

79

面向 21 世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

178-43  
G25

# 人工智能基础

高 济 朱淼良 何钦铭



A0967076



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容提要

本书为“教育部面向 21 世纪课程教材”,系统介绍了人工智能的基本原理、方法和技术,并反映了国内外人工智能领域研究和应用的最新进展。全书共 9 章,第一章阐述人工智能研究和应用的概况以及人工智能的发展;第二、三章介绍人工智能的基本概念、方法和技术,包括问题求解的基本方法和知识表示;第四章到第六章讨论人工智能技术的主要应用,包括:基于知识的系统、自动规划和配置、机器学习;第七章到第九章旨在拓广人工智能的研究和应用,包括非单调推理和软计算、机器感知、Agent 技术和信息基础设施智能化。

本书内容丰富,叙述脉络清晰,同时配有丰富的习题,可作为高等院校计算机及有关专业本科生教材,也可供工程技术人员参考使用。本书也可与教育部新世纪网络课程项目中的“人工智能”课程配套使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能基础/高济,朱森良,何钦铭. —北京:  
高等教育出版社,2002.8  
本科、研究生教材  
ISBN 7-04-011097-0

I. 人... II. ①高...②朱...③何... 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(2002)第 030987 号

人工智能基础

高 济 朱森良 何钦铭

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	010-64014048		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	北京外文印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2002 年 8 月第 1 版
印 张	30.75	印 次	2002 年 8 月第 1 次印刷
字 数	560 000	定 价	32.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

人工智能是 20 世纪下半叶兴起的一门新学科,被誉为 20 世纪的重大科学技术成就之一,并将在新世纪的网络经济时代发挥重要作用。作为计算机科学的重要分支,人工智能将渗透到应用计算机技术的各行各业,促进这些行业乃至计算机软件产业本身的变革。所以,让信息学科(尤其是计算机和自动化领域)和计算机应用密集的其他学科的研究生和本科高年级学生掌握人工智能的基础性知识,已成为国内外许多高校提高学生综合素质,培养高水平、复合型和创新型人才的一项重要举措。

浙江大学是国内最早进行人工智能研究的高校之一,并长期重视研究生和本科生的人工智能课程教学。基于科研和教学实践的丰富积累,我们认为人工智能技术是信息学科和其他学科领域提高计算机应用水平的重要工具。从而,“人工智能”课程的教学目标应定位在使这些学科领域的学生掌握人工智能技术的基本常识和培养开发应用的初级能力,为他们将来在各自学科领域开拓高水平的人工智能技术应用奠定基础。为此,本书对“人工智能”课程的教学内容作了大胆的革新,强调从工程应用的角度,深入浅出地系统介绍人工智能的基本原理、方法及应用技术,强化实用化介绍,并全面反映国内外研究和应用的新进展。

全书分 3 个部分:绪论、基础篇和提高篇。绪论即第一章,阐述人工智能研究的发展和基本原则。基础篇由 5 章构成,第二、三章介绍人工智能的基本概念、方法和技术,包括搜索、归约和逻辑推理等问题求解的基本方法以及知识表示的理论和方法;第四、五、六章讨论人工智能技术的主要应用,包括基于知识的系统,自动规划和配置,以及机器学习和知识发现。提高篇由七、八、九 3 章组成,旨在拓广人工智能的研究和应用,包括非单调推理、不确定推理、模糊推理、神经网络等新型问题求解技术,与感知相关的机器视觉和自然语言理解技术,以及 Agent 技术和信息基础设施的智能化。

本书前 6 章(即绪论和基础篇)适合于作为本科高年级学生的 2 学分课程;再加上后 3 章(即提高篇),可作为研究生的 3 学分课程。本书教学内容有以下特点:

(1) 将人工智能的基本概念、方法及技术清晰地划为两个方面:问题求解的基本方法(第二章)和知识表示(第三章);增加知识表示理论的阐述,并指出知识表示包括定义符号结构和推理机制两个部分(3.1 节);由此为学生独立设计 KB(基于知识的)系统奠定方法论基础。

(2) 强化人工智能技术的实用化介绍(2.4.4、3.3.2、3.4、4.2、4.3、5.2、5.3、7.2.3、7.3、7.4.3、7.5.4、9.3、9.4等节和第六章),以帮助学生理论联系实践,并为学生将来应用人工智能技术于各自的研究工作,提供指导性样板。

