Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Нейросетевые методы обработки данных с использованием Python**

|  |  |
| --- | --- |
| Направление подготовки (специальность) | 01.04.02 Прикладная математика и информатика |
| Профиль подготовки |  |
| Наименование образовательной программы (специализация) | Высокопроизводительные вычисления и технологии параллельного программирования / Математические и компьютерные методы в научных исследованиях |
| Квалификация (степень) выпускника | магистр |
| Форма обучения | очная |

**АННОТАЦИЯ**

Теория нейронных сетей – раздел машинного обучения, в котором рассматриваются семейства обучаемых и самообучающихся моделей и алгоритмов, инспирированных биологическими сетями нейронов. Благодаря своей адаптивности искусственные нейронные сети оказываются эффективным, а в ряде случаев незаменимым инструментом в решении таких задач машинного обучения, как аппроксимация функций, распознавание образов, кластеризация данных, компьютерное зрение и адаптивное управление.

В курсе лекций излагаются основы теории искусственных нейронных сетей и области их практического применения при решении инженерных задач.

**СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 кр., 144 час.

Лекции: 15 час.

Практические занятия/семинары: 0 час.

Лабораторные работы: 15 час.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

В качестве оценочного средства используется 100 балльная семестровая система, учитывающая посещаемость занятий, активность (выполнение домашних заданий, ответы на вопросы), выполнение контрольных работ по разделам курса.

Самостоятельная работа студента включает:

1. Повторение теоретического материала и подготовка к контрольным работам.

2. Выполнение домашнего задания.

3. Решение задач по темам курса.

4. Самостоятельное освоение отдельных теоретических вопросов.

Вопросы к контрольной работе 1

1. Математическая модель технического нейрона. Типы активационных характеристик, примеры. Особенности модели технического нейрона, связанные с функционированием биологического нейрона.

2. Рекуррентная нейронная сеть. Математическая модель. Векторно-матричная форма записи. Пример. Режимы функционирования: синхронный, асинхронный.

3. Использование расширенных матриц синаптических коэффициентов (по входам и обратным связям) и расширенного вектора входных переменных для математического описания функционирования рекуррентной нейронной сети.

4. Постановка задачи обучения нейронной сети. Структура и состав обучающей выборки. Критерий точности обучения. Состав обучаемых параметров. Уравнение настройки обучаемых параметров.

5. Процесс обучения нейронной сети: уравнение обучения, время функционирования сети и время обучения, генерализация данных и валидация сети, "переобучение" сети, тестирование нейронной сети, инициализация настраиваемых синаптических коэффициентов.

6. Функция s(x1, x2), реализуемая техническим нейроном с двумя входами. Графическая иллюстрация для разных активационных характеристик нейрона.

7. Постановка задачи распознавания образов с помощью сети Хемминга. Исходные данные для решения задачи. Принцип, положенный в основу построения сети Хемминга. Структура сети Хемминга.

8. Сеть Хемминга. Математическое описание. Формулировка и решение оптимизационной задачи для выбора синаптических коэффициентов.

9. Реализация функции max(x1, x2,…,xn) на нейронной сети прямого распространения. Активационные характеристики нейронов в структуре сети. Ограничения на входные сигналы. Реализация выходов сети MAXNET прямого распространения, используемых в сети Хемминга.

10. Рекуррентная сеть MAXNET. Математическая модель, режим функционирования. Ограничения на входные сигналы, момент съема выходного сигнала. Доказательство соответствия рекуррентной сети MAXNET поставленной математической задаче.

11. Общая характеристика сети Хемминга. Назначение сети. Описание входных/выходных сигналов. Архитектура сети, значения синаптических коэффициентов и смещений нейронов.

12. Иллюстрация построения и функционирования сети Хемминга на практическом примере. Архитектура сети, значения синаптических коэффициентов и смещений нейронов, структурная схема.

13. Реализация элементарных булевых функций AND, OR, NOT на нейронах с бинарной активационной характеристикой.

14. Реализация элементарных булевых функций AND, OR, NOT на нейронах с биполярной активационной характеристикой.

15. Проблема XOR. Невозможность реализации булевой функции XOR на одном нейроне. Реализация функции XOR на двух и трех бинарных (биполярных) нейронах (схемы).

16. Реализация произвольной булевой функции на многослойной нейронной сети с жесткими активационными характеристиками нейронов. Доказательство достаточности двух слоев для реализации произвольной булевой функции. Функциональные задачи первого и второго слоев. Принцип настройки синаптических коэффициентов. Пример.

17. Постановка задачи распознавания образов. Свойство разделимости классов. Необходимость обеспечения свойства "усиленной" разделимости классов.

