



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI



高等学校规划教材

人工智能原理及其应用

(第3版)

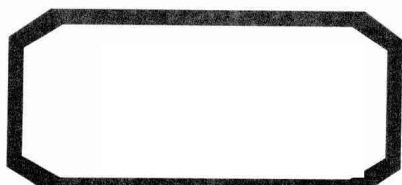
© 王万森 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育 | 十二五 | 国家级规划教材

高等学校规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

人工智能原理及其应用

(第 3 版)

王万森 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京高等教育精品教材。全书共9章,分别是:第1章人工智能概述,第2章确定性知识系统,第3章搜索策略,第4章计算智能,第5章不确定性推理,第6章符号学习,第7章联结学习,第8章分布智能,第9章智能应用简介。附录A是人工智能课程实验大纲。本书为任课教师免费提供电子课件。

本书可作为高等学校计算机、自动化、智能科学、通信、电子信息、信息管理及相关专业高年级本科生和研究生教材,也可供从事相关领域研究、开发和应用的科技工作者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能原理及其应用/王万森编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2012.9
高等学校规划教材
ISBN 978-7-121-17218-2

I. ①人… II. ①王… III. ①人工智能—高等学校—教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第111995号

策划编辑:童占梅

责任编辑:童占梅 文字编辑:沈艳波

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:433千字

印 次:2012年9月第1次印刷

定 价:35.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

随着智能技术研究和应用的不断深入,人工智能越来越受到社会的关注。在中国科协2008年举办的“十项引领未来的科学技术”网络评选中,“人工智能技术”名列第四。人工智能作为一项引领未来的科学技术,正在以其无限的潜力,影响着未来科学技术的发展,改变着人类的生产生活方式。

人工智能就是要用机器模拟、延伸和扩展人的智能。智能就像人类生命体的精髓一样,人工智能则是人造智能系统的精髓。今天,从智能理论到智能应用,从智能产品到智能产业,从个体智能到群体智能,从智能家居到智能社会,人工智能已无处不在,其新理论、新方法、新技术、新系统、新应用如雨后春笋般不断涌现。创新智能技术,深化智能应用是人工智能发展的根本。

本教材自出版以来,得到众多读者的厚爱,第2版和第1版均先后印刷了9次,两版共印刷18次。同时,本书先后被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京高等教育精品教材。在此,也向所有关心和支持本教材建设的专家和读者表示感谢。

作为一本人工智能教材,为尽量反映人工智能技术的发展,适应人工智能的应用需求,本次修订适当压缩了第2版中的一些陈旧技术,增加了一些流行的常用技术。与第2版相比,本次修订的主要改动如下:

- (1) 对第2版的部分章节进行了拆分和合并,全书由第2版的10章修订为9章。
- (2) 将第2版的第2章确定性知识表示和第3章确定性推理合并,修订为第3版的第2章确定性知识系统。
- (3) 将第2版的第7章机器学习拆分,修订为第3版的第6章符号学习和第7章联结学习。
- (4) 将第2版的第8章自然语言理解和第10章高级专家系统合并,修订为第3版的第9章人工智能应用简介。
- (5) 在确定性知识表示方面,删除了第2版的过程知识表示方法和语义网络知识表示中的逻辑关系表示方法。
- (6) 在确定性推理方面,删除了第2版中基于规则的演绎推理。并将第2版第2章中关于产生式系统的内容与第3章关于推理方向的内容合并,修订为第3版第2章中的产生式推理。
- (7) 在搜索策略方面,删除了第2版中的一般图搜索过程,压缩了第2版中的盲目搜索算法,使第3版更加突出了启发式搜索的内容。
- (8) 在计算智能方面,第3版新增了粗糙集的概念、理论和方法,丰富了计算智能方面的相关内容。
- (9) 在不确定推理方面,第3版新增了基于贝叶斯网络的概率推理,并对证据理论推理进行了修订,跳过了普通概率分配函数,直接从一个特殊的概率分配函数开始讨论其推理问题。
- (10) 在符号学习方面,删除了第2版中的解释学习,第3版新增了基于支持向量机的统计学习。