(3) 强化人工智能研究和应用新进展的介绍(4.4、5.2等节和第六、七、九章),使学生及时了解人工智能学科的前沿动向,激发他们应用新技术和做创新研究的热情。

本书前5章、第七章、第八章的后两节(自然语言理解)和第九章由高济编写,第八章的前3节(机器视觉)由朱森良编写,第六章由何钦铭编写,全书由高济修改和统编。

对于本书中出现的错误和不足之处,恳请各位专家和读者批评指正。

高 济  
2002年3月  
于浙江大学

# 目 录

第一章 人工智能研究的发展和基本原则 .....	1
1.1 人工智能的研究和应用 .....	1
1.2 人工智能研究的发展 .....	5
1.3 人工智能研究的成果 .....	6
1.4 人工智能研究的基本原则 .....	10
1.5 存在的问题和发展前景 .....	12
习题 .....	14
参考文献 .....	14
第二章 问题求解的基本方法 .....	15
2.1 一般图搜索 .....	15
2.1.1 状态空间搜索 .....	15
2.1.2 启发式搜索 .....	23
2.1.3 状态空间抽象和生成一测试法 .....	29
2.1.4 启发式搜索的适用性讨论 .....	31
2.2 问题归约 .....	33
2.2.1 问题归约的描述 .....	33
2.2.2 与或图搜索 .....	38
2.2.3 与或图的启发式搜索 .....	40
2.3 基于归结的演绎推理 .....	44
2.3.1 谓词演算 .....	44
2.3.2 归结演绎方法 .....	51
2.3.3 归结反演 .....	59
2.4 基于规则的演绎推理 .....	63
2.4.1 基于规则的正向演绎推理 .....	64
2.4.2 基于规则的逆向演绎推理 .....	70
2.4.3 演绎推理的应用讨论 .....	72
2.4.4 逻辑编程语言 Prolog .....	74
本章小结 .....	82
习题 .....	83
参考文献 .....	87
第三章 知识表示 .....	88

3.1 知识和知识表示 .....	88
3.1.1 知识原则 .....	88
3.1.2 知识表示的作用 .....	89
3.1.3 知识表示的功能 .....	91
3.1.4 知识表示的性能 .....	92
3.1.5 基本的知识表示方式 .....	93
3.2 产生式表示 .....	96
3.2.1 产生式系统 .....	96
3.2.2 控制策略 .....	101
3.2.3 产生式系统的分类 .....	105
3.3 结构化表示 .....	107
3.3.1 语义网络 .....	107
3.3.2 框架表示法 .....	113
3.3.3 面向对象的表示法 .....	117
3.4 知识表示的实用化问题 .....	118
3.4.1 程序性和陈述性知识 .....	118
3.4.2 表示能力和推理效率之间的制约关系 .....	119
本章小结 .....	124
习题 .....	125
参考文献 .....	127
<b>第四章 基于知识的系统 .....</b>	<b>129</b>
4.1 KB系统的开发 .....	129
4.1.1 KB系统的一般概念 .....	129
4.1.2 KB系统的体系结构原则 .....	133
4.1.3 KB系统的开发过程 .....	135
4.1.4 KB系统的开发工具和环境 .....	137
4.2 设计基于产生式表示的KB系统开发工具 .....	138
4.2.1 总体设计 .....	138
4.2.2 Xps的实现 .....	141
4.2.3 应用实例——家族树 .....	143
4.2.4 性能改进 .....	146
4.2.5 开发工具 OPSS .....	147
4.3 专家系统实例——MYCIN .....	148
4.3.1 知识库的构造 .....	149
4.3.2 推理机的设计 .....	151
4.3.3 系统服务设施 .....	155
4.3.4 开发工具 EMYCIN .....	157

