

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

## Краткий справочник

**Роберт Каллан**

*Саутгемптонский институт*



Издательский дом "Вильямс"  
Москва ♦ Санкт-Петербург ♦ Киев  
2017

**Каллан, Р.** Нейронные сети : краткий справочник / Роберт Каллан ; [пер. с англ. и ред. А. Г. Сивака]. — Москва [и др.] : Вильямс, 2017. — 279 с. : ил. — (Основы вычислительных систем). — Парал. тит. англ. — Библиография : с. 273—276.

УДК 004.032.26(035)

ББК 32

**Аб. №1 — 2 экз.**

**Ч/З №1 — 2 экз.**

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства Prentice Hall Europe.

Authorized translation from the English language edition published by Prentice Hall Europe, Copyright© 1999.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Russian language edition published by Williams Publishing House according to the Agreement with R&I Enterprises International, Copyright © 2017

# ***Оглавление***

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Оглавление</b>                                          | <b>5</b>   |
| <b>Предисловие</b>                                         | <b>9</b>   |
| <b>Благодарности</b>                                       | <b>12</b>  |
| <b>Глава 1. Введение</b>                                   | <b>13</b>  |
| <b>Глава 2. Классификация образцов</b>                     | <b>35</b>  |
| <b>Глава 3. Кластеризация образцов</b>                     | <b>79</b>  |
| <b>Глава 4. Ассоциация образцов</b>                        | <b>107</b> |
| <b>Глава 5. Рекуррентные сети</b>                          | <b>126</b> |
| <b>Глава 6. Другие модели сетей и практические вопросы</b> | <b>144</b> |
| <b>Глава 7. Связь с искусственным интеллектом</b>          | <b>179</b> |
| <b>Глава 8. Синтез символов с помощью нейронных сетей</b>  | <b>214</b> |
| <b>Приложение А. Немного линейной алгебры</b>              | <b>261</b> |
| <b>Приложение Б. Словарь терминов</b>                      | <b>269</b> |
| <b>Список дополнительной литературы</b>                    | <b>273</b> |
| <b>Предметный указатель</b>                                | <b>277</b> |

# Содержание

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Предисловие</b>                                          | <b>9</b>  |
| <b>Глава 1. Введение</b>                                    | <b>13</b> |
| 1.1. Введение                                               | 13        |
| 1.2. Основные компоненты                                    | 15        |
| 1.3. Обучение нейронной сети                                | 27        |
| 1.4. Простой пример обучения                                | 28        |
| 1.4.1. Вывод уравнений для $m$ и $c$                        | 30        |
| 1.5. Резюме                                                 | 32        |
| 1.6. Дополнительная литература                              | 33        |
| 1.7. Упражнения                                             | 33        |
| <b>Глава 2. Классификация образцов</b>                      | <b>35</b> |
| 2.1. Приложения                                             | 35        |
| 2.2. Основные идеи                                          | 36        |
| 2.2.1. Функция выбора решения                               | 36        |
| 2.2.2. Корректировка весов                                  | 40        |
| 2.2.3. Минимизация квадрата ошибки                          | 42        |
| 2.3. Линейные и нелинейные проблемы                         | 43        |
| 2.4. Обучение по алгоритму обратного распространения ошибок | 50        |
| 2.4.1. Немного теории                                       | 52        |
| 2.4.2. Алгоритм обратного распространения ошибок            | 54        |
| 2.4.3. Практические рекомендации                            | 59        |
| 2.5. Использование сети с обратным распространением ошибок  | 61        |
| 2.5.1. Классификация чисел                                  | 61        |
| 2.5.2. Классификация символов                               | 62        |
| 2.5.3. Прогнозирование погоды                               | 65        |
| 2.6. Сети с радиальными базисными функциями                 | 66        |
| 2.7. Резюме                                                 | 70        |
| 2.8. Дополнительная литература                              | 76        |
| 2.9. Упражнения                                             | 76        |
| <b>Глава 3. Кластеризация образцов</b>                      | <b>79</b> |
| 3.1. Основные идеи                                          | 79        |
| 3.2. Самоорганизующаяся карта признаков                     | 82        |
| 3.2.1. Алгоритм                                             | 86        |
| 3.2.2. Обучение сети SOFM                                   | 87        |
| 3.2.3. Дополнительные сведения о сети SOFM                  | 96        |
| 3.3. Эксперимент                                            | 99        |
| 3.4. Резюме                                                 | 101       |
| 3.5. Дополнительная литература                              | 102       |
| 3.6. Упражнения                                             | 102       |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 4. Ассоциация образов</b>                         | <b>107</b> |
| 4.1. Введение                                              | 107        |
| 4.2. Дискретная сеть Хопфилда                              | 108        |
| 4.2.1. Функция энергии                                     | 114        |
| 4.3. Двухнаправленная ассоциативная память                 | 115        |
| 4.4. Автоассоциативное обратное распространение ошибок     | 120        |
| 4.5. Резюме                                                | 123        |
| 4.6. Дополнительная литература                             | 124        |
| 4.7. Упражнения                                            | 124        |
| <b>Глава 5. Рекуррентные сети</b>                          | <b>126</b> |
| 5.1. Введение                                              | 126        |
| 5.2. Обратное распространение во времени                   | 127        |
| 5.3. Простая рекуррентная сеть                             | 132        |
| 5.3.1. Применение сети SRN                                 | 134        |
| 5.4. Резюме                                                | 142        |
| 5.5. Дополнительная литература                             | 142        |
| 5.6. Упражнения                                            | 142        |
| <b>Глава 6. Другие модели сетей и практические вопросы</b> | <b>144</b> |
| 6.1. Введение                                              | 144        |
| 6.2. Сети, использующие статистический подход              | 145        |
| 6.2.1. Метод модельной “закалки”                           | 145        |
| 6.2.2. Вероятностные нейронные сети                        | 151        |
| 6.3. Пример модульной нейронной сети                       | 162        |
| 6.4. Практические вопросы обучения нейронных сетей         | 166        |
| 6.4.1. Выбор модели сети                                   | 166        |
| 6.4.2. Архитектура                                         | 167        |
| 6.4.3. Данные                                              | 167        |
| 6.4.4. Локальные минимумы                                  | 173        |
| 6.4.5. Обобщение                                           | 174        |
| 6.5. Резюме                                                | 175        |
| 6.6. Дополнительная литература                             | 175        |
| 6.7. Упражнения                                            | 176        |
| <b>Глава 7. Связь с искусственным интеллектом</b>          | <b>179</b> |
| 7.1. Введение                                              | 179        |
| 7.2. Природа интеллекта                                    | 181        |
| 7.2.1. Знание и представление                              | 181        |
| 7.2.2. Рассуждения                                         | 182        |
| 7.2.3. Обучение                                            | 184        |
| 7.3. Гипотеза символьных систем                            | 185        |
| 7.3.1. Поиск                                               | 186        |
| 7.3.2. Продукционные системы                               | 188        |
| 7.4. Представление с помощью символов                      | 191        |
| 7.4.1. Исчисление высказываний                             | 191        |
| 7.4.2. Исчисление предикатов                               | 196        |

