

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный № 2097/6.



НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

6-05-0533-08 Компьютерная математика и системный анализ

2024 г.

Учебная программа составлена ОСВО 6-05-0533-08-2023, учебных планов БГУ № 6-5.4-56/01 от 15.05.2023, № 6-5.4-56/11 ин. от 31.05.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Л. Л. Голубева, заведующая кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

А. Э. Малевич, доцент кафедры дифференциальных уравнений и системного анализа механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Н. В. Гулин, директор ООО «Программные решения плюс».

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа БГУ
(протокол № 5 от 28.11.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой дифференциальных
уравнений и системного анализа,
к. ф.-м. н., доцент



Л. Л. Голубева

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Важным в современном образовательном процессе представляется усвоение студентами современных знаний по искусственному интеллекту (ИИ), способов его реализации и областей применения, по машинному обучению, а также уяснение основных принципов построения интеллектуальных систем с нечёткой логикой, экспертных систем и систем нейросетевого управления.

Нейронные сети, генетические алгоритмы, экспертные системы, алгоритмы коллективного разума относятся к основным интеллектуальным системам. Изучение систем ИИ относится к междисциплинарной области. Понятие интеллекта изучается философией, психологией и биологией. Многие идеи ИИ позаимствованы из биологии. В тоже время системы ИИ являются математическими моделями. Следовательно, знания таких математических дисциплин как математическая логика, приближение функций, линейная алгебра, теория вероятности и математическая статистика оказываются важными для описания этих моделей. Также важно умение работать с большими данными (Big Data). Наконец, построение моделей интеллектуальных систем требует знаний в области программирования и проектирования программных продуктов. Еще одной важной особенностью интеллектуальных систем является их экспериментальная направленность. Единственным способом ответа на вопрос, успешно ли данная система решит данную задачу, является постановка эксперимента и умение проводить анализ полученных результатов.

Полученная студентами в курсе «Нейронные сети и генетические алгоритмы» совокупность знаний и умений позволит им более успешно усваивать другие общепрофессиональные и специальные дисциплины последующей вузовской подготовки, сознательно и планомерно организовывать свою научную и профессиональную деятельность, развивать собственный творческий потенциал.

Учебная программа «Нейронные сети и генетические алгоритмы» предназначена для студентов специальности 6-05-0533-08 Компьютерная математика и системный анализ.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью освоения дисциплины «Нейронные сети и генетические алгоритмы» является формирование у студентов устойчивых знаний и приобретение базовых умений и навыков в области проектирования и обучения искусственных нейронных сетей и использования нейронных сетей и генетических алгоритмов для решения проблем классического и современного естествознания.

Образовательная цель: обучение студентов методологии использования неточных и математически строго не обоснованных методов и алгоритмов при решении задач, для которых не существует строгих подходов, позволяющих получить требуемый по точности результат за приемлемое время.

Развивающая цель: формирование у студентов практических навыков построения систем ИИ, проведения экспериментов и анализа их результатов

Задачи учебной дисциплины:

1. использование математических и компьютерных методов исследований при анализе современных естественнонаучных, экономических, социально-политических процессов;
2. разработка и исследование математических, компьютерных моделей в определенной предметной области;
3. формирование у студентов способности самостоятельно разрабатывать алгоритмы решения задач, для которых не существует строгих подходов, и их анализа;
4. развитие способностей самостоятельного приобретения знаний в области математики, искусственного интеллекта и информационных технологий и дальнейшего их использования при построении и анализе математических и компьютерных моделей для широкого круга прикладных задач;
5. освоение студентами теоретического материала, включенного в цикл лекций;
6. выполнение студентами предусмотренных рабочей программой лабораторных работ;
7. активная самостоятельная работа студентов, включая выполнение домашних заданий, других учебных заданий, курсовых работ;
8. своевременный контроль текущей и промежуточной успеваемости;
9. составление и подготовка к публикации научных обзоров, рефератов, библиографий, научно-технических отчетов по тематике выполняемых проектов.

Место учебной дисциплины. В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина «Нейронные сети и генетические алгоритмы» относится к модулю «Анализ данных» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Изучение дисциплины «Нейронные сети и генетические алгоритмы» тесно связано со знаниями, умениями и навыками, полученными при изучении дисциплин: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Компьютерная математика», «Методы программирования», «Технологии программирования».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Нейронные сети и генетические алгоритмы» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

специализированные компетенции:

осуществлять полный цикл анализа данных с применением машинного обучения.

