

УДК 004.85
ББК 32.813
А53

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7425/>

Факультет «Информатика и системы управления»
Кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Алфимцев, А. Н.
А53 Мультиагентное обучение с подкреплением : учебное пособие /
А. Н. Алфимцев. — 2-е изд., испр. — Москва : Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2022. — 222, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5851-6

Рассмотрены современные и классические алгоритмы одновременного машинного обучения множества агентов, основанные на теории игр, табличных, нейросетевых, эволюционных и роевых технологиях. Представлено последовательное развитие теоретической модели алгоритмов, базирующееся на марковских процессах принятия решений. Реализация алгоритмов выполнена на языке программирования Python с использованием библиотеки глубокого обучения PyTorch. Средой машинного обучения является компьютерная игра StarCraft II с интерфейсом кооперативного мультиагентного обучения SMAC.

Для магистрантов и аспирантов направления подготовки «Информатика и вычислительная техника».

УДК 004.85
ББК 32.813



*Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте:
info@bmstu.press*

ISBN 978-5-7038-5851-6

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
<i>Глава 1. Независимое табличное обучение</i>	9
1.1. Классификация	9
1.2. Модель	11
1.3. Алгоритм	14
1.4. Карта	16
1.5. Технология	22
1.6. Код	23
1.6.1. Алгоритм независимого табличного Q-обучения	23
1.6.2. Тестирование Q-таблицы	27
1.7. Эксперимент	28
1.8. Выводы	31
1.9. Задачи для самоконтроля	32
<i>Глава 2. Обучение в матричных и стохастических играх</i>	34
2.1. Классификация	34
2.2. Модель	37
2.2.1. Матричные игры	37
2.2.2. Стохастические игры	39
2.3. Алгоритм	42
2.3.1. Поиск экстремума стратегий (PHC)	42
2.3.2. «Выигрывай или учись быстро» (WoLF-PHC)	44
2.3.3. Q-обучение Нэша (Nash-Q)	46
2.4. Карта	48
2.5. Технология	51
2.6. Код	52
2.6.1. Алгоритм WoLF-PHC	52
2.6.2. Алгоритм Nash-Q	57
2.7. Эксперимент	66
2.7.1. Матричные игры	66
2.7.2. Стохастические игры	69
2.8. Выводы	70
2.9. Задачи для самоконтроля	70

Оглавление	221
<i>Глава 3. Нейросетевое обучение</i>	73
3.1. Классификация	73
3.2. Модель	78
3.2.1. Глубокое Q-обучение	78
3.2.2. Децентрализованные частично наблюдаемые марковские процессы принятия решений (Дес-POMDP)	79
3.2.3. Двойная декомпозиция Q-значений	81
3.2.4. Глубокий детерминированный градиент стратегий	83
3.3. Алгоритмы	85
3.3.1. Независимое глубокое обучение с использованием полно-связной нейронной сети (IQN)	85
3.3.2. Централизованное обучение с использованием сверточной нейронной сети (CDQN)	90
3.3.3. Декомпозиция Q-значений с использованием рекуррентной нейронной сети (VDN)	92
3.3.4. Мультиагентный глубокий детерминированный градиент стратегий (MADDPG)	96
3.4. Карта	101
3.5. Технология	104
3.6. Код	105
3.6.1. Алгоритм IQN	105
3.6.2. Алгоритм VDN	111
3.6.3. Алгоритм MADDPG	121
3.7. Эксперимент	130
3.7.1. Алгоритм IQN	130
3.7.2. Алгоритм CDQN	132
3.7.3. Алгоритм VDN	133
3.7.4. Алгоритм MADDPG	135
3.8. Выводы	137
3.9. Задачи для самоконтроля	138
<i>Глава 4. Эволюционное обучение</i>	143
4.1. Классификация	143
4.2. Модель	147
4.2.1. Нейроэволюция	147
4.2.2. Коэволюция	149
4.3. Алгоритмы	151
4.3.1. Независимый генетический алгоритм (InGA)	151
4.3.2. Коэволюционный алгоритм (CoE)	153
4.4. Карта	156
4.5. Технология	159
4.6. Код	160
4.6.1. Алгоритм InGA	160
4.6.2. Алгоритм CoE	165

4.7. Эксперимент	171
4.7.1. Алгоритм InGA	171
4.7.2. Алгоритм CoE	173
4.8. Выводы	174
4.9. Задачи для самоконтроля	175
<i>Глава 5. Роевое обучение</i>	179
5.1. Классификация	179
5.2. Модель	182
5.2.1. Комбинаторная оптимизация	182
5.2.2. Роевая марковская модель принятия решений	186
5.3. Алгоритм	187
5.4. Карта	190
5.5. Технология	194
5.6. Код	195
5.7. Эксперимент	202
5.8. Выводы	203
5.9. Задачи для самоконтроля	204
Заключение	207
Литература	209
К главе 1	209
К главе 2	210
К главе 3	212
К главе 4	215
К главе 5	218