

УДК 004.85  
ББК 32.971.3  
Г52

**Гласнер Э.**

Г52 Глубокое обучение без математики. Т. 2: Практика / пер. с англ. В. А. Яроцкого. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 610 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-767-1**

Эта книга не похожа на большинство других учебников и руководств по глубокому обучению – в ней нет ни детального алгоритмического анализа, сопровождаемого обширной математикой, ни развернутых листингов программного кода. Автор выбрал золотую середину – благодаря дружелюбному подходу, сопровождаемому огромным количеством цветных иллюстраций, а также детальному и скрупулезному описанию он глубоко освещает основополагающие идеи и фундаментальные основы глубокого обучения и нейронных сетей.

Второй том посвящен нейронным сетям – быстро развивающемуся направлению машинного обучения.

Издание предназначено для всех читателей, кто хочет использовать глубокое обучение и нейронные сети в своей работе.

УДК 004.85  
ББК 32.971.3

Original English language edition published by The Imaginary Institute, Seattle, WA. Copyright © 2018 by Andrew Glassner. Russian-language edition copyright © 2019 by DMK Press. All rights reserved.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-97060-767-1 (рус.)

Copyright © 2018 by Andrew Glassner  
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2020

# Содержание

## ТОМ 1. ОСНОВЫ

Глава 1. Введение в машинное обучение и глубокое обучение

Глава 2. Хаотичность и базовая статистика

Глава 3. Вероятность

Глава 4. Правило Байеса

Глава 5. Кривые и поверхности

Глава 6. Теория информации

Глава 7. Классификация

Глава 8. Обучение и тестирование

Глава 9. Избыточное обучение и недостаточное обучение

Глава 10. Нейроны

Глава 11. Обучение и мышление

Глава 12. Подготовка данных

Глава 13. Классификаторы

Глава 14. Ансамбли

Глава 15. Библиотека Scikit-learn

Глава 16. Нейронные сети прямого распространения

Глава 17. Функции активации

Глава 18. Обратное распространение

Глава 19. Оптимизаторы

## ТОМ 2. ПРАКТИКА

Предисловие. Добро пожаловать!.....12

Глава 20. Глубокое обучение.....19

20.1. Зачем здесь эта глава.....19

20.2. Обзор глубокого обучения.....19

20.2.1. Тензоры.....21

20.3. Вход и выход слоев.....22

20.3.1. Входной слой.....22

20.3.2. Выходной слой.....23

20.4. Обзор слоев глубокого обучения.....23

20.4.1. Полносвязные слои .....	24
20.4.2. Функции активации .....	25
20.4.3. Выпадающий слой .....	26
20.4.4. Групповая нормализация .....	27
20.4.5. Свертка .....	29
20.4.6. Объединение слоев .....	31
20.4.7. Рекуррентные слои .....	32
20.4.8. Другие применяемые слои .....	33
20.5. Обзор схематических символов слоев .....	34
20.6. Некоторые примеры .....	35
20.7. Построение глубокого обучающегося .....	43
20.7.1. Начало .....	45
20.8. Интерпретация результатов .....	46
20.8.1. Удовлетворительное объяснение .....	50
Справочные материалы .....	52
Заимствованные рисунки .....	53
<b>Глава 21. Нейронные сети свертки .....</b>	<b>54</b>
21.1. Зачем здесь эта глава .....	54
21.2. Введение .....	54
21.2.1. Два значения слова «глубина» .....	55
21.2.2. Сумма масштабированных величин .....	56
21.2.3. Разделение веса .....	59
21.2.4. Локальное воспринимаемое поле .....	61
21.2.5. Ядро .....	62
21.3. Свертка .....	63
21.3.1. Фильтры .....	66
21.3.2. С высоты птичьего полета .....	69
21.3.3. Иерархии фильтров .....	69
21.3.4. Дополнение пробелами (паддинг) .....	76
21.3.5. Величина шага .....	78
21.4. Многомерная свертка .....	80
21.4.1. Фильтры со многими каналами .....	83
21.4.2. Большой шаг в иерархиях .....	85
21.5. Свертка 1D .....	86
21.6. Свертка 1×1 .....	87
21.7. Слой свертки .....	89
21.7.1. Инициализация весов фильтров .....	90
21.8. Транспонированная свертка .....	91
21.9. Пример сети свертки .....	95
21.9.1. Сеть VGG16 .....	98
21.9.2. Посмотрим на фильтры. Часть 1 .....	102
21.9.3. Посмотрим на фильтры. Часть 2 .....	107
21.10. Противники .....	111
Справочные материалы .....	114
Заимствованные рисунки .....	116