универсальные компетенции:

владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- принципы устройства и работы нейронных сетей, основные методы обучения нейронных сетей;
- принципы построения генетических алгоритмов;
- базовые понятия теории машинного обучения;
- как использовать уже имеющиеся интеллектуальные системы и как разрабатывать новые;

уметь:

- использовать современные методы компьютерного моделирования для исследования информационных систем;
- проектировать, обучать и использовать нейронные сети для решения практических задач;
- использовать генетические алгоритмы для решения практических задач;
- делать оценки и сравнивать качество обучения и функционирования различных моделей, построенных на базе искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов;
- самостоятельно расширять компьютерные математические знания с дальнейшим их использованием при построении и анализе математических и компьютерных моделей широкого круга теоретических и прикладных задач;

иметь навык:

- построения и обучения искусственных нейронных сетей;
- построения генетических алгоритмов;
- исследования и решения проблем анализа и обработки данных с использованием математических компьютерных приложений.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 4-м и 5-м семестрах. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Нейронные сети и генетические алгоритмы» отведено для очной формы получения высшего образования – 204 часа, в том числе 104 аудиторных часов, лекции – 52 часа, лабораторные часы – 52 часа. **Из них:**

4 семестр:

Лекции – 30 часов + 4 часа ДОТ, лабораторные занятия – 26 часов + 4 часа ДОТ, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачётные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачёт.

5 семестр:

Лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 14 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачётные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Классификация и кластеризация

Тема 1.1. Задача классификации и искусственная нейронная сеть

Задача классификации, фазовое пространство, классы, классификатор. Искусственный нейрон; вход, возбуждение и отклик нейрона. Синаптические веса и функция активации нейрона, линейная отделимость. Искусственная нейронная сеть, слои нейронов, полносвязная нейронная сеть прямого распространения, многослойный персептрон. Нейросети, реализующие логические операторы. Стандартизация данных.

Тема 1.2. Наивный байесовский классификатор

Нормально распределённая случайная величина, выборка, среднее значение, стандартное (среднеквадратичное) отклонение, дисперсия, вероятность, функция плотности распределения вероятностей, гистограмма. Распознавание «Свой/Чужой» (Identification Friend or Foe, IFF), наивный байесовский классификатор (Naive Bayes Classifier, NBC). Ошибки классификации, ошибки первого и второго рода, метрики качества обучения: точность (Accuracy vs. Precision), полнота (Recall) и F1-мера.

Тема 1.3. Понижение размерности. Метод главных компонент

Фазовое пространство. Стандартизация данных, «правило трёх сигм». Многомерная нормально распределённая случайная величина, ковариационная матрица, эллипсоид рассеивания. Понижение размерности. Выделение главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), Сингулярное разложение матрицы (Singular Value Decomposition, SVD), сингулярные значения матрицы. Алгоритм выделения главных компонент. Матрицы счетов и нагрузок. Выбор числа главных компонент и качество декомпозиции. Оценка погрешности. Матрица остатков. Подготовка данных и исследование остатков.

Тема 1.4. Кластеризация методом k -средних и сети радиально-базисных функций

Задача кластеризации. Метод k -средних. Функция Гаусса векторного аргумента. Зона влияния. Задача классификации. Обучающий и тестирующий наборы. Сети радиально-базисных функций (Radial Basis Function Networks, RBF). Метод неопределённых коэффициентов. Сингулярное разложение матрицы коэффициентов. Псевдообратная матрица. Ошибки распознавания первого и второго рода.

Раздел 2. Метод опорных векторов

Тема 2.1. Линейная разделимость, опорные векторы, повышение размерности

Метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM). Фазовое пространство задачи классификации, линейная разделимость классов, разделительная полоса. Повышение размерности и искривление фазового

пространства. Задача условной оптимизации, множители Лагранжа, двойственная задача, квадратичная оптимизация. Опорные векторы, алгоритм нахождения опорных векторов.

Тема 2.2. Метод опорных векторов: ядра и штрафы

SVM-классификатор в случае линейно неразделимых классов. Нарушители и штрафы. Ядра и повышение размерности. Оптимизация вычисления ядра. Многомерная функция Гаусса в качестве ядра.

