ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ЮРАЙТ
издательство
biblio-online.ru

УМО ВО рекомендует



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ
ДЛЯ ВУЗОВ

Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебника и практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям

Книга доступна
на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru

Москва ▪ Юрайт ▪ 2020

УДК 519.7(075.8)
ББК 22.18я73
Б53

Авторы:

Бессмертный Игорь Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники мегафакультета компьютерных технологий и управления Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (введение; гл. 1—3);

Нугуманова Алия Багдатовна — PhD по информационным системам, старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования и информационных технологий факультета естественных наук и технологий Восточно-Казахстанского государственного университета имени С. Аманжолова (гл. 7—9);

Платонов Алексей Владимирович - аспирант кафедры вычислительной техники мегафакультета компьютерных технологий и управления Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (гл. 3—4).

Рецензенты:

Арустамов С. А. — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры проектирования и безопасности компьютерных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики;

Пузанков Д. В. — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина).

Бессмертный, И. А.

Б53 Интеллектуальные системы : учебник и практикум для вузов / И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 243 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-01042-8

В учебнике рассматриваются основы построения интеллектуальных систем и методов извлечения знаний. Наряду с традиционными интеллектуальными системами, базирующимися на продукционной модели знаний, в учебнике уделяется внимание также методам поиска информации в неформализованных и слабо формализованных источниках, в частности методам машинного обучения и статистическим методам обработки естественно-языковых текстов.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, аспирантов, преподавателей, слушателей курсов повышения квалификации, а также разработчиков программного обеспечения.

УДК 519.7(075.8)
ББК 22.18я73

Информационно-правовая поддержка предоставлена компанией «Гарант»



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© Бессмертный И. А., Нугуманова А. Б., Платонов А. В., 2016
© ООО «Издательство Юрайт», 2020

ISBN 978-5-534-01042-8

Оглавление

Введение 7

Часть I. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ЗНАНИЯХ

Глава 1. Основы логического программирования 12

1.1. Исторический обзор 12
1.2. Принципы логического программирования 17
1.2.1. Основы математической логики 17
1.2.2. Императивный и декларативный принципы программирования 19
1.3. Язык *Prolog* как среда логического программирования 21
1.3.1. Понятие логического программирования 21
1.3.2. Пропозициональная логика в языке *Prolog* *23*
1.3.3. Исчисление предикатов и язык *Prolog* *28*
1.3.4. *Prolog* и чистое логическое программирование 30
1.4. *Prolog* и автоматическое доказательство теорем 33
1.4.1. Логический вывод на основе импликаций 33
1.4.2. Символьные вычисления в *SWI-Prolog* *34*
1.4.3. Применение языка *SWI-Prolog* для автоматического доказательства теорем 35
Вопросы и задания 38
Практикум 38
Рекомендуемая литература 39

Глава 2. Методы поиска на дереве решений 40

2.1. Задачи, решаемые перебором вариантов 40
2.1.1. Программистский подход 40
2.1.2. Универсальный подход 44
2.2. Методы спуска по дереву решений 47
2.2.1. Неинформированный поиск 47
2.2.2. Информированный поиск 50
2.2.3. Поиск в условиях противодействия 58
2.2.4. Шахматные программы 61
Вопросы и задания 63
Практикум 64
Рекомендуемая литература 64

Глава 3. Экспоненциальная сложность поиска на дереве решений и методы ее редуцирования 65
3.1. Наивный логический поиск и задачи реального мира 65
3.1.1. Модель наивного логического вывода 65
3.1.2. Сложность поиска в реальных задачах 66
3.2. Алгоритмические методы ускорения поиска 67
3.2.1. Алгоритмы *RETE* и *TREAT* *67*
3.2.2. Индексация и предварительный отбор фактов 73
3.3. Теоретико-множественные методы ускорения поиска 77
3.3.1. Обработка множества фактов методами реляционной алгебры 77
3.3.2. Реализация быстрого логического вывода в среде *Prolog* *79*
3.4. Методы поиска, основанные на прецедентах 83
3.4.1. Антропоморфный подход к поиску решений 83
3.4.2. Использование прецедентов для редуцирования дерева решений 84
Вопросы и задания 85
Практикум 86
Рекомендуемая литература 86

