель BERT.

5. Локализация и детекция объектов на изображении.

Постановка задач локализации и детекции объектов на изображении. Non-maximum suppression. Модели RCNN, Fast-RCNN, Faster-RCNN, SSD, YOLO. Метрики качества.

6. Семантическая сегментация изображений. Задача Instance/Panoptic segmentation.

Постановка задачи. Функции потерь и метрики. Модели FCN, U-net, DeepLab, Swin, HRNet, HRFormer, Dense Prediction Transformer (DPT), MaskRCNN, PanopticFPN

7. Обучение с подкреплением. Марковский процесс принятия решений. Уравнения Беллмана.

Постановка задачи. Примеры практических задач. Марковский процесс принятия решений. Определение V-, Q- функций. Связь между ними. Уравнение Беллмана и способ его решения. Уравнения Беллмана для оптимальных стратегий.

8. Алгоритмы Policy iteration, Value iteration. Q-обучение. Модель DQN.

Алгоритмы Policy iteration, Value iteration. Методы Монте-Карло. Обучение на временных различиях. Q-обучение в сравнении с алгоритмами SARSA. Алгоритмы онлайн и оффлайн обучения. Способы преобработки данных и обучения для DQN.

9. Алгоритмы Reinforce, A2C. Многорукие бандиты.

Вывод алгоритма Reinforce и способы его улучшения. Метод UCB, томпсоновское сэмплирование.

10. Генеративные модели. Модель вариационного автокодировщика

Различия между генеративными и дискриминативными моделями. Вывод вариационной нижней оценки. Вывод модели вариационного автокодировщика

11. Авторегрессионные модели PixelCNN, PixelRNN. Методы репараметризации.

Трюк репараметризации через подсчет градиента математического ожидания. Применение маскирования в генеративных сетях. Виды PixelRNN подходов (RowRNN, DiagonalRNN).

12. Генеративно-состязательные сети и их модификации. Метрики качества изображений

Объяснение модели генеративно-состязательных сетей. Проблемы обучения моделей и способы их решения. Модели DCGAN, Wasserstein GAN, CycleGAN, StyleGAN. Метрики FID и Inception.

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

Стандартная учебная аудитория с проектором.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Эффективные алгоритмы и сложность вычислений [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Кузюрин, С. А. Фомин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 312 с.
2. Теория вероятностей [Текст] / А. А. Боровков .— М. : Едиториал УРСС, 2003 .— 472 с.

Дополнительная литература

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

Не используются

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

Не требуется.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, алгоритмы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра интеллектуальных систем
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	К.В. Воронцов, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы глубокого обучения» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории глубокого обучения;
- современные проблемы соответствующих разделов глубокого обучения;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач глубокого обучения.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области сложных вычислений в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач (в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов;
- предметным языком глубокого обучения в обработке естественного языка и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы к экзамену:

1. Стохастический градиентный спуск, его теоретические свойства. Методы Adagrad, RMSprop, ADAM.

2. Сети прямого распространения: многослойный перцептрон и автокодировщик. Автоматическое дифференцирование по графу вычислений: проход вперёд и назад.
3. Инициализация нейронных сетей. Различные виды нормализации (LayerNorm, BatchNorm, GroupNorm).
4. Свёрточные нейронные сети, различные виды свёрток. Вычисление производных для свёрточного слоя.
5. Модели AlexNet, VGG, Inception, ResNet, Xception, EfficientNet, ViT
6. Рекуррентные нейронные сети, процедура обучения. Проблема затухающих и взрывающихся градиентов, способы её решения. Модели LSTM, GRU. Применение рекуррентных сетей для решения практических задач. DropOut и BN в рекуррентных сетях.
7. Решение задачи машинного перевода. Модель Seq2seq. Механизм внимания. Модель Transformer. Модель BERT.
8. Локализация и детекция объектов на изображении. Модели RCNN, Fast-RCNN, Faster-RCNN, SSD, YOLO.
9. Задача семантической сегментации изображений. Модели FCN, U-Net, DeepLab, Swin, HRNet, HRFormer, Dense Prediction Transformer (DPT).
10. Задача Instance/Panoptic сегментации. Модель MaskRCNN, PanopticFPN.
11. Обучение с подкреплением. Примеры практических задач. Марковский процесс принятия решений. Определение V-, Q- функций. Связь между ними. Уравнение Беллмана и способ его решения. Policy evaluation.
12. Уравнения Беллмана для оптимальных стратегий. Алгоритмы Policy iteration, Value iteration. Методы Монте-Карло. Q-обучение в сравнении с SARSA.
13. Q-обучение. Q-обучение с буфером опыта. Онлайн и оффлайн алгоритмы. DQN. Способ обучения DQN.
14. Reinforce алгоритм и его улучшения. Алгоритмы Actor-Critic, A2C.
15. Многоармие бандиты. Метод UCB, томпсоновское сэмплирование.
16. Дискриминативные, генеративные модели. Модель вариационного автокодировщика. Evidence Lower Bound. Трюк репараметризации.
17. Авторегрессивные модели. Генеративно-состязательные сети. Их свойства, проблемы обучения.
18. Модификации к GAN. Модели DCGAN, Wasserstein GAN, CycleGAN, StyleGAN. Метрики качества изображений

Примеры экзаменационных билетов:

Билет №1

1. Стохастический градиентный спуск, его теоретические свойства. Методы Adagrad, RMSprop, ADAM.
2. Q-обучение. Q-обучение с буфером опыта. Онлайн и оффлайн алгоритмы. DQN. Способ обучения DQN.

Билет №2

1. Решение задачи машинного перевода. Модель Seq2seq. Механизм внимания. Модель Transformer. Модель BERT.
2. Инициализация нейронных сетей. Различные виды нормализации (LayerNorm, BatchNorm, GroupNorm).

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» 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 (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений

- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонне систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» 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 (6)» выставляется студенту, если он 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 знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- 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 владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

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

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.