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 7.4.3. Другие символичные языки                                 | 197        |
| 7.4.4. Язык Prolog                                              | 198        |
| 7.5. Понимание речи                                             | 201        |
| 7.5.1. Синтаксический анализ                                    | 204        |
| 7.5.2. Семантический анализ                                     | 206        |
| 7.6. Символьные связи нейронных сетей                           | 209        |
| 7.7. Резюме                                                     | 211        |
| 7.8. Дополнительная литература                                  | 211        |
| 7.9. Упражнения                                                 | 212        |
| <b>Глава 8. Синтез символов с помощью нейронных сетей</b>       | <b>214</b> |
| 8.1. Нейронные сети в символической форме                       | 214        |
| 8.2. Рекурсивная автоассоциативная память                       | 215        |
| 8.2.1. Обучение RAAM                                            | 220        |
| 8.3. Представления нейронных сетей                              | 222        |
| 8.3.1. Локальные и распределенные представления                 | 222        |
| 8.3.2. Пространственное сохранение структуры                    | 224        |
| 8.3.3. Контекст                                                 | 229        |
| 8.3.4. Символьное представление и представления нейронных сетей | 230        |
| 8.4. Обработка речи                                             | 234        |
| 8.4.1. Синтаксический анализ                                    | 234        |
| 8.4.2. Преобразование предложений                               | 236        |
| 8.4.3. Завершенные модели                                       | 237        |
| 8.5. Другие вопросы, касающиеся представлений                   | 247        |
| 8.5.1. Обобщение                                                | 247        |
| 8.5.2. Проблема обоснования символов                            | 250        |
| 8.6. Возможность машинного общения                              | 252        |
| 8.7. Резюме                                                     | 258        |
| 8.8. Дополнительная литература                                  | 259        |
| 8.9. Упражнения                                                 | 259        |
| <b>Приложение А. Немного линейной алгебры</b>                   | <b>261</b> |
| Сложение векторов                                               | 262        |
| Умножение на скаляр                                             | 262        |
| Норма вектора                                                   | 262        |
| Скалярное произведение                                          | 262        |
| Матрицы                                                         | 263        |
| Умножение матриц                                                | 263        |
| Транспонирование матриц                                         | 264        |
| Сложение матриц                                                 | 264        |
| Представление графов с помощью матриц                           | 265        |
| Векторные и матричные обозначения в нейронных сетях             | 265        |
| <b>Приложение Б. Словарь терминов</b>                           | <b>269</b> |
| <b>Список дополнительной литературы</b>                         | <b>273</b> |
| <b>Предметный указатель</b>                                     | <b>277</b> |