

高等学校计算机专业规划教材

人工智能 实践教程

贲可荣 毛新军 张彦铎 郑笛 蔡敦波 编著

Artificial Intelligence
Theory and Practice



机械工业出版社
China Machine Press

高等学校计算机专业规划教材



人工智能 实践教程

贾可荣 毛新军 张彦铎 郑笛 蔡敦波 编著



Artificial Intelligence
Theory and Practice



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能实践教程 / 贾可荣等编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.6
(高等学校计算机专业规划教材)

ISBN 978-7-111-53869-1

I. 人… II. 贾… III. 人工智能—高等学校—教材 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 116889 号

本书共分 10 章, 每章包含知识要点、案例分析、习题及思考题。第 1 章概要介绍人工智能研究内容及应用领域、发展动态; 第 2 章概述命题逻辑、谓词逻辑、归结推理、产生式系统、语义网络、框架、脚本等知识表示和推理方法; 第 3 章讨论一般搜索技术, 概述盲目搜索、启发式搜索、问题归约和 AND-OR 图启发式搜索、博弈等方法和技术; 第 4 章讨论高级搜索, 包括爬山法搜索、模拟退火搜索、遗传算法; 第 5 章讨论不确定知识表示和推理; 第 6 章讨论智能体和多智能体系统; 第 7 章讨论自然语言处理技术; 第 8 章讨论机器学习和神经网络; 第 9 章讨论智能规划; 第 10 章讨论机器人学。本教材网址为 <http://www.trustie.net/projects/657> (人工智能实践教程社区)。我们将通过网站提供习题解析、实验工具平台和参考答案代码。

本书可作为计算机及相关专业人工智能课程的教材, 特别适用于强调人工智能实践的课程, 也可作为学习离散数学、数理逻辑、机器学习、自然语言处理、机器人等课程的参考读物, 亦可作为需要学习人工智能知识的科技人员的参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余 洁

责任校对: 殷 虹

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 21.5

书 号: ISBN 978-7-111-53869-1

定 价: 45.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前言

人工智能是计算机科学的一个分支，是一门研究机器智能的学科，即用人工的方法和技术研制智能机器或智能系统来模仿、延伸和扩展人的智能，实现智能行为。参考文献[2]给出了有代表性的人工智能的8种定义(如表1所示)。该表按上下、左右两个维度排列，上面4个定义关注思维过程与推理，下面4个定义则强调行为。左侧的定义根据与人类表现的逼真度来衡量成功与否，右侧的定义则依靠一个称为合理性的理想表现量来衡量。一个系统若能基于已知条件“正确行事”，那么它就是合理的。

表 1 组织成四类的人工智能的若干定义

像人一样思考	合理地思考
“使计算机思考的令人激动的新成就……按完整的字面意思就是：有头脑的机器”(Haugeland, 1985) “与人类思维相关的活动，诸如决策、问题求解、学习等的‘自动化’”(Bellman, 1978)	“通过使用计算模型来研究智力”(Charniak & McDermott, 1985) “使感知、推理和行动成为可能的计算的研究”(Winston, 1992)
像人一样行动	合理地行动
“创造能执行一些功能的机器的技艺，当由人来执行这些功能时需要智能”(Kurzweil, 1990) “研究如何使计算机能做那些目前人比计算机更擅长的事情”(Rich 和 Knight, 1991)	“计算智能研究智能体的设计”(Poole 等人, 1998) “AI……关心人工制品中的智能行为”(Nilsson, 1998)

人工智能一般可分为符号智能和计算智能。符号智能是传统人工智能，它以物理符号系统为基础，研究知识表示、获取、推理的过程。运用知识解决问题是符号智能最基本、最重要的特点。20 世纪 80 年代兴起的知识工程侧重研究知识信息处理的方法和技术，促进了人工智能的发展。计算智能以数据为基础，包括神经计算、模糊系统、遗传算法、进化规划等。20 世纪 90 年代兴起的智能信息处理反映了这种综合、交叉的研究趋势。进入 21 世纪以来，其在机器学习、知识发现、多智能体系统、互联网智能等方面取得了许多重要的进展。

典型应用概述

人工智能的长期目标是建立人类水平的人工智能。人工智能诞生 60 年来，在崎岖不平的道路上取得了可喜的进展，特别是给与机器学习、数据挖掘、计算机视觉、专家系统、自然语言处理、规划和智能机器人等相关的应用带来了良好的经济效益和社会效益。广泛使用的互联网应用知识表示和推理，构建语义 Web，提高了互联网信息的利用率。信息化的必然趋势是智能化，智能革命将开创人类后文明史。如果说蒸汽机创造了工业社会，那么智能机也能实现社会生产的自动化和智能化，促进知识密集型经济的大发展。近

年来,人工智能界引人关注的热点不断,如:

- 2015年7月26~27日,中国人工智能大会(CCAI 2015)在北京召开。李德毅院士报告的“脑认知的形式化”,讲述了脑认知的神经学方法与物理学方法,指出人脑成长的认知性和社会性,提出了脑认知如何度量的问题;在脑认知的形态上认为记忆认知、计算认知、交互认知是关键,脑认知的核心是记忆认知;报告着重介绍了机器驾驶脑的形式化及其实现思路,划分为感知、认知、行为三个阶段;报告还阐述了机器驾驶脑形式化的普适性,并提出了脑科学和人工智能交叉研究载体的建议。大会设置了机器学习与模式识别、大数据的机遇与挑战、人工智能与认知科学、人工智能与机器人的未来共四场主题论坛。
- 李国杰院士在《中国计算机学会通讯》2015年第8期的主编评语中指出:“我们是不是可以从更新、更宽广的角度思考机器学习和类脑计算。”文中提及美国工程院院士霍金斯的观点:大脑不是“计算”出问题的答案,而是从记忆中提取答案。霍金斯猜想:智能的本质是“预测”,并据此提出了智能的“记忆-预测框架”。
- 美国武装部队研发出一套人工智能界面,能够帮助识别和分类大量的图片,并协助军方寻找潜在的恐怖袭击等威胁。在面对庞大的互联网图片资源时,军方想要的不仅仅是识别,还需要极高的识别精确度和准确的分类。它最强大的地方莫过于能够处理庞大的图片数据库,识别图片的内容,然后根据内容将所有图片分类(智能界,2015-07-07)。
- 语音将再度流行。语音正是我们同我们的互联家庭进行互动的最完美途径。“想象一个场景,你问你的雨伞今天是否会下雨,是否应该带它出门,而你的雨伞回答道,‘当然应该带上我,今天会下雨!’这是一件多么酷的事情。”澳大利亚的维斯认为,机器视觉技术将重新迸发活力,并应用到人们的智能手机中。他举例说,如果你打算带一瓶酒去参加圣诞节的百乐餐,拿出手机就可以捕捉这瓶酒的图像,然后通过视觉搜索就能够得到关于这瓶酒的所有信息,它比文本搜索的准确率高出30%,这将是一种美妙的体验。维斯表示,智能手机的机器视觉将能够比人类更好地识别图像(中国信息产业网,2015-6-30)。
- 人工智能与其他商业模式将更加紧密地结合。微软“小冰”是一款人工智能机器人,通过大数据、深度神经网络等技术,超越简单人机对话的自然交互。“小冰”的人机对话轮数可达到23,即每次与用户的对话平均可持续23轮。以往人工智能的内容100%来自搜索引擎大数据构建系统内容,但现在“小冰”已有45%的对话能力来自人机交互中的自我完善和自我学习(新华社,2015-8-21)。
- IBM开发了一款基于云计算的人工智能文本分析工具(Tone Analyzer),能对电子邮件、博客文章以及手机短信进行感情色彩分析,以确定它的措辞是否如实地表达了你的愤怒、肯定、高兴或者悲伤等感情。这一试验性的功能或将改变未来商家和营销人员同消费者、客户的沟通方式(2015-7-20)。阿根廷研究人员开发出一种基于西班牙语的人工智能程序(名为“人格洞察力”),可以分析被测试者的微博、论坛帖子、社交网站的评论或者公开演讲,然后与心理学模型所提供的100个参数进行相关度比对,从而描绘被测试者的人格特征(新华社,2015-8-13)。
- 2015世界机器人大会于2015年11月23~25日在国家会议中心(北京)举行,由2015世界机器人论坛、2015世界机器人博览会、2015世界青少年机器人邀请赛三大板块组成。大会围绕世界机器人研究和应用重点领域以及智能社会创新发展,开

展高水平的学术交流和最新成果展示。邀请赛包括 WRO 常规赛和 VEX 机器人工程挑战赛。

- 2015 年 10 月, 由 GoogleDeepMind 开发的人工智能围棋程序 AlphaGo(阿尔法狗) 以 5:0 战胜欧洲围棋冠军樊麾。2016 年 3 月 15 日, AlphaGo 以 4:1 战胜世界围棋冠军李世石。
- AlphaGo 开发出了自我学习的功能。它最初通过模仿人类玩家, 在达到一定熟练程度之后, 可以通过与自己对弈来提升棋力。同时, AlphaGo 使用蒙特卡洛树搜索, 借助值网络与策略网络这两种深层神经网络合作挑选棋步。通过值网络来计算局面, 评估大量选点, 抛弃某些线路, 并通过策略网络选择落点, 从而将计算量控制在计算机可完成的范围内。

我们相信, 人工智能必将对人类和社会走向智能化起到积极作用。

本书特色

随着智能时代的到来, “人工智能”课程将焕发出越来越旺盛的生命力。传统的“人工智能”课程偏重理论, 随着智能技术的不断发展, 在课程中强化实践内容, 理论与实践相结合成为课程发展的主要趋势。为此, 我与国防科技大学毛新军教授、武汉工程大学张彦铎教授等人一起撰写了本书。希望读者在学习理论的同时, 通过习题、课程大作业掌握人工智能的基本方法, 并能将其用于解决实际问题。