---

4.4 问题求解的结构化组织 .....	158
4.4.1 结构化组织的需求 .....	159
4.4.2 事务表 .....	160
4.4.3 黑板法 .....	161
4.4.4 问题求解建模 .....	163
4.4.5 新一代 KB 系统技术 .....	167
本章小结 .....	170
习题 .....	171
参考文献 .....	173
<b>第五章 自动规划和配置 .....</b>	<b>174</b>
5.1 经典规划技术 .....	174
5.1.1 经典规划技术的发展 .....	174
5.1.2 规划的基本概念 .....	175
5.1.3 早期的自动规划技术 .....	179
5.1.4 部分排序规划技术 .....	185
5.2 自动规划技术的新进展 .....	189
5.2.1 非经典规划技术的开发 .....	189
5.2.2 自动规划技术的实用化 .....	190
5.2.3 智能的调度、规划和项目管理 .....	193
5.3 自动配置 .....	200
5.3.1 配置的一般概念 .....	200
5.3.2 自动配置的建模 .....	202
5.3.3 XCON——计算机自动配置系统 .....	208
本章小结 .....	214
习题 .....	216
参考文献 .....	217
<b>第六章 机器学习 .....</b>	<b>219</b>
6.1 机器学习概论 .....	219
6.1.1 机器学习的基本概念 .....	219
6.1.2 机器学习的发展历史 .....	220
6.1.3 机器学习分类 .....	223
6.2 示例学习 .....	229
6.2.1 示例学习的基本策略 .....	230
6.2.2 决策树构造法 ID3 .....	238
6.3 基于解释的学习 .....	243
6.3.1 基于解释的泛化(EBG) .....	244
6.3.2 基于解释学习的若干基本问题 .....	248

6.4 遗传算法 .....	249
6.4.1 简单遗传算法 .....	250
6.4.2 分类系统 .....	253
6.5 加强学习 .....	258
6.5.1 加强学习的基本方法 .....	258
6.5.2 Q学习 .....	261
6.5.3 有关加强的进一步讨论 .....	263
6.6 基于范例的学习 .....	264
6.6.1 基于范例推理的过程 .....	265
6.6.2 应用实例:智能饲料配方系统 ICIX .....	267
6.7 知识发现与数据挖掘 .....	270
6.7.1 定理发现 .....	270
6.7.2 数据挖掘 .....	275
6.7.3 数据库及网络中的知识发现 .....	278
本章小结 .....	282
习题 .....	284
参考文献 .....	286
<b>第七章 非单调推理和软计算 .....</b>	<b>289</b>
7.1 传统逻辑系统的局限性 .....	289
7.2 非单调推理 .....	290
7.2.1 非单调推理简介 .....	291
7.2.2 非单调推理的形式化方法 .....	293
7.2.3 真值维持系统 .....	299
7.3 不确定推理 .....	307
7.3.1 主观 Bayes 方法 .....	307
7.3.2 确定性方法 .....	314
7.3.3 D-S 证据理论 .....	317
7.3.4 应用不确定推理的准则 .....	322
7.4 模糊逻辑和模糊推理 .....	322
7.4.1 模糊逻辑 .....	323
7.4.2 模糊推理 .....	325
7.4.3 模糊控制 .....	330
7.5 神经网络 .....	332
7.5.1 神经元和神经网络 .....	333
7.5.2 面向映射变换的 BP 网 .....	335
7.5.3 面向联想记忆的神经网络 .....	339
7.5.4 神经网络的实现技术 .....	344



---

本章小结 .....	347
习题 .....	350
参考文献 .....	353
<b>第八章 机器感知 .....</b>	<b>354</b>
8.1 视觉与视觉图像 .....	354
8.1.1 视觉世界 .....	355
8.1.2 计算机视觉 .....	357
8.1.3 视觉图像 .....	360
8.2 图像特征提取 .....	364
8.2.1 线性特征的检测 .....	364
8.2.2 图像的区域分割 .....	367
8.3 视觉模型与识别 .....	370
8.3.1 空间建模 .....	371
8.3.2 模式识别 .....	374
8.3.3 图像的理解 .....	377
8.4 自然语言理解 .....	382
8.4.1 自然语言理解的研究 .....	382
8.4.2 单句理解 .....	387
8.4.3 句法分析 .....	388
8.4.4 增强的转变网络 .....	392
8.4.5 语义分析 .....	396
8.5 机器翻译 .....	400
8.5.1 机器翻译的一般过程 .....	400
8.5.2 多句理解 .....	401
8.5.3 目标语言的生成 .....	404
本章小结 .....	405
习题 .....	408
参考文献 .....	409
<b>第九章 Agent 技术和信息基础设施智能化 .....</b>	<b>410</b>
9.1 Agent 技术的研究和发展 .....	411
9.1.1 Agent 技术的形成 .....	411
9.1.2 Agent 的基本特征 .....	412
9.1.3 Agent 技术的研究现状 .....	413
9.1.4 Agent 分类概观 .....	417
9.2 多 Agent 协作 .....	419
9.2.1 合作型 Agent 体系结构 ARCHON .....	419
9.2.2 多 Agent 协作的建立 .....	421

