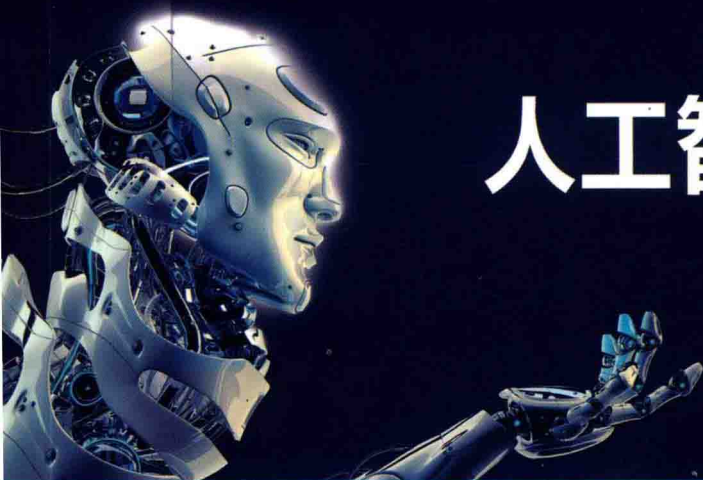


· 倪建军 史朋飞 罗成名 编著 ·

人工智能与机器人



科学出版社

人工智能与机器人

倪建军 史朋飞 罗成名 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书旨在系统介绍人工智能与机器人研究领域的相关基础理论,同时展示国内外最新的研究成果,全书分为人工智能基础与智能机器人两大部分,共17章。第一部分主要介绍人工智能的基本概念、知识工程、确定性推理、不确定性推理、搜索技术、人工神经网络、机器学习、进化计算与群体智能、分布式人工智能等内容。第二部分主要介绍智能机器人的定义和研究领域、机器人感知、机器人定位与建图、机器人导航、机器人路径规划、多机器人系统、生物启发式方法在机器人中的应用、智能机器人设计与开发等内容。

本书主要作为自动化、机器人、计算机、电子信息、机电一体化等专业高年级本科生、研究生学习人工智能及智能机器人相关课程的教材。书中第一部分与第二部分相对独立,可以根据不同课程的教学大纲进行选择。本书也可以供人工智能与机器人相关研究人员和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能与机器人/倪建军,史朋飞,罗成名编著.—北京:科学出版社,2019.10

ISBN 978-7-03-062417-8

I. ①人… II. ①倪…②史…③罗… III. ①人工智能②智能机器人
IV. ①TP18②TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019) 第 207167 号

责任编辑:惠 雪/责任校对:杨聪敏
责任印制:师艳茹/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市宏图印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年10月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年12月第二次印刷 印张:21 1/4

字数:500 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

人工智能是解释和模拟人类智能、智能行为及其规律的学科，其研究目的就是实现一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，主要研究内容包括机器感知、机器思维、机器学习和机器行为等。而机器人，特别是智能机器人是具有感知、规划、决策等能力，能够独立自主地工作和完成复杂任务的智能系统或装置，融合了人工智能、控制论、机械电子等技术。因此，智能机器人的发展离不开人工智能基本原理的指导，反过来，智能机器人的发展对人工智能将产生新的推动作用。

2017年，国务院正式印发《新一代人工智能发展规划》，该发展规划推进的基本原则是科技引领、系统布局、市场主导、开源开放。把高端人才队伍建设作为人工智能发展的重中之重，坚持培养和引进相结合，完善人工智能教育体系，加强人才储备和梯队建设，形成我国人工智能人才高地。越来越多的高校瞄准人工智能与机器人领域，聚焦核心人才培养，必须要加快该领域科技成果和资源向教育教学转化，推动人工智能和机器人重要方向的教材建设。目前，关于人工智能和机器人方面的学术著作比较多，但缺少合适的教材，特别是将两者内容编入同一本教材，在注重理论基础的同时，又体现最新技术研究进展的教材非常少。为此，《人工智能与机器人》一书在倪建军主编多年从事智能计算、智能机器人等方面的科研和教学工作，以及为本科生和研究生主讲“智能控制”“智能机器人”专业基础课讲义的基础上，根据其和研究团队各位老师的科研成果和教学经验，以及与学生的讨论结果，参考其他优秀学术著作和教材编写而成，力求为广大读者学习人工智能和机器人提供帮助和参考。

