

世界著名计算机教材精选

PEARSON

人工智能

一种现代的方法 (第3版)

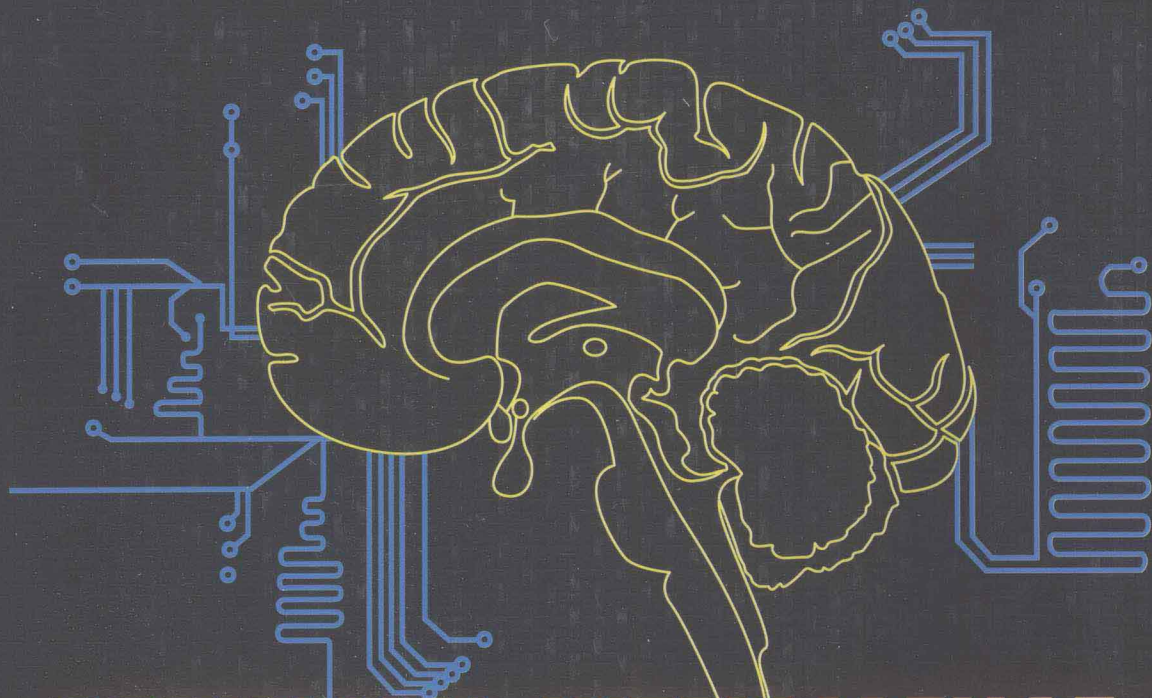
Stuart J. Russell

Peter Norvig

著

殷建平 祝恩 刘越 陈跃新 王挺

译



ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A MODERN APPROACH

Third Edition

清华大学出版社

PEARSON

ALWAYS LEARNING. ALWAYS LEARNING. ALWAYS LEARNING.

世界著名计算机教材精选

人工智能

一种现代的方法

(第3版)

Stuart J. Russell 著
Peter Norvig

殷建平 祝恩 刘越 陈跃新 王挺 译

清华大学出版社

Simplified Chinese edition copyright ©2012 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition by Stuart J. Russell, Peter Norvig © 2012

EISBN: 0136042597

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2010-3109 号

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

人工智能: 一种现代的方法(第3版)/(美)罗素(Russell, S.J.), (美)诺维格(Norvig, P.)著; 殷建平等译. —北京: 清华大学出版社, 2013

书名原文: Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition

世界著名计算机教材精选

ISBN 978-7-302-33109-4

I. ①人… II. ①罗… ②诺… ③殷… III. ①人工智能-教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第155713号

责任编辑: 龙启铭

封面设计: 常雪影

责任校对: 李建庄

责任印制: 刘海龙

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 58.5 字 数: 1462千字

版 次: 2013年11月第1版 印 次: 2013年11月第1次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 128.00元

