

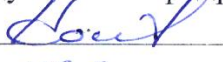
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Радиотехнические системы»

«СОГЛАСОВАНО»

Заведующий кафедрой РТС

 / В.И. Кошелев /
17 мая 2023 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной работе

 А.В. Корячко /
17 мая 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**

Направление подготовки
11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) подготовки
Программно-аппаратные средства систем радиомониторинга и радиоэлектронной
борьбы

Квалификация выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная

Рязань 2023

Аннотация

Курс «Машинное обучение» направлен на формирование теоретических и практических знаний в области обучения машин, современных методов восстановления зависимостей по эмпирическим данным, включая дискриминантный, кластерный и регрессионный анализ. В рамках практических занятий выполняются задачи по разработке работающих прототипов решений задач машинного обучения на языке Python. Активно используется математический аппарат, особенно знания из области теории вероятностей, случайных процессов, методов оптимизации.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины:

Сформировать теоретические и практические знания в области обучения машин, современных методов восстановления зависимостей по эмпирическим данным, включая дискриминантный, кластерный и регрессионный анализ.

Задачи дисциплины:

- правильно формулировать задачу в терминах машинного обучения;
- овладеть навыками практического решения задач интеллектуального анализа данных.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций
ОПК-4 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1 Использует при решении задач профессиональной деятельности современные информационные технологии и программные средства, в том числе отечественного производства
ОПК-5 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-5.1 Понимает требования к алгоритмам, суть процесса алгоритмизации задач
	ОПК-5.2 Выполняет разработку алгоритмического и программного обеспечения для решения прикладных задач

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины, обучающиеся должны:

- знать:
 - основные принципы и проблематику теории обучения машин;
 - основные методы и алгоритмы решения задач обучения по прецедентам;
 - основные области применения этих методов и алгоритмов;
 - классификации, кластеризации и регрессии;

- уметь:
 - формализовать постановки прикладных задач анализа данных;
 - использовать методы обучения по прецедентам для решения практических задач;
 - оценивать точность и эффективность полученных решений;
- владеть:
 - основными понятиями теории машинного обучения;
 - навыками самостоятельной работы при решении типовых задач;
 - культурой постановки и моделирования практически значимых задач;
 - навыками теоретического анализа реальных задач, решаемых с помощью алгоритмов обучения по прецедентам.

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)	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборатор. работы	Самост. работа
1	Основные понятия и примеры прикладных задач. Метрические методы классификации и регрессии	3	-	1	2
2	Логические методы классификации. Градиентные методы обучения	3	-	1	3
3	Метод опорных векторов. Многомерная линейная регрессия	2	-	1	4
4	Нелинейная регрессия. Прогнозирование временных рядов. Критерии выбора моделей и методы отбора признаков	2	1	1	4
5	Байесовская классификация и оценивание плотности. Кластеризация и частичное обучение. Поиск ассоциативных правил	2	1	1	6
6	Нейронные сети. Нейронные сети глубокого обучения	2	1	2	6
7	Линейные композиции, бустинг	2	1	2	6
8	Эвристические, стохастические, нелинейные композиции. Ранжирование	2	1	2	6

9	Рекомендательные системы. Тематическое моделирование	2	1	1	6
10	Обучение с подкреплением	2	1	2	4
11	Активное обучение	2	1	2	4
Итого часов		24	8	16	51
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоемкость		108 час., 3 зач. ед.			

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

Семестр 7 (осенний)

1. Основные понятия и примеры прикладных задач. Метрические методы классификации и регрессии

Постановка задач обучения по прецедентам. Объекты и признаки. Типы шкал: бинарные, номинальные, порядковые, количественные. Типы задач: классификация, регрессия, прогнозирование, ранжирование. Основные понятия: модель алгоритмов, метод обучения, функция потерь и функционал качества, принцип минимизации эмпирического риска, обобщающая способность, скользящий контроль. Линейные модели регрессии и классификации. Метод наименьших квадратов. Полиномиальная регрессия. Примеры прикладных задач. Методика экспериментального исследования и сравнения алгоритмов на модельных и реальных данных. Конкурсы по анализу данных kaggle.com. Полигон алгоритмов классификации. CRISP-DM — межотраслевой стандарт ведения проектов интеллектуального анализа данных.