全书分为人工智能基础与智能机器人两大部分，共17章。第一部分(第1~9章)主要介绍人工智能的基本概念与发展简史、知识工程、确定性推理、不确定性推理、搜索技术、人工神经网络、机器学习、进化计算与群体智能、分布式人工智能等内容。第二部分(第10~17章)主要介绍智能机器人的定义和研究领域、机器人发展简史、机器人感知、机器人定位与建图、机器人导航、机器人路径规划、多机器人系统、生物启发式方法在机器人中的应用、智能机器人设计与开发等内容。每部分既可以单独作为相关课程的教材，也可以作为人工智能原理及应用、智能机器人、智能控制等课程的参考教材。

本书由倪建军担任主编，全面负责本书的撰写工作，史朋飞、罗成名参与部分章节的撰写。感谢河海大学范新南教授、朱金秀副教授以及其他兄弟高校相关老师的专业指导和大力支持。本书的出版得到了江苏高校品牌专业建设工程项目(项目编号:PPZY2015B141)的资助。

在本书的编写过程中参考了很多优秀的教材、著作、学术论文等资料，引用文献已尽可能一一列出，但由于文献资料较多，疏漏在所难免，在此表示歉意，并向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。由于作者学识有限，书中难免会有疏漏之处，恳请专家、同行和读者批评指正。

作 者

2019 年 4 月

目 录

前言

第一部分 人工智能基础

第 1 章 人工智能概述	3
1.1 人工智能的基本概念	3
1.1.1 人工智能的定义	3
1.1.2 人工智能的研究目标	5
1.2 人工智能发展简史	6
1.2.1 孕育期	6
1.2.2 形成期	6
1.2.3 发展和应用期	8
1.3 人工智能的不同学派	10
1.3.1 符号主义学派	10
1.3.2 联结主义学派	11
1.3.3 行为主义学派	11
1.3.4 三大学派的综合集成	12
1.4 人工智能研究的基本内容	12
1.5 人工智能的主要研究领域	13
1.6 人工智能与机器人的关系	21
课后习题	21
第 2 章 知识工程	22
2.1 知识表示方法	22
2.1.1 一阶谓词逻辑表示法	22
2.1.2 产生式表示法	28
2.1.3 框架表示法	29
2.1.4 语义网络表示法	32
2.2 知识获取	38
2.3 知识管理与知识工程	39
2.3.1 知识管理	39
2.3.2 知识工程	39
2.3.3 知识管理系统	40
课后习题	41

第 3 章 确定性推理	43
3.1 推理方法概述	43
3.1.1 推理的定义	43
3.1.2 推理方式分类	43
3.1.3 推理的控制策略	44
3.2 自然演绎推理	50
3.3 归结演绎推理	51
3.3.1 归结演绎推理的逻辑基础	51
3.3.2 海伯伦定理	55
3.3.3 罗宾逊归结原理	56
3.3.4 归结演绎推理	60
课后习题	62
第 4 章 不确定性推理	64
4.1 不确定性推理概述	64
4.2 基本概率方法	65
4.2.1 贝叶斯理论	65
4.2.2 简单概率推理	66
4.3 主观贝叶斯推理	67
4.3.1 知识不确定性的表示	67
4.3.2 证据不确定性的表示	68
4.3.3 组合证据不确定性算法	68
4.3.4 不确定性的传递算法	69
4.3.5 结论不确定性的合成算法	70
4.3.6 主观贝叶斯方法的优缺点	72
4.4 模糊推理	73
4.4.1 模糊数学基础	73
4.4.2 简单模糊推理	76
4.5 证据理论	79
4.5.1 证据理论的基本概念	79
4.5.2 基于证据理论的不确定性推理	80
4.6 粗糙集理论	82
课后习题	85
第 5 章 搜索技术	87
5.1 状态空间搜索技术	87
5.2 盲目搜索策略	90
5.2.1 广度优先搜索	90
5.2.2 深度优先搜索	91
5.2.3 有界深度优先搜索	92