产品编号: 035081-01

译者序

如何使各种计算系统（含软件、硬件、应用、网络、安全等系统）变得像人一样聪明，在计算技术日益普及且人们对其期望越来越高的今天显得格外重要。以理解和模拟人类智能、智能行为及其规律为目的的“人工智能”，从纵向来看，既有建立智能信息处理理论的任务，又有设计可以展现某些近似于人类智能行为的计算系统的使命；从横向来看，它包含知识工程、机器学习、模式识别、自然语言处理、智能机器人和神经计算等诸多内容。至今，基本的研究途径：一是通过为神经活动建立数学模型基于神经心理学来理解和模拟智能，二是不管智能行为的产生原因只追求在效果上实现人类的个体智能行为与群体智能行为。人工智能的目的、任务和使命决定了其研究必有跨学科的特点，必须以生理学、心理学、行为主义、社会学和哲学等学科的成就为基础，通过抽象建立形式体系，即确定知识表示方法和处理方法，最终基于恰当的数据结构和算法加以实现。

1993年初，在我从南京大学博士后流动站回到国防科技大学后给研究生讲的第一门课就是“人工智能原理”。当时，作为一门必修的核心课程，采用的是一本不错的原版教材。但因该教材后来没有出更新版，故缺少与时俱进的教学内容，于是产生了换教材的想法。1997年访美期间，在Stanford大学有幸拜访了人工智能之父John McCarthy，在探讨了有关科研问题并班门弄斧地演示了我们自己研制的一个识别系统后，我询问了他们采用的教材。他说是Stuart J. Russell和Peter Norvig编著的“Artificial Intelligence: A Modern Approach”，于是从Stanford书店买了一本带回来，从第二年开始“人工智能原理”课程便改用该书作教材。至今，15年过去了，我们一直追随其变迁，从第2版到第3版。教学实践证明它确实是一本好教材，难怪世界范围内100多个国家包括MIT、CMU、Stanford、UCB、Cornell、UIUC等国际国内名校在内的1200余所大学都一直用它作为教材或教学参考书，也难怪它印数巨大且在《高引用计算机科学文献》（《Most Cited Computer Science Citations》）一览表中名列前25内，若考虑其出版年代则名列前茅。总之，它确实是人工智能领域的一本最重要的教材（leading textbook）。

本书英文版有1100多页，教学内容非常丰富，不但涵盖了人工智能基础、问题求解、知识推理与规划等经典内容，而且还包括不确定知识与推理、机器学习、通讯感知与行动等专门知识的介绍。目前我们为本科生开设的学科基础必修课“人工智能导论”主要介绍其中的经典内容，而研究生必修的核心课程“人工智能原理”主要关注其中的专门知识。其实该书也适合希望提高自身计算系统设计水平的广大应用计算技术的社会公众，对参加信息学奥林匹克竞赛和ACM程序设计竞赛的选手及其教练员也有一定的参考作用。

教学过程中我们发现该书具有以下特点：既重历史又重前沿，既有基于统一框架的继承又有20%左右的更新与发展，既有宽度又有深度，既阐明富于启发性和思想性的见解又强调通过采用伪码来描述算法以确保可操作性和实用性，既追求通俗易懂、由浅入深又强调基本概念的严谨和表述的适度形式化，既借助实例把复杂问题简单化又保持一定的理论

概括，既设置了一定数量的课后练习题又提供了丰富的网络教学资源。

同时，我们也注意到：学生们总是反映看英文版教材速度太慢，所以他们总是想方设法再找一本中译版来阅读。正是这样的背景，在本书第3版英文影印版出版后，我们应清华大学出版社的邀请，启动了长久的翻译工程，先后参加翻译工作的老师有国防科技大学的殷建平教授、祝恩教授、刘越副教授、陈跃新副教授和王挺教授。由于水平有限且工作量巨大，译文中一定存在许多不足，在此敬请各位同行专家学者和广大读者批评指正，欢迎大家将发现的错误或提出的意见与建议发送到邮箱：longqm@tup.tsinghua.edu.cn。在整个工程即将完成之际，我们特别要感谢清华大学出版社的信任、耐心和支持。