---

9.2.3 合作的协调	430
9.2.4 Agent 社会	443
9.3 Agent 通信	446
9.3.1 信息和知识共享	447
9.3.2 Agent 交互协议	451
9.3.3 通信促进服务	454
9.4 信息基础设施的智能化	457
9.4.1 技术挑战	458
9.4.2 智能系统的作用	459
9.4.3 虚拟组织的信息基础设施	463
本章小结	471
习题	476
参考文献	477

# 第一章 人工智能研究的发展和基本原则

人工智能(Artificial Intelligence,简称 AI)是一门正在发展中的综合性前沿学科,它由计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、语言学等多种学科相互渗透而发展起来,目前尚处于技艺状态。尽管建立关于智能的理论和让智能机器达到人类的智力水平是人工智能的最终目标,但人工智能的生命力却在于能以工程的形式得到实际应用。自从1956年首次提出AI这一术语以来,在40多年的时间内,人工智能学科的发展面临过不少争论、困难和挑战,但同时也孕育了巨大的成功机遇,推动了人工智能学科迅速成长和壮大。研究者们坚信,在21世纪的以信息技术为主导的网络和知识经济中,人工智能技术将具有举足轻重的地位和影响。

## 1.1 人工智能的研究和应用

人工智能的研究可以追溯至古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle)在其著作《工具论》中提出的形式逻辑和称为三段论的演绎推理。自从德国数学家莱布尼茨(Leibniz)于17世纪提出用数学方法处理逻辑问题开始,数理逻辑和形式推理的研究逐步形成新的学科,为人工智能学科的形成做了先驱工作。尤其是20世纪30~40年代,这些研究得到了快速的发展。人们发现,人的推理行为可以通过“基于简单的符号表示结构作运算”来实现,并在此基础上发展了“谓词演算”这种形式推理方法。然而在那个年代,研究人工智能尚缺乏有效的手段,正是现代计算机提供了强有力的手段,使人工智能成为现实。

鉴于人工智能学科尚未达到成熟阶段,人们对智能和智能本质的认识也很肤浅,所以目前尚难给人工智能下确切和严格的定义。顾名思义,可以说人工智能就是用人工方法在机器(计算机)上实现的智能,或称机器智能。作为非正式的定义,人工智能研究如何用计算机来表示和执行人类的智能活动,以模拟人脑所从事的推理、学习、思考和规划等思维活动,并解决需要人类的智力才能处理的复杂问题,如医疗诊断、管理决策、下棋和自然语言理解等。

考虑到本书的目的是从工程应用的角度系统地介绍人工智能的基本原理、方法和应用技术,所以我们不准备在这里讨论有关智能和智能本质的各种假设和观点。有兴趣的读者可以在多种人工智能课程教材的绪论中找到相关论述。我们坚信,随着人工智能研究的逐步深入,人们最终会澄清这些假设和观点,消

除分歧达成共识,形成关于人工智能的确切和严格定义。到那时,人工智能学科实际上也随之达到成熟阶段。

AI 作为探索智能理论的科学,将进一步与认知科学紧密结合,探索关于智能行为的新概念、新理论与新方法。传统的 AI 基本假设“思维等价于计算”已经受到挑战。一个典型例证就是:人们在 20 世纪 90 年代初发现,人脑中单一神经元的化学作用需 32 个 Intel 386 芯片组成的超立方计算机系统才能有效地模拟。据估计,人脑约有  $10^{11} \sim 10^{12}$  个神经元,可以想象直接用计算机模拟人的思维有多么困难。目前人工智能研究依赖的基本哲理是合理性和简化论,并以形式逻辑作为研究智能的主要手段。这些也同样面临挑战。例如,MIT(麻省理工学院)以 Brooks 为代表的一些学者,就在机器人的研究工作中提出无需表示和推理的接近生物系统的智能模型,并取得初步成功。他们创造了一个类似 6 脚蝗虫的人造生物,其能避开障碍物爬行,但这些智能行为并不是通过符号推理取得,而是表现为人造生物对外界的适应性反应。Brooks 因此得到了 IJCAI-12(第 12 届国际人工智能会议)的“计算机与思维”奖。