Гипотезы компактности и непрерывности. Обобщённый метрический классификатор. Метод ближайших соседей kNN и его обобщения. Подбор числа k по критерию скользящего контроля. Метод окна Парзена с постоянной и переменной шириной окна. Метод потенциальных функций и его связь с линейной моделью классификации. Непараметрическая регрессия. Локально взвешенный метод наименьших квадратов. Ядерное сглаживание. Оценка Надарая-Ватсона с постоянной и переменной шириной окна. Выбор функции ядра. Задача отсева выбросов. Робастная непараметрическая регрессия. Алгоритм LOWESS. Задача отбора эталонов. Понятие отступа. Алгоритм СТОЛП. Задача отбора признаков. Жадный алгоритм построения метрики.

2. Логические методы классификации. Градиентные методы обучения

Понятие логической закономерности. Параметрические семейства закономерностей: конъюнкции пороговых правил, синдромные правила, шары, гиперплоскости. Переборные алгоритмы синтеза конъюнкций: стохастический локальный поиск, стабилизация, редукция. Двухкритериальный отбор информативных закономерностей, парето-оптимальный фронт в (p,n)-пространстве. Решающее дерево. Жадная нисходящая стратегия «разделяй и властвуй». Алгоритм ID3. Недостатки жадной стратегии и способы их устранения. Проблема переобучения. Вывод критериев ветвления. Мера нечистоты (impurity) распределения. Энтропийный критерий, критерий Джини. Редукция решающих деревьев: предредукция и постредукция. Алгоритм C4.5. Деревья регрессии. Алгоритм CART. Небрежные решающие деревья (oblivious decision tree). Решающий лес. Случайный лес (Random Forest). Факультатив. Статистический критерий информативности, точный тест Фишера. Сравнение областей эвристических и статистических закономерностей. Асимптотическая эквивалентность статистического и энтропийного критерия

информативности. Разнообразие критериев информативности в (p,n) -пространстве. Решающий пеня. Бинаризация признаков. Алгоритм разбиения области значений признака на информативные зоны. Решающий список. Жадный алгоритм синтеза списка. Преобразование решающего дерева в решающий список. Линейный классификатор, модель МакКаллока-Питтса, непрерывные аппроксимации пороговой функции потерь. Метод стохастического градиента SG. Метод стохастического среднего градиента SAG. Частные случаи: адаптивный линейный элемент ADALINE, персептрон Розенблатта, правило Хэбба. Теорема Новикова о сходимости. Доказательство теоремы Новикова. Эвристики: инициализация весов, порядок предъявления объектов, выбор величины градиентного шага, «выбывание» из локальных минимумов. Проблема мультиколлинеарности и переобучения, регуляризация или редукция весов (weight decay). Вероятностная постановка задачи классификации. Принцип максимума правдоподобия. Вероятностная интерпретация регуляризации, совместное правдоподобие данных и модели. Принцип максимума апостериорной вероятности. Гауссовский и лапласовский регуляризаторы. Логистическая регрессия. Принцип максимума правдоподобия и логарифмическая функция потерь. Метод стохастического градиента для логарифмической функции потерь. Сглаженное правило Хэбба. Многоклассовая логистическая регрессия. Регуляризованная логистическая регрессия. Калибровка Платта.

3. Метод опорных векторов. Многомерная линейная регрессия.