本书共分 10 章, 每章包含四方面的内容, 一是知识要点, 二是案例分析, 三是习题解析(因为篇幅问题, 解析部分将作为教辅资料提供, 使用本书的师生可从华章网站 www.hzbook.com 下载), 四是思考题。第 1 章是绪论, 从人工智能的认知问题出发, 介绍本书撰写的指导思想, 简要介绍人工智能的研究内容及应用领域、发展动态, 案例包括 SP 先生谜题、NIM 问题。第 2 章讨论知识表示和推理, 概述命题逻辑、谓词逻辑、归结推理、产生式系统、语义网络、框架、脚本等知识表示和推理方法, 介绍了基于知识系统的框架, 案例分析包括传教士和野人问题、量水问题、汉诺塔问题、一个基于逻辑的财务顾问、电路领域的知识工程。第 3 章讨论一般搜索技术, 概述了盲目搜索、启发式搜索、问题归约和 AND-OR 图启发式搜索、博弈等方法和技术, 案例分析包括八皇后问题、洞穴探宝、五子棋等。第 4 章讨论高级搜索, 内容包括爬山法搜索、模拟退火搜索、遗传算法, 案例分析分别介绍应用爬山算法、模拟退火算法和遗传算法求解旅行商问题。第 5 章讨论不确定知识表示和推理, 概述了非单调逻辑、主观 Bayes 方法、确定性理论、证据理论、模糊逻辑和模糊推理, 案例分析包括有经纪人的交易、小型动物分类专家系统。第 6 章讨论了智能体和多智能体系统, 概述了智能体与多智能体系统的概念与示例、智能体的体系结构、智能体间的交互与协同、多智能体系统的应用, 介绍了多智能体系统的实现方式和多智能体系统开发框架 JADE, 重点对火星探矿机器人进行了案例分析。第 7 章讨论自然语言处理技术, 概述了词法分析、句法分析、语义分析、大规模真实文本的处理技术, 重点介绍了信息搜索、机器翻译、语音识别技术, 案例分析包括在线汉英互译举例分析、单词音节划分、人民日报的词频统计、中文语句自动分析、美国地理信息查询系统。第 8 章讨论机器学习和神经网络, 主要介绍基于符号的机器学习方法(包括机械学习、归纳学习、决策树学习、基于范例的学习、解释学习、强化学习)和基于神经网络的学习, 案例分析包括感知器分类、非线性可分的分类问题、基于反向传播网络拟合曲线。第 9 章讨论智能规划, 概述了状态空间搜索规划、偏序规划、命题逻辑规划、分层任务网络规

划、非确定性规划、多智能体规划，案例分析包括 Shakey 世界和规划问题的建模与规划系统的求解过程。第 10 章讨论机器人学，概述了机器人的分类、特性及研究领域、应用与展望，介绍了机器人系统、机器人的编程模式与语言，对机器人足球进行了案例分析。本书既可作为课程教材单独使用，也可与其他人工智能教材(如《人工智能》(第 2 版))《参考文献[1]等)配套使用。

本书给出了 27 个问题的案例分析，设计了 50 道思考题。思考题的设计参考了《人工智能：一种现代的方法(原书第 3 版)》(参考文献[2])、《中国计算机学会通讯》、中国计算机学会“技术动态”等资料，特此致谢。

本书第 3、4、9、10 章由张彦铎、蔡敦波撰写，第 6 章由毛新军撰写，郑笛撰写了第 7 章习题及解析和案例分析部分，其余各章(包括第 3 章案例分析及部分习题和解析)由贲可荣撰写。全书由贲可荣统稿。张献绘制了部分图形并开发了 NIM 问题程序，王求真开发并实现了第 6 章的案例软件，一并致谢。

撰写本书是一项具有挑战性的工作，许多问题没有标准答案，因此本书的答案只能看成参考答案。毛新军教授为本教材建立了网站，网站地址为 <http://www.trustie.net/projects/657>，名称为“人工智能实践教程社区”。我们将通过网站提供实验工具平台、参考答案代码，欢迎读者提出宝贵意见，并在网站讨论专区参与讨论。