Тема 2.3. Сведение обучения SVM к решению задачи квадратичного программирования

Задача условной оптимизации, задача квадратичного программирования. SVM-классификатор в случае линейно неразделимых классов, зона влияния радиально-базисной функции Гаусса, SVM-классификатор и карта разделяющей полосы. Методы решения задачи квадратичного программирования. Последовательный метод активных ограничений (Incremental Active Set method, IncAS). Обучение SVM-классификатора.

Раздел 3. Метод обратного распространения ошибки

Тема 3.1. Обучение с учителем. Дельта-правило обучения

Нейронные сети прямого распространения (Feedforward Neural Network), искусственный нейрон. Веса, возбуждение и отклик нейрона. Технические и нейронные слои многослойного персептрона. Функции активации и их производные. Обучение с учителем, дельта-правило обучения, скорость обучения. Функция потерь: среднеквадратичная ошибка, перекрёстная энтропия. Градиентный спуск: стохастический, пакетный (batch), мини-пакетный (mini-batch). Функция активации SoftMax.

Тема 3.2. Обучение полносвязной нейронной сети прямого распространения методом обратного распространения ошибки

Полносвязная нейронная сеть прямого распространения, многослойный персептрон. Функции активации: Leaky ReLU и SoftMax и их производные. Обучение методом обратного распространения ошибки. Перекрёстная энтропия в качестве функции потерь. Локальный градиент. Скорость обучения. Мини-пакетный градиентный спуск. Контроль за процессом обучения.

Тема 3.3. Свёрточные нейронные сети. Операция свёртки

Операция свёртки, ядро свёртки, свёртка последовательностей. Свёртка и перекрёстная корреляция. Свёрточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN). Свёрточный нейрон, рецепторные и эффекторные поля свёрточного нейрона. Свёртка изображений, фильтрация изображений, маска фильтра. Распознавание изображений. Данные и заключенная в них информация. Многоканальные изображения. Извлечение признаков с использованием маски.

Тема 3.4. Архитектура свёрточных нейронных сетей

Архитектура свёрточной нейронной сети. Подслой свёрточного слоя. Входное поле нейрона свёрточного слоя, его веса. Выходное поле нейрона

свёрточного слоя. Слой подвыборки. Полносвязный слой. Функции активации: Leaky ReLU и SoftMax. Перекрёстная энтропия в качестве функции потерь.

Тема 3.5. Обучение свёрточных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки

Дифференцирование функции многих переменных. Работа свёрточной нейросети и её обучение. Обратное распространение ошибки в свёрточной нейросети. Локальный градиент свёрточного нейрона. Возбуждение свёрточного нейрона. Отклик свёрточного нейрона. Зона влияния входа на возбуждение свёрточного нейрона. Вывод формулы зависимости указанной компоненты возбуждения свёрточного нейрона от входных значений и весов этого нейрона. Вывод формулы зависимости указанной компоненты отклика свёрточного нейрона от активированного возбуждения этого нейрона. Вывод формулы для вычисления локальных градиентов свёрточных нейронов.

Раздел 4. Эволюционные и генетические алгоритмы

Тема 4.1. Генетическое кодирование и генетические операторы

Задача оптимизации, фазовое пространство. Генетические и эволюционные алгоритмы. Фенотип и генотип. Генетическое кодирование: квантование, код Грея. Особь и популяция. Репродуктивный план. Генетические операции: мутация и инверсия, скрещивание, селекция.

Тема 4.2. Репродуктивный план Холланда

Репродуктивный план Холланда, особь, популяция. Приспособленность особи, элитаризм, элиминация, эволюция. Селекционная привлекательность. Реализация генетических операций.

Тема 4.3. Гаплоидные и диплоидные генетические алгоритмы

Гаплоидные и диплоидные популяции. Фенотип и генотип. Доминантные и рецессивные признаки. Разрешение конфликтов признаков в паре гомологичных генов. Сохранение генетического разнообразия при фенотипическом вырождении популяции. Адаптивность.

Тема 4.4. Генетическое программирование

Генетическое программирование. Представление программы в виде дерева. Инициализация, мутация и скрещивание для деревьев. Эфемерные константы (Ephemeral Random Constant, ERC). Автоматически определяемые функции (Automatically Defined Functions, ADF). Визуализация многомерного фазового пространства.