(11) 在联结学习方面,第 3 版对 BP 网络学习进行了改写和充实。

(12) 根据人工智能技术的发展,对第 1 章的有关内容进行了修改。

本教材第 3 版共分 9 章。

第 1 章人工智能概述,主要讨论人工智能的定义、形成过程、研究内容、学派之争、应用领域和发展趋势等,以使读者建立人工智能的初步概念。

第 2 章确定性知识系统,包括确定性知识的表示和推理。

第 3 章搜索策略,重点关注启发式搜索策略。

第 4 章计算智能,包括神经计算、进化计算、模糊计算和粗糙集。

第 5 章不确定性推理,全面反映不确定性人工智能的思想。

第 6 章符号学习,包括机器学习概述、记忆学习、示例学习、决策树学习和统计学习等。

第 7 章联结学习,包括感知器学习、BP 网络学习和 Hopfield 网络学习等。

第 8 章分布智能,主要基于多 Agent 技术进行讨论。

第 9 章为智能应用简介,主要包括自然语言理解和高级专家系统。

附录 A 是人工智能课程实验大纲。

本书为任课教师免费提供电子课件,需要者可到华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 注册下载。

本教材建议总学时为 48 学时(标准),其中课堂教学 42 学时,实验 6 学时,具体分配如下:

章次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	理论课	实验课	合计
学时	2	7	5	9	9	4	3	1	2	42	6	48

若课时不足,可根据课时情况依次删去:附录 A 的实验;5.4 节证据理论;5.6.4 小节贝叶斯网络的近似推理;4.5 节粗糙集等。

本教材的编写吸取了众多国内外同行在其报告、演讲、专著、教材和论文中的精华。在此,谨向这些专家和作者表示感谢。

本教材第 3 版承蒙何新贵院士作序,在此深表谢意。马献英副编审精心校对了全部书稿,在此也深表谢意。本教材第 3 版的修订和出版,同样得到了电子工业出版社的大力支持,在此也表示诚挚的谢意。

人工智能是一门正在快速发展的年轻学科,其研究和应用领域十分宽广。由于作者水平有限、时间仓促,教材中难免存在一些缺点和错误,恳请各位专家和读者不吝指教。

编著者

序

人工智能是智能科学与技术学科的核心,在现代科学技术发展和未来信息社会进程中具有重要的支撑和引领作用。今天,智能技术已渗透到人类社会的各个领域和人们生活的各个方面,人工智能的学术意义和应用价值已被越来越多的人所认识。

王万森教授长期从事人工智能方面的研究和教学工作,有着丰富的研究经历和教学经验。此外,该同志现任中国人工智能学会秘书长、教育工作委员会主任,对人工智能的学术和教学内容有较深入的思考和认识。

这本教材是王万森教授《人工智能原理及其应用》的第3版。该书前两版共印刷18次,并先后被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京市高等教育精品教材,在学术界享有良好的声誉。

在本次修订过程中,作者对该书上一版的知识结构及教学内容进行了精心推敲和认真修改,其主要特点如下:

(1) 在保证人工智能学术体系完整性的同时,适当压缩传统智能理论和方法,突出现代智能方法和技术,准确地反映了人工智能学科的研究现状和应用需求。

(2) 从符号智能与计算智能并重,机器思维与机器学习并重的角度出发,合理安排教学内容,科学地优化了人工智能教材的知识结构。

(3) 遵循教材编写规律,注重教材写作技巧,尤其是对一些现代智能方法,采用由浅入深、实例引导的方式,有效地提高了该教材的可读性和可理解性。

该书理论描述准确,技术讨论恰当,系统结构完整,重点内容突出,既是高校相关专业人工智能教学方面的一本好教材,也是社会相关领域人工智能研究与应用的一本有价值的参考书。该书的出版必将对我国智能科学技术的学科建设和教学工作起到积极的促进作用。

特此作序。

北京大学教授、中国工程院院士
何新贵

目 录

第 1 章 人工智能概述	(1)
1.1 人工智能的基本概念	(1)
1.1.1 智能的概念	(1)
1.1.2 人工智能的概念	(3)
1.1.3 人工智能的研究目标	(3)
1.2 人工智能的产生与发展	(4)
1.2.1 孕育期	(4)
1.2.2 形成期	(4)
1.2.3 知识应用期	(5)
1.2.4 从学派分立走向综合	(6)
1.2.5 智能科学技术学科的兴起	(6)
1.3 人工智能研究的基本内容	(7)
1.3.1 与脑科学和认知科学的交叉研究	(7)
1.3.2 智能模拟的方法和技术研究	(8)
1.4 人工智能研究中的不同学派	(8)
1.4.1 符号主义	(9)
1.4.2 联结主义	(9)
1.4.3 行为主义	(10)
1.5 人工智能的研究和应用领域	(10)
1.5.1 机器思维	(10)
1.5.2 机器学习	(11)
1.5.3 机器感知	(13)
1.5.4 机器行为	(14)
1.5.5 计算智能	(15)
1.5.6 分布智能	(16)
1.5.7 智能系统	(16)
1.5.8 人工心理与人工情感	(17)
1.5.9 人工智能的典型应用	(17)
1.6 人工智能的现状与思考	(19)
习题 1	(21)
第 2 章 确定性知识系统	(22)
2.1 确定性知识系统概述	(22)
2.1.1 确定性知识表示概述	(22)
2.1.2 确定性知识推理概述	(24)
2.2 确定性知识表示方法	(26)
2.2.1 谓词逻辑表示法	(26)