贲可荣

教学建议

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 1 章 绪论	理解人工智能的基本概念 理解人工智能研究的一般原则 了解人工智能的应用领域 理解 SP 先生谜题、NIM 问题	2~4	2 (选讲)
第 2 章 知识表示和推理	掌握命题逻辑, 谓词逻辑, 归结推理, 产生式系统, 语义网络, 框架; 能够解决小型实用问题 了解人工智能对知识表示方法的要求, 知识的分类, 基于知识的系统 理解传教士和野人问题、量水问题、汉诺塔问题、一个基于逻辑的财务顾问、电路领域的知识工程	8~10	6~8 (选讲)
第 3 章 搜索技术	掌握盲目搜索方法, 启发式搜索 了解问题归约和 AND-OR 图启发式搜索, 博弈 理解八皇后问题、洞穴探宝、五子棋等	4~6	4~6 (选讲)
第 4 章 高级搜索	掌握爬山法搜索、遗传算法的基本思想 了解遗传算法的基本操作 理解应用爬山算法、模拟退火算法和遗传算法求解旅行商问题	2~4	2 (选讲)
第 5 章 不确定知识表示和推理	掌握不确定推理概念、模糊集合及其运算 了解不确定推理要解决的基本问题, 不确定性推理方法分类, 单调性与非单调性, 非单调逻辑的产生, 缺省推理逻辑, 全概率公式和 Bayes 公式, 建造医学专家系统时的的问题, C-F 模型, 假设的不确定性, 证据的不确定性, 规则的不确定性, 模糊关系, 模糊逻辑, 模糊推理 理解有经纪人的交易、小型动物分类专家系统	4~6	4 (选讲)
第 6 章 智能体和多智能体系统	掌握智能体和多智能体系统、智能体与多智能体系统的概念与示例、智能体的体系结构、智能体间的交互与协同 了解多智能体系统的应用, 多智能体系统的实现方式和多智能体系统开发框架 JADE 理解火星探矿机器人问题	4~6	2 (选讲)

(续)

教学内容	教学要点及教学要求	课时安排	
		计算机专业	非计算机专业
第 7 章 自然语言处理技术	掌握短语结构文法和 Chomsky 文法体系、句法分析树、搜索引擎的工作原理 了解自然语言理解的概念及意义, 自然语言理解研究的发展, 词法分析, 转移网络, 语义文法, 格文法, 语料库语言学及其特点, 统计学方法的应用及所面临的问题, 汉语语料库加工的基本方法, 搜索模型, 搜索引擎的分类, 智能搜索引擎, 机器翻译理论与方法, 自动文摘, 语音识别 理解在线汉英互译举例分析、单词音节划分、人民日报的词频统计、中文语句自动分析、美国地理信息查询系统	4~6	4 (选讲)
第 8 章 机器学习和神经网络	掌握学习任务的类型, 神经元模型, 网络结构, 基于反向传播网络的学习, Hopfield 网络模型 了解机器学习的定义和发展史, 机器学习的主要策略, 机器学习系统的基本结构, 机械学习, 归纳学习, 类比学习, 解释学习, 字符分类示例, Hopfield 网络模型, 知识发现的处理过程, 知识发现的方法, 知识发现的应用 理解感知器分类、非线性可分的分类问题、基于反向传播网络拟合曲线	4~6	4~6 (选讲)
第 9 章 智能规划	了解规划问题及其描述语言, 规划问题实例, 状态空间搜索规划, 偏序规划, 命题逻辑规划, 分层任务网络规划, 非确定性规划, 多智能体规划 理解 Shakey 世界和规划问题的建模与规划系统的求解过程	2~4	2 (选讲)
第 10 章 机器人学	掌握机器人系统的组成 了解机器人的由来、定义、分类、特性、发展概况, 机器人学的研究领域, 机器人的编程模式与语言, 机器人的社会问题 理解机器人足球案例	4~6	4~6 (选讲)
教学总学时建议		38~58	34~42

说明:

- ①计算机专业本科教学使用本教材时, 建议课堂授课学时数为 38~58(包含习题课、课堂讨论等必要的课堂教学环节, 实验另行安排学时), 不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数酌情对教材内容进行取舍。
- ②非计算机专业的师生使用本教材时可适当降低教学要求。若授课学时数少于 40, 第 4、6、9 章可以不讲。

目 录

前言 教学建议

第 1 章 绪论 1

- 1.1 人工智能的基本概念 1
- 1.2 人类智能与人工智能 1
- 1.3 人工智能各学派的认知观 3
- 1.4 人工智能的研究与应用领域 4
 - 1.4.1 智能感知 4
 - 1.4.2 智能推理 6
 - 1.4.3 智能学习 8
 - 1.4.4 智能行动 10
- 1.5 人工智能发展动态 14
- 1.6 案例分析 17
 - 1.6.1 SP 先生谜题 17
 - 1.6.2 NIM 问题 18
- 1.7 习题 22
- 1.8 思考题 22

第 2 章 知识表示和推理 24

- 2.1 概述 24
- 2.2 命题逻辑 25
- 2.3 谓词逻辑 28
 - 2.3.1 语法 28
 - 2.3.2 语义 30
 - 2.3.3 谓词逻辑形式系统 FC 32
- 2.4 归结推理 33
 - 2.4.1 命题演算中的归结推理 33
 - 2.4.2 谓词演算中的归结推理 35
 - 2.4.3 谓词演算归结反演的合理性
和完备性 38
- 2.5 产生式系统 40
- 2.6 知识表示的其他方法 43