Тема 4.5. Эволюционные алгоритмы

Общая схема эволюционных алгоритмов. Поиск и приспособленность, мутация и скрещивание. Алгоритм оптимизации роем частиц (Particle Swarm Optimization, PSO), управление движением частицы. Алгоритм поиска косяком рыб (Fish School Search, FSO), кормление, индивидуальное плавание, инстинктивно-коллективное плавание, коллективно-волевое плавание.

Алгоритм оптимизации методом стаи серых волков (Grey Wolf Optimizer, GWO), математическая модель GWO, особенности реализации GWO.

Раздел 5. Нейронные сети в MATLAB

Тема 5.1. ИНС, основные понятия и определения

Основные понятия и определения теории искусственных нейронных сетей. Искусственный интеллект, машинное обучение и искусственные нейронные сети. Биологический прототип нейрона. Математическая модель нейрона. Области применения ИНС. Классификация ИНС. Этапы построения ИНС.

Тема 5.2. Представление ИНС в MATLAB

Понятие Shallow Networks и Deep Networks. Пакет Neural Network Toolbox MATLAB. (NN-Toolbox). Вычислительная модель ИНС. Представление математической модели нейрона в обозначениях NN-Toolbox. Компьютерная модель нейрона и архитектура ИНС в NN-Toolbox. Модель нейрона. Архитектура ИНС. Однослойные и многослойные ИНС.

Инструментальные средства пакета MATLAB моделирования ИНС

Тема 5.3. Нейронная сеть пользователя общего вида

Шаблон сети пользователя Custom Network. Структура объекта network. Структуры подобъектов ИНС. Функции и параметры объекта network. Структуры подобъектов ИНС. Функции и параметры объекта network. Конструирование архитектуры сети network, структуры подобъектов, задания функций инициализации, обучения. Контроль над алгоритмами инициализации, обучения и моделирования сети при помощи создания собственных функций пользователя. Типы ИНС в NN-Toolbox. Категории функций NN-Toolbox. Функции создания ИНС заданного типа. Функции для работы с ИНС.

Тема 5.4. Элементы машинного обучения

Задачи обучения по прецедентам. Типология задач. Объект, признаковое описание объекта. Множество объектов, обучающее множество. Множество допустимых ответов. Модель алгоритмов восстанавливаемой зависимости. Метод обучения. Функция ошибок. Функционал качества. Метод минимизации эмпирического риска. Обобщающая способность ИНС. Проблема переобучения. Методы машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя. Эксперименты на реальных данных и на модельных данных. Хранилища данных.

Тема 5.5. Аппроксимация функций

Задачи приближения функций. Архитектура, синтез, обучаемость и задачи сети fitnet. Обратное распространение ошибки backpropagation. Инструментальное средство NFTool для работы с сетями fitnet. Сети прямой передачи сигнала feedforwardnet, каскадные сети прямой передачи сигнала cascadeforwardnet, динамические сети прямой передачи сигнала timedelaynet.

Тема 5.6. Распознавание образов

Задачи распознавания образов. Архитектура, синтез, обучаемость и задачи сети PatternNet. Инструментальное средство NPRTool для работы с сетями

patternnet. Матрицы несоответствий (Confusion matrices), характеристические кривые обнаружения (Receiver Operating Characteristic, ROC).

Тема 5.7. Кластерный анализ

Задачи кластеризации. Методы кластерного анализа. Типы кластерных структур. Меры сходства в задачах кластеризации. Сеть Кохонена `competlayer`, архитектура и обучение. Самоорганизующаяся карта Кохонена `selforgmap`, архитектура и правила обучения. Инструментальное средство NCTool для задач кластеризации. Сети векторного квантования `lvqnet`.

Тема 5.8. Анализ и прогнозирование временных рядов

Временные ряды (ВР). Определение ВР. Элементы ВР. Анализ ВР. Прогноз, период основания прогноза, период упреждения прогноза, прогнозный горизонт. Классификация ВР по различным признакам. Декомпозиция ВР. Компоненты ВР Систематические и случайная составляющие ВР. Модели ВР.

Методы прогнозирования ВР. Классические методы прогнозирования ВР. Нейронные сети MATLAB для работы с ВР: `linearlayer`, `parxnet`, `parnet`, `timedelaynet`. Линия задержки с отводами TDL (Tapped Delay Line), принцип ее функционирования.