Оптимальная разделяющая гиперплоскость. Понятие зазора между классами (margin). Случаи линейной разделимости и отсутствия линейной разделимости. Связь с минимизацией регуляризованного эмпирического риска. Кусочно-линейная функция потерь. Задача квадратичного программирования и двойственная задача. Понятие опорных векторов. Рекомендации по выбору константы C . Функция ядра (kernel functions), спрямляющее пространство, теорема Мерсера. Способы конструктивного построения ядер. Примеры ядер. SVM-регрессия. Регуляризации для отбора признаков: LASSO SVM, Elastic Net SVM, SFM, RFM. Метод релевантных векторов RVM. Задача регрессии, многомерная линейная регрессия. Метод наименьших квадратов, его вероятностный смысл и геометрический смысл. Сингулярное разложение. Проблемы мультиколлинеарности и переобучения. Регуляризация. Гребневая регрессия через сингулярное разложение. Методы отбора признаков: Лассо Тибширани, Elastic Net, сравнение с гребневой регрессией. Метод главных компонент и декоррелирующее преобразование Карунена-Лоэва, его связь с сингулярным разложением. Спектральный подход к решению задачи наименьших квадратов. Задачи и методы низкоранговых матричных разложений.

4. Нелинейная регрессия. Прогнозирование временных рядов. Критерии выбора моделей и методы отбора признаков

Метод Ньютона-Рафсона, метод Ньютона-Гаусса. Обобщённая аддитивная модель (GAM): метод настройки с возвращениями (backfitting) Хасты-Тибширани. Логистическая регрессия. Метод наименьших квадратов с итеративным пересчётом весов (IRLS). Пример прикладной задачи: кредитный скоринг. Бинаризация признаков. Скоринговые карты и оценивание вероятности дефолта. Риск кредитного портфеля банка. Обобщённая линейная модель (GLM). Экспоненциальное семейство распределений. Неквадратичные функции потерь. Метод наименьших модулей. Квантильная регрессия. Пример прикладной задачи: прогнозирование потребительского спроса. Робастная регрессия, функции потерь с горизонтальными асимптотами. Задача прогнозирования временных рядов. Примеры приложений. Экспоненциальное скользящее среднее. Модель Хольта. Модель Тейла-Вейджа. Модель Хольта-Уинтерса. Адаптивная авторегрессионная модель. Следящий контрольный сигнал. Модель Тригга-Лича. Адаптивная селективная модель. Адаптивная композиция моделей. Локальная адаптация весов с регуляризацией. Критерии качества классификации: чувствительность и специфичность, ROC-кривая и AUC, точность и

полнота, AUC-PR. Внутренние и внешние критерии. Эмпирические и аналитические критерии. Скользящий контроль, разновидности эмпирических оценок скользящего контроля. Критерий непротиворечивости. Разновидности аналитических оценок. Регуляризация. Критерий Акаике (AIC). Байесовский информационный критерий (BIC). Оценка Вапника-Червоненкиса. Агрегированные и многоступенчатые критерии. Сложность задачи отбора признаков. Полный перебор. Метод добавления и удаления, шаговая регрессия. Поиск в глубину, метод ветвей и границ. Усечённый поиск в ширину, многорядный итерационный алгоритм МГУА. Генетический алгоритм, его сходство с МГУА. Случайный поиск и Случайный поиск с адаптацией (СПА).

5. Байесовская классификация и оценивание плотности. Кластеризация и частичное обучение. Поиск ассоциативных правил