2.2.2	产生式表示法	(33)
2.2.3	语义网络表示法	(34)
2.2.4	框架表示法	(40)
2.3	确定性知识推理方法	(47)
2.3.1	产生式推理	(47)
2.3.2	自然演绎推理	(52)
2.3.3	归结演绎推理	(55)
2.4	确定性知识系统简例	(65)
2.4.1	产生式系统简例	(65)
2.4.2	归结演绎系统简例	(67)
	习题2	(69)
第3章	搜索策略	(72)
3.1	搜索概述	(72)
3.1.1	搜索的含义	(72)
3.1.2	状态空间问题求解方法	(72)
3.1.3	问题归约求解方法	(76)
3.2	搜索的盲目策略	(78)
3.2.1	状态空间的盲目搜索	(78)
3.2.2	代价树的盲目搜索	(80)
3.3	状态空间的启发式搜索	(81)
3.3.1	启发性信息和估价函数	(82)
3.3.2	A算法	(82)
3.3.3	A*算法	(84)
3.3.4	A*算法应用举例	(88)
3.4	与/或树的启发式搜索	(89)
3.4.1	解树的代价与希望树	(89)
3.4.2	与/或树的启发式搜索过程	(90)
3.5	博弈树的启发式搜索	(92)
3.5.1	概述	(92)
3.5.2	极大/极小过程	(93)
3.5.3	α - β 剪枝	(93)
	习题3	(95)
第4章	计算智能	(97)
4.1	计算智能概述	(97)
4.1.1	什么是计算智能	(97)
4.1.2	计算智能的产生与发展	(97)
4.1.3	计算智能与人工智能的关系	(98)
4.2	神经计算	(98)
4.2.1	神经计算基础	(99)
4.2.2	人工神经网络的互联结构	(102)

4.2.3 人工神经网络的典型模型	(104)
4.3 进化计算	(108)
4.3.1 进化计算概述	(108)
4.3.2 遗传算法	(112)
4.4 模糊计算	(123)
4.4.1 模糊集及其运算	(123)
4.4.2 模糊关系及其运算	(126)
4.5 粗糙集	(128)
4.5.1 粗糙集概述	(128)
4.5.2 粗糙集的基本理论	(128)
4.5.3 决策表的约简	(131)
习题 4	(135)
第 5 章 不确定性推理	(137)
5.1 不确定性推理概述	(137)
5.1.1 不确定性推理的含义	(137)
5.1.2 不确定性推理的基本问题	(138)
5.1.3 不确定性推理的类型	(139)
5.2 可信度推理	(139)
5.2.1 可信度的概念	(140)
5.2.2 可信度推理模型	(140)
5.2.3 可信度推理的例子	(144)
5.3 主观 Bayes 推理	(145)
5.3.1 主观 Bayes 方法的概率论基础	(145)
5.3.2 主观 Bayes 方法的推理模型	(146)
5.3.3 主观 Bayes 推理的例子	(150)
5.3.4 主观 Bayes 推理的特性	(152)
5.4 证据理论	(152)
5.4.1 证据理论的形式化描述	(152)
5.4.2 证据理论的推理模型	(156)
5.4.3 推理实例	(157)
5.4.4 证据理论推理的特性	(159)
5.5 模糊推理	(159)
5.5.1 模糊知识表示	(159)
5.5.2 模糊概念的匹配	(161)
5.5.3 模糊推理的方法	(162)
5.6 概率推理	(166)
5.6.1 贝叶斯网络的概念及理论	(166)
5.6.2 贝叶斯网络推理的概念和类型	(169)
5.6.3 贝叶斯网络的精确推理	(170)
5.6.4 贝叶斯网络的近似推理	(171)