<b>Глава 22. Рекуррентные нейронные сети .....</b>	<b>117</b>
22.1. Зачем здесь эта глава .....	117
22.2. Введение .....	118
22.3. Состояние .....	121
22.3.1. Использование состояния .....	122
22.4. Структура ячейки RNN.....	126
22.4.1. Ячейка со многими состояниями.....	129
22.4.2. Интерпретация величин состояния.....	132
22.5. Организация входов .....	132
22.6. Обучение RNN .....	135
22.7. LSTM и GRU .....	138
22.7.1. Вентиль.....	138
22.7.2. LSTM .....	141
22.8. Структура RNN.....	146
22.8.1. Один или много входов и выходов .....	146
22.8.2. Глубокие RNN .....	149
22.8.3. Двухнаправленные RNN.....	150
22.8.4. Глубокие двухнаправленные RNN .....	151
22.9. Пример.....	151
Справочные материалы .....	157
 <b>Глава 23. Keras. Часть 1.....</b>	<b>161</b>
23.1. Зачем здесь эта глава .....	161
23.1.1. Структура этой главы.....	162
23.1.2. Ноутбуки .....	162
23.1.3. Предупреждения Python.....	162
23.2. Библиотеки и отладка .....	163
23.2.1. Версии и стиль программирования.....	164
23.2.2. Программирование на Python и отладка .....	165
23.3. Обзор.....	166
23.3.1. Что такое модель? .....	167
23.3.2. Тензоры и решетки .....	167
23.3.3. Установка Keras.....	167
23.3.4. Форма тензоров изображений .....	168
23.3.4. Графический процессор и ускорители.....	171
23.4. Начало работы.....	171
23.4.1. Hello, World .....	172
23.5. Подготовка данных .....	174
23.5.1. Переформатирование .....	175
23.5.2. Загрузка данных .....	182
23.5.3. Глядя на данные .....	184
23.5.4. Разбиение на обучающий и тестовый наборы.....	189
23.5.5. Исправление типа данных.....	190
23.5.6. Нормализация данных.....	191
23.5.7. Исправление маркировок.....	193
23.5.8. Вся предварительная обработка в одном месте .....	197

23.6. Создание модели.....	198
23.6.1. Преобразование решетки в список.....	199
23.6.2. Создание модели.....	201
23.6.3. Компиляция модели .....	206
23.6.4. Резюме создания модели.....	209
23.7. Обучение модели.....	210
23.8. Обучение и использование модели .....	213
23.8.1. Взгляд на выходные данные.....	214
23.8.2. Предсказание.....	217
23.8.3. Анализ истории обучения .....	221
23.9. Сохранение и загрузка.....	223
23.9.1. Сохранение всего в одном файле.....	223
23.9.2. Сохранение только весов .....	224
23.9.3. Сохранение только архитектуры .....	224
23.9.4. Использование предварительно обученных программ .....	225
23.9.5. Сохранение шагов предварительной обработки .....	226
23.10. Обратные вызовы.....	227
23.10.1. Контрольная точка .....	227
23.10.2. Скорость обучения .....	230
23.10.3. Ранняя остановка .....	231
Справочные материалы .....	233
Заемствованные рисунки .....	235
<b>Глава 24. Keras. Часть 2.....</b>	<b>236</b>
24.1. Зачем здесь эта глава .....	236
24.2. Улучшение модели .....	236
24.2.1. Подсчет гиперпараметров .....	237
24.2.2 Изменение одного гиперпараметра .....	238
24.2.3. Другие пути улучшения .....	240
24.2.4. Добавление плотного слоя .....	241
24.2.5. Меньше – больше .....	242
24.2.6. Добавление выпадения.....	244
24.2.7. Наблюдения .....	249
24.3. Использование библиотеки Scikit-Learn .....	249
24.3.1. Упаковщик библиотеки Keras .....	250
24.3.2. Кросс-валидация .....	253
24.3.3. Кросс-валидация с нормализацией .....	257
24.3.4. Поиск гиперпараметров .....	259
24.4. Нейронные сети свертки (CNN) .....	267
24.4.1. Сервисные слои .....	268
24.4.2. Подготовка данных для сетей свертки .....	270
24.4.3. Слои свертки.....	273
24.4.4. Использование свертки для MNIST.....	279
24.4.5. Комбинации слоев .....	288
24.4.6. Увеличение данных изображения.....	290
24.4.7. Синтетические данные .....	294
24.4.8. Поиск параметров для CNN.....	296

24.4. Рекуррентные нейронные сети (RNN) .....	296
24.5.1. Генерация последовательных данных .....	296
24.5.2. Подготовка данных для RNN .....	299
24.5.3. Построение и обучение RNN .....	305
24.5.4. Анализ работы RNN .....	308
24.5.5. Более сложные наборы данных .....	315
24.5.6. Глубокая RNN .....	317
24.5.7. Значение большого количества данных .....	320
24.5.8. Возвращаемые последовательности .....	323
24.5.9. RNN с фиксацией состояния .....	327
24.5.10. Распределенные во времени слои .....	329
24.5.11. Генерирование текста .....	333
24.6. Интерфейс прикладного программирования .....	339
24.6.1. Входные слои .....	341
24.6.2. Создание функциональной модели .....	342
Справочные материалы .....	347
Заемствованные рисунки .....	347