Принцип максимума апостериорной вероятности. Теорема об оптимальности байесовского классификатора. Оценивание плотности распределения: три основных подхода. Наивный байесовский классификатор. Непараметрическое оценивание плотности. Ядерная оценка плотности Парзена-Розенблатта. Одномерный и многомерный случаи. Метод парзеновского окна. Выбор функции ядра. Выбор ширины окна, переменная ширина окна. Параметрическое оценивание плотности. Нормальный дискриминантный анализ. Многомерное нормальное распределение, геометрическая интерпретация. Выборочные оценки параметров многомерного нормального распределения. Квадратичный дискриминант. Вид разделяющей поверхности. Подстановочный алгоритм, его недостатки и способы их устранения. Линейный дискриминант Фишера. Проблемы мультиколлинеарности и переобучения. Регуляризация ковариационной матрицы. Параметрический наивный байесовский классификатор. Смесь распределений. EM-алгоритм как метод простых итераций для решения системы нелинейных уравнений. Выбор числа компонентов смеси. Пошаговая стратегия. Априорное распределение Дирихле. Смесь многомерных нормальных распределений. Сеть радиальных базисных функций (RBF) и применение EM-алгоритма для её настройки. Сравнение RBF-сети и SVM с гауссовским ядром. Постановка задачи кластеризации. Примеры прикладных задач. Типы кластерных структур. Постановка задачи Semisupervised Learning, примеры приложений. Оптимизационные постановки задач кластеризации и частичного обучения. Алгоритм k-средних и EM-алгоритм для разделения гауссовской смеси. Графовые алгоритмы кластеризации. Выделение связанных компонент. Кратчайший незамкнутый путь. Алгоритм ФОРЭЛ. Алгоритм DBSCAN. Агломеративная кластеризация, Алгоритм Ланса-Вильямса и его частные случаи. Алгоритм построения дендрограммы. Определение числа кластеров. Свойства сжатия/растяжения, монотонности и редуктивности. Псевдокод редуктивной версии алгоритма. Простые эвристические методы частичного обучения: self-training, co-training, co-learning. Трансдуктивный метод опорных векторов TSVM. Алгоритм Expectation-Regularization на основе многоклассовой регуляризированной логистической регрессии. Понятие ассоциативного правила и его связь с понятием логической закономерности. Примеры прикладных задач: анализ рыночных корзин, выделение терминов и тематики текстов. Алгоритм APriori. Два этапа: поиск частых наборов и рекурсивное порождение ассоциативных правил. Недостатки и пути усовершенствования алгоритма APriori. Алгоритм FP-growth. Понятия FP-дерева и условного FP-дерева. Два этапа поиска частых наборов в FP-growth: построение FP-дерева и рекурсивное порождение частых наборов. Общее представление о динамических и иерархических методах поиска ассоциативных правил.

6. Нейронные сети. Нейронные сети глубокого обучения

Биологический нейрон, модель МакКаллока-Питтса как линейный классификатор. Функции активации. Проблема полноты. Задача исключаящего или. Полнота двухслойных сетей в пространстве булевых функций. Теоремы Колмогорова, Стоуна, Горбаня (без

доказательства). Алгоритм обратного распространения ошибок. Эвристики: формирование начального приближения, ускорение сходимости, диагональный метод Левенберга-Марквардта. Проблема «паралича» сети. Метод послойной настройки сети. Подбор структуры сети: методы постепенного усложнения сети, оптимальное прореживание нейронных сетей (optimal brain damage). Нейронная сеть Кохонена. Конкурентное обучение, стратегии WTA и WTM. Самоорганизующаяся карта Кохонена. Применение для визуального анализа данных. Искусство интерпретации карт Кохонена. Быстрые методы стохастического градиента: Поляка, Нестерова, AdaGrad, RMSProp, AdaDelta, Adam, Nadam. Проблема взрыва градиента и эвристика gradient clipping Метод случайных отключений нейронов (Dropout). Интерпретации Dropout. Обратный Dropout и L2-регуляризация. Функции активации ReLU и PReLU. Свёрточные нейронные сети (CNN). Свёрточный нейрон. Pooling нейрон. Выборка размеченных изображений ImageNet. Идея обобщения CNN на любые структурированные данные. Рекуррентные нейронные сети (RNN). Обучение рекуррентных сетей: Backpropagation Through Time (BPTT). Сети долгой кратковременной памяти (Long short-term memory, LSTM)

7. Линейные композиции, бустинг

Основные понятия: базовый алгоритм (алгоритмический оператор), корректирующая операция. Взвешенное голосование. Алгоритм AdaBoost. Экспоненциальная аппроксимация пороговой функции потерь. Процесс последовательного обучения базовых алгоритмов. Теорема о сходимости бустинга. Обобщающая способность бустинга. Базовые алгоритмы в бустинге. Решающие пни. Варианты бустинга: GentleBoost, LogitBoost, BrownBoost, и другие. Алгоритм AnyBoost. Градиентный бустинг. Стохастический градиентный бустинг. Простое голосование (комитет большинства). Алгоритм ComBoost. Идентификация нетипичных объектов (выбросов). Преобразование простого голосования во взвешенное. Обобщение на большое число классов. Решающий список (комитет старшинства). Алгоритм обучения. Стратегия выбора классов для базовых алгоритмов.