Тема 5.9. Рекуррентные нейронные сети

Рекуррентные нейронные сети (РНС). Назначение, структура РНС. Проблема долгосрочных зависимостей. Сети долгой краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory, LSTM). Назначение, структура сетей LSTM. Структура модуля сети LSTM. Типы информации, проходящие через модули сети LSTM. Вентиль, типы вентиляей. Пошаговый алгоритм работы сети LSTM. Вариации сетей LSTM. Сети LSTM в MATLAB: архитектура сетей в зависимости от типа решаемых задач (классификации, регрессии, видео-классификации).

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4 семестр	34			30		4	
1.	Классификация и кластеризация	8			8			
1.1	Задача классификации и искусственная нейронная сеть	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
1.2	Наивный байесовский классификатор	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
1.3	Понижение размерности. Метод главных компонент	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
1.4	Кластеризация методом k-средних и сети радиально-базисных функций	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
2.	Метод опорных векторов	6			4		2	
2.1	Линейная разделимость, опорные векторы, повышение размерности	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
2.2	Метод опорных векторов: ядра и штрафы	2 (ДОТ)			2 (ДОТ)			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.

2.3	Сведение обучения SVM к решению задачи квадратичного программирования	2				2	Контрольная работа.
3.	Метод обратного распространения ошибки	10			8	2	
3.1	Обучение с учителем. Дельта-правило обучения	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
3.2	Обучение полносвязной нейронной сети прямого распространения методом обратного распространения ошибки	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
3.3	Свёрточные нейронные сети. Операция свёртки	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
3.4	Архитектура свёрточных нейронных сетей	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
3.5	Обучение свёрточных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки	2				2	Контрольная работа.
4.	Эволюционные и генетические алгоритмы	10			10		
4.1	Генетическое кодирование и генетические операторы	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
4.2	Репродуктивный план Холланда	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
4.3	Гаплоидные и диплоидные генетические алгоритмы	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
4.4	Генетическое программирование	2 (ДОТ)			2 (ДОТ)		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
4.5	Эволюционные алгоритмы	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5 семестр		18			14	2	
5.	Нейронные сети в MATLAB	18			14	2	
5.1	ИНС, основные понятия и определения	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5.2	Представление ИНС в MATLAB	2			2		Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.

5.3	Нейронная сеть пользователя общего вида	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5.4	Элементы машинного обучения	2						Устный опрос
5.5	Аппроксимация функций	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5.6	Распознавание образов	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5.7	Кластерный анализ	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.
5.8	Анализ и прогнозирование временных рядов	2					2	Отчёт по лабораторной работе с устной защитой. Контрольная работа.
5.9	Рекуррентные нейронные сети	2			2			Отчёт по лабораторной работе с устной защитой.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Баланов, А. Н. Машинное обучение и искусственный интеллект : учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. - Санкт-Петербург : Лань, 2024. - 172 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/414920>.
2. Воронов, М. В. Системы искусственного интеллекта : учебник и практикум для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Издательство Юрайт, 2025. - 268 с.
3. Уатт, Д. Машинное обучение: основы, алгоритмы и практика применения / Д. Уатт, Р. Борхани, А. Катсагелос. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2022. - 612 с.
4. Хливненко, Л. В. Практика нейросетевого моделирования: учебное пособие [для вузов] / Л. В. Хливненко, Ф. А. Пятакович. - Изд. 3-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 196 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/310190>.
5. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети : учебник / В. С. Ростовцев. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021. - 213 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/310184#1>.

Дополнительная литература

1. Будума Н. Основы глубокого обучения. Создание алгоритмов для искусственного интеллекта следующего поколения / Н. Будума, Н. Локашо – М.: «Манн, Иванов и Фербер», 2019. – 304 с.
2. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. «Информатика и вычислительная техника» и «Информационные системы» / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик; под ред. В. М. Курейчика. – Изд. 2-е, испр. и доп. Москва: Физматлит, 2006. – 320 с.
3. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Числовой пакет MATLAB: курс лекций / Л. Л. Голубева, А. Э. Малевич, Н. Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2007. – 164 с.
4. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Числовой пакет MATLAB: лабораторный практикум / Л. Л. Голубева, А. Э. Малевич, Н. Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2008. – 171 с.
5. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Символьный пакет Mathematica: лабораторный практикум / Л.Л. Голубева, А.Э. Малевич, Н.Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2012. – 235 с.
<https://elib.bsu.by/handle/123456789/95686>
6. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль – М.: "ДМК Пресс", 2018. – 652 С.
7. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. 2-е изд. – Москва: Изд. МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2017. – 446 с.