习题 5	(172)
第 6 章 符号学习	(175)
6.1 符号学习概述	(175)
6.1.1 学习的概念	(175)
6.1.2 机器学习的概念	(176)
6.1.3 符号学习系统的基本模型	(178)
6.2 记忆学习	(179)
6.3 示例学习	(180)
6.3.1 示例学习的类型	(181)
6.3.2 示例学习的模型	(181)
6.3.3 示例学习的归纳方法	(183)
6.4 决策树学习	(184)
6.4.1 决策树的概念	(184)
6.4.2 ID3 算法	(185)
6.5 统计学习	(188)
6.5.1 小样本统计学习理论	(188)
6.5.2 支持向量机	(190)
习题 6	(195)
第 7 章 联结学习	(196)
7.1 联结学习概述	(196)
7.1.1 联结学习的生理学基础	(196)
7.1.2 联结学习规则	(197)
7.2 感知器学习	(198)
7.2.1 单层感知器学习算法	(198)
7.2.2 单层感知器学习的例子	(199)
7.2.3 多层感知器学习问题	(200)
7.3 BP 网络学习	(201)
7.3.1 BP 网络学习的基础	(201)
7.3.2 BP 算法的传播公式	(202)
7.3.3 BP 网络学习算法	(205)
7.3.4 BP 网络学习的讨论	(206)
7.4 Hopfield 网络学习	(206)
7.4.1 Hopfield 网络的能量函数	(206)
7.4.2 Hopfield 网络学习算法	(207)
习题 7	(208)
第 8 章 分布智能	(209)
8.1 分布智能概述	(209)
8.1.1 分布智能的概念	(209)
8.1.2 分布式问题求解	(210)
8.1.3 多 Agent 系统	(211)

8.2 Agent 的结构	(213)
8.2.1 Agent 的机理	(213)
8.2.2 反应 Agent 的结构	(214)
8.2.3 认知 Agent 的结构	(214)
8.2.4 混合 Agent 的结构	(215)
8.3 多 Agent 系统	(215)
8.3.1 Agent 通信	(215)
8.3.2 多 Agent 合作	(220)
8.4 移动 Agent	(226)
8.4.1 移动 Agent 系统的一般结构	(226)
8.4.2 移动 Agent 的实现技术及应用	(227)
习题 8	(229)
第 9 章 智能应用简介	(230)
9.1 自然语言理解简介	(230)
9.1.1 自然语言理解的基本概念	(230)
9.1.2 词法分析	(232)
9.1.3 句法分析	(233)
9.1.4 语义分析	(237)
9.2 专家系统简介	(239)
9.2.1 专家系统概述	(239)
9.2.2 基于规则和基于框架的专家系统	(243)
9.2.3 模糊专家系统和神经网络专家系统	(245)
9.2.4 基于 Web 的专家系统	(247)
9.2.5 分布式和协同式专家系统	(248)
9.2.6 专家系统的开发	(250)
习题 9	(255)
附录 A 人工智能课程实验大纲	(257)
A.1 分章实验	(257)
分章实验 1 简单动物识别系统的知识表示(第 2 章)	(257)
分章实验 2 简单动物识别系统的推理(第 2 章)	(257)
分章实验 3 简单的一字棋游戏(第 3 章)	(258)
分章实验 4 简单的遗传优化(第 4 章)	(258)
分章实验 5 简单的可信度推理(第 5 章)	(258)
分章实验 6 简单的单层感知器分类(第 7 章)	(259)
A.2 综合实验	(259)
综合实验 1 智能五子棋游戏	(259)
综合实验 2 基于 BP 网络的预测或评价系统	(259)
综合实验 3 基于 Web 的不确定推理专家系统	(260)
参考文献	(261)

第1章 人工智能概述

人工智能(Artificial Intelligence, AI)作为一门引领未来的科学技术,其思想、理论、方法和技术已渗透到科学技术的诸多领域和人类社会的各个方面,各种冠以“智能”的学科、技术、系统、工程和产品,以及各种以智能为标志的社会形态、产业领域和生活方式等如雨后春笋般地涌现。“智能”这个具有无限潜力的学科,正在以其无穷的魅力引领着现代科学技术的发展和人类文明的进步。人工智能前景诱人,同时也任重而道远。

本章主要讨论人工智能的基本概念、形成过程、基本内容、研究学派、应用领域及发展趋势等,以建立起读者对人工智能的初步认识。

1.1 人工智能的基本概念

人工智能是一门研究如何用工人的方法去模拟和实现人类智能的学科。到目前为止,还没有一个统一的形式化定义。其主要原因是因为人工智能的定义要依赖于智能的定义,而智能目前还无法严格的定义。尽管如此,本节还是从智能的概念入手,来讨论人工智能的基本概念。