然而探索性研究只能在有限的资助下由少数人去做,服务于工程目的之应用研究将作为 AI 研究的重要工作,因为得不到实际应用的纯学术研究是没有生命力的。AI 应用研究的注意力集中在完善和提高现有的 AI 理论、方法和技术,以充分发掘现有计算机的潜力,使计算机变得更聪明一点,更有效地应用于解决各学科领域中的困难问题。尽管关于智能的本质尚未搞清,但符号推理是一种高级智能行为,符号推理需要特定领域的专门知识是得到公认的。所以,以开发符号推理的应用为目标的知识工程仍将作为 AI 应用研究的主要方向,而提高符号推理系统的性能(包括解决困难问题的能力和效率)是使这些系统得到实用的关键。目前,许多 AI 应用研究者都认为:提高 AI 系统性能的根本出路在于加深对应用领域和问题求解任务的理解,以便获取能有效地用于求解问题的应用领域特别的方法、知识和数据,并用合理而高效的方法加以组织。完全靠提高计算机硬件速度和开发通用的问题求解方法(弱法——如生成测试、手段目的和搜索算法等)难以奏效。

从工程应用的角度看,目前人工智能研究的主要活跃领域包括基于知识的系统、机器学习和知识发现、Agent 技术和分布的协同工作、规划和配置及机器感知等。下面就对这些领域的研究内容作一简介。

### 1. 基于知识的系统

基于知识的系统简称 KB(Knowledge-Based)系统,是应用人类知识来解决问题(通常是困难问题)的计算机软件系统,当其表现出专家级问题求解能力时称为专家系统。KB 系统要求借助知识获取工具从应用领域专家或其他知识源(如法典、训练手册和数据库等)抽取专门知识,转变为适合于推理机解释性使用

的形式存放于知识库,以实现类似于人的逻辑思维和问题求解能力。KB 系统已发展为人工智能的最有实用前景和影响力的一个分支,在科技、工程、交通、运输、医疗、探矿、气象、商业、金融、军事、行政和管理等领域都有广泛的应用。可以说 KB 系统的应用几乎渗透到各行各业,并必将在新世纪的网络和知识经济中发挥重要的作用。

## 2. 机器学习和知识发现

学习是人类智能行为的重要形式,只有让计算机系统有类似于人的学习能力,才有可能实现人工智能的最终目的之一——建造人工智能人。所以机器学习成为人工智能研究最早关注的核心议题之一。机器学习的低级阶段是机械式学习和教师指导下的学习。前者通过简单地记住推理和解答的结果,来强化将来的推理和问题求解能力;后者则由教师传授知识,或在教师的指导下归纳和抽取知识。机器学习的高级阶段是知识发现,即计算机系统无需教师的帮助,就能自行发现蕴涵在客观规律中的知识。进入 20 世纪 90 年代,KDD(数据库中的知识发现)迅速崛起成为机器学习的一个重要分支,如何从数据仓库包含的大量数据中发现和获取隐含的知识,即使机器学习领域面临重大挑战,也给机器学习技术的实用化带来了新的机遇。

## 3. Agent 技术和分布式协同工作

随着信息技术和网络计算的快速发展,主流计算环境正在经历深刻的变革,多年来工商、行政、科技和军事领域建立起来的大量孤岛型应用软件已不能满足社会进步的需求,也不能适应世界范围的竞争,这使综合成分布于互联网的异构软件;去支持社团组织完成需要多部门甚至多社团协同合作的具有空间、功能和时间分布性的复杂任务,成为时代赋予主流计算环境的使命。由此,Agent 和多 Agent 系统应运而生,并崛起为网络计算环境下支持协同工作的重要技术;它提供具有社会和领域知识,能依据心理状态(信念、期望或意向)自主工作,并具有语义互操作和合作行为协调能力的软件实体,作为参与协调合作的软件构件(component),不仅为实施紧凑一致的协同工作提供有力的支持,也为建立面向网络计算的开放性、可重构和可伸缩的新型集成化软件系统建立了基础。Agent 技术提供的行为自控和群体协作能力,吸引了来自许多不同学科领域(知识工程、机器人、软件工程、信息系统和人机接口等)人员的研究努力,使 Agent 技术成为集知识处理、网络通信、软件工程、社会行为认知等理论和技术的综合性研究,并必将在网络经济和电子商务的开发热潮中发挥重要作用。