殷建平

2013年10月于长沙

前 言

人工智能（Artificial Intelligence, AI）是一个大领域，而本书也是一本“大”书。我们试图全方位探索这个领域，它涵盖逻辑、概率和连续数学，感知、推理、学习和行动以及从微电子设备到机器人行星探测器的所有内容。本书之所以“大”还因为它有一定深度。

本书的副标题是“一种现代的方法”。使用这个相当空洞的短语希望表达的含义是，我们试图将现在已知的内容综合到一个共同的框架中，而不是试图在各自的历史背景下解释人工智能的各个子领域。对于那些自己的研究领域因此没有得到足够重视的人，我们深表歉意。

本版新变化

本版的修订反映了自本书上一版 2003 年出版以来人工智能领域发生的变化。人工智能技术有了重要应用，如广泛部署的实用言语识别、机器翻译、自主车辆和家用机器人。算法有了显著突破，如西洋跳棋的解法。理论上也取得了很多进展，尤其是在概率推理、机器学习和计算机视觉等领域。我们认为最重要的是人们对这个领域认识的不断进化，我们以此为据来组织本书。本书的主要变化如下：

- 更多地强调了部分可观察和不确定的环境，特别是搜索和规划的非随机的环境。在这些环境中引入了信念状态（一个可能世界集）和状态评估（保持信念状态）的概念；本书后面加入了概率。
- 除了讨论环境的类型和 Agent 的分类，我们现在更深入地研究了 Agent 能够使用的表示类型。我们区分了原子表示（其中将世界的每个状态视作黑盒）、因子表示（其中状态是属性/值对的集合）和结构表示（其中世界由对象及对象间关系组成）。
- 在规划部分更深入地研究了部分可观察环境中的连续规划，还包括了一种层次规划的新方法。
- 在一阶概率模型中加入了新内容，包括了针对对象存在环境中的不确定性的开放-世界模型。
- 完全重写了机器学习导论章节，更宽泛地研究了更流行的学习算法，并使之具有更坚实的理论基础。
- 扩展了 Web 搜索和信息抽取以及从超大数据集学习的技术。
- 本版 20% 的引用是 2003 年以后发表的工作。
- 估计有 20% 的材料是相当新的。其余的 80% 反映了以往的工作，但也被大规模重写，以便提供一个关于本领域的更统一的视图。

本书概览

统一的主题思想是**智能 Agent**。我们将人工智能定义为对从环境中感知信息并执行行动的 Agent 的研究。每个这样的 Agent 实现一个把感知序列映射到行动的函数，我们讨论了表达这些函数的不同方法，如反应式 Agent、实时规划器和决策理论系统等。我们把学习的角色解释为把设计者的视角扩展到未知环境中，并且指出了这个角色如何约束 Agent 设计，有利于显式的知识表示和推理。我们没有把机器人学和视觉当作独立问题对待，而是出现于实现目标的服务中。我们强调在确定合适的 Agent 设计时任务环境的重要性。

我们的主要目的是要传达过去五十年间的人工智能研究和过去两千年的相关工作中所涌现出来的思想。在表达这些思想的过程中，我们在保持准确的同时尽力避免在表示上过分形式化。我们使用伪代码算法以使关键思想更具体；这些伪代码在附录 B 中有描述。

本书主要用作本科课程或者系列课程的教科书。本书共有 27 章，每一章大概相当于一周的课程量，因此，通学本书的全部内容需要两学期。一个学期的课程可以按教师和学生的兴趣选择书中的部分章节。本书也可以用于研究生教学（可能需要加入参考文献中建议的主要资料）。本书的网站 <http://aima.cs.berkeley.edu> 上有教学大纲样本。唯一的前提是对计算机科学中基本概念（算法、数据结构、复杂性）的熟悉程度达到大学二年级水平。大学一年级时学习的微积分和线性代数对一些主题也很有用；必要的数学背景列在附录 A 中。

