

УДК 004.021
ББК 32.973
С89

С89 Луис Энрике Сукар

Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения / пер. с англ. А. В. Снастина. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 338 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-874-6

В настоящее время вероятностные графовые модели широко распространены как мощная и вполне сформировавшаяся методика для выполнения умозаключений и выводов в условиях неопределенности. В отличие от некоторых узкоспециализированных методик, применявшихся в ранних экспертных системах, вероятностные графовые модели основаны на строгих математических принципах теории графов и теории вероятностей. Эта книга на современном уровне охватывает более широкий диапазон вероятностных графовых моделей, чем другие недавно опубликованные материалы в данной области: разнообразные классификаторы, скрытые марковские модели, марковские случайные поля, байесовские сети и их динамические, временные и причинно-следственные варианты, реляционные вероятностные графовые модели, графы решений и марковский процесс принятия решений. В книге представлены эти вероятностные графовые модели и соответствующие методы логического вывода и обучения в ясном и доступном стиле. Автор делится своим богатым опытом, накопленным в процессе активной практической работы в области использования вероятностных графовых моделей, и демонстрирует примеры их применения в разнообразных областях реальной деятельности: от биоинформатики до задач наблюдения за загрязнением воздуха и распознавания объектов.

Книга предназначена для студентов старших курсов и аспирантов, а также для ученых-исследователей и инженеров-практиков, работающих в других отраслях и интересующихся применением вероятностных моделей.

First published in English under the title Concise Computer Vision; Copyright © Springer-Verlag London, 2015. This edition has been translated and published under licence from Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature. Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature takes no responsibility and shall not be made liable for the accuracy of the translation. © 2020 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.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-1-4471-6698-6 (англ.)
ISBN 978-5-97060-874-6 (рус.)

© Springer-Verlag London, 2015
© Оформление, перевод на русский язык, издание, ДМК Пресс, 2021

Оглавление

Предисловие от издательства	11
Вступительное слово	12
Предисловие	14
Благодарности	18
Список сокращений, принятых в книге	20
Условные математические обозначения, используемые в книге	23
Часть I. Теоретические основы	25
Глава 1. Введение.....	26
1.1 Неопределенность.....	26
1.1.1 Воздействие неопределенности	26
1.2 Краткая история	27
1.3 Основные вероятностные модели	28
1.3.1 Пример	31
1.4 Вероятностные графовые модели	33
1.5 Представление, логический вывод и обучение	35
1.6 Приложения	37
1.7 Обзор содержимого книги	38
1.8 Материалы для дополнительного чтения	39
Ссылки на источники	39
Глава 2. Теория вероятностей	41
2.1 Введение	41
2.2 Основные правила	43
2.3 Случайные переменные	45
2.3.1 Двумерные случайные переменные	49
2.4 Теория информации	50
2.5 Материалы для дополнительного чтения	53
2.6 Задания и упражнения	53
Ссылки на источники	54
Глава 3. Теория графов.....	56
3.1 Определения.....	56
3.2 Типы графов	57
3.3 Пути и циклы	58
3.4 Изоморфизм графов	60
3.5 Деревья.....	60
3.6 Клики	63
3.7 Полное упорядочивание.....	64
3.8 Алгоритмы упорядочивания и триангуляции	66
3.8.1 Поиск паросочетания максимальной мощности.....	66
3.8.2 Дополнение графа	66

3.9 Материалы для дополнительного чтения.....	67
3.10 Задания и упражнения.....	68
Ссылки на источники	69
Часть II. Вероятностные модели.....	71
Глава 4. Байесовские классификаторы	72
4.1 Введение	72
4.1.1 Оценки классификатора.....	73
4.2 Байесовский классификатор.....	74
4.2.1 Наивный байесовский классификатор.....	75
4.3 Другие модели: TAN, BAN	79
4.4 Частично наивные байесовские классификаторы.....	80
4.5 Многомерные байесовские классификаторы.....	84
4.5.1 Многомерные классификаторы на основе байесовских сетей.....	85
4.5.2 Байесовские классификаторы на основе цепи.....	86
4.6 Иерархическая классификация	88
4.6.1 Оценка цепного пути	89
4.7 Приложения	91
4.7.1 Визуальное определение кожи человека на изображениях.....	91
4.7.2 Выбор лекарственных средств для лечения вируса иммунодефицита человека.....	94
4.8 Материалы для дополнительного чтения.....	96
4.9 Задания и упражнения	96
Ссылки на источники	97
Глава 5. Скрытые марковские модели	100
5.1 Введение	100
5.2 Марковские цепи.....	101
5.2.1 Оценка параметров.....	104
5.2.2 Сходимость.....	105
5.3 Скрытые марковские модели	106
5.3.1 Вычисление оценки.....	109
5.3.2 Оценка состояния.....	111
5.3.3 Обучение.....	114
5.3.4 Расширения	116
5.4 Приложения	118
5.4.1 Алгоритм PageRank.....	118
5.4.2 Распознавание жестов	119
5.5 Материалы для дополнительного чтения.....	122
5.6 Задания и упражнения	122
Ссылки на источники	123
Глава 6. Марковские случайные поля	125
6.1 Введение	125
6.2 Марковские сети.....	127
6.2.1 Регулярные марковские случайные поля.....	129