5.2.4 代价推进搜索	94
5.3 启发式搜索算法	96
5.3.1 启发式搜索算法基本概念	96
5.3.2 局部择优搜索	97
5.3.3 全局择优搜索	98
5.3.4 图的有序搜索算法	100
课后习题	101
第 6 章 神经网络	102
6.1 神经网络概述	102
6.1.1 神经网络发展史	102
6.1.2 神经网络特点	103
6.2 神经网络基本原理	104
6.2.1 神经元数学模型	104
6.2.2 人工神经元转移函数	105
6.2.3 神经网络分类	107
6.3 神经网络主要算法	109
6.3.1 BP 神经网络	109
6.3.2 RBF 神经网络	111
6.3.3 Hopfield 神经网络	113
6.3.4 自组织神经网络	115
6.4 模糊神经网络	117
课后习题	120
第 7 章 机器学习	121
7.1 机器学习概述	121
7.1.1 机器学习的主要策略	122
7.1.2 机器学习系统的基本结构	122
7.2 决策树学习	123
7.3 贝叶斯学习	127
7.3.1 贝叶斯公式的密度函数形式	127
7.3.2 贝叶斯法则	128
7.3.3 朴素贝叶斯学习	129
7.3.4 贝叶斯信念网	129
7.4 统计学习	131
7.4.1 机器学习问题表示	131
7.4.2 学习过程的一致性条件	132
7.4.3 函数集的学习性能与 VC 维	133
7.4.4 推广性的界	134
7.4.5 结构风险最小化	134

7.4.6 支持向量机	135
7.5 强化学习	137
7.5.1 强化学习概述	137
7.5.2 Q 学习	139
7.5.3 强化学习存在的问题	139
7.6 深度学习	140
7.6.1 深度学习概述	140
7.6.2 深度学习与神经网络	140
7.6.3 深度学习的常用模型	141
课后习题	143
第 8 章 进化计算与群体智能	144
8.1 遗传算法	144
8.1.1 遗传算法概述	144
8.1.2 遗传算法原理	145
8.1.3 遗传算法优缺点	147
8.1.4 遗传算法举例	148
8.2 进化策略	151
8.2.1 进化策略概述	151
8.2.2 (1+1)-ES 算法	152
8.2.3 进化策略算法演变	152
8.2.4 一般进化策略算法	154
8.3 蚁群算法	154
8.3.1 蚁群算法概述	154
8.3.2 蚁群算法基本原理	155
8.3.3 蚁群算法基本步骤	156
8.3.4 蚁群算法优缺点	158
8.4 粒子群优化算法	159
8.4.1 粒子群优化算法概述	159
8.4.2 PSO 基本工作原理	159
8.4.3 PSO 优缺点	161
8.4.4 应用举例	162
课后习题	164
第 9 章 分布式人工智能	165
9.1 分布式人工智能概述	165
9.1.1 分布式人工智能的特点	165
9.1.2 分布式人工智能的研究与发展	166
9.2 Agent 简介	168
9.2.1 Agent 的基本概念	168

9.2.2 Agent 的模型与结构	169
9.3 多 Agent 学习	172
9.3.1 多 Agent 学习概述	172
9.3.2 多 Agent-Q 学习算法	173
9.4 多 Agent 协调	174
9.4.1 基本概念	174
9.4.2 合同网模型	175
课后习题	177

第二部分 智能机器人

第 10 章 智能机器人概述	181
10.1 机器人发展简史	181
10.2 机器人分类	186
10.2.1 按发展程度分类	186
10.2.2 按负载能力分类	187
10.2.3 按开发内容和目的分类	187
10.2.4 按应用领域分类	188
10.3 机器人定义和主要特征	190
10.3.1 机器人定义	190
10.3.2 机器人主要特征	190
10.3.3 机器人优缺点	191
10.4 智能机器人	192
10.4.1 智能机器人概念	192
10.4.2 智能机器人关键技术	193
10.4.3 智能机器人发展与展望	195
课后习题	198
第 11 章 机器人感知	199
11.1 机器人传感器	199
11.1.1 内部传感器	199
11.1.2 外部传感器	201
11.2 图像处理与机器人视觉	203
11.2.1 图像处理基础	203
11.2.2 图像处理的常用方法	206
11.2.3 机器人视觉	211
11.3 语音识别与机器人听觉	213
11.3.1 语音识别技术简介	213
11.3.2 语音识别常用算法	215
11.3.3 机器人听觉系统	217