每章最后都有习题。这些习题最好借助 <http://aima.cs.berkeley.edu> 的代码库加以解决。部分习题足够大，可以用作学期项目。一些习题要求对文献进行调研。

书中索引大约有 6000 个词条，以帮助读者查找信息。

使用网站

本书网站 <http://aima.cs.berkeley.edu> 上包含：

- 书中算法的多种程序设计语言的实现。
- 超过 1000 所使用本书的学校列表，多数包括对在线课程资源和教学大纲的链接。
- 800 多个含有有用 AI 内容的网站列表及相关注释。
- 逐章列出了补充材料及其链接。
- 如何加入本书讨论组的介绍。
- 如何联系作者，提出问题和建议的介绍。
- 错误在所难免，关于如何报告书中错误的介绍。
- 为教师准备的幻灯片及其他资源。

致谢

即使名字未能列在封面上，但离开了这些人的贡献是不可能没有本书的。Jitendra Malik 和 David Forsyth 撰写了第 24 章（感知），Sebastian Thrun 撰写了第 25 章（机器人学）。Vibhu Mittal 撰写了第 22 章（自然语言处理）的一部分。Nick Hay, Mehran Sahami 和 Ernest

Davis 编写了书中的一些习题。Zoran Duric (George Mason), Thomas C. Henderson (Utah), Leon Reznik (RIT), Michael Gourley (Central Oklahoma) 和 Ernest Davis (NYU) 审阅了书稿并给出了有益的建议。我们要特别感谢 Ernie Davis, 他不知疲倦地阅读了多个草稿, 使本书提高了水准。Nick Hay 整理了参考文献, 并在截止日到来之际彻夜未眠编写代码直到清晨五点半, 使本书变得更好。Jon Barron 使本版的图表更加规范更具水准, 而 Tim Huang、Mark Paskin 和 Cynthia Bruyns 在上一版的图表和算法上提供了帮助。Ravi Mohan 和 Ciaran O'Reilly 编写并维护了网站上的 Java 代码。John Canny 编写了第一版的机器人学, Douglas Edwards 考察了历史注释。Pearson 的 Tracy Dunkelberger、Allison Michael、Scott Disanno 和 Jane Bonnell 等人竭尽全力帮助我们保持进度并给出了很多有益的建议。最有帮助的是 Julie Sussman, P.P.A., 她阅读了每一章并提供了大量的改进。上一版的校稿人员会告诉我们掉了一个逗号, 该是 that 的地方写成了 which; Julie 会指出我们掉了一个减号, 在该写 x_j 的地方写成了 x_i 。对于书中的拼写错误和容易产生困惑的描述, 让人放心的是 Julie 至少修订了五处。她甚至在停电没有 LCD 时也坚持用灯笼工作。

Stuart 感谢他的父母不断的支持和鼓励, 感谢他的妻子 Loy Sheflott 的无尽耐心和无穷智慧。他希望 Gordon、Lucy、George 和 Isaac 在原谅他花费很多时间在这本书上之后, 能很快读到本书。RUGS (Russell's Unusual Group of Students, Russell 的非常学生小组) 一如既往地提供了非同寻常的帮助。

Peter 感谢他的父母 (Torsten 和 Gerda) 帮助他迈出的第一步, 感谢他的妻子 (Kris), 孩子 (Bella 和 Juliet), 以及所有在他长时间的写作与更长时间的改写过程中鼓励和宽容他的同事和朋友们。

