

Оглавление

Предисловие	9
Введение	11

Часть I

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	21
---	-----------

Глава 1. Элементы теории классификации	22
---	-----------

1.1. Задача классификации	22
---------------------------------	----

1.1.1. Байесовский классификатор	22
--	----

1.1.2. Постановка задачи классификации	25
--	----

1.1.3. Линейные классификаторы: перцептрон	28
--	----

1.2. Теория обобщения	34
-----------------------------	----

1.2.1. Верхние оценки вероятности ошибки классификации	34
---	----

1.2.2. VC-размерность	44
-----------------------------	----

1.3. Теория обобщения для задач классификации с помощью пороговых решающих правил	53
--	----

1.3.1. Пороговая размерность и ее приложения	54
--	----

1.3.2. Покрытия и упаковки	60
----------------------------------	----

1.4. Средние по Радемахеру	66
----------------------------------	----

1.5. Средние по Радемахеру и другие меры емкости класса функций	73
--	----

1.6. Задачи и упражнения	76
--------------------------------	----

Глава 2. Метод опорных векторов	80
--	-----------

2.1. Оптимальная гиперплоскость	80
---------------------------------------	----

2.2. Алгоритм построения оптимальной гиперплоскости	84
---	----

2.3. Оценка вероятности ошибки обобщения через число опорных векторов	87
--	----

2.4. SVM-метод в пространстве признаков	88
---	----

2.5. Ядра	91
-----------------	----

2.6. Гильбертово пространство, порожденное воспроизводящим ядром	95
2.6.1. Каноническое RKHS	96
2.6.2. Теорема о представителе	100
2.7. Случай неразделимой выборки	102
2.7.1. Переменные мягкого отступа	102
2.7.2. Оптимизационные задачи для классификации с ошибками	104
2.8. Среднее по Радемахеру и оценка ошибки классификации .	110
2.9. Задача многомерной регрессии	114
2.9.1. Простая линейная регрессия	114
2.9.2. Гребневая регрессия	117
2.10. Регрессия с опорными векторами	119
2.10.1. Решение задачи регрессии с помощью SVM	119
2.10.2. Гребневая регрессия в двойственной форме	124
2.11. Нелинейная оптимизация	128
2.12. Конформные предсказания	132
2.13. Задачи и упражнения	134
2.14. Лабораторные работы	137

Часть II

ОНЛАЙН-МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	139
Глава 3. Универсальные предсказания	140
3.1. Последовательные вероятностные предсказания	140
3.1.1. Смешивающий предсказатель	141
3.1.2. Правило Лапласа	142
3.1.3. Оптимальный минимаксный предсказатель	145
3.1.4. Приложения	146
3.2. Калибруемость прогнозов	149
3.3. Алгоритм вычисления калибруемых прогнозов	154
3.4. Прогнозирование с произвольным ядром	159
3.5. Универсальная алгоритмическая торговая стратегия	164
3.5.1. Калибруемость с дополнительной информацией	169
3.5.2. Доказательство теоремы 3.6	178
3.6. Задачи и упражнения	182
3.7. Лабораторные работы	183

Глава 4. Предсказания с использованием экспертных стратегий	185
4.1. Алгоритм взвешенного большинства	186
4.2. Алгоритм оптимального распределения потерь в режиме онлайн	190
4.3. Усиление простых классификаторов — бустинг	195
4.4. Алгоритм следования за возмущенным лидером	202
4.5. Алгоритмы экспоненциального смешивания: общий подход	212
4.5.1. Экспоненциально смешанные потери и их свойства	212
4.5.2. Анализ алгоритма Hedge с переменным параметром обучения	216
4.6. Алгоритмы экспоненциального смешивания экспертных прогнозов	219
4.6.1. Детерминированные прогнозы	219
4.6.2. Рандомизированные прогнозы	222
4.7. Алгоритм отслеживания наилучшей комбинации экспертов Fixed-Share	226
4.7.1. Составные эксперты и алгоритмы для них	227
4.7.2. Теорема об эквивалентности двух алгоритмов	232
4.7.3. Регрет алгоритма Fixed-Share	233
4.8. Схемы смешивания апостериорных распределений экспертов	234
4.9. Предсказания с экспертами в условиях частичного мониторинга	241
4.10. Задачи и упражнения	247
4.11. Лабораторные работы	249
Глава 5. Агрегирующий алгоритм Вовка	250
5.1. Смешиваемые функции потерь	250
5.2. Конечное множество экспертов	255
5.3. Бесконечное множество экспертов	260
5.4. Произвольная функция потерь	262
5.5. Логарифмическая функция потерь	263
5.6. Простая игра на предсказания	267
5.7. Игра с квадратичной функцией потерь	269

5.8. Метод защитных предсказаний и агрегирующий алгоритм	272
5.9. Универсальный портфель	277
5.10. Многомерная онлайн-регрессия	284
5.10.1. Многомерная регрессия с помощью агрегирующего алгоритма	284
5.10.2. Переход к ядерной многомерной регрессии	290
5.10.3. Ядерная форма гребневой регрессии	292
5.11. Задачи и упражнения	293
5.12. Лабораторные работы	294
Глава 6. Выпуклая онлайн-оптимизация	296
6.1. Алгоритмы следования за лидером FTL и FTRL	296
6.2. Онлайн градиентный спуск	304
6.3. Онлайн зеркальный спуск и связанные с ним вопросы	308
6.4. Задачи и упражнения	316

Часть III

Игры и предсказания 317

Глава 7. Элементы теории игр 318

7.1. Антагонистические игры двух игроков	318
7.2. Достаточное условие существования седловой точки	321
7.3. Смешанные расширения матричных игр	323
7.3.1. Минимаксная теорема	323
7.3.2. Чистые стратегии	324
7.3.3. Решение матричной игры типа $2 \times M$	327
7.3.4. Решение игры типа $N \times M$	329
7.3.5. Конечная игра между K игроками	331
7.4. Задачи и упражнения	336

Глава 8. Теоретико-игровая интерпретация теории вероятностей 337

8.1. Теоретико-игровой закон больших чисел	337
8.2. Теоретико-игровая вероятность	341
8.3. Игры на универсальные предсказания	347
8.4. Рандомизированные калибруемые предсказания	351
8.5. Задачи и упражнения	356

Глава 9. Повторяющиеся игры	359
9.1. Бесконечно повторяющиеся игры двух игроков с нулевой суммой	359
9.2. Теорема Блекуэлла о достижимости	364
9.3. Калибруемые предсказания	370
9.4. Калибруемые предсказания и коррелированное равновесие	374
9.5. Генеративно-сопоставительные сети (GAN)	380
9.6. Задачи и упражнения	386

Часть IV

Вспомогательные утверждения	387
Глава 10. Некоторые замечательные неравенства	388
Литература	395