2.6.1 语义网络 43

2.6.2 框架 45

2.6.3 脚本 46

2.7 基于知识的系统 47

2.7.1 知识获取 47

2.7.2 知识组织 49

2.7.3 知识应用 49

2.7.4 常识知识和大规模知识
处理 50

2.8 案例分析 51

2.8.1 传教士和野人问题 51

2.8.2 量水问题 52

2.8.3 汉诺塔问题 57

2.8.4 一个基于逻辑的财务顾问 61

2.8.5 电路领域的知识工程 64

2.9 习题 67

2.10 思考题 70

第 3 章 搜索技术 73

3.1 概述 73

3.2 盲目搜索方法 74

3.3 启发式搜索 76

3.3.1 启发性信息和评估函数 76

3.3.2 最好优先搜索算法 77

3.3.3 贪婪最好优先搜索算法 78

3.3.4 A 算法和 A* 算法 79

3.3.5 迭代加深 A* 算法 81

3.4 问题归约和 AND-OR 图启发式 搜索 82

3.4.1 问题归约的描述 82

3.4.2 问题的 AND-OR 图表示 83

3.4.3 AO* 算法 85

3.5 博弈 88

3.5.1 极大极小过程	90	5.3.2 主观 Bayes 方法	132
3.5.2 α - β 过程	92	5.4 确定性理论	137
3.6 案例分析	94	5.4.1 建造医学专家系统时的 问题	137
3.6.1 八皇后问题	94	5.4.2 C-F 模型	138
3.6.2 洞穴探宝	95	5.5 证据理论	142
3.6.3 五子棋	97	5.5.1 假设和证据的不确定性 ..	142
3.7 习题	102	5.5.2 证据的组合函数	144
3.8 思考题	103	5.5.3 规则的不确定性	145
第 4 章 高级搜索	107	5.5.4 不确定性的传递	145
4.1 爬山法搜索	107	5.5.5 不确定性的组合	145
4.2 模拟退火搜索	109	5.6 模糊逻辑和模糊推理	146
4.2.1 模拟退火搜索的基本 思想	110	5.6.1 模糊集合及其运算	146
4.2.2 模拟退火算法	111	5.6.2 模糊关系	147
4.2.3 模拟退火算法关键参数 和操作的设计	112	5.6.3 模糊逻辑	148
4.3 遗传算法	114	5.6.4 模糊推理	148
4.3.1 遗传算法的基本思想	114	5.7 案例分析	150
4.3.2 遗传算法的基本操作	115	5.7.1 有经纪人的交易	150
4.4 案例分析	120	5.7.2 小型动物分类专家系统 ..	152
4.4.1 爬山算法求解旅行商 问题	120	5.8 习题	155
4.4.2 模拟退火算法求解旅行商 问题	121	5.9 思考题	157
4.4.3 遗传算法求解旅行商 问题	122	第 6 章 智能体和多智能体系统	158
4.5 习题	124	6.1 概述	158
4.6 思考题	124	6.1.1 智能体的概念与示例	158
第 5 章 不确定知识表示和推理	125	6.1.2 多智能体系统的概念 与示例	160
5.1 概述	125	6.2 智能体的体系结构	161
5.2 非单调逻辑	127	6.2.1 知识型体系结构	161
5.2.1 单调性与非单调性	127	6.2.2 反应型体系结构	163
5.2.2 缺省推理逻辑	127	6.2.3 认知型体系结构	164
5.2.3 非单调逻辑系统	128	6.2.4 混合型体系结构	167
5.2.4 非单调规则	129	6.3 智能体间的交互与协同	169
5.3 主观 Bayes 方法	130	6.3.1 智能体间的交互方式	170
5.3.1 全概率公式和 Bayes 公式	131	6.3.2 智能体通信语言 ACL	171
		6.3.3 交互协议和协同模型	174
		6.4 多智能体系统的应用	177
		6.4.1 多智能体系统技术的适应 系统	178
		6.4.2 多智能体系统技术的 应用领域	179