感谢伯克利 (Berkeley)、斯坦福 (Stanford) 和 NASA 图书馆的工作人员以及 CiteSeer、维基百科和 Google 的开发人员, 是他们为我们带来了研究方式的彻底变革。我们无法感谢到所有使用过本书并为本书提出过建议的读者, 不过我们在此还是要感谢来自下面这些读者的特别有益的意见: Gagan Aggarwal, Eyal Amir, Ion Androustopoulos, Krzysztof Apt, Warren Haley Armstrong, Ellery Aziel, Jeff Van Baalen, Darius Bacon, Brian Baker, Shumeet Baluja, Don Barker, Tony Barrett, James Newton Bass, Don Beal, Howard Beck, Wolfgang Bibel, John Binder, Larry Bookman, David R. Boxall, Ronen Brafman, John Bresina, Gerhard Brewka, Selmer Bringsjord, Carla Brodley, Chris Brown, Emma Brunskill, Wilhelm Burger, Lauren Burka, Carlos Bustamante, Joao Cachopo, Murray Campbell, Norman Carver, Emmanuel Castro, Anil Chakravarthy, Dan Chisarick, Berthe Choueiry, Roberto Cipolla, David Cohen, James Coleman, Julie Ann Comparini, Corinna Cortes, Gary Cottrell, Ernest Davis, Tom Dean, Rina Dechter, Tom Dietterich, Peter Drake, Chuck Dyer, Doug Edwards, Robert Egginton, Asma'a El-Budrawy, Barbara Engelhardt, Kutluhan Erol, Oren Etzioni, Hana Filip, Douglas Fisher, Jeffrey Forbes, Ken Ford, Eric Fosler-Lussier, John Fosler, Jeremy Frank, Alex Franz, Bob Futrelle, Marek Galecki, Stefan Gerberding, Stuart Gill, Sabine Glesner, Seth Golub, Gosta Grahne, Russ Greiner, Eric Grimson, Barbara Grosz, Larry Hall, Steve Hanks, Othar Hansson, Ernst Heinz, Jim Hendler, Christoph Herrmann, Paul Hilfinger, Robert Holte, Vasant Honavar, Tim Huang, Seth Hutchinson, Joost Jacob, Mark Jelasity, Magnus Johansson, Istvan Jonyer, Dan Jurafsky, Leslie Kaelbling, Keiji Kanazawa, Surekha Kasibhatla, Simon Kasif, Henry Kautz,

Gernot Kerschbaumer, Max Khesin, Richard Kirby, Dan Klein, Kevin Knight, Roland Koenig, Sven Koenig, Daphne Koller, Rich Korf, Benjamin Kuipers, James Kurien, John Lafferty, John Laird, Gus Larsson, John Lazzaro, Jon LeBlanc, Jason Leatherman, Frank Lee, Jon Lehto, Edward Lim, Phil Long, Pierre Louveaux, Don Loveland, Sridhar Mahadevan, Tony Mancill, Jim Martin, Andy Mayer, John McCarthy, David McGrane, Jay Mendelsohn, Risto Miikkulanien, Brian Milch, Steve Minton, Vibhu Mittal, Mehryar Mohri, Leora Morgenstern, Stephen Muggleton, Kevin Murphy, Ron Musick, Sung Myaeng, Eric Nadeau, Lee Naish, Pandu Nayak, Bernhard Nebel, Stuart Nelson, XuanLong Nguyen, Nils Nilsson, Illah Nourbakhsh, Ali Nouri, Arthur Nunes-Harwitt, Steve Omohundro, David Page, David Palmer, David Parkes, Ron Parr, Mark Paskin, Tony Passera, Amit Patel, Michael Pazzani, Fernando Pereira, Joseph Perla, Wim Pijls, Ira Pohl, Martha Pollack, David Poole, Bruce Porter, Malcolm Pradhan, Bill Pringle, Lorraine Prior, Greg Provan, William Rapaport, Deepak Ravichandran, Ioannis Refanidis, Philip Resnik, Francesca Rossi, Sam Roweis, Richard Russell, Jonathan Schaeffer, Richard Scherl, Hinrich Schuetze, Lars Schuster, Bart Selman, Soheil Shams, Stuart Shapiro, Jude Shavlik, Yoram Singer, Satinder Singh, Daniel Sleator, David Smith, Bryan So, Robert Sproull, Lynn Stein, Larry Stephens, Andreas Stolcke, Paul Stradling, Devika Subramanian, Marek Suchenek, Rich Sutton, Jonathan Tash, Austin Tate, Bas Terwijn, Olivier Teytaud, Michael Thielscher, William Thompson, Sebastian Thrun, Eric Tiedemann, Mark Torrance, Randall Upham, Paul Utgoff, Peter van Beek, Hal Varian, Paulina Varshavskaya, Sunil Vemuri, Vandi Verma, Ubbo Visser, Jim Waldo, Toby Walsh, Bonnie Webber, Dan Weld, Michael Wellman, Kamin Whitehouse, Michael Dean White, Brian Williams, David Wolfe, Jason Wolfe, Bill Woods, Alden Wright, Jay Yagnik, Mark Yasuda, Richard Yen, Eliezer Yudkowsky, Weixiong Zhang, Ming Zhao, Shlomo Zilberstein 以及我们尊敬的同事匿名审稿者。