## 4. 规划和配置

规划和配置是人类生产和社会活动的重要形式。规划旨在为活动实体(人、组织和机器)设计合理的行为——按时间顺序的活动序列;配置则为实现拟定功能的实体设计合理的部件组合结构——按空间位置的部件布局。著名的早期经

典规划技术是机器人动作规划系统 STRIPS。20 世纪 70 年代中期出现的部分排序规划技术(以 NOAH 系统和目标回归方法为代表)使经典规划取得了突破性进展。然而,鉴于真实世界的复杂性,大多数实际规划问题(包括机器人行动规划)都不满足经典规划问题的假设(系统每个动作的执行结果是完全可预言的)。于是,自 20 世纪 70 年代中期起研究者们开始了非经典规划技术(以动态世界规划和专用目的规划器为代表)的研究,并到 20 世纪 80 年代中、后期形成了研究高潮。作为一个实用领域,智能的调度、规划和项目管理,得到了深入的研究。

配置是一种综合型(构成型)任务。从知识工程的角度,配置是知识密集型问题求解任务,更需要领域特别的知识而非一般的解决方法。配置任务以一般的需求说明作为输入,并将选择什么部件以及如何组装它们的详细说明作为解答输出。常见的基于知识的配置问题解决过程遵从一种二阶段模式:解答扩展和解答精化。前者将客户的需求说明映射到关于配置方案的抽象说明,后者则将这个抽象说明(解答)映射到细化的物理配置方案,以详细说明组装的安排和进一步的需求。著名的基于知识的自动配置系统是 XCON(也称为 R1),由麦克德莫(J. McDermott)及其同事于 1982 年在 CMU(卡内基-梅隆大学)开发成功,用于为 DEC(数字设备公司)自动配置满足客户需求的计算机系统。

### 5. 机器感知

机器感知主要包括计算机视觉和口语识别。计算机视觉研究用计算机来模拟人和生物的视觉系统功能,使计算机具有“感知”周围视觉世界的的能力。具体来说,就是让计算机具有对周围世界的空间物体进行传感、抽象和判断的能力,从而达到识别和理解的目的。根据其处理过程的先后及复杂程度,计算机视觉的任务可以分成下列几个方面:图像的获取、特征抽取、识别与分类、三维信息理解、景物描述和图像解释。口语识别建立在自然语言理解的基础上。语言(书面语)理解包括词法、句法和语义分析,口语识别需外加语音分析。可以说,贯穿自然语言理解研究的主流技术一直是句法-语义分析,这决定了人工智能技术,尤其是基于规则的推理技术,在自然语言理解研究中具有不可替代的核心作用。基于自然语言理解的研究在句法-语义分析技术方面取得的重要进展,在 20 世纪 80 年代后,实用化和工程化的努力导致一批商品化的自然语言人-机接口和机器翻译系统出现于国际市场。

20 世纪 80 年代以专家系统为核心发展起来的人工智能和知识工程技术,给 AI 转变为生产力做好了技术和社会准备。技术方面以知识处理为核心,探索和实践如何用人工智能技术解决实际问题,一些方法已逐步成熟;社会方面,人工智能技术已得到国家和企业、科技人员和普通百姓的接受。进入 20 世纪 90 年代,人工智能加速了其实用化进程。首先,嵌入式智能技术的应用使各种

高技术产品(汽车、飞机、机械、仪表和电器等)智能化;其次,Agent 和多 Agent 系统的应用提高了网络计算和信息基础的智能化;其三,基于数据挖掘的知识发现技术的应用促进了知识获取和管理决策的自动化。

## 1.2 人工智能研究的发展

1956 年夏季,由麦卡锡(McCarthy)等美国年轻学者发起的首次人工智能研讨会,标志着人工智能作为新兴学科的诞生。就在这次会议上,第一次使用了人工智能这一术语。自此以后,人工智能作为计算机学科的一个重要分支,获得了快速的发展。这一发展历程大致可划分为形成、成长、快速发展和稳步增长 4 个阶段。