8. Микелуччи У. Прикладное глубокое обучение. Подход к пониманию глубоких нейронных сетей на основе метода кейсов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 368 С.
9. Николенко С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.
10. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход, 4-е издание, том 3. Обучение, восприятие и действие : Пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг – СПб. : ООО «Диалектика», 2022. – 640 с.
11. Редько, В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики / В. Г. Редько; предисл. Г. Г. Малинецкого. Москва: URSS: Ленанд, 2017. – 220 с.
12. Хайкин, С. Нейронные сети: Полный курс, 2-е издание. М., «Вильямс», 2006. – 1104 с.
13. Luke S. Essentials of Metaheuristics. Second Print Edition (Online Version 2.2). George Mason University, 2015. – 263 P.
14. Smith, J. Machine Learning With Neural Networks Using Matlab. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 382 p.
15. MATLAB Documentation. Artificial Intelligence (AI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathworks.com/solutions/artificial-intelligence.html?s_tid=hp_hero_ai/. – Дата доступа: 07.03.2024.

Рекомендуемое учебно-лабораторное оборудование

Для проведения лабораторных занятий рекомендуется использование следующего программного обеспечения: операционная система MS Windows, пакет MS Excel, математические пакеты Mathematica и MATLAB.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины «Нейронные сети и генетические алгоритмы». Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущего контроля: отчёт по лабораторной работе с устной защитой и контрольная работа, устный опрос.

При защите лабораторных работ оценивается полнота ответа, аргументация выбранных решений, последовательность и оригинальность изложения материала, оригинальность кода, корректность оформления, самостоятельность выполнения заданий.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Нейронные сети и генетические алгоритмы» учебным планом предусмотрен зачёт в четвёртом семестре и экзамен в пятом семестре.

Зачёт по дисциплине «Нейронные сети и генетические алгоритмы» в четвёртом семестре проходит в форме контрольного опроса в устной или

письменной форме, выполнения заданий на компьютере. При этом явка обучающегося является обязательной.

Экзамен по дисциплине проходит в форме письменного контрольного опроса и далее в устной форме.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- отчёты по лабораторным работам с устной защитой – 60%;
- контрольные работы – 40%.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 40% и экзаменационной отметки 60%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 2.3. Сведение обучения SVM к решению задачи квадратичного программирования (2 часа)

Цель: подготовить и отладить компьютерную реализацию обучения машины опорных векторов методом последовательных ограничений.

Задание 1. Зона влияния радиально-базисной функции Гаусса.

- Запрограммировать SVM-классификатор для случая четырёх опорных точек, по две из каждого класса.
- Построить график и карту данного классификатора, полагая для определённости $w_0 = 0$.
- Полученные результаты прокомментировать и определиться с выбором значения параметра Sigma.

Задание 2. SVM-классификатор и карта разделяющей полосы.

- Загрузить в переменную Train свой вариант обучающего набора.
- Описать и реализовать этап инициализации.
- Реализовать процедуру генерации SVM-классификатора по текущему состоянию множеств опорных точек и точек нарушителей и текущим значениям множителей Лагранжа.
- Реализовать процедуру вычисления параметра w_0 согласно формуле.
- Реализовать процедуру построения карты разделяющей полосы.

Задание 3. Последовательный метод активных ограничений (IncAS).

- Реализовать процедуру решения задачи квадратичного программирования и процедуру генерации её условия.
- Реализовать процедуры, проверяющие корректность текущего множества опорных точек.
- Реализовать процедуры, проверяющие наличие «заступов» внутренних точек и точек-нарушителей.
- Задание 4. Обучение SVM-классификатора.
- Обучить SVM-классификатор, задав входным параметрам алгоритма подходящие значения.
- Построить карту отклика обученного классификатора.
- Сделать выводы.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 3.5. Обучение свёрточных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки (2 часа)

Цель: вывести формулы алгоритма обучения свёрточной нейронной сети методом обратного распространения ошибки.

Задание 1. Возбуждение свёрточного нейрона.

- Вывести формулу зависимости указанной компоненты возбуждения $V[l,n,f]$ (здесь: l — номер слоя, n — номер нейрона в этом слое, f — порядковый номер рецептивного поля этого нейрона) от входных значений $X[l,n]$ и весов $W[l,n]$ свёрточного нейрона.

Задание 2. Отклик свёрточного нейрона.