关于作者

Stuart Russell 1962 年生于英格兰的 Portsmouth。他于 1982 年以一等成绩在牛津大学获得物理学学士学位，并于 1986 年在斯坦福大学获得计算机科学的博士学位。之后他进入加州大学伯克利分校，任计算机科学教授，智能系统中心主任，拥有 Smith-Zadeh 工程学讲座教授头衔。1990 年他获得国家科学基金的“总统青年研究者奖”（Presidential Young Investigator Award），1995 年他是“计算机与思维奖”（Computer and Thought Award）的获得者之一。1996 年他是加州大学的 Miller 教授（Miller Professor），并于 2000 年被任命为首席讲座教授（Chancellor’s Professorship）。1998 年他在斯坦福大学做过 Forsythe 纪念演讲（Forsythe Memorial Lecture）。他是美国人工智能学会的会士和前执行委员会委员。他已经发表 100 多篇论文，主题广泛涉及人工智能领域。他的其他著作包括《在类比与归纳中使用知识》（*The Use of Knowledge in Analogy and Induction*），以及（与 Eric Wefald 合著的）《做正确的事情：有限理性的研究》（*Do the Right Thing: Studies in Limited Rationality*）。

Peter Norvig 现为 Google 研究院主管（Director of Research），2002—2005 年为负责核心 Web 搜索算法的主管。他是美国人工智能学会的会士和 ACM 的会士。他曾经是 NASA Ames 研究中心计算科学部的主任，负责 NASA 在人工智能和机器人学领域的研究与开发，他作为 Junglee 的首席科学家帮助开发了一种最早的互联网信息抽取服务。他在布朗（Brown）大学获得应用数学学士学位，在加州大学伯克利分校获得计算机科学的博士学位。他获得了伯克利“卓越校友和工程创新奖”，从 NASA 获得了“非凡成就勋章”。他曾任南加州大学的教授，并是伯克利的研究员。他的其他著作包括《人工智能程序设计范型：通用 Lisp 语言的案例研究》（*Paradigms of AI Programming: Case Studies in Common Lisp*）和《Verbmobil：一个面对面对话的翻译系统》（*Verbmobil: A Translation System for Face-to-Face Dialog*），以及《UNIX 的智能帮助系统》（*Intelligent Help Systems for UNIX*）。

目 录

第 I 部分 人 工 智 能

第 1 章 绪论	3
1.1 什么是人工智能	3
1.2 人工智能的基础	6
1.3 人工智能的历史	16
1.4 最新发展水平	27
1.5 本章小结	28
参考文献与历史注释	29
习题	29
第 2 章 智能 Agent	32
2.1 Agent 和环境	32
2.2 好的行为：理性的概念	34
2.3 环境的性质	37
2.4 Agent 的结构	41
2.5 本章小结	52
参考文献与历史注释	52
习题	54