6.5 多智能体系统的实现方式	181	8.3.1 神经网络概述	247
6.6 多智能体系统开发框架		8.3.2 基于反向传播网络的	
JADE	184	学习	250
6.6.1 程序模型	186	8.3.3 Hopfield 网络模型	258
6.6.2 可重用开发包	186	8.4 知识发现	261
6.6.3 开发和运行的支持工具	191	8.5 案例分析	262
6.7 火星探矿机器人案例分析	193	8.5.1 感知器分类	262
6.7.1 需求分析	193	8.5.2 非线性可分的分类问题	264
6.7.2 设计与实现	194	8.5.3 基于反向传播网络拟合	
6.8 习题	198	曲线	266
6.9 思考题	199	8.6 习题	271
		8.7 思考题	274
第7章 自然语言处理技术	200		
7.1 自然语言理解的一般问题	200	第9章 智能规划	276
7.2 词法分析	202	9.1 规划问题	276
7.3 句法分析	202	9.2 状态空间搜索规划	279
7.4 语义分析	205	9.3 偏序规划	282
7.5 大规模真实文本的处理	205	9.4 命题逻辑规划	286
7.6 信息搜索	206	9.5 分层任务网络规划	288
7.7 机器翻译	208	9.6 非确定性规划	290
7.8 语音识别	210	9.7 多智能体规划	292
7.9 案例分析	213	9.8 案例分析	296
7.9.1 在线汉英互译举例分析	213	9.8.1 Shakey 世界	296
7.9.2 单词音节划分	214	9.8.2 规划问题的建模与规划	
7.9.3 中文文本的词频统计	215	系统的求解过程	297
7.9.4 中文语句自动分析	218	9.9 习题	299
7.9.5 美国地理信息查询系统	223	9.10 思考题	300
7.10 习题	231		
7.11 思考题	232	第10章 机器人学	301
第8章 机器学习和神经网络	234	10.1 概述	301
8.1 机器学习概述	234	10.1.1 机器人的分类	302
8.2 基于符号的机器学习方法	236	10.1.2 机器人的特性	303
8.2.1 机械学习	236	10.1.3 机器人学的研究领域	303
8.2.2 归纳学习	237	10.2 机器人系统	304
8.2.3 决策树学习	238	10.2.1 机器人系统的组成	304
8.2.4 基于范例的学习	240	10.2.2 机器人的工作空间	305
8.2.5 解释学习	244	10.2.3 机器人的性能指标	307
8.2.6 强化学习	246	10.3 机器人的编程模式与语言	308
8.3 基于神经网络的学习	247	10.4 机器人的应用与展望	309
		10.4.1 机器人应用	310

10.4.2 机器人发展展望	313	10.5.5 定位球状态的判断方法 ...	325
10.5 机器人足球案例分析	315	10.5.6 比赛规则	326
10.5.1 仿真平台	316	10.6 习题	326
10.5.2 机器人运动程序	318	10.7 思考题	326
10.5.3 动作函数	321		
10.5.4 足球比赛策略	322	参考文献	328

第1章 绪 论

1.1 人工智能的基本概念

人类智能伴随着人类活动时处处存在。人类的许多活动,如下棋、竞技、解题、游戏、规划和编程,甚至驾车和骑车都需要“智能”。如果机器能够执行这种任务,就可以认为机器已具有某种性质的“人工智能”。

人工智能(artificial intelligence)是研究理解和模拟人类智能、智能行为及其规律的一门学科。其主要任务是建立智能信息处理理论,进而设计可以展现某些近似于人类智能行为的计算机系统。

智能机器(intelligent machine)是能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务的机器。

人工智能能力是智能机器所执行的与人类智能有关的智能行为,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。

图灵测试:让一位测试者分别与一台计算机和一个人进行交谈(当时是用电传打字机),而测试者事先并不知道哪一个被测者是人,哪一个是计算机。如果交谈后测试者分不出哪一个被测者是人,哪一个是计算机,则可以认为这台被测的计算机具有智能。

20世纪30年代,数理逻辑学家 Frege、Whitehead、Russell 和 Tarski 等人研究表明,推理的某些方面可以用比较简单的结构加以形式化。Church、Turing 等人给出了计算的本质刻画。

1956年Dartmouth会议标志人工智能学科的诞生,它从一开始就是交叉学科的产物。与会者有数学家、逻辑学家、认知学家、心理学家、神经生理学家和计算机科学家。Dartmouth会议上,Marvin Minsky 的神经网络模拟器、John McCarthy 的搜索法,以及 Herbert Simon 和 Allen Newell 的定理证明器是会议的3个亮点。分别讨论如何穿过迷宫、如何搜索推理和如何证明数学定理。

1.2 人类智能与人工智能

人的心理活动具有不同的层次,它可与计算机的层次相比较。心理活动的最高层是思维策略,中间一层是初级信息处理,最底层为生理过程,即中枢神经系统、神经元和大脑的活动。与此相应的是计算机的程序、语言和硬件。

研究认知过程的主要任务是探求高层次思维决策与初级信息处理的关系,并用计算机程序来模拟人的思维策略水平,而用计算机语言模拟人的初级信息处理过程。

计算机也以类似的原理进行工作。在规定时间内,计算机存储的记忆相当于机体的状态;计算机的输入相当于机体施加的某种刺激。在得到输入之后,计算机便进行操作,使得其内部状态随时间发生变化。可以从不同的层次来研究这种计算机系统。这种系统以人的思维方式为模型进行智能信息处理。显然,这是一种智能计算机系统。设计适用于特定

领域的这种高水平智能信息处理系统,是研究认知过程中的一个具体而又重要的目标。例如,一个具有智能信息处理能力的自动控制系统就是一个智能控制系统,它可以是专家控制系统,或者智能决策系统等。