1.1.1 智能的概念

智能主要是指人类的自然智能,其确切定义还有待于对人脑奥秘的彻底揭示。一般认为,智能是一种认识客观事物和运用知识解决问题的综合能力。

1. 认识智能的不同观点

人们在认识智能的过程中,对智能提出了多种不同的观点,其中最具代表性的观点有以下三种。

(1) 智能来源于思维活动。这种观点被称为思维理论。它强调思维的重要性,认为智能的核心是思维,人的一切智慧或智力都来自于大脑的思维活动,人的一切知识都是思维的产物,因而通过对思维规律与思维方法的研究,可望揭示智能的本质。

(2) 智能取决于可运用的知识。这种观点被称为知识阈值理论。它把智能定义为: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。知识阈值理论着重强调知识对智能的重要意义和作用,认为智能行为取决于知识的数量及其可运用的程度,一个系统所具有的可运用知识越多,其智能就会越高。

(3) 智能可由逐步进化来实现。这种观点被称为进化理论。它是美国麻省理工学院(MIT)的布鲁克斯(R. A. 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,智能可以由逐步进化来实现。

由于上述三种观点对智能的认识角度不同,有些看起来好像是相互对立的,但如果把它们放到智能的层次结构中去考虑,又是统一的。

2. 智能的层次结构

人类的智能总体上可分为高、中、低三个层次,不同层次智能的活动由不同的神经系统来完成。其中,高层智能以大脑皮层为主,大脑皮层也称抑制中枢,主要完成记忆和思维等活动。中层智能以丘脑为主,丘脑也称感觉中枢,主要完成感知活动。低层智能以小脑、脊髓为主,主要完成动作反应。并且,智能的每个层次都可以再进行细分。例如,对思维活动,可按思维的功能分为记忆、联想、推理、学习、识别、理解等,或按思维的特性分为形象思维、抽象思维、灵感思维等。对感知活动,可按感知功能分为视觉、听觉、嗅觉、触觉等。对行为活动,可按行为的功能分为运动控制、生理调节、语言生成等。

可见,上述不同观点中的思维理论和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。

3. 智能所包含的能力

按照认知科学的观点,智能是由神经系统表现出来的一种综合能力。它主要包括以下4个方面。

(1) 感知能力

感知能力是指人们通过感觉器官感知外部世界的的能力。它是人类最基本的生理、心理现象,也是人类获取外界信息的基本途径。人类对感知到的外界信息,通常有两种不同的处理方式。一种是对简单或紧急情况,可不经大脑思索,直接由低层智能做出反应。另一种是对复杂情况,一定要经过大脑的思维,然后才能做出反应。

(2) 记忆与思维能力

记忆与思维是人脑最重要的功能,也是人类智能最主要的表现形式。记忆是对感知到的外界信息或由思维产生的内部知识的存储过程。思维是对所存储的信息或知识的本质属性、内部规律等的认识过程。人类基本的思维方式有形象思维、抽象思维和灵感思维。

其中,抽象思维也称逻辑思维,是一种基于抽象概念,根据逻辑规则对信息或知识进行处理的理性思维形式。形象思维也称直感思维,是一种基于形象概念,根据感性形象认识材料,对客观现象进行处理的一种思维方式。灵感思维也称顿悟思维,是一种显意识与潜意识相互作用的思维方式。平常,人们在考虑问题时往往会因获得灵感而顿时开窍。这说明人脑在思维时除了那种能够感觉到的显意识在起作用外,还有一种感觉不到的潜意识在起作用,只不过人们意识不到而已。

(3) 学习和自适应能力

学习是一个具有特定目的的知识获取过程。学习和自适应是人类的一种本能,一个人只有通过学习,才能增加知识、提高能力、适应环境。尽管不同人在学习方法、学习效果等方面有较大差异,但学习却是每个人都具有的一种基本能力。

(4) 行为能力

行为能力是指人们对感知到的外界信息做出动作反应的能力。引起动作反应的信息可以由感知直接获得的外部信息,也可以是经思维加工后的内部信息。完成动作反应的过程,一般通过脊髓来控制,并由语言、表情、体姿等来实现。

1.1.2 人工智能的概念

人工智能是一个含义很广的术语,在其发展过程中,具有不同学科背景的人工智能学者对它有着不同的理解,提出了一些不同的观点,如符号主义观点、联结主义观点和行为主义观点等。这些不同观点将在后面专门讨论,这里主要关注人工智能的定义。