第 II 部分 问 题 求 解

第 3 章 通过搜索进行问题求解	59
3.1 问题求解 Agent	59
3.2 问题实例	64
3.3 通过搜索求解	68
3.4 无信息搜索策略	73
3.5 有信息（启发式）的搜索策略	82
3.6 启发式函数	91
3.7 本章小结	95
参考文献与历史注释	96
习题	99
第 4 章 超越经典搜索	105
4.1 局部搜索算法和最优化问题	105
4.2 连续空间中的局部搜索	113

4.3	使用不确定动作的搜索	115
4.4	使用部分可观察信息的搜索	119
4.5	联机搜索 Agent 和未知环境	126
4.6	本章小结	131
	参考文献与历史注释	131
	习题	134
第 5 章	对抗搜索	137
5.1	博弈	137
5.2	博弈中的优化决策	139
5.3	α - β 剪枝	141
5.4	不完美的实时决策	144
5.5	随机博弈	149
5.6	部分可观察的博弈	152
5.7	博弈程序发展现状	155
5.8	其他途径	157
5.9	本章小结	159
	参考文献与历史注释	159
	习题	164
第 6 章	约束满足问题	169
6.1	定义约束满足问题	169
6.2	约束传播：CSP 中的推理	173
6.3	CSP 的回溯搜索	178
6.4	CSP 局部搜索	183
6.5	问题的结构	184
6.6	本章小结	188
	参考文献与历史注释	188
	习题	191

第Ⅲ部分 知识、推理与规划

第 7 章	逻辑 Agent	197
7.1	基于知识的 Agent	197
7.2	Wumpus 世界	199
7.3	逻辑	201
7.4	命题逻辑：一种简单逻辑	204
7.5	命题逻辑定理证明	209
7.6	有效的命题逻辑模型检验	217
7.7	基于命题逻辑的 Agent	221
7.8	本章小结	229

参考文献与历史注释	230
习题	233
第 8 章 一阶逻辑	238
8.1 重温表示	238
8.2 一阶逻辑的语法和语义	242
8.3 运用一阶逻辑	250
8.4 一阶逻辑的知识工程	255
8.5 本章小结	260
参考文献与历史注释	261
习题	262
第 9 章 一阶逻辑的推理	268
9.1 命题推理与一阶推理	268
9.2 合一和提升	270
9.3 前向链接	274
9.4 反向链接	280
9.5 归结	287
9.6 本章小结	296
参考文献与历史注释	297
习题	299
第 10 章 经典规划	304
10.1 经典规划的定义	304
10.2 状态空间搜索规划算法	309
10.3 规划图	314
10.4 其他经典规划方法	321
10.5 规划方法分析	325
10.6 本章小结	326
参考文献与历史注释	326
习题	329
第 11 章 现实世界的规划与行动	332
11.1 时间、调度和资源	332
11.2 分层规划	336
11.3 非确定性领域中的规划与行动	343
11.4 多 Agent 规划	351
11.5 本章小结	355
参考文献与历史注释	356
习题	359
第 12 章 知识表示	361
12.1 本体论工程	361
12.2 类别和对象	363

12.3 事件	368
12.4 精神事件和精神对象	372
12.5 类别的推理系统	375
12.6 缺省信息推理	379
12.7 互联网购物世界	383
12.8 本章小结	387
参考文献与历史注释	388
习题	392

第IV部分 不确定知识与推理

第13章 不确定性的量化	401
13.1 不确定环境下的行动	401
13.2 基本概率符号	404
13.3 使用完全联合分布进行推理	410
13.4 独立性	413
13.5 贝叶斯规则及其应用	414
13.6 重游 wumpus 世界	417
13.7 本章小结	420
参考文献与历史注释	420
习题	422
第14章 概率推理	426
14.1 不确定性问题域中的知识表示	426
14.2 贝叶斯网络的语义	428
14.3 条件分布的有效表示	433
14.4 贝叶斯网络中的精确推理	436
14.5 贝叶斯网络中的近似推理	443
14.6 关系和一阶概率模型	450
14.7 不确定推理的其他方法	456
14.8 本章小结	461
参考文献与历史注释	461
习题	466
第15章 时间上的概率推理	473
15.1 时间与不确定性	473
15.2 时序模型中的推理	476
15.3 隐马尔可夫模型	483
15.4 卡尔曼滤波器	487
15.5 动态贝叶斯网络	493
15.6 跟踪多个对象	500