11.4 多源信息融合	218
11.4.1 信息融合基本概念	218
11.4.2 多源信息融合的主要方法	219
11.4.3 信息融合技术在机器人中的应用	220
课后习题	220
第 12 章 机器人定位与建图	222
12.1 机器人定位技术	222
12.1.1 经典定位方法	222
12.1.2 机器人无线定位算法	224
12.2 机器人地图构建	229
12.2.1 地图模型	229
12.2.2 基于距离测量的地图构建算法	231
12.3 机器人同时定位与建图	232
12.3.1 SLAM 基本概念	232
12.3.2 基于 EKF 的 SLAM 方法	233
12.3.3 基于 PF 的 FastSLAM 方法	235
课后习题	237
第 13 章 机器人导航	238
13.1 机器人导航概述	238
13.2 机器人导航基础知识	239
13.2.1 机器人坐标系	239
13.2.2 机器人导航方式	240
13.3 传统导航方法	242
13.3.1 航位推算法	242
13.3.2 惯性导航法	244
13.3.3 人工势场法	245
13.4 智能导航方法	250
13.4.1 基于模糊逻辑的机器人导航	250
13.4.2 基于强化学习的机器人导航	251
课后习题	253
第 14 章 机器人路径规划	254
14.1 机器人路径规划概述	254
14.1.1 路径规划的研究内容	254
14.1.2 路径规划方法分类	255
14.2 传统路径规划方法	255
14.2.1 构形空间方法	255
14.2.2 可视图法	256
14.2.3 栅格法	257

14.2.4	拓扑法	258
14.2.5	概率路径图法	259
14.3	智能路径规划方法	260
14.3.1	基于遗传算法的路径规划	260
14.3.2	基于蛙跳算法的路径规划	263
	课后习题	266
第 15 章	多机器人系统	267
15.1	多机器人系统概述	267
15.1.1	研究内容	267
15.1.2	发展现状	269
15.1.3	存在的问题	272
15.2	多机器人任务分配	273
15.2.1	任务分配方式分类	273
15.2.2	任务分配常用方法	274
15.3	多机器人路径规划	278
15.3.1	基于模糊逻辑的多机器人路径规划	278
15.3.2	基于差分进化算法的多机器人路径规划	280
15.4	多机器人编队控制	282
15.4.1	基于行为的编队方法	283
15.4.2	基于领航者的方法	285
	课后习题	287
第 16 章	生物启发式方法在机器人中的应用	288
16.1	生物启发式方法概述	288
16.1.1	生物启发式方法定义	288
16.1.2	常见生物启发式方法	290
16.2	基于生物刺激神经网络的机器人导航	296
16.2.1	生物刺激神经网络模型	296
16.2.2	基于生物刺激神经网络的机器人导航	297
16.3	仿动物空间认知的机器人 SLAM 方法	299
16.3.1	动物空间认知机理研究概述	299
16.3.2	空间认知计算模型	301
16.3.3	仿动物空间认知的 RatSLAM 算法	305
	课后习题	305
第 17 章	智能机器人设计与开发	307
17.1	智能机器人设计的基本步骤	307
17.2	机器人硬件设计与开发	308
17.2.1	主板	308
17.2.2	数据采集卡	309

17.2.3	传感器	309
17.2.4	触摸屏	311
17.2.5	无线网卡	312
17.2.6	其他硬件设备	312
17.3	机器人软件设计与开发	312
17.3.1	机器人的软件架构	312
17.3.2	机器人编程方式	315
17.3.3	机器人程序设计语言	316
17.4	机器人仿真平台	317
	课后习题	321
	参考文献	322

第一部分

人工智能基础

第1章 人工智能概述

人工智能是一门研究内容非常广泛的科学，主要包括机器感知、机器思维、机器学习和机器行为等，其研究的目的是实现一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器。人工智能的研究是高度技术性和专业的，各分支领域都是深入且大多数是各不相通的，因而涉及范围极广。人工智能在各个领域都得到更加广泛的重视，并在经济决策、自动控制、机器人、计算机模拟等领域中得到广泛的应用。当前，人工智能发展迅猛，前景光明，同时富有挑战。

本章主要介绍人工智能的基本概念、人工智能的发展简史、人工智能的不同研究学派以及人工智能研究的基本内容、主要研究领域以及与机器人的关系等内容。

1.1 人工智能的基本概念

1.1.1 人工智能的定义

1) 智能的概念

人工智能的定义可以分为两部分，即“人工”和“智能”。“人工”比较好理解，总的来说，“人工系统”就是通常意义下的人造系统。关于什么是“智能”，就问题多多了。这涉及其他诸如意识 (consciousness)、自我 (self)、思维 (mind)(包括无意识的思维) 等问题。人唯一了解的智能是人本身的智能，这是普遍认同的观点。但是人类对自身智能的理解都非常有限，对构成人的智能的必要元素也了解有限，所以就很难定义什么是“人工”制造的“智能”了。因此人工智能的研究往往涉及对人类智能本身的研究，同时包括关于动物或其他人造系统的智能的研究。

