

УДК 004.421

ББК 32.811

О57

**Ярослав Омеляненко**

**О57** Эволюционные нейросети на языке Python / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 310 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-854-8**

Эта книга дает всестороннее представление о нейроэволюции – подходе к обучению искусственных нейронных сетей, который использует эволюционные алгоритмы, чтобы упростить процесс решения сложных задач в таких областях, как игры, робототехника и моделирование естественных процессов.

Читатель начнет знакомство с ключевыми концепциями и методами нейроэволюции, написав несложный код на языке Python, а затем получит практический опыт работы с популярными библиотеками Python и научится решать распространенные и нестандартные прикладные задачи, используя алгоритмы на основе нейроэволюции. Речь пойдет о том, как адаптировать методы нейроэволюции к существующим проектам нейронных сетей для повышения эффективности обучения и принятия решений; в завершение будет рассказано о топологиях нейронных сетей и о том, как нейроэволюция позволяет развивать сложную топологию из простейшей базовой структуры.

Издание предназначено для специалистов в области машинного обучения и искусственного интеллекта, которые стремятся реализовать алгоритмы нейроэволюции с нуля. Наличие базовых знаний в области глубокого обучения и нейронных сетей, а также программирования на языке Python обязательно.

УДК 004.421

ББК 32.811

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

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 (англ.) 9781838824914

ISBN (рус.) 978-5-97060-854-8

© Packt Publishing 2019. First published in the English language under the title 'Hands-on Neuroevolution with Python'

© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс, 2020

# Оглавление

<b>Предисловие от издательства</b> .....	13
Отзывы и пожелания.....	13
Список опечаток.....	13
Нарушение авторских прав.....	13
<b>Об авторе</b> .....	14
<b>О рецензентах</b> .....	15
<b>Предисловие от автора</b> .....	16
Для кого написана эта книга.....	17
О чем эта книга.....	17
Как получить максимальную отдачу от этой книги.....	18
Скачивание исходного кода примеров .....	18
Скачивание цветных иллюстраций .....	18
Условные обозначения и соглашения, принятые в книге .....	18
<b>ЧАСТЬ I. Основы эволюционных вычислительных алгоритмов и методов нейроэволюции</b> .....	19
<b>Глава 1. Обзор методов нейроэволюции</b> .....	21
1.1 Эволюционные алгоритмы и нейроэволюционные методы .....	22
1.1.1 Генетические операторы.....	23
1.1.2 Схемы кодирования генома .....	25
1.1.3 Козволюция .....	27
1.1.4 Модульность и иерархия .....	27
1.2 Обзор алгоритма NEAT .....	28
1.2.1 Схема кодирования NEAT .....	28
1.2.2 Структурные мутации .....	29
1.2.3 Кроссовер с номером обновления .....	30
1.2.4 Видообразование .....	32
1.3 NEAT на основе гиперкуба .....	33
1.3.1 Сети, производящие составные паттерны.....	34
1.3.2 Конфигурация субстрата .....	35
1.3.3 CPPN с развивающимися связями и алгоритм HyperNEAT .....	36
1.4 HyperNEAT с развиваемым субстратом.....	37
1.4.1 Плотность информации в гиперкубе.....	37

1.4.2 Квадродерево как эффективный экстрактор информации .....	38
1.4.3 Алгоритм ES-HyperNEAT .....	40
1.5 Метод оптимизации поиском новизны .....	42
1.5.1 Поиск новизны и естественная эволюция .....	43
1.5.2 Метрика новизны.....	43
1.6 Заключение .....	45
1.7 Дополнительное чтение .....	45

## **Глава 2. Библиотеки Python и настройка среды разработки .....**

2.1 Библиотеки Python для экспериментов с нейроэволюцией.....	47
2.1.1 Библиотека NEAT-Python.....	48
2.1.2 Библиотека PyTorch NEAT .....	49
2.1.3 Библиотека MultiNEAT.....	51
2.1.4 Библиотека Deep Neuroevolution .....	53
2.2 Настройка среды.....	56
2.2.1 Pipenv.....	56
2.2.2 Virtualenv .....	57
2.2.3 Anaconda Distribution.....	58
2.3 Заключение .....	59