18. Понятие дискриминантных функций классов. Уравнение границы между двумя классами с использованием понятия дискриминантной функции. Линейные дискриминантные функции классов. Элементарный персептрон.

19. Постановка задачи обучения элементарного персептрона. Уравнение функционирования, обобщенные векторные переменные. Условие разделимости классов (математическая формализация). Обучающая выборка. Режим обучения.

20. Правило Хебба обучения элементарного персептрона, правило Уидроу-Хоффа: уравнения обучения и сравнительная характеристика методов.

21. Теорема Розенблатта. Формулировка теоремы и интерпретация ее условий (без доказательства теоремы).

22. Общая постановка задачи распознавания образов для случая n попарно линейно разделимых классов. Принцип нейросетевого решения. Архитектура сети. Демонстрация на примере. Правило обучения нейронов первого слоя, обучающая выборка.

23. Общая постановка задачи распознавания образов для случая n попарно линейно разделимых классов. Принцип нейросетевого решения. Архитектура сети. Демонстрация на примере. Настройка синаптических коэффициентов нейронов второго слоя. Логические функции, реализуемые нейронами 2-го слоя.

24. Внутреннее представление классов при решении задачи классификации данных. Коды многогранников. Полнота представления классов кодами многогранников. Геометрическая иллюстрация. Принцип построения нейросетевого классификатора с использованием внутренних кодов многогранников.

25. Постановка задачи распознавания образов для двух линейно неразделимых классов. Основной принцип нейросетевого решения задачи. Метод Мезарда и Надала построения нейронной сети на биполярных нейронах для решения задачи распознавания образов (общая идея метода). Архитектура нейронной сети.

26. Метод Мезарда и Надала построения нейронной сети на биполярных нейронах для решения задачи распознавания образов ("черепичный" алгоритм). Способ обучения нейронов сети (правило обучения, обучающая выборка). Критерий останова процесса роста сети.

27. Метод Мезарда и Надала построения нейронной сети на биполярных нейронах для решения задачи распознавания образов. Иллюстрация метода на примере двумерного вектора признаков (с представлением архитектуры сети, соответствующей приведенному примеру расположения классов в плоскости). Обоснование конечности процесса роста числа нейронов.

28. Нейросетевое решение задачи распознавания образов при известных эталонных представителях классов. Архитектура сети. Активационная характеристика нейронов. Принцип расчета синаптических коэффициентов. Геометрическая иллюстрация на примере вектора признаков размерности 2.

Вопросы к контрольной работе 2

1. Математическая модель многослойной нейронной сети. Уравнение функционирования i-го нейрона слоя q, диапазоны изменения индексов. Активационные характеристики нейронов в слоях.

Основные типы прикладных задач, решаемых с помощью многослойной нейронной сети (МНС). Состав и способ построения обучающих выборок. Пример.

2. Постановка задачи обучения многослойной нейронной сети. Критерий точности обучения. Уравнение настройки обучаемых параметров простым градиентным методом. Доказательство невозрастания критерия при настройке параметров нейросети простым градиентным методом и непрерывном времени обучения.

3. Применение простого градиентного метода для настройки синаптических коэффициентов многослойной нейронной сети. Уравнение обучения в дискретном времени. Вычислительная сложность реализации процесса обучения при использовании классического способа оценивания производных. Вывод выражения для градиента с использованием понятия двойственных переменных (без вывода системы уравнений для самих двойственных переменных). Иллюстрация принципа обучения на общей схеме (без детализации).

4. Методы обучения нейронных сетей. Простой градиентый метод. Градиентный метод с моментом. Влияние момента на сходимость процедуры обучения. Сравнение с простым градиентным методом.

5. Методы обучения нейронных сетей. Градиентный метод с адаптивной настройкой параметра скорости обучения (правила delta-delta и delta-bar-delta). Параметры метода. Преимущества по сравнению с простым градиентным методом.

6. Метод обратного распространения ошибки для обучения однослойной нейронной сети. Постановка задачи и вывод основных выражений. Демонстрация на примере.

7. Метод обратного распространения ошибки для обучения многослойной нейронной сети. Постановка задачи и вывод уравнений для двойственных переменных.

8. Организация процесса обучения многослойной нейронной сети простым градиентным методом: уравнение обучения, ограничения при выборе начальных значений обучаемых параметров, "паралич" сети, валидация сети, критерий останова процесса обучения.

9. Выбор архитектуры многослойной нейронной сети при решении прикладных задач: деструктивный и конструктивный подходы. Критерии для деструкции сети. Модификации критерия настройки синаптических коэффициентов, облегчающие решение задачи деструкции сети.