15.7 本章小结	503
参考文献与历史注释	503
习题	506
第 16 章 制定简单决策	509
16.1 在不确定环境下结合信念与愿望	509
16.2 效用理论基础	510
16.3 效用函数	513
16.4 多属性效用函数	519
16.5 决策网络	522
16.6 信息价值	524
16.7 决策理论专家系统	528
16.8 本章小结	530
参考文献与历史注释	531
习题	534
第 17 章 制定复杂决策	538
17.1 序列式决策问题	538
17.2 价值迭代	543
17.3 策略迭代	547
17.4 部分可观察的 MDP	548
17.5 多 Agent 的决策: 博弈论	555
17.6 机制设计	565
17.7 本章小结	570
参考文献与历史注释	570
习题	573

第 V 部分 学 习

第 18 章 样例学习	579
18.1 学习形式	579
18.2 监督学习	581
18.3 学习决策树	582
18.4 评估和选择最佳假说	591
18.5 学习理论	595
18.6 带线性模型的回归和分类	599
18.7 人工神经网络	606
18.8 非参数化模型	614
18.9 支持向量机	619
18.10 组合学习	622
18.11 机器学习实例	626

18.12 本章小结	629
参考文献与历史注释	630
习题	634
第 19 章 学习中的知识	639
19.1 学习的逻辑公式化	639
19.2 学习中的知识	645
19.3 基于解释的学习	648
19.4 使用相关性信息学习	651
19.5 归纳逻辑程序设计	654
19.6 本章小结	662
参考文献与历史注释	662
练习	664
第 20 章 学习概率模型	666
20.1 统计学习	666
20.2 带完整数据的学习	669
20.3 隐变量学习：EM 算法	677
20.4 本章小结	684
参考文献与历史注释	684
习题	686
第 21 章 强化学习	688
21.1 引言	688
21.2 被动强化学习	689
21.3 主动强化学习	695
21.4 强化学习中的泛化	700
21.5 策略搜索	702
21.6 强化学习的应用	704
21.7 本章小结	706
参考文献与历史注释	707
习题	710

第VI部分 通讯、感知与行动

第 22 章 自然语言处理	715
22.1 语言模型	715
22.2 文本分类	719
22.3 信息检索	721
22.4 信息抽取	727
22.5 本章小结	735
参考文献与历史注释	735

习题	737
第 23 章 用于通讯的自然语言	740
23.1 短语结构语法	740
23.2 句法分析	743
23.3 扩展文法和语义解释	747
23.4 机器翻译	755
23.5 语音识别	760
23.6 本章小结	765
参考文献与历史注释	766
习题	769
第 24 章 感知	774
24.1 图像生成	775
24.2 图像预处理	780
24.3 基于外观的物体识别	785
24.4 重建三维世界	789
24.5 基于结构的物体识别	797
24.6 视觉应用	799
24.7 本章小结	802
参考文献与历史注释	803
习题	805
第 25 章 机器人学	807
25.1 引言	807
25.2 机器人硬件	809
25.3 机器人的感知	813
25.4 运动规划	819
25.5 规划不确定的运动	825
25.6 运动	828
25.7 机器人软件体系结构	833
25.8 应用领域	836
25.9 本章小结	839
参考文献与历史注释	840
习题	843

第Ⅶ部分 结 论

第 26 章 哲学基础	851
26.1 弱人工智能：机器能够智能地行动吗	851
26.2 强人工智能：机器真能思考吗	856
26.3 发展人工智能的道德规范与风险	862