## **ЧАСТЬ II. Применение методов нейроэволюции для решения классических задач информатики .....**

### **Глава 3. Использование NEAT для оптимизации решения задачи XOR .....**

3.1 Технические требования .....	63
3.2 Суть задачи XOR.....	64
3.3 Целевая функция для эксперимента XOR .....	65
3.4 Настройка гиперпараметров .....	66
3.4.1 Секция NEAT.....	67
3.4.2 Секция DefaultStagnation .....	67
3.4.3 Секция DefaultReproduction .....	68
3.4.4 Секция DefaultSpeciesSet .....	68
3.4.5 Секция DefaultGenome.....	68
3.4.6 Гиперпараметры эксперимента XOR .....	70
3.5 Выполнение эксперимента XOR .....	72
3.5.1 Настройка среды .....	72
3.5.2 Исходный код эксперимента XOR .....	73
3.5.3 Запуск эксперимента и анализ результатов .....	76
3.6 Упражнения .....	81
3.7 Заключение .....	83

### **Глава 4. Балансировка тележки с обратным маятником .....**

4.1 Технические требования .....	85
4.2 Задача балансировки обратного маятника.....	86

4.2.1 Уравнения движения балансировщика .....	86
4.2.2 Уравнения состояния и управляющие воздействия.....	87
4.2.3 Взаимодействие между решателем и симулятором.....	88
4.3 Целевая функция для эксперимента по балансировке одиночного маятника .....	90
4.3.1 Моделирование тележки .....	90
4.3.2 Цикл моделирования .....	91
4.3.3 Оценка приспособленности генома .....	93
4.4 Эксперимент по балансировке одиночного маятника .....	93
4.4.1 Выбор гиперпараметров .....	94
4.4.2 Настройка рабочей среды.....	95
4.4.3 Исходный код эксперимента .....	95
4.4.4 Запуск эксперимента по балансировке одиночного маятника .....	98
4.5 Упражнения .....	100
4.6 Задача балансировки двойного маятника .....	101
4.6.1 Переменные состояния системы и уравнения движения.....	101
4.6.2 Подкрепляющий сигнал .....	104
4.6.3 Начальные условия и обновление состояния .....	104
4.6.4 Управляющие действия .....	106
4.6.5 Взаимодействие между решателем и симулятором.....	106
4.7 Целевая функция для эксперимента по балансировке двойного маятника.....	107
4.8 Эксперимент по балансировке .....	108
4.8.1 Выбор гиперпараметров .....	108
4.8.2 Настройка рабочей среды.....	110
4.8.3 Реализация эксперимента.....	110
4.8.4 Запуск эксперимента с двумя маятниками .....	111
4.9 Упражнения.....	115
4.10 Заключение.....	116

## **Глава 5. Автономное прохождение лабиринта..... 117**

5.1 Технические требования .....	117
5.2 Задача навигации в лабиринте .....	118
5.3 Среда моделирования лабиринта .....	119
5.3.1 Агент-решатель лабиринта .....	119
5.3.2 Реализация среды моделирования лабиринта .....	121
5.3.3 Хранение записей агента .....	125
5.3.4 Визуализация записей агента .....	127
5.4 Определение целевой функции с использованием показателя приспособленности .....	127
5.5 Проведение эксперимента с простой конфигурацией лабиринта.....	129
5.5.1 Выбор гиперпараметров .....	130
5.5.2 Файл конфигурации лабиринта .....	132
5.5.3 Настройка рабочей среды.....	132
5.5.4 Реализация движка эксперимента .....	132
5.5.5 Проведение эксперимента по навигации в простом лабиринте.....	135
5.6 Упражнения.....	140

5.7 Эксперимент со сложной конфигурацией лабиринта.....	140
5.7.1 Настройка гиперпараметров.....	141
5.7.2 Настройка рабочей среды и движок эксперимента.....	141
5.7.3 Выполнение эксперимента по прохождению сложного лабиринта .....	141
5.8 Упражнения .....	143
5.9 Заключение .....	144

