ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 7

Введение 9

ЧАСТЬ I
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Глава 1. Элементы теории классификации 16
1.1. Задача классификации 17
1.1.1. Байесовский классификатор 17
1.1.2. Постановка задачи классификации 19
1.1.3. Линейные классификаторы: персептрон 22
1.2. Теория обобщения 28
1.2.1. Верхние оценки вероятности ошибки классификации 28
1.2.2. VC-размерность 35
1.3. Теория обобщения для задач классификации с помощью пороговых решающих правил 44
1.3.1. Пороговая размерность и ее приложения 44
1.3.2. Покрытия и упаковки 50
1.4. Средние по Радемахеру 56
1.5. Средние по Радемахеру и другие меры емкости класса функций 63
1.6. Задачи и упражнения 66

Глава 2. Метод опорных векторов 69
2.1. Оптимальная гиперплоскость 69
2.2. Алгоритм построения оптимальной гиперплоскости . . . 73
2.3. Оценка вероятности ошибки обобщения через число опорных векторов 75
2.4. SVM-метод в пространстве признаков 76
2.5. Ядра 80
2.6. Случай неразделимой выборки 88
2.6.1. Вектор переменных мягкого отступа 88

2.6.2. Оптимизационные задачи для классификации с ошибками 91
2.7. Среднее по Радемахеру и оценка ошибки классификации 98
2.8. Задача многомерной регрессии 102
2.8.1. Простая линейная регрессия 102
2.8.2. Гребневая регрессия 104
2.9. Регрессия с опорными векторами 106
2.9.1. Решение задачи регрессии с помощью SVM 106
2.9.2. Гребневая регрессия в двойственной форме 112
2.10. Нелинейная оптимизация 115
2.11. Конформные предсказания 118
2.12. Задачи и упражнения 121
2.13. Лабораторные работы 123

ЧАСТЬ II
НЕСТОХАСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ

Глава 3. Универсальные предсказания 126
3.1. Универсальное прогнозирование в режиме онлайн 126
3.2. Калибруемость прогнозов 129
3.3. Алгоритм вычисления калибруемых прогнозов 134
3.4. Прогнозирование с произвольным ядром 138
3.5. Универсальная алгоритмическая торговая стратегия . . 143
3.5.1. Калибруемость с дополнительной информацией 148
3.5.2. Доказательство теоремы 3.4 156
3.6. Задачи и упражнения 160
3.7. Лабораторные работы 161

Глава 4. Элементы сравнительной теории машинного обучения 163
4.1. Алгоритм взвешенного большинства 164
4.2. Алгоритм оптимального распределения потерь в режиме онлайн 167
4.3. Алгоритм следования за возмущенным лидером 172
4.4. Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений 181
4.5. Алгоритм экспоненциального взвешивания с переменным параметром обучения 185
4.6. Рандомизированные прогнозы 188
4.7. Некоторые замечательные неравенства 193
4.8. Усиление простых классификаторов — бустинг 197

4.9. Лабораторные работы 203
4.10. Задачи и упражнения 203

Глава 5. Агрегирующий алгоритм Вовка 206
5.1. Смешиваемые функции потерь 206
5.2. Конечное множество экспертов 211
5.3. Бесконечное множество экспертов 215
5.4. Произвольная функция потерь 217
5.5. Логарифмическая функция потерь 218
5.6. Простая игра на предсказания 222
5.7. Игра с квадратичной функцией потерь 224
5.8. Универсальный портфель 226
5.9. Многомерная онлайн-регрессия 229
5.9.1. Многомерная регрессия с помощью агрегирующего алгоритма 229
5.9.2. Переход к ядерной многомерной регрессии 235
5.9.3. Ядерная форма гребневой регрессии 237
5.10. Задачи и упражнения 238
5.11. Лабораторные работы 239

ЧАСТЬ III
ИГРЫ И ПРЕДСКАЗАНИЯ

Глава 6. Элементы теории игр 240
6.1. Антагонистические игры двух игроков 240
6.2. Достаточное условие существования седловой точки . . . 243
6.3. Смешанные расширения матричных игр 245
6.3.1. Минимаксная теорема 245
6.3.2. Чистые стратегии 246
6.3.3. Решение матричной игры типа $2 \times M$ 248
6.3.4. Решение игры типа $N \times M$ 250
6.3.5. Конечная игра между K игроками 252
6.4. Задачи и упражнения 257

Глава 7. Теоретико-игровая интерпретация теории вероятностей 258
7.1. Теоретико-игровой закон больших чисел 258
7.2. Теоретико-игровая вероятность 262
7.3. Игры на универсальные предсказания 268
7.4. Рандомизированные калибруемые предсказания 272
7.5. Задачи и упражнения 277

Глава 8. Повторяющиеся игры **280**
8.1. Бесконечно повторяющиеся игры двух игроков с нулевой суммой 280
8.2. Теорема Блекуэлла о достижимости 284
8.3. Калибруемые предсказания 291
8.4. Калибруемые предсказания и коррелированное равновесие 294
8.5. Задачи и упражнения 300

Литература 301