通常意义上，智能主要是指人类的自然智能，其确切含义还有待于对人脑奥秘的彻底揭示。自然智能是指人类和一些动物所具有的智力和行为能力，而人类的自然智能(简称智能)指人类在认识客观世界的过程中，由思维过程和脑力活动所表现出的综合能力。下面给出智能的主要认知观点。

思维理论：这种观点强调思维的重要性，认为智能来源于思维活动，智能的核心是思维，人的一切知识都是思维的产物。该理论期望通过对思维规律和思维方法的研究，来揭示智能的本质。

知识阈值理论：这种观点着重强调知识对智能的重要意义和作用，认为智能取决于知识的数量及其可运用程度。一个系统所具有的可运用知识越多，其智能程度就会越高。因此，该理论把智能定义为：智能就是在巨大的搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。

进化理论：该理论是由麻省理工学院 (MIT) 的布鲁克斯 (Brooks) 教授在对人造机器虫研究的基础上提出来的。他认为智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，智能不需要知识、不需要表示、不需要推理，智能可由逐步进化来实现。

上述三种认知观点是从不同的认识角度给出对智能的理解。如果从不同层次结构对智能进行分析,可以将其分为三种。

- (1) 高层智能。以大脑皮层 (抑制中枢) 为主,主要完成记忆、思维等活动。
- (2) 中层智能。以丘脑 (感觉中枢) 为主,主要完成感知活动。
- (3) 低层智能。以小脑、脊髓为主,主要完成动作反应活动。

可以看出,思维理论与知识阈值理论对应于高层智能,而进化理论对应于中层智能和低层智能。

2) 智能的本质

中国古代思想家一般把“智”与“能”看作两个相对独立的概念。《荀子·正名篇》:“所以知之在人者谓之知;知有所合谓之智。所以能之在人者谓之能;能有所合谓之能。”其中,“智”指进行认识活动的某些心理特点,“能”则指进行实际活动的某些心理特点。也有不少思想家把二者结合起来作为一个整体看待。东汉王充提出了“智能之士”的概念,《论衡·实知篇》:“故智能之士,不学不成,不问不知”“人才有高下,知物由学,学之乃知,不问不识”。他把“人才”和“智能之士”相提并论,认为人才就是具有一定智能水平的人,其实质就在于把智与能结合起来作为考察人才的标志。

关于智能的本质是什么,这个问题很难回答。通常情况下,“智能”只是被认为比仅仅“活着”高出一个或多个阶段:(人类)通常认为人类属于智能范畴,而虫子则反之。英国数学家阿兰·图灵 (Alan Turing) 在他的论文《计算机器与智能》中提出了可以通过测试确认机器具备“智能”的机器思维概念——“图灵测试”,即如果一个人类测试者在向其测试对象询问各类问题后,依然不能分辨测试对象是人还是机器,就可以认为机器是智能的 (或者更乐观地认为,机器的智能水平与人类不相上下)。

关于“智能”本质的讨论一直没有停止。1959年,美国的约翰·麦卡锡 (John McCarthy) 发表文章《具有常识的程序》,他指出,将来随着科技的发展,机器对重复性工作及计算类任务的处理能力会轻松地超越人类,拥有“常识”的智能才能被称为智能,常识主要源自时间的知识积累。1984年,德国的瓦伦蒂诺·布瑞滕堡 (Valentino Braitenberg) 出版著作《车辆》,书中指出:智能根本不需要以“智能”行为的产生为前提,而只需要一组传感器和执行器就足够了。2016年,美国的皮埃罗·斯加鲁菲在他的著作《智能的本质》中指出:将人类与机器做比较,仅仅关注大脑活动其实是绝对错误的观点。他认为一个拥有超高技巧和能力的机器人并非通常意义下的“智能”,充其量是个与钟表和复印机等工具相类似的机器罢了。

3) 人工智能

关于智能本质理解的不同,催生了人工智能的不同派别,主要包括符号主义 (symbolicism)、联结主义 (connectionism) 和行为主义 (actionism) 等学派。

关于“智能”的定义很难给出,因此,目前还没有一个关于人工智能的严格定义,具有不同学科背景的人工智能学者对它有着不同的理解。

综合不同的观点,可以从“学科”和“能力”两个方面对人工智能进行定义。

(1) 人工智能 (学科)。人工智能是计算机科学中涉及研究、设计和应用智能机器的一个分支。它的近期主要目标在于研究用机器来模仿和执行人脑的某些智力功能,并开发