## **Глава 6. Метод оптимизации поиском новизны..... 145**

6.1 Технические требования .....	145
6.2 Метод оптимизации поиском новизны .....	146
6.3 Основы реализации алгоритма поиска новизны .....	147
6.3.1 NoveltyItem .....	147
6.3.2 NoveltyArchive .....	148
6.4 Функция приспособленности с оценкой новизны .....	149
6.4.1 Оценка новизны.....	150
6.4.2 Метрика новизны.....	152
6.4.3 Функция приспособленности.....	153
6.5 Эксперимент с простой конфигурацией лабиринта .....	158
6.5.1 Настройка гиперпараметров.....	159
6.5.2 Настройка рабочей среды.....	159
6.5.3 Реализация движка эксперимента .....	160
6.5.4 Простой эксперимент по навигации в лабиринте с поиском новизны.....	163
6.5.5 Упражнение 1 .....	168
6.6 Эксперимент со сложной конфигурацией лабиринта.....	169
6.6.1 Настройка гиперпараметров и рабочей среды .....	169
6.6.2 Выполнение эксперимента по прохождению труднодоступного лабиринта .....	169
6.6.3 Упражнение 2 .....	172
6.7 Заключение .....	173

## **ЧАСТЬ III. Передовые методы нейроэволюции..... 175**

### **Глава 7. Зрительное различение с NEAT на основе гиперкуба ... 177**

7.1 Технические требования.....	177
7.2 Косвенное кодирование нейросетей с CPPN.....	178
7.2.1 Кодирование CPPN .....	178
7.2.2 Нейроэволюция с развитием топологии на основе гиперкуба.....	179
7.3 Основы эксперимента по зрительному различению .....	180
7.3.1 Определение целевой функции .....	182
7.4 Подготовка эксперимента по зрительному различению.....	182
7.4.1 Тестовая среда зрительного дискриминатора .....	183
7.4.2 Движок эксперимента.....	190
7.5 Эксперимент по зрительному различению объектов .....	196
7.5.1 Выбор гиперпараметра.....	196
7.5.2 Настройка рабочей среды.....	197

7.5.3 Запуск эксперимента по зрительному различению .....	198
7.6 Упражнения .....	201
7.7 Заключение .....	202

## **Глава 8. Метод ES-HyperNEAT и задача сетчатки .....**

8.1 Технические требования .....	204
8.2 Ручное и эволюционное формирование топографии узлов.....	204
8.3 Извлечение информации из квадродерева и основы ESHyperNEAT .....	205
8.4 Основы задачи модульной сетчатки .....	207
8.4.1 Определение целевой функции .....	209
8.5 Подготовка эксперимента с модульной сетчаткой .....	210
8.5.1 Начальная конфигурация субстрата.....	210
8.5.2 Тестовая среда для задачи модульной сетчатки.....	211
8.5.3 Движок эксперимента .....	215
8.6 Эксперимент с модульной сетчаткой.....	222
8.6.1 Настройка гиперпараметров.....	222
8.6.2 Настройка рабочей среды.....	223
8.6.3 Запуск эксперимента с модульной сетчаткой .....	223
8.7 Упражнения.....	227
8.8 Заключение .....	227

## **Глава 9. Козволюция и метод SAFE.....**

9.1 Технические требования .....	229
9.2 Общие стратегии козволюции .....	229
9.3 Метод SAFE .....	230
9.4 Модифицированный эксперимент с лабиринтом.....	231
9.4.1 Агент-решатель задачи лабиринта .....	231
9.4.2 Среда лабиринта .....	232
9.4.3 Определение функции приспособленности .....	233
9.5 Модифицированный поиск новизны.....	234
9.5.1 Функция <code>_add_novelty_item</code> .....	235
9.5.2 Функция <code>evaluate_novelty_score</code> .....	235
9.6 Движок модифицированного эксперимента с лабиринтом.....	236
9.6.1 Создание совместно эволюционирующих популяций.....	237
9.6.2 Оценка приспособленности совместно развивающихся популяций .....	238
9.6.3 Выполнение эксперимента модифицированного лабиринта .....	243
9.7 Эксперимент с модифицированным лабиринтом .....	245
9.7.1 Гиперпараметры для популяции агентов-решателей .....	245
9.7.2 Гиперпараметры популяции кандидатов на целевую функцию .....	246
9.7.3 Настройка рабочей среды .....	246
9.7.4 Проведение модифицированного эксперимента с лабиринтом .....	247
9.8 Упражнения.....	250
9.9 Заключение .....	250