### 1. 形成期

1956 年到 1961 年可以说是 AI 研究的形成时期。基于前人数学逻辑和形式推理方面取得的成果,建立在卡内基-梅隆大学、麻省理工学院和 IBM 公司的研究组开始了 AI 的早期研究工作。这个时期的成果主要是定理证明程序、GPS(General Problem Solving)、下棋程序、LISP 语言和模式识别系统等。这些早期成果充分表明,AI 作为一门新兴的学科正在茁壮成长。

### 2. 成长期

1961 年以后进入 AI 研究成长期。然而在成长期的早期(20 世纪 60 年代),由于不适当地过分强调和依赖于符号逻辑和形式推理(AI 形成期为 AI 建立的研究基础),导致了 AI 研究陷入基于弱法(weak methods)的纯学术研究的困境。所谓弱法就是通用问题求解策略,由于片面强调相应算法的通用性,忽视问题域特别信息的指导作用,容易引起所谓的组合爆炸问题。组合爆炸意指,复杂的问题涉及大量因素,由这些因素的适当组合而构成的可能解答的数目相当庞大,以至于再高速的计算机也无法在合理的时间内通过穷尽的枚举来找出正确答案。结果,弱法只能解决智力游戏(过河、九宫图)和玩具问题(积木块世界动作规划)等十分简单的问题。20 世纪 60 年代中期到 70 年代初,斯坦福大学研制的 DENDRAL(用化学专业知识从质谱仪数据推断有机化合物的结构)和 MYCIN(人血液疾病诊断咨询系统),以及随之涌现的大批专家系统和建造工具的研制,使 AI 从纯弱法的研究困境中解脱出来,赋予了新的生命力,以至引起 20 世纪 80 年代初的 AI 大发展。关键的教训在于,早期的 AI 研究忽视了人类智能的本质在于有知识,可用以合理地组织和指导问题求解,从而避免组合爆炸。

### 3. 快速发展期

20 世纪 80 年代初被卡内基-梅隆大学的研究组称作为 AI 研究的淘金热(a gold rush)。正像戴维斯(Davis)指出的那样,“这是有讽刺意义的,三年前(20

世纪 70 年代末), AI 被认为是不可靠的, 现在却成了热门, 每个人均想利用。”20 世纪 70 年代专家系统的初步成功和日本于 1979 年宣布的第五代计算机研究计划起到了决定性的推动作用。美国、西欧和英国都拟定了庞大的投资计划, 作为对日本人挑战的应答。在美国, DARPA(美国国防部先进科研项目管理处)提出新一代计算系统的 10 年研究计划(1983—1992), 头五年就投资 6 亿美元, 直接用于 AI 项目的为 1 亿美元; 西欧提出 ESPRIT 计划, 拨款 13.3 亿美元, 直接用于 AI 的为 1 亿美元; 英国投资 5.25 亿美元, 直接用于 AI 的为 5 千万美元。相比之下, 日本尽管提出了第五代计算机计划, 却只投资了 3 千万美元。20 世纪 80 年代初, AI 被视为具有很高的经济价值, 因而冒险性投资骤然剧增。例如, 美国有 40 家小公司在 20 世纪 80 年代初的 3 年内, 居然投资了 1 亿美元去发展商品化的 AI 产品。可以说 20 世纪 80 年代初是 AI 事业在全球得到大发展的时期。但由于人工智能技术的不成熟性, 以及对 AI 经济效益的期望值太高, 结果不免令人失望; 更糟糕的是大部分草率上马的专家系统项目均未达实用化程度。于是到了 20 世纪 80 年代中期, AI 热特别是专家系统热大大降温。进而导致了一部分人对 AI 前景持悲观态度, 甚至有人提出 AI 的冬天已经来临。

#### 4. 稳步增长期

尽管 20 世纪 80 年代中期 AI 研究的淘金热跌到谷底, 但大部分 AI 研究者都还保持着清醒的头脑。一些老资格的学者早就呼吁不要过于渲染 AI 的威力, 应多做些脚踏实地的工作。甚至在这个淘金热来到时就已预言其很快就会降温。也正是在这批人的领导下, 大量扎实的研究工作接连不断地进行, 从而使 AI 技术和方法论的发展始终保持了较高的速度。顺便提一下, 20 世纪 80 年代中期的降温并不意味着 AI 研究停滞不前或遭受重大挫折, 因为过高的期望未达到是预料中的事, 不能认为是受到挫折。自那以来, AI 研究进入稳健的线性增长时期, 而人工智能技术的实用化进程也步入成熟时期。