Часть II. ОСНОВЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Глава 4. Введение в машинное обучение. Этапы решения задач машинного обучения 88
4.1. Цели и задачи машинного обучения 88
4.1.1 Задача машинного обучения 88
4.1.2. Формальная постановка задачи машинного обучения 95
4.2. Чистые данные и выбор признаков 98
4.2.1. Предобработка данных 98
4.2.2. Рекомендации к выбору признаков 101
4.3. Построение модели и сведение обучения к задаче оптимизации 104
4.4. Оценка качества работы алгоритма машинного обучения 106
4.4.1. Методы оценки качества 106
4.4.2. Проблема переобучения 109
4.5. Процесс внедрения алгоритма машинного обучения в эксплуатацию 113
Вопросы и задания 116
Практикум 117
Рекомендуемая литература 117
Глава 5. Обучение с учителем 118
5.1. Линейная регрессия 118
5.1.1. Постановка задачи восстановления линейной регрессии 118

5.1.2. Метод градиентного спуска для обучения модели линейной регрессии ... 120
5.1.3. Переход к нелинейной регрессии ... 123
5.2. Логистическая регрессия ... 124
5.2.1. Линейные классификаторы ... 124
5.2.2. Связь с нейросетевыми моделями ... 127
5.2.3. Алгоритм обучения логистической регрессии ... 127
5.3. Метод Парзеновского окна ... 129
5.3.1. Байесовский подход к классификации ... 129
5.3.2. Алгоритм Парзена – Розенблатта ... 131
5.4. Деревья принятия решений ... 133
5.4.1. Использование энтропии в деревьях принятия решений ... 133
5.4.2. Построение дерева принятия решений ... 136
5.4.3. Классификация новых данных при помощи дерева принятия решений ... 137
5.5. Нейронные сети ... 138
5.5.1. Искусственные нейронные сети простого типа ... 138
5.5.2. Обучение искусственной нейронной сети простого типа (персептрона) ... 140
5.5.3. Многослойные искусственные нейтронные сети ... 140
5.5.4. Функции активации для многослойных персептронов ... 141
5.5.5. Расчет ответа для многослойного персептрона на основе алгоритма прямого распространения ... 142
5.5.6. Обучение многослойного персептрона на основе алгоритма обратного распространения ... 143
Вопросы и задания ... 145
Практикум ... 145
Рекомендуемая литература ... 146
Глава 6. Обучение без учителя ... 147
6.1. Кластеризация *k*-средними ... 147
6.1.1. Постановка задачи кластеризации ... 147
6.1.2. Оценка качества кластеризации ... 149
6.1.3. Алгоритм кластеризации *k*-средними ... 151
6.2. Иерархическая кластеризация ... 153
6.2.1. Постановка задачи иерархической кластеризации ... 153
6.2.2. Алгоритм иерархической кластеризации ... 154
6.3. Кластеризации при помощи карт Кохонена ... 157
6.3.1. Описание модели карты Кохонена ... 157
6.3.2. Алгоритм обучения карты Кохонена ... 158
6.4. Поиск ассоциаций в данных ... 159
6.4.1. Постановка задачи поиска ассоциаций в данных ... 159
6.4.2. Алгоритм *Apriori* ... 163

Вопросы и задания 165
Практикум 165
Рекомендуемая литература 166

Часть III. ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА И МАШИННЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВ

Глава 7. Обработка естественного языка 168
7.1. Естественные и искусственные языки. Проблема нерегулярности естественных языков 168
7.2. Формальные и неформальные языки. Проблема формализации естественных языков 172
7.3. Предмет, цель и задачи обработки естественного языка 182
Вопросы и задания 193
Практикум 193
Рекомендуемая литература 194

Глава 8. Машинный анализ текстов на естественном языке 195
8.1. Тексты на естественном языке. Базовые свойства текстов 195
8.2. Машинный анализ текстов. Проблема понимания естественных языков 199
8.3. Этапы машинного анализа текстов. Проблема многозначности естественных языков 203
Вопросы и задания 210
Практикум 211
Рекомендуемая литература 212

Глава 9. Моделирование текстов на естественном языке 213
9.1. Векторная модель представления текстов 213
9.2. Латентный семантический анализ 220
9.3. Автоматическая категоризация текстов 231
Вопросы и задания 241
Практикум 241
Рекомендуемая литература 241

Новые издания по дисциплине «Интеллектуальные системы» и смежным дисциплинам 243