综合各种不同的人工智能观点,可以从“能力”和“学科”两个方面对人工智能进行定义。从能力的角度看,人工智能是指用人工的方法在机器(计算机)上实现的智能。从学科的角度看,人工智能是一门研究如何构造智能机器或智能系统,使它能模拟、延伸和扩展人类智能的学科。

那么,如何衡量机器是否具有智能呢?早在1950年人工智能还没有作为一门学科正式出现之前,英国数学家图灵(A. M. Turing,1912—1954年)就在他发表的一篇题为《Computing Machinery and Intelligence(计算机与智能)》的文章中提出了“机器能思维”的观点,并设计了一个很著名的测试机器智能的实验,称为“图灵测试”或“图灵实验”。

图灵实验可描述如下:该实验的参加者由一位测试主持人和两个被测试对象组成。其中,两个被测试对象中一个是人,另一个是机器。测试规则为:测试主持人和每个被测试对象分别位于彼此不能看见的房间中,相互之间只能通过计算机终端进行会话。测试开始后,由测试主持人向被测试对象提出各种具有智能性的问题,但不能询问测试者的物理特征。被测试对象在回答问题时,都应尽量使测试者相信自己是“人”,而另一位是“机器”。在这个前提下,要求测试主持人区分这两个被测试对象中哪个是人,哪个是机器。如果无论如何更换测试主持人和被测试对象中的人,测试主持人总能分辨出人和机器的概率都小于50%,则认为该机器具有了智能。

对图灵的这个测试标准,也有人提出了质疑:认为该测试仅反映了结果的比较,既没有涉及思维的过程,也没有明确参加实验的人是小孩还是具有良好素质的成年人。尽管如此,图灵测试对人工智能学科发展所产生的影响却是十分深远的。

1.1.3 人工智能的研究目标

关于人工智能的研究目标,目前还没有一个统一的说法。1978年,斯洛曼(A. Sloman)对人工智能给出了以下三个主要目标:

- ① 对智能行为有效解释的理论分析;
- ② 解释人类智能;
- ③ 构造具有智能的人工制品。

要实现斯洛曼的这些目标,需要同时开展对智能机理和智能构造技术的研究。对图灵所期望的那种智能机器,尽管它没有提到思维过程,但要真正实现这种智能机器,却同样离不开对智能机理的研究。因此,揭示人类智能的根本机理,用智能机器去模拟、延伸和扩展人类智能应该是人工智能研究的根本目标,或者叫远期目标。

人工智能的远期目标涉及脑科学、认知科学、计算机科学、系统科学、控制论及微电子等多个学科,并有赖于这些学科的共同发展。但从目前这些学科的现状来看,实现人工智能的远期目标还需要一个较长的时期。

在这种情况下,人工智能的近期目标是研究如何使现有的计算机更聪明,即使它能够运用知识去处理问题,能够模拟人类的智能行为,如推理、思考、分析、决策、预测、理解、规划、设计

和学习等。为了实现这一目标,人们需要根据现有计算机的特点,研究实现智能的有关理论、方法和技术,建立相应的智能系统。

实际上,人工智能的远期目标与近期目标是相互依存的。远期目标为近期目标指明了方向,而近期目标为远期目标奠定了理论和技术基础。同时,近期目标和远期目标之间并无严格界限,近期目标会随人工智能研究的发展而变化,并最终达到远期目标。

1.2 人工智能的产生与发展

人工智能诞生以来走过了一条坎坷和曲折的发展道路。回顾历史,可以按照人工智能在不同时期的主要特征,将其产生与发展过程分为以下五个阶段。

1.2.1 孕育期

自远古以来,人类就有着用机器代替人们脑力劳动的幻想。早在公元前900多年,我国就有歌舞机器人流传的记载。到公元前850年,古希腊也有了制造机器人帮助人们劳动的神话传说。此后,在世界的许多国家和地区也都出现了类似的民间传说或神话故事。为追求和实现人类的这一美好愿望,很多科学家都为之付出了艰辛的劳动和不懈的努力。人工智能可以在顷刻间诞生,而孕育这个学科却需要经历一个相当漫长的历史过程。

从古希腊伟大的哲学家亚里士多德(Aristotle,公元前384—322年)创立的演绎法,到德国数学和哲学家莱布尼茨(G. W. Leibnitz,1646—1716年)奠定的数理逻辑的基础;再从英国数学家图灵1936年创立图灵机模型,到美国数学家、电子数字计算机的先驱莫克利(J. W. Mauchly,1907—1980年)等人1946年研制成功世界上第一台通用电子计算机,这些都为人工智能的诞生奠定了重要思想理论和物质技术基础。