8. Эвристические, стохастические, нелинейные композиции. Ранжирование

Стохастические методы: бэггинг и метод случайных подпространств. Случайный лес. Анализ смещения и вариации для простого голосования. Смесь алгоритмов (квазилинейная композиция), область компетентности, примеры функций компетентности. Выпуклые функции потерь. Методы построения смесей: последовательный и иерархический. Построение смеси алгоритмов с помощью ЕМ-подобного алгоритма. Нелинейная монотонная корректирующая операция. Случай классификации. Случай регрессии. Задача монотонизации выборки, изотонная регрессия. Постановка задачи обучения ранжированию. Примеры. Признаки в задаче ранжирования поисковой выдачи: текстовые, ссылочные, кликовые. TF-IDF. PageRank. Критерии качества ранжирования: Precision, MAP, AUC, DCG, NDCG, pFound. Ранговая классификация, OC-SVM. Попарный подход: RankingSVM, RankNet, LambdaRank.

9. Рекомендательные системы. Тематическое моделирование

Задачи коллаборативной фильтрации, транзакционные данные и матрица субъекты—объекты. Корреляционные методы user-based, item-based. Задача восстановления пропущенных значений. Меры сходства субъектов и объектов. Латентные методы на основе би-кластеризации. Алгоритм Брегмана. Латентные методы на основе матричных разложений. Метод главных компонент для разреженных данных (LFM, Latent Factor Model). Метод стохастического градиента. Неотрицательные матричные разложения. Метод чередующихся наименьших квадратов ALS. Модель с учётом неявной информации (implicit feedback). Рекомендации с учётом дополнительных признаков данных. Линейная и квадратичная регрессионные модели, libFM. Измерение качества рекомендаций. Меры разнообразия (diversity), новизны (novelty), покрытия (coverage),

догадливости (serendipity). Задача тематического моделирования коллекции текстовых документов. Вероятностный латентный семантический анализ PLSA. Метод максимума правдоподобия. ЕМ-алгоритм. Элементарная интерпретация ЕМ-алгоритма. Латентное размещение Дирихле LDA. Метод максимума апостериорной вероятности. Сглаженная частотная оценка условной вероятности. Небайесовская интерпретация LDA и её преимущества. Регуляризаторы разреживания, сглаживания, частичного обучения. Аддитивная регуляризация тематических моделей. Регуляризованный ЕМ-алгоритм, теорема о стационарной точке (применение условий Каруша–Куна–Таккера). Рациональный ЕМ-алгоритм. Онлайн-алгоритм и его распараллеливание. Мультимодальная тематическая модель. Регуляризаторы классификации и регрессии. Регуляризаторы декоррелирования и отбора тем. Внутренние и внешние критерии качества тематических моделей.

10. Обучение с подкреплением

Задача о многоруком бандите. Жадные и эпсилон-жадные стратегии. Метод UCB (upper confidence bound). Стратегия Softmax. Среда для экспериментов. Адаптивные стратегии на основе скользящих средних. Метод сравнения с подкреплением. Метод преследования. Постановка задачи в случае, когда агент влияет на среду. Ценность состояния среды. Ценность действия. Жадные стратегии максимизации ценности. Уравнения оптимальности Беллмана. Метод временных разностей TD. Метод Q-обучения. Градиентная оптимизация стратегии (policy gradient). Связь с максимизацией log-правдоподобия. Постановка задачи при наличии информации о среде в случае выбора действия. Контекстный многорукий бандит. Линейная регрессионная модель с верхней доверительной оценкой LinUCB. Оценивание новой стратегии по большим историческим данным.

11. Активное обучение

Постановка задачи машинного обучения. Основные стратегии: отбор объектов из выборки и из потока, синтез объектов. Сэмплирование по неуверенности. Почему активное обучение быстрее пассивного. Сэмплирование по несогласию в комитете. Сокращение пространства решений. Сэмплирование по ожидаемому изменению модели. Сэмплирование по ожидаемому сокращению ошибки. Синтез объектов по критерию сокращения дисперсии. Взвешивание по плотности. Оценивание качества активного обучения. Введение изучающих действий в стратегию активного обучения. Алгоритмы ϵ -active и EG-active. Применение обучения с подкреплением для активного обучения. Активное томпсоновское сэмплирование.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютерами для каждого студента, мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Нейронные сети [Текст] : Обучение, организация и применение : учеб. пособие для вузов / В. А. Головкин . – М. : ИПРЖР, 2001 . – 256 с.
2. Методы распознавания [Текст] : учеб. пособие / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин . – 4-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2004 . – 261 с.