10. Конструктивный подход к выбору архитектуры многослойной нейронной сети. Метод Эша.

11. Обоснование возможности воспроизведения произвольной непрерывной функции одной переменной на двухслойной нейронной сети. Активационные характеристики нейронов первого и второго слоев. Иллюстрация на рисунке.

12. Обоснование достаточности трехслойной нейронной сети для воспроизведения произвольной непрерывной функции многих переменных. Иллюстрация функциональных преобразований нейронов каждого из трех слоев на рисунках.

13. Понятие ассоциативной памяти. Принцип реализации ассоциативной памяти в сети Хопфилда. Математическое описание функционирования сети Хопфилда на биполярных нейронах. Физическая интерпретация. Свойства матрицы синаптических связей. Синхронное и асинхронное функционирование.

14. Энергетический функционал сети Хопфилда на биполярных нейронах. Теорема о конечности переходного процесса в сети Хопфилда. Свойство энергетического функционала сети Хопфилда в состоянии устойчивого равновесия.

15. Математическое описание функционирования сети Хопфилда на бинарных нейронах. Формулы для вычисления синаптических коэффициентов и смещений. Энергетический функционал.

16. Анализ устойчивых состояний сети Хопфилда, построенной на выборке данных, содержащей единственный образец. Помехоустойчивость сети.

17. Статистический анализ устойчивых состояний сети Хопфилда, построенной на выборке данных, содержащей P ( P  1 ) образцов. Оценка объема "памяти" сети Хопфилда.

18. Типы аттракторов сети Хопфилда. Применение сети Хопфилда для решения задачи кластеризации данных. Пример.

19. Применение сети Хопфилда для решения задачи классификации данных. Иллюстрация на примере.

20. Стохастический нейрон. Математическая модель. Пример применения.

21. Применение сети Хопфилда для решения задачи коммивояжера. Математическая формализация задачи. Иллюстрация решения задачи коммивояжера на двумерной квадратной клеточной решетке. Математическая модель нейронной сети Хопфилда при упорядочении нейронов на двумерной решетке (варианты бинарных и биполярных нейронов).

22. Энергетический функционал сети Хопфилда, используемой для решения задачи коммивояжера. Принцип построения критерия оптимальности при использовании сети Хопфилда для решения задачи коммивояжера. Содержание требований к матрице состояний сети Хопфилда в установившемся режиме.

23. Оптимизация функционала, используемого при решении задачи коммивояжера с помощью сети Хопфилда. Стохастическая сеть Хопфилда. Метод имитации отжига.

24. Задача кластеризации многомерных данных. Постановка задачи. Сеть Кохонена. Формальное описание функционирования, активационная характеристика. Показатель близости входного вектора признаков определенному кластеру.

25. Нормирование по длине вектора признаков (разные подходы). Самообучение нейронов слоя Кохонена. Уравнение самообучения (в скалярной и векторной формах). Графическая иллюстрация.

Особенности организации процесса самообучения. Способы инициализации синаптических коэффициентов. Метод устранения "мертвых" нейронов.

26. Карта Кохонена. Математическое описание функционирования. Способы оценки "расстояний" между нейронами на сетке их взаимного расположения. Графическая иллюстрация представления нейронов карты Кохонена в пространстве входных признаков.

"Окраска" нейронов карты Кохонена. Область практического применения, примеры.

27. Способ самообучения карты Кохонена. Требования к процедуре настройки синаптических коэффициентов нейронов. Уравнение самообучения.

Иллюстрация процессов самообучения и функционирования карты Кохонена в пространстве признаков входных объектов (образцов). Интерпретация синаптических коэффициентов обученных нейронов.

28. Сеть встречного распространения. Слой Гроссберга. Описание функционирования нейронов слоя Гроссберга. Примеры практического использования.

Обучение нейронов слоя Гроссберга. Исходные данные. Уравнение обучения (в скалярной и векторной формах).

29. Принципиальные особенности генетических алгоритмов по сравнению с другими методами оптимизации функции многих переменных. Сравнительный анализ. Бинарные генетические алгоритмы: принцип построения, хромосома, генетические операции, организация эволюционного процесса.

30. Применение генетического алгоритма для обучения нейронных сетей. Состав хромосомы, организация эволюционного процесса, способы реализации генетических операций, критерий останова. Пример.

31. Математические основы бинарных генетических алгоритмов. Основные понятия и определения. Формулировка и доказательство теоремы о выживаемости схем.

32. Генетические алгоритмы с непрерывными параметрами. Особенности реализации генетических операций.