<b>Глава 10. Глубокая нейроэволюция</b>	<b>251</b>
10.1 Технические требования	251
10.2 Глубокая нейроэволюция для глубокого обучения с подкреплением	252
10.3 Обучение агента игре Atari Frostbite с использованием глубокой нейроэволюции	253
10.3.1 Игра Atari Frostbite	254
10.3.2 Отображение игрового экрана на действия	254
10.3.3 Обучение игрового агента	257
10.4 Обучение агента навыкам игры в Frostbite	260
10.4.1 Учебная среда Atari	260
10.4.2 Расчет RL на ядрах GPU	262
10.4.3 Движок эксперимента	267
10.5 Запуск эксперимента с игрой Atari Frostbite	271
10.5.1 Настройка рабочей среды	271
10.5.2 Запуск эксперимента	272
10.5.3 Визуализация прохождения игры Frostbite	273
10.6 Визуальный инспектор нейроэволюции	274
10.6.1 Настройка рабочей среды	274
10.6.2 Использование VINE для визуализации эксперимента	274
10.7 Упражнения	276
10.8 Заключение	276

## ЧАСТЬ IV. Обсуждение результатов

<b>и заключительные замечания</b>	<b>277</b>
-----------------------------------	------------

<b>Глава 11. Лучшие методы, советы и подсказки</b>	<b>279</b>
11.1 Первичный анализ задачи	279
11.1.1 Предварительная обработка данных	280
11.1.2 Исследование проблемной области	282
11.1.3 Написание хороших симуляторов	282
11.2 Выбор оптимального метода поисковой оптимизации	283
11.2.1 Целеориентированный поиск оптимального решения	283
11.2.2 Оптимизация поиском новизны	284
11.3 Качественная визуализация	285
11.4 Настройка гиперпараметров	285
11.5 Метрики качества модели	287
11.5.1 Точность	287
11.5.2 Отклик	287
11.5.3 Оценка F1	287
11.5.4 ROC AUC	288
11.5.5 Достоверность	289
11.6 Python, кодирование, советы и рекомендации	289
11.6.1 Советы и рекомендации	290
11.6.2 Рабочая среда и инструменты программирования	291
11.7 Заключение	292

<b>Глава 12. Заключительные замечания .....</b>	<b>293</b>
12.1 Что вы узнали в этой книге .....	293
12.1.1 Обзор методов нейроэволюции.....	293
12.1.2 Библиотеки Python и настройка среды разработки .....	295
12.1.3 Использование NEAT для оптимизации решения задачи XOR .....	296
12.1.4 Балансировка тележки с обратным маятником.....	296
12.1.5 Автономное прохождение лабиринта .....	298
12.1.6 Метод оптимизации поиском новизны .....	299
12.1.7 Зрительное различение с NEAT на основе гиперкуба .....	300
12.1.8 Метод ES-HyperNEAT и задача сетчатки .....	301
12.1.9 Коэволюция и метод SAFE.....	302
12.1.10 Глубокая нейроэволюция .....	302
12.2 Куда двигаться дальше.....	303
12.2.1 Uber AI Labs.....	304
12.2.2 alife.org.....	304
12.2.3 Открытая эволюция в Reddit.....	304
12.2.4 Каталог программного обеспечения NEAT .....	304
12.2.5 arXiv.org .....	305
12.2.6 Оригинальная публикация про алгоритм NEAT .....	305
12.3 Заключение.....	305
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>306</b>