此外,1943年,美国神经生理学家麦卡洛克(W. McCulloch)和皮茨(W. Pitts)一起研制出了世界上第一个人工神经网络模型(MP模型),开创了以仿生学观点和结构化方法模拟人类智能的途径;1948年,美国著名数学家威纳(N. Wiener,1874—1956年)创立了控制论,为以行为模拟观点研究人工智能奠定了理论和技术基础;1950年,图灵发表了题为《计算机能思维吗?》的著名论文,明确提出了“机器能思维”的观点。至此,人工智能的基本雏形已初步形成,人工智能的诞生条件也已基本具备。通常,人们把这一时期称为人工智能的孕育期。

1.2.2 形成期

人工智能诞生于一次历史性的聚会。为使计算机变得更“聪明”,或者说使计算机具有智能,1956年夏季,当时在美国达特茅斯(Dartmouth)大学的年轻数学家、计算机专家麦卡锡(J. McCarthy,后为麻省理工学院教授)和他的三位朋友,哈佛大学数学家、神经学家明斯基(M. L. Minsky,后为麻省理工学院教授),IBM公司信息中心负责人洛切斯特(N. Lochester),贝尔实验室信息部数学研究员香农(C. E. Shannon)共同发起,并邀请IBM公司的莫尔(T. More)和塞缪尔(A. L. Samuel),麻省理工学院的塞尔弗里奇(O. Selfridge)和索罗蒙夫(R. Solomonoff),以及兰德(RAND)公司和卡内基(Carnegie)工科大学的纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)共10人,在达特茅斯大学举行了一个为期两个月的夏季学术研讨会。这10位来自美国数学、神经学、心理学、信息科学和计算机科学方面的年轻杰出科学家,在一起共同学习和探讨了用机器模拟人类智能的有关问题,并由麦卡锡提议正式采用了“人工

智能 AI(Artificial Intelligence)”这一术语。从而,一个以研究如何用机器来模拟人类智能的新兴学科——人工智能诞生了。

在这次会议之后 10 多年中,人工智能很快就在定理证明、问题求解、博弈论等众多领域取得了一大批重要研究成果。例如,1956 年,塞缪尔研制成功了具有自学习、自组织和自适应能力的西洋跳棋程序。该程序可以从棋谱中学习,也可以在下棋过程中积累经验、提高棋艺。1957 年,纽厄尔、肖(J. Shaw)和西蒙等人的心理学小组研制了一个称为逻辑理论机(Logic Theory machine,LT)的数学定理证明程序。该程序可以模拟人类用数理逻辑证明定理时的思维规律,去证明像不定积分、三角函数、代数方程等数学问题。1958 年,麦卡锡建立了行动规划咨询系统。1960 年,麦卡锡又研制了人工智能语言 LISP。1965 年,鲁滨逊(J. A. Robinson)提出了归结(消解)原理。1968 年,美国斯坦福大学费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)领导的研究小组研制成功了化学专家系统 DENDRAL。此外,在人工神经网络方面,1957 年,罗森布拉特(F. Rosenblatt)等人研制了感知器(perceptron),利用感知器可进行简单的文字、图像、声音识别。

1.2.3 知识应用期

正当人们在为人工智能所取得的成就而高兴的时候,人工智能却遇到了许多困难,遭受了很大的挫折。然而,在困难和挫折面前,人工智能的先驱者们并没有退缩,他们在反思中认真总结了人工智能发展过程中的经验教训,从而又开创了一条以知识为中心、面向应用开发的研究道路,使人工智能又进入了一条新的发展道路。通常,人们把从 1971 年到 20 世纪 80 年代末这段时间称为人工智能的知识应用期,也有人称为低潮时期。

1. 挫折和教训

人工智能在经过形成时期的快速发展之后,很快就遇到了许多麻烦。例如:

(1) 在博弈方面,塞缪尔的下棋程序在与世界冠军对弈时,五局中败了四局。

(2) 在定理证明方面,发现鲁滨逊归结法的能力有限。当用归结原理证明两个连续函数之和还是连续函数时,推了 10 万步也没证出结果。

(3) 在问题求解方面,由于过去研究的多是良结构的问题,而现实世界中的问题又多为不良结构,如果仍用那些方法去处理,将会产生组合爆炸问题。

(4) 在机器翻译方面,原来人们以为只要有一本双解字典和一些语法知识就可以实现两种语言的互译,但后来发现并不那么简单,甚至会闹出笑话。例如,把“心有余而力不足”的英语句子“The spirit is willing but the flesh is weak”翻译成俄语,然后再翻译回来时竟变成了“酒是好的,肉变质了”,即英语句子为“The wine is good but the meat is spoiled”。