6.3 Случайные поля Гиббса	130
6.4 Логический вывод	131
6.5 Оценка параметров	133
6.5.1 Оценка параметров с помощью данных с метками	134
6.6 Условные случайные поля.....	135
6.7 Приложения	137
6.7.1 Сглаживание изображений.....	137
6.7.2 Расширенная аннотация изображений	139
6.8 Материалы для дополнительного чтения	142
6.9 Задания и упражнения	143
Ссылки на источники.....	144
Глава 7. Байесовские сети: представление и логический вывод	146
7.1 Введение.....	146
7.2 Представление	147
7.2.1 Структура	148
7.2.2 Параметры	152
7.3 Логический вывод.....	158
7.3.1 Односвязные сети: алгоритм распространения доверия.....	160
7.3.2 Многосвязные сети	165
7.3.3 Приближенный логический вывод.....	174
7.3.4 Наиболее вероятное объяснение	177
7.3.5 Непрерывные переменные	178
7.4 Приложения.....	180
7.4.1 Валидация информации	180
7.4.2 Анализ надежности.....	185
7.5 Материалы для дополнительного чтения	187
7.6 Задания и упражнения.....	188
Ссылки на источники.....	189
Глава 8. Байесовские сети: обучение.....	191
8.1 Введение	191
8.2 Обучение параметров	191
8.2.1 Сглаживание.....	192
8.2.2 Неопределенность параметров.....	192
8.2.3 Недостаточный объем данных.....	194
8.2.4 Дискретизация.....	198
8.3 Обучение структуры	200
8.3.1 Обучение дерева.....	200
8.3.2 Обучение полидерева.....	203
8.3.3 Методики поиска с оценкой.....	204
8.3.4 Методики проверки независимости	211
8.4 Объединение экспертных знаний и имеющихся данных	212
8.5 Приложения	213
8.5.1 Модель загрязнения воздуха в Мехико-сити	214
8.6 Материалы для дополнительного чтения	217

8.7 Задания и упражнения	217
Ссылки на источники	219
Глава 9. Динамические и временные байесовские сети.....	221
9.1 Введение	221
9.2 Динамические байесовские сети	222
9.2.1 Логический вывод.....	223
9.2.2 Обучение.....	224
9.3 Временные сети событий.....	226
9.3.1 Байесовские сети с временными узлами.....	226
9.4 Приложения	233
9.4.1 Динамические байесовские сети: распознавание жестов	233
9.4.2 Байесовская сеть с временными узлами: прогнозирование вариантов мутаций ВИЧ	238
9.5 Материалы для дополнительного чтения.....	242
9.6 Задания и упражнения.....	242
Ссылки на источники	243
Часть III. Модели принятия решений.....	245
Глава 10. Графы принятия решений	246
10.1 Введение.....	246
10.2 Теория принятия решений.....	247
10.2.1 Основы теории принятия решений	247
10.3 Деревья решений.....	251
10.4 Диаграммы влияния.....	254
10.4.1 Моделирование.....	254
10.4.2 Оценка.....	256
10.4.3 Расширения.....	261
10.5 Приложения.....	262
10.5.1 Медработник, принимающий теоретические решения	262
10.6 Материалы для дополнительного чтения	266
10.7 Задания и упражнения.....	266
Ссылки на источники	268
Глава 11. Марковские процессы принятия решений	269
11.1 Введение.....	269
11.2 Моделирование	270
11.3 Вычисление оценки	273
11.3.1 Итерация значения	273
11.3.2 Итерация стратегии	274
11.4 Факторизованные марковские процессы принятия решений	275
11.4.1 Абстракция.....	277
11.4.2 Декомпозиция.....	278
11.5 Частично наблюдаемые марковские процессы принятия решений	279
11.6 Приложения.....	280
11.6.1 Управление электростанцией.....	280

11.6.2 Согласование задач робота.....	283
11.7 Материалы для дополнительного чтения.....	289
11.8 Задания и упражнения.....	289
Ссылки на источники.....	291
Часть IV. Реляционные и причинно-следственные модели.....	293
Глава 12. Реляционные вероятностные графовые модели.....	294
12.1 Введение.....	294
12.2 Логика.....	296
12.2.1 Логика высказываний.....	296
12.2.2 Логика предикатов первого порядка.....	297
12.3 Вероятностные реляционные модели.....	300
12.3.1 Логический вывод.....	302
12.3.2 Обучение.....	302
12.4 Марковские логические сети.....	302
12.4.1 Логический вывод.....	305
12.4.2 Обучение.....	305
12.5 Приложения.....	306
12.5.1 Моделирование студента.....	306
12.6 Вероятностная реляционная модель студента.....	307
12.6.1 Визуальные грамматики.....	310
12.7 Материалы для дополнительного чтения.....	312
12.8 Задания и упражнения.....	313
Ссылки на источники.....	314
Глава 13. Графовые причинно-следственные модели.....	316
13.1 Введение.....	316
13.2 Причинно-следственные байесовские сети.....	318
13.3 Обоснование причин.....	320
13.3.1 Прогноз.....	320
13.3.2 Контрфактуальный анализ.....	322
13.4 Обучение причинно-следственных моделей.....	323
13.5 Приложения.....	325
13.5.1 Обучение причинно-следственной модели для синдрома дефицита внимания и гиперактивности.....	325
13.6 Материалы для дополнительного чтения.....	327
13.7 Задания и упражнения.....	327
Ссылки на источники.....	328
Словарь терминов.....	329
Предметный указатель.....	333