可以把人看成一个智能信息处理系统。

信息处理系统也称为符号操作系统或物理符号系统。所谓符号就是模式(pattern)。对于任一模式,只要它能与其他模式相区别,就是一个符号。例如,不同的汉语拼音字母或英文字母就是不同的符号。对符号进行操作就是对符号进行比较,从中找出相同和不同的符号。物理符号系统的基本任务和功能就是辨认相同的符号和区别不同的符号。为此,这种系统就必须能够辨别出不同符号之间的实质差别。符号既可以是物理符号,也可以是头脑中的抽象符号,或者是电子计算机中的电子运动模式,还可以是头脑中神经元的某些运动方式。

一个完善的符号系统应具有下列6种基本功能:①输入符号;②输出符号;③存储符号;④复制符号;⑤建立符号结构,即通过找出各符号间的关系,在符号系统中形成符号结构;⑥条件性迁移,即根据已有符号,继续完成活动过程。

如果一个物理符号系统具有上述全部6种功能,能够完成这个全过程,那么它就是一个完整的物理符号系统。人能够输入信号,如用眼睛看、用耳朵听、用手触摸等。计算机也能通过磁盘或键盘等方式输入符号。人具有上述6种功能,现代计算机也具备物理符号系统的这6种功能。

假设 任何一个系统,如果它能够表现出智能,那么它就必定能够执行上述6种功能。反之,任何系统如果具有这6种功能,那么它就能够表现出智能;这种智能指的是人类所具有的那种智能。这个假设称为物理符号系统的假设。

物理符号系统的假设伴随三个推论。

推论 1.1 既然人具有智能,那么他就一定是一个物理符号系统。人之所以能够表现出智能,就是基于他的信息处理过程。

推论 1.2 既然计算机是一个物理符号系统,它就一定能够表现出智能。这是人工智能的基本条件。

推论 1.3 既然人是一个物理符号系统,计算机也是一个物理符号系统,那么就能够用计算机来模拟人的活动。

可以从下列4个层次开展对认知本质的研究:①认知生理学;②认知心理学;③认知信息学;④认知工程学。只有开展大跨度的多层次、多学科交叉研究,应用现代智能信息处理的最新手段,认知科学才可能较快地取得突破性成果。

物理符号系统假设的推论1.1也告诉人们,人有智能,所以是一个物理符号系统;推论1.3指出,可以编写出计算机程序模拟人类的思维活动。这就是说,人和计算机这两个物理符号系统所使用的物理符号是相同的,因而计算机可以模拟人类的智能活动过程。计算机的确能够很好地执行许多智能功能,如下棋、证明定理、翻译语言文字和解决难题等。这些任务是通过编写与执行模拟人类智能的计算机程序来完成的。当然,这些程序只能接近于人的行为,而不可能与人的行为完全相同。此外,这些程序所能模拟的智能问题,其水平还是很有限的。

考虑下棋的计算机程序。计算机程序对每个可能的走步空间进行搜索,它能够同时搜索几千种走步。进行有效搜索的技术是人工智能的核心思想之一。不过,以前的计算机不能战胜最好的人类棋手,其原因在于:向前看并不是下棋所必须具有的一切,需要彻底搜

索的走步又太多；在寻找和估计替换走步时并不能确信能够导致博弈的胜利。当象棋大师们盯着一个棋位时，在他们的脑子里出现了很多盘重要的棋局，以帮助他们决定最好的走步。

近年来，自学习、并行处理、启发式搜索、机器学习、智能决策等人工智能技术已用于博弈程序设计，使“计算机棋手”的水平大为提高。

1.3 人工智能各学派的认知观

1. 符号主义学派

该学派认为认知基元是符号，智能行为通过符号操作来实现，以 Robinson 提出的归结原理为基础，以 LISP 和 Prolog 语言为代表；着重问题求解中启发式搜索和推理过程，在逻辑思维的模拟方面取得成功，如自动定理证明和专家系统。该学派认为人工智能源于数理逻辑。数理逻辑和计算机科学具有完全相同的宗旨：扩展人类大脑的功能，帮助人脑正确、高效地思维。它们分别关注基础理论和实用技术。数理逻辑试图找出构成人类思维或计算的最基础的机制，例如推理中的“代换”“匹配”“分离”，计算中的“运算”“迭代”“递归”。而计算机程序设计则是要把问题的求解归结于程序设计语言的几条基本语句，甚至归结于一些极其简单的机器操作指令。

数理逻辑的形式化方法和计算机科学不谋而合。对于计算机系统本身，它的硬件、软件都是一种形式系统，它们的结构都可以形式地描述；程序设计语言即是形式语言系统。另一方面，应用计算机求解实际问题，首要的任务便是形式化。人们必须用计算机懂得的形式语言告诉它“怎么做”或者“做什么”，而计算机理解这些语言的过程又正是按照人赋予它的形式化规程，将它们归约为自己的基本操作。