### 1.3 人工智能研究的成果

尽管人工智能研究发展的历史充满了风雨和曲折, 但仍然取得了丰硕的成果, 从而显示出人工智能技术具有强大的应用潜力。为了解 40 多年来 AI 究竟取得了什么样的重大进展, 下面从国际象棋(chess)、口语识别(speech)、机器视觉(vision)和专家系统几个方面做一些介绍。

#### 1. 国际象棋

国际象棋是典型的适合于 AI 技术解决的问题, 在 20 世纪 50 年代 AI 研究形成时期, 它就是 AI 研究的主要对象之一。著名的老一辈 AI 学者像西蒙(Simon)、纽厄尔(Newell)和肖(shaw)等都深入研究过下棋程序, 不少 AI 问题求解



技术,如状态空间搜索方法,也来源于下棋程序的研究。按 AI 术语,棋盘的棋子布局称为一个状态,所有可能的状态构成状态空间。显然状态空间是很大的,需有效的搜索方法去从中搜索解答。

20 世纪 60 年代初,麦卡锡提出了 alpha-beta 修剪算法,把为决定下一个走步而需对棋盘状态空间的搜索量从指数级减少为指数的平方根,大大提高了机器下棋的水平,并被广泛地用于各种下棋程序中。1966 年,下棋程序只达到 C 级专业棋手水平,到 1982 年已可达大师级。1985 年美国的一个称为 Hitech 的下棋程序,基于 VLSI 并行结构硬件,可达特级大师水平。据统计,在随后的几年内,Hitech 参加了美国 48 次国际象棋锦标赛,赢了所有的专业棋手、70% 的大师级棋手,但只赢了 15% 的特级大师。1988 年由卡内基-梅隆大学的两个学生设计的下棋程序“Deep Thought”,在美国的一次锦标赛中胜了最高级棋手。1997 年由 IBM 公司研制的超级计算机“Deep Blue”,在与国际象棋冠军卡斯帕罗夫的六盘对弈中,取得三胜二和一负的战绩。这场人机世纪之战表明,机器智能可以超过人类,具有划时代意义。鉴于下棋需要高级的智能,计算机下棋程序的进展可视为人工智能研究的重大成就。

## 2. 口语识别

口语识别是长期以来 AI 要解决的困难问题。可以把 AI 面临的问题按困难程度排列如下:智力游戏、国际象棋、定理证明、专家系统、自然语言理解、口语识别和机器视觉。智力游戏和国际象棋的难度相对地较小,因为推理所需要的知识和数据量少,也不要求实时处理。而口语识别和机器学习涉及的知识 and 处理的数据量大,并要求实时响应。两者相比,计算上的复杂度差好几个数量级。给计算机提供的口语接口有许多优点:自然、不用手、不用看,并不受位置限制。但存在许多未解决的问题,使口语方式还不能作为常规人机接口。这些问题包括目前的口语识别系统不能实时响应、依赖于特别的讲话者、不适应于噪音大和讲话速度快的场合、不能处理人讲话中非文法可解释的但习惯又常见的现象(词语重复、插入语和重讲等)。

口语识别的研究工作起源于 20 世纪 50 年代末。随着计算机的发展和 A/D 转换器的出现,在 20 世纪 60 年代,具有小词汇量的系统已用于控制机器人的动作。20 世纪 70 年代对于自然语言语法和语义的研究成果推动了口语识别工作。代表 20 世纪 80 年代后期先进水平的口语识别系统是称为 Sphinx 的系统。它不像大多数口语识别系统那样要求讲话者事先对系统进行适应性训练,可以不进行训练就直接识别连续的讲话。该系统具有 1000 个词汇,接近于实时处理,识别的准确度达 94%。该系统采用了对口语知识的建模和自学习等技术,并采用了大量的训练数据,从而性能超过了同时代的其他系统,并克服了它们的许多局限性。口语识别研究的成果也推动了整个 AI 的研究,因为口语识别需