(5) 在神经生理学方面,研究发现人脑由 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经元所组成,在现有技术条件下用机器从结构上模拟人脑是根本不可能的。对单层感知器模型,明斯基出版的专著《Perceptrons》指出了其存在的严重缺陷,致使人工神经网络的研究落入低潮。

(6) 在人工智能的本质、理论、思想和机理方面,人工智能受到了来自哲学、心理学、神经生理学等社会各界的责难、怀疑和批评。

在其他方面,人工智能也遇到了这样那样的问题。一些西方国家的人工智能研究经费被削减、研究机构被解散,全世界范围内的人工智能研究陷入困境、跌入低谷。

2. 以知识为中心的研究

科学的真谛总是先由少数人创造出来的。早在 20 世纪 60 年代中期,当大多数人工智能学者正热衷于对博弈、定理证明、问题求解等进行研究时,专家系统这一个重要研究领域也开始悄悄地孕育。正是由于专家系统这棵幼小萌芽的存在,才使得人工智能能够在后来出现的困难和挫折中很快找到前进的方向,又迅速地再度兴起。

专家系统(expert system, ES)是一个具有大量专门知识,并能够利用这些知识去解决特定领域中需要由专家才能解决的那些问题的计算机程序。专家系统实现了人工智能从理论研究走向实际应用,从一般思维规律探讨走向专门知识运用的重大突破,是人工智能发展史上的一次重要转折。

当时,国际上最著名的两个专家系统分别是 1976 年费根鲍姆领导研制成功的 MYCIN 专家系统和 1981 年斯坦福大学国际人工智能中心杜达(R. D. Duda)等人研制成功的地质勘探专家系统 PROSPECTOR。其中 MYCIN 专家系统可以识别 51 种病菌,能正确使用 23 种抗生素,能协助内科医生诊断、治疗细菌感染疾病,并从技术上解决了诸如知识表示、不确定性推理、搜索策略、人机联系、知识获取及专家系统基本结构等一系列重大问题。

1977 年,费根鲍姆正式提出了知识工程(Knowledge Engineering, KE)的概念,进一步推动了基于知识的专家系统及其他知识工程系统的发展。专家系统的成功,说明了知识在智能系统中的重要性,使人们更清楚地认识到人工智能系统应该是一个知识处理系统,而知识表示、知识获取、知识利用则是人工智能系统的三个基本问题。

这一时期,与专家系统同时发展的重要领域还有计算机视觉、机器人、自然语言理解和机器翻译等。此外,在知识工程长足发展的同时,一直处于低谷的人工神经网络也开始慢慢复苏。1982 年,霍普菲尔特(J. Hopfield)提出了一种新的全互联型人工神经网络,成功地解决了计算复杂度为 NP 完全的“旅行商”问题。1986 年,鲁梅尔哈特(D. Rumelhart)等研制出了具有误差反向传播(Error Back-propagation, BP)功能的多层前馈网络,简称 BP 网络,实现了明斯基关于多层网络的设想。

1.2.4 从学派分立走向综合

随着人工神经网络的再度兴起和布鲁克斯的机器虫的出现,人工智能研究形成了相对独立的三大学派,即基于知识工程的符号主义学派、基于人工神经网络的联结主义学派和基于控制论的行为主义学派。

其中,符号主义学派强调知识的表示和推理;联结主义学派强调神经元的联结活动过程;行为主义学派强调对外界环境的感知和适应。它们在学术观点与科学方法上存在着严重分歧和差异,在特定的历史条件下,各自走出了自己的研究道路和成长历史。但是,随着研究和应用的深入,人们又逐步认识到,三个学派各有所长,各有所短,应相互结合、取长补短、综合集成。因此,人们通常把 20 世纪 80 年代末到 21 世纪初的这段时间称为从学派分立走向综合的时期。

1.2.5 智能科学技术学科的兴起

从 21 世纪初以来,一个以人工智能为核心,以自然智能、人工智能、集成智能和协同智能为一体的新的智能科学技术学科正在逐步兴起,并引起了人们的极大关注。所谓集成智能是指自然智能与人工智能通过协调配合所集成的智能;所谓协同智能是指个体智能相互协调所