- Вывести формулу зависимости указанной компоненты отклика $Y[l,n,g]$ нейрона свёрточного слоя (здесь: l — номер слоя, n — номер нейрона в этом слое, g — порядковый номер компоненты отклика этого нейрона) от активированного возбуждения $Z[l,n]$ этого нейрона.

Задание 3. Зона влияния входа на возбуждение свёрточного нейрона.

- Вывести формулу, которая по заданному номеру i компоненты входа $X[l,n,i]$ свёрточного нейрона вычисляет множество индексов f тех компонент возбуждения $V[l,n,f]$ этого нейрона, которые напрямую зависят от заданной компоненты входа.

Задание 4. Локальный градиент свёрточного нейрона.

- Вывести формулу для вычисления локальных градиентов $\Delta[l,n,f]$ свёрточных нейронов.

Задание 5. Обратное распространение ошибки в свёрточной нейросети.

- Описать алгоритм обучения свёрточной нейросети методом обратного распространения ошибки.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 5.8. Анализ и прогнозирование временных рядов (2 часа)

Цель: Исследование методов анализа и прогнозирования временных рядов.

Задание 1. Изучить и реализовать на практике классические методы прогнозирования ВР.

Задание 2. Изучить принцип работы компоненты ИНС Линия задержки с отводами TDL (Tapped Delay Line). Изучить архитектуру слоя linearlayer.

Задание 3. Построить в MATLAB нейронные сети для работы с ВР: narxnet, narnet, timedelaynet, проверить их работу на предложенных ВР.

Форма контроля – контрольная работа.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Многослойный персептрон.
2. Наивный байесовский классификатор.
3. Метод главных компонент.
4. Метод k-средних и RBF-сети.
5. Линейная разделимость, опорные векторы, повышение размерности.
6. Метод опорных векторов: ядра и штрафы.
7. Обучение SVM последовательным методом активных ограничений.
8. Обучение с учителем. Дельта-правило обучения.
9. Метод обратного распространения ошибки.
10. Свёртка. Фильтрация изображений.
11. Архитектура свёрточных нейронных сетей.
12. Обучение свёрточных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки.
13. Генетическое кодирование, генетические операторы.
14. Репродуктивный план Холланда.
15. Гаплоидные и диплоидные алгоритмы.
16. Оптимизация методом роя частиц.
17. Статистический анализ больших массивов данных.
18. Сети пользователя network с MATLAB.
19. Моделирование ИНС в системе MATLAB с применением встроенных инструментальных средств.
20. Обзор общедоступных репозиторий данных, их архитектуры. Описание алгоритма поиска и доступа к данным, их формата и структуры.
21. Аппроксимация функций с MATLAB.
22. Распознавание образов с MATLAB.
23. Кластерный анализ с MATLAB.
24. Анализ временных рядов с MATLAB.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает освоение содержания через

решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности.

При организации образовательного процесса **используются методы и приемы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

На лекциях и лабораторных занятиях используются следующие методы обучения: проблемного изложения, поисковый, репродуктивный, исследовательский. При проведении занятий также планируется использовать наглядные методы, такие как иллюстрация, демонстрация, визуализация.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендовано разместить на образовательном портале или сайте кафедры учебно-методические материалы: курсы лекций и лабораторные практикумы, методические указания к лабораторным занятиям, вопросы для подготовки к зачету, перечень рекомендуемой литературы, информационные ресурсы.

Самостоятельная работа студента включает в себя работу с учебной литературой по заданным разделам дисциплины, поиск новейшей учебной и научной информации в указанных областях знаний и знакомство с ней, а также выполнение поставленных заданий.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Задачи классификации и кластеризации данных.
2. Архитектура искусственной нейронной сети.
3. Искусственный нейрон и линейная отделимость.
4. Нейронные сети, реализующие логические операторы.
5. Фазовое пространство, стандартизация данных.
6. Понижение и повышение размерности фазового пространства.
7. Задача распознавания Свой/Чужой (IFF). Ошибки первого и второго рода.
8. Случайная величина: равномерно распределённая, нормально распределённая. Среднее значение, стандартное (среднеквадратичное) отклонение.
9. Функция плотности вероятности, гистограмма. Правило трёх сигм.
10. Многомерная нормально распределённая случайная величина, центроид, ковариационная матрица, эллипсоид рассеивания.
11. Наивный классификатор Байеса (NBC).
12. Метод наименьших квадратов, линейная регрессия.
13. Метод главных компонент (PCA).
14. Сингулярное разложение матрицы (SVD), псевдообратная матрица.