## **Глава 25. Автокодировщики .....**

25.1. Зачем здесь эта глава .....	348
25.2. Введение .....	349
25.2.1. Кодирование с потерями и без потерь .....	349
25.2.2. Доменное кодирование .....	350
25.2.3. Смешивание представлений данных .....	352
25.3. Простейший автокодировщик .....	355
25.4. Более сложные автокодировщики .....	360
25.5. Исследование автокодировщиков .....	363
25.5.1. Скрытые переменные .....	363
25.5.2. Параметрическое пространство .....	366
25.5.2. Смешивание скрытых переменных .....	371
25.5.4. Прогнозирование нового входа .....	373
25.6. Обсуждение .....	374
25.7. Сверточный автокодировщик .....	375
25.7.1. Смешивание скрытых переменных .....	377
25.7.2. Прогнозирование нового входа .....	379
25.8. Понижение уровня шума .....	380
25.9. Вариационные автокодировщики .....	382
25.9.1. Распределение скрытых переменных .....	383
25.9.2. Структура вариационного автокодировщика .....	384
25.10. Изучение VAE .....	390
Справочные материалы .....	399
Заемствованные рисунки .....	400

## **Глава 26. Обучение с подкреплением .....**

26.1. Зачем здесь эта глава .....	401
26.2. Цели .....	402

26.2.1. Обучение новой игре .....	403
26.3. Структура обучения с подкреплением .....	406
26.3.1. Шаг 1: агент выбирает действие.....	408
26.3.2. Шаг 2: отклик окружающей среды .....	409
26.3.3. Шаг 3: агент обновляется.....	410
26.3.4. Вариации простой версии .....	411
26.3.5. Обрато к общей картине.....	412
26.3.6. Сохранение опыта.....	413
26.3.7. Вознаграждения .....	414
26.4. Игра флиппер .....	419
26.5. L-обучение .....	421
26.5.1. Обработка непредсказуемости.....	431
26.6. Q-обучение .....	433
26.6.1. Q-величины и обновление .....	434
26.6.2. Политика Q-обучения .....	437
26.6.3. Собираем все вместе .....	439
26.6.4. Сходимость алгоритма Q-обучения.....	440
26.6.5. Q-обучение в действии.....	441
26.7. SARSA .....	448
26.7.1. SARSA в действии .....	451
26.7.2. Сравнение Q-обучения и SARSA.....	457
26.8. Общая картина .....	461
26.9. Воспроизведение опыта .....	462
26.10. Два применения .....	463
Справочные материалы .....	465
<b>Глава 27. Порождающие состязательные сети .....</b>	<b>467</b>
27.1. Зачем здесь эта глава .....	467
27.2. Метафора: фальшивые деньги .....	468
27.2.1. Обучение на основе опыта.....	471
27.2.2. Подделка с помощью нейронных сетей.....	473
27.2.3. Циклы обучения .....	475
27.3. Почему антагонистические сети? .....	477
27.4. Применение сетей GAN.....	478
27.4.1. Дискриминатор .....	478
27.4.2. Генератор .....	478
27.4.3. Обучение сети GAN .....	480
27.4.4. Играть в игру .....	482
27.5. Сеть GAN в действии .....	482
27.6. Сети DCGAN .....	488
27.6.1. Эмпирические правила.....	490
27.7. Проблемы .....	492
27.7.1. Использование больших образцов .....	493
27.7.2. Модальный коллапс.....	493
Справочные материалы .....	495

<b>Глава 28. Применение для творчества</b>	<b>497</b>
28.1. Зачем здесь эта глава	497
28.2. Визуализирующие фильтры	497
28.2.1. Выбор сети	497
28.2.2. Визуализация одного фильтра	498
28.2.3. Визуализация одного слоя	501
28.3. Глубокие сновидения	502
28.4. Нейронное преобразование стиля	507
28.4.1. Захват стиля в матрице	507
28.4.2. Общая картина	509
28.4.3. Потери содержания	510
28.4.4. Потери стиля	512
28.4.5. Перенос стиля	516
28.4.6. Обсуждение	522
28.5. Генерация другого текста этой книги	524
Справочные материалы	525
Заимствованные рисунки	526
<b>Глава 29. Наборы данных</b>	<b>527</b>
29.1. Общедоступные наборы данных	527
29.2. MNIST and Fashion-MNIST	528
29.3. Наборы данных, встроенные в библиотеку	528
29.3.1. scikit-learn	528
29.3.2. Keras	529
29.4. Коллекции кураторских наборов данных	529
29.5. Некоторые новые наборы данных	530
<b>Глава 30. Глоссарий</b>	<b>533</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>606</b>