

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ:

Директор



А.В. Замятин

« 15 » июня 20 23 г.

Рабочая программа дисциплины

Нейронные сети - I

по направлению подготовки

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль) подготовки :

Big Data and Data Science

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2023

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.03

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.В. Замятин

Председатель УМК

С.П. Сущенко

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- УК-1 – способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;
- ОПК-3 – способность разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности;
- ПК-6 – способность управлять получением, хранением, передачей, обработкой больших данных.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИУК-1.1 Выявляет проблемную ситуацию, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику.

ИУК-1.2 Осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации.

ИУК-1.3 Предлагает и обосновывает стратегию действий с учетом ограничений, рисков и возможных последствий.

ИОПК-3.3 Разрабатывает и анализирует новые математические модели для решения прикладных задач профессиональной деятельности в области прикладной математики и информатики.

ИПК-6.1 Осуществляет мониторинг и оценку производительности обработки больших данных.

ИПК-6.2 Использует методы и инструменты получения, хранения, передачи, обработки больших данных.

ИПК-6.3 Разрабатывает предложения по повышению производительности обработки больших данных.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат создания различных топологий искусственных нейронных сетей, а также технологию разработки программ, использующих основные этапы работы искусственных нейронных сетей (создание структур для представления нейросетей, создание и оценка модели сетей, обучение их).

– Научиться применять понятийный аппарат нейронных сетей для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Первый семестр, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: нет.

6. Язык реализации

Английский.

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 20 ч.

-лабораторные: 44 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение в нейронные сети

Исторические тенденции в нейронных сетях. Нейронные сети: разные названия и переменчивая фортуна. Увеличение размера набора данных. Увеличение размера моделей. Повышение точности и сложности и расширение круга задач.

Тема 2. Линейная алгебра для нейронных сетей.

Скаляры, векторы, матрицы и тензоры. Умножение матриц и векторов. Единичная и обратная матрица. Линейная зависимость и линейная оболочка. Нормы. Специальные виды матриц и векторов. Спектральное разложение матрицы. Сингулярное разложение. Псевдообратная матрица Мура–Пенроуза. Оператор следа. Определитель. Пример: метод главных компонент.

Тема 3. Теория вероятностей и теория информации для нейронных сетей.

Зачем нужна вероятность? Случайные величины. Распределения вероятности. Дискретные случайные величины и функции вероятности. Непрерывные случайные величины и функции плотности вероятности. Маргинальное распределение вероятности. Условная вероятность. Цепное правило. Независимость и условная независимость. Математическое ожидание, дисперсия и ковариация. Часто встречающиеся распределения вероятности. Распределение Бернулли. Категориальное распределение. Нормальное распределение. Экспоненциальное распределение и распределение Лапласа. Распределение Дирака и эмпирическое распределение. Смеси распределений. Полезные свойства потребительных функций. Правило Байеса. Технические детали непрерывных величин. Теория информации. Структурные вероятностные модели.

Тема 4. Численные методы для нейронных сетей.

Переополнение и потеря значимости. Плохая обусловленность. Оптимизация градиентным методом. Не только градиент: матрицы Якоби и Гессе. Оптимизация с ограничениями. Пример: линейный метод наименьших квадратов.

Тема 5. Основы машинного обучения для нейронных сетей.

Алгоритмы обучения. Задача Т. Мера качества Р. Опыт Е. Пример: линейная регрессия. Емкость, переобучение и недообучение. Теорема об отсутствии бесплатных завтраков. Регуляризация. Гиперпараметры и контрольные наборы. Перекрестная проверка. Оценки, смещение и дисперсия. Точечное оценивание. Смещение. Дисперсия и стандартная ошибка. Поиск компромисса между смещением и дисперсией для минимизации среднеквадратической ошибки. Состоятельность.

Тема 6. Основы машинного обучения для нейронных сетей (продолжение).

Оценка максимального правдоподобия. Условное логарифмическое правдоподобие и среднеквадратическая ошибка. Свойства максимального правдоподобия. Байесовская статистика. Оценка апостериорного максимума (MAP).

Тема 7. Основы машинного обучения для нейронных сетей (продолжение).

Алгоритмы обучения с учителем. Вероятностное обучение с учителем. Метод опорных векторов. Другие простые алгоритмы обучения с учителем. Алгоритмы обучения без учителя. Метод главных компонент. Кластеризация методом k средних.

Стохастический градиентный спуск. Построение алгоритма машинного обучения. Проблемы, требующие глубокого обучения. Проклятие размерности. Регуляризация для достижения локального постоянства и гладкости. Обучение многообразий.

Тема 8. Нейронные сети прямого распространения.

Пример: обучение XOR. Обучение градиентными методами. Функции стоимости. Выходные блоки. Скрытые блоки. Блоки линейной ректификации и их обобщения. Логистическая сигмоида и гиперболический тангенс. Другие скрытые блоки. Проектирование архитектуры. Свойства универсальной аппроксимации и глубина. Другие архитектурные подходы.

Тема 9. Нейронные сети прямого распространения (продолжение).

Обратное распространение и другие алгоритмы дифференцирования. Графы вычислений. Правило дифференцирования сложной функции. Рекурсивное применение правила дифференцирования сложной функции для получения алгоритма обратного распространения. Вычисление обратного распространения в полносвязном МСП. Символьно-символьные производные. Общий алгоритм обратного распространения. Пример: применение обратного распространения к обучению МСП. Осложнения. Дифференцирование за пределами сообщества глубокого обучения. Производные высшего порядка. Исторические замечания.