计算机科学技术人员常常会发现，一个问题的逻辑表达式几乎就是某个程序设计语言（例如逻辑程序设计语言 Prolog）的一个子程序；而用有些语言书写的程序（例如关系数据库查询语言 SQL 程序）简直就是逻辑表达式。事实上，正是数理逻辑对“计算”的追根寻源，导致了第一个计算的数学模型——图灵机(Turing machines)的诞生，它被公认为现代数字计算机的祖先； λ -演算系统为第一个人工智能语言 LISP 奠定了基础；一阶谓词演算系统为计算机的知识表示及定理证明铺平了道路，并形成逻辑程序设计语言 Prolog。

2. 联结主义学派

该学派认为人的思维基元是神经元，把智能理解为相互联结的神经元竞争与协作的结果，以人工神经网络为代表，其中，反向传播网络模型(BP)和 Hopfield 网络模型更为突出；着重结构模拟，研究神经元特征、神经元网络拓扑、学习规则、网络的非线性动力学性质和自适应的协同行为。

该学派认为人工智能源于仿生学，特别是对人脑模型的研究。它的代表性成果是 1943 年由生理学家 McCulloch 和数理逻辑学家 Pitts 创立的脑模型，即 MP 模型，开创了用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径。它从神经元开始进而研究神经网络模型和脑模型，开辟了人工智能的又一发展道路。20 世纪 60~70 年代，联结主义尤其是对以感知器(perceptron)为代表的脑模型的研究曾出现过热潮。1986 年，Rumelhart 等人提出多层网络中的反向传播(BP)算法。

3. 行为主义学派

该学派认为人工智能源于控制论。控制论思想早在 20 世纪 40~50 年代就成为时代思潮的重要部分，影响了早期的人工智能工作者。控制论把神经系统的工作原理与信息理

论、控制理论、逻辑以及计算机联系起来。早期的研究重点是模拟人在控制过程中的智能行为和作用,如对自己寻优、自适应、自校正、自镇定、自组织和自学习等控制论系统的研究,并进行“控制论动物”的研制。到20世纪60~70年代,上述控制论系统的研究取得一定进展,播下智能控制和智能机器人的种子,并在20世纪80年代诞生了智能控制和智能机器人系统。行为主义是20世纪末才以人工智能新学派的面孔出现的,引起许多人的兴趣。这一学派的代表作首推Brooks的六足行走机器人,它被看作新一代的“控制论动物”,是一个基于感知-动作模式的模拟昆虫行为的控制系统。

以上三个人工智能学派将长期共存与合作,取长补短,并走向融合和集成,共同为人工智能的发展作出贡献。

1.4 人工智能的研究与应用领域

国际人工智能联合大会(IJCAI)程序委员会将人工智能领域划分为:约束满足问题、知识表示与推理、学习、多Agent、自然语言处理、规划与调度、机器人学、搜索、不确定性问题、网络与数据挖掘等。大会建议的小型研讨会(Workshop)主题包括环境智能、非单调推理、用于合作性知识获取的语义网、音乐人工智能、认知系统的注意问题、面向人类计算的人工智能、多机器人系统、ICT应用中的人工智能、神经-符号的学习与推理以及多模态的信息检索等。

在过去的50多年中,已经建立了一些具有人工智能的计算机系统。例如,能够求解微分方程的、下棋的、设计分析集成电路的、合成人类自然语言的、检索情报的、诊断疾病以及控制太空飞行器、地面移动机器人和水下机器人的具有不同程度人工智能的计算机系统。

下面对人工智能研究和应用的讨论,试图把有关的各个子领域直接联结起来,辨别某些方面的智能行为,并指出有关的人工智能研究和应用的状况。

这里所要讨论的各种智能特性之间也是相互关联的,把它们分开来介绍只是为了便于指出现有的人工智能程序能够做些什么和还不能做什么。大多数人工智能研究课题都涉及许多智能领域。我们从智能感知、智能推理、智能学习和智能行动四个方面进行概述。

1.4.1 智能感知

1. 模式识别

模式识别是对表征事物或现象的各种形式的(数值的、文字的和逻辑关系的)信息进行处理和分析,以对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程。

人们在观察事物或现象的时候,常常要寻找它与其他事物或现象的异同之处,根据一定目把并不完全相同的事物或现象组成一类。字符识别就是一个典型的例子。人脑的这种思维能力就构成了“模式”的概念。

模式识别研究主要集中在两方面,即研究生物体是如何感知对象的,以及在给定的任务下,如何用计算机来实现模式识别的理论和方法的。模式识别的方法有感知机、统计决策方法、基于基元关系的句法识别方法和人工神经网络方法。一个计算机模式识别系统基本上由三部分组成,即数据采集、数据处理和分类决策或模型匹配。

任何一种模式识别方法首先都要通过各种传感器把被研究对象的各种物理变量转换为计算机可以接受的数值或符号集合。为了从这些数值或符号中抽取出对识别有效的信息,必须对它进行处理,其中包括消除噪声、排除不相干的信号以及与对象的性质和采用的识