3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2014. – 739 с.
4. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 с.
5. Мерков А. Б. Распознавание образов. Введение в методы статистического обучения, 2011. – 256 с.
6. Мерков А. Б. Распознавание образов. Построение и обучение вероятностных моделей, 2014. – 238 с.
7. Коэлья Л.П., Ричарт В. Построение систем машинного обучения на языке Python, 2016. – 302 с.

Дополнительная литература

1. Теория распознавания образов : Статистические методы [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Натан ; М-во высш. и средн. спец. образования РСФСР, Моск. физ.-техн. ин-т .— М. : МФТИ, 1988 .— 84 с. : ил. - 400 экз.
2. Айвазян С. А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Классификация и снижение размерности. — М. Финансы и статистика. 1989.
3. Айвазян С. А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Исследование зависимостей. — М. Финансы и статистика. 1985.
4. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: Юнити, 1998.
5. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А, Фомина М. В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. — М.: Физматлит. 2004.
6. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. — М.: Наука. 1979.
7. Воронцов К. В. Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов // Математические вопросы кибернетики. <http://www.ccas.ru/voron>.
8. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. — М.: ИПРЖР. 2001.
9. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999.
10. Загоруйко Н. Г., Ёлкина В. Н., Лбов Г. С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. — Новосибирск: Наука, 1985.
11. Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. — М.: Радио и связь, 1987.
12. Журавлёв Ю.И. Рязанов В.В. Сенько О.В. РАСПОЗНАВАНИЕ. Математические методы. Программная система. Применения. — Москва: Фазис, 2006.
13. Журавлев Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. — 1978. — Т. 33. — С. 5–68.
14. Казанцев В. С. Задачи классификации и их программное обеспечение. — М. Наука. 1990.
15. Лоусон Ч, Хенсон Р. Численное решение задач метода наименьших квадратов. —М. Наука. 1986.
16. Магнус Я. Р., Катышев П. К., Пересецкий А. А. Эконометрика: начальный курс. М.: Дело. 2004.
17. Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. — БИНОМ, 2011.
18. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. — М.: Мир. 1993.
19. Шурыгин А. М. Прикладная стохастика: робастность, оценивание, прогноз. — М. Финансы и статистика. 2000.
20. Burges C. J. C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition // Data Mining and Knowledge Discovery. — 1998. — Vol. 2, no. 2. — Pp. 121–167. <http://citeseer.ist.psu.edu/burges98tutorial.html>.

21. Martin J. K. An exact probability metric for decision tree splitting and stopping // Machine Learning. — 1997. — Vol. 28, no. 2-3. — Pp. 257–291. <http://citeseer.ist.psu.edu/martin97exact.html>.
22. Marchand M., Shawe-Taylor J. Learning with the set covering machine // Proc. 18th International Conf. on Machine Learning. — Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2001. — Pp. 345–352. <http://citeseer.ist.psu.edu/452556.html>.
23. Schapire R. The boosting approach to machine learning: An overview // MSRI Workshop on Nonlinear Estimation and Classification, Berkeley, CA. — 2001. <http://citeseer.ist.psu.edu/chapire02boosting.html>.

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

1. Школа анализа данных [Электронный ресурс] // Учебник по машинному обучению URL: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml>
2. <https://www.coursera.org/learn/python-osnovy-programmirovaniya>
3. <http://www.intuit.ru/studies/courses/49/49/info>

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся предполагается использование таких программных средств, как WEKA, IPython Notebook и др.

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

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:

- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- подготовку к практическим занятиям, выполнение домашних теоретических и практических заданий;
- подготовку к дифференцированному зачету и экзамену.