Тема 10. Регуляризация для нейронных сетей.

Штрафы по норме параметров. Регуляризация параметров по норме L2. L1-регуляризация. Штраф по норме как оптимизация с ограничениями. Регуляризация и недоопределенные задачи. Пополнение набора данных. Робастность относительно шума. Привнесение шума в выходные метки. Обучение с частичным привлечением учителя. Многозадачное обучение. Ранняя остановка. Связывание и разделение параметров. Сверточные нейронные сети. Разреженные представления. Баггинг и другие ансамблевые методы. Прореживание. Состязательное обучение. Тангенциальное расстояние, алгоритм распространения по касательной и классификатор по касательной к многообразию.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения лабораторных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Лабораторная работа №1 «Решение задач по проектированию нейронных сетей».

Цель работы – выполнить проектирование многослойной нейронной сети с использованием стохастического градиентного спуска с заданной скоростью обучения и функцией активации. Необходимо провести итерацию обучения сети с заданной функцией потерь и рассчитать значение синаптического коэффициента после его подстройки; выполнить проектирование нейронной сети со стохастическими нейронами, выход каждого стохастического нейрона – это дискретная случайная величина, описываемая распределением, необходимо найти математическое ожидание выхода сети при подаче на вход заданного значения.

Лабораторная работа №2 «Проектирование полносвязной нейронной сети для многоклассового классификатора»

Цель работы – написать программу на языках Python и R, выполняющую построение и обучение полносвязных нейронных сетей прямого распространения, решающую задачи многоклассовой классификации (выборки получены от преподавателя), требуется подобрать безизбыточную архитектуру сети, работающей с допустимым

уровнем ошибки и визуализировать процесс обучения моделей. Результаты работы привести в отчете.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Основой обучения является курс лекций, читаемый преподавателем, а также выполняемые студентом лабораторные работы.

Промежуточная аттестация и зачет осуществляется на основе собеседования при условии успешного выполнения ранее лабораторных работ.

Результаты зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Итоговая оценка знаний обучающего по дисциплине осуществляется по 5 - балльной системе и включает:

- 60% результата, полученного на зачете;
- 40% результатов текущей успеваемости.

Формула подсчета итоговой оценки:

$$I = 0,4 \frac{P_1 + P_2}{2} + 0,63 \quad (1)$$

где, P1, P2 – цифровые эквиваленты оценок первой и второй контрольной точки соответственно; 3 – цифровой эквивалент оценки на зачете.

Оценка по традиционной системе	Критерий
Отлично	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.
Хорошо	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.
Удовлетворительно	Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки
Неудовлетворительно	Теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над материалом курса не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий.

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» <https://moodle.ido.tsu.ru/course/view.php?id=1396§ion=3>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.
- г) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
 1. Джозел Грас. Data Science: Наука о данных с нуля. 2-е издание. ISBN 978-5-9775-6731-2, СПб: БХВ-Петербург, 2021
 2. Себастьян Рашка, Вахид Мирджалили. Python и машинное обучение. ISBN 978-5-907203-57-0, М.: Диалектика, 2020
 3. Ameet V. Joshi. Machine Learning and Artificial Intelligence. ISBN 978-3-030-26621-9. Springer Nature Switzerland AG, 2020
 4. Denis Rothman. Artificial Intelligence by Example. Second Edition. ISBN 978-1-83921-153-9. Packt Publishing, 2020
 5. Stuart Russel, Peter Norvig. Artificial Intelligence. A Modern Approach. 4th Edition. ISBN: 978-0-13-461099-3. Hoboken: Pearson, 2021
 6. Ян Гудфеллоу, Йошуа Бенджио, Аарон Курвилль. Глубокое обучение. Второе цветное издание, исправленное. ISBN 978-5-97060-618-6. М.: ДМК Пресс, 2018
 7. Roman Shirkin. Artificial Intelligence. The Complete Beginners' Guide to Artificial Intelligence. ISBN: 9798609154415. Amazon KDP Printing and Publishing, 2020
 8. Франсуа Шолле. Глубокое обучение на Python. ISBN 978-5-4461-0770-4. СПб: Питер, 2018
- б) дополнительная литература:
 1. Эндрю Гласснер. Глубокое обучение без математики. Том 1. Основы. ISBN 978-5-97060-701-5. М.: ДМК Пресс, 2020
 2. Эндрю Гласснер. Глубокое обучение без математики. Том 2. Практика ISBN 978-5-97060-767-1. М.: ДМК Пресс, 2020
- в) ресурсы сети Интернет:

www.MachineLearning.ru — профессиональный вики-ресурс, посвященный машинному обучению и интеллектуальному анализу данных

ММРО — Математические методы распознавания образов

Константин Воронцов. Курс «машинное обучение» школы анализа данных компании Яндекс.

Игорь Кураленок. Курс «машинное обучение» Лекториум.

Роман Шамин. Курс «Машинное обучение и искусственный интеллект в математике и приложениях». НОЦ Математического института им. В. А. Стеклова РАН

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Для приобретения практических навыков – свободно распространяемые среды с открытым кодом Python (<https://www.python.org/>) и RStudio (<https://www.rstudio.com/>);
 - Для проектно-групповой и дистанционной работы – российское ПО Mind (<https://mind.com/>).
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

14. Материально-техническое обеспечение

При освоении дисциплины используются компьютерные классы ИПМКН ТГУ с доступом к ресурсам Научной библиотеки ТГУ, в том числе отечественным и зарубежным периодическим изданиям и Интернета.

15. Информация о разработчиках

Бакланова Ольга Евгеньевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретических основ информатики ТГУ.