15. Кластеризация методом k-средних.
16. Нейронные сети радиально-базисных функций (RBF).
17. Общая идея метода опорных векторов (SVM).
18. Метод опорных векторов в случае линейно разделимых классов.
19. Обобщение метода опорных векторов на случай линейно неразделимых классов.
20. Метод опорных векторов: ядра и повышение размерности.
21. Задача условной оптимизации, множители Лагранжа, двойственная задача оптимизации.
22. Решение задачи квадратичного программирования последовательным методом активных ограничений (IncAS).
23. Искусственный нейрон. Однослойный персептрон.
24. Линейная отделимость, функция активации.
25. Обучение с учителем. Дельта-правило обучения.
26. Полносвязная нейронная сеть прямого распространения.
27. Обучение с учителем: обучающий набор, функция потерь, эпоха обучения.
28. Обучение методом обратного распространения ошибки.
29. Функция активации и её производная в методе обратного распространения ошибки.
30. Корректировка весов скрытых слоёв при обучении методом обратного распространения ошибки.
31. Архитектура свёрточной нейросети (CNN), операция свёртки.
32. Обучение свёрточной нейросети.
33. Алгоритмы функционирования и обучения слоя свёртки.
34. Генетические алгоритмы, генетическое кодирование, генетические операторы, код Грея.
35. Репродуктивный план Холланда и его вариации, селекция, элитаризм, элиминация.
36. Диплоидные генетические алгоритмы, разрешение конфликтов признаков в паре гомологичных генов.
37. Эволюционные алгоритмы. Оптимизация роем частиц (PSO).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Искусственные нейронные сети, основные понятия и определения. Биологический прототип ИНС. Математическая модель нейрона.
2. Обучение ИНС с точки зрения математики. Геометрический смысл обучения ИНС.
3. Представление ИНС в MATLAB. Понятие Shallow Networks и Deep Networks. Представление математической модели нейрона в обозначениях NN-MATLAB. В чем заключается основной принцип работы нейронной сети.
4. Компьютерная модель нейрона и архитектура ИНС в NN-MATLAB. Модель нейрона. Архитектура ИНС. Однослойные и многослойные ИНС, их математическая модель и графическое представление.

5. Обучение нейронных сетей. Статические и динамические нейронные сети. Групповое и последовательное обучение.
6. Инструментальное средство создания двуслойных сетей прямого распространения NNStart.
7. Инструментальное средство пакета Simulink для работы с ИНС..
8. Нейронная сеть пользователя общего вида (network).
9. Шаблон сети пользователя Custom Network. Функции и параметры объекта network.
10. Конструирование архитектуры сети network, структуры подобъектов, задания функций инициализации, обучения.
11. Машинное обучение, определения. Задача обучения по прецедентам.
12. Обучение ИНС. Алгоритм, модель алгоритмов восстанавливаемой зависимости. Метод обучения. Критерий качества обучения, функция ошибок. Функционал качества. Метод минимизации эмпирического риска. Сведение задачи обучения к задаче оптимизации.
13. Свойство обобщения нейронной сети. Проблема обобщающей способности. Причины прекращения обучения нейронной сети.
14. Переобучение. Понятие паралича сети и причины его возникновения. Геометрический анализ поверхности функции ошибок. Геометрический смысл обучения нейронной сети.
15. Персептрон и задачи классификации
16. Аппроксимация функций. Задачи приближения функций. Сеть приближения функций fitnet. Инструментальное средство NFTool для работы с сетями fitnet.
17. Распознавание образов. Сеть для распознавания образов patternnet. Инструментальное средство NPRTool для работы с сетями patternnet.
18. Анализ и прогнозирование временных рядов. Нейронные сети MATLAB для работы с ВР: linearlayer, narxnet, narnet, timedelaynet. Линия задержки с отводами TDL (Tapped Delay Line), принцип ее функционирования.
19. Рекуррентные нейронные сети (РНС). Назначение, структура РНС. Проблема долгосрочных зависимостей.
20. Нейронные сети долгой краткосрочной памяти LSTM.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы УВО по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Дифференциальные уравнения	Кафедра дифференциальных уравнений и системного анализа	Изменений не требуется	Протокол № 5 от 28.11.2024

Заведующий кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа



Л. Л. Голубева

28.11.2024

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)