



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 人工智能基础

(第 2 版)

高 济 何钦铭



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 人工智能基础

(第2版)

高 济 何钦铭

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,旨在系统介绍人工智能的基本原理、方法和技术,并反映国内外研究和应用的最新进展。全书共7章。第1章阐述人工智能研究的发展、成果和基本原则;第2、3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4~6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;第7章对人工智能的高级技术作引导性综述,包括非单调推理和软计算、基于范例的推理、关于时间和空间的推理、机器学习研究和应用的新进展、Agent技术和多Agent协同工作,以及新一代网络计算的技术基础及其智能化,以开阔学生的眼界。

本书内容丰富,叙述脉络清晰,强化实用化介绍,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。

## 图 书 在 版 编 目 ( C I P ) 数 据

人工智能基础/高济,何钦铭.—2版.—北京:高等教育出版社,2008.10

ISBN 978-7-04-025282-8

I. 人… II. ①高…②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(2008)第137391号

策划编辑 刘艳 责任编辑 唐笑慧 封面设计 于文燕 版式设计 史新薇  
责任校对 杨凤玲 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京明月印务有限责任公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 25  
字 数 550 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002年8月第1版  
2008年10月第2版  
印 次 2008年10月第1次印刷  
定 价 31.10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

物料号 25282-00

## 第2版前言

自从1956年首次提出“人工智能”这一术语以来,经历了50多年的研究和开发,以及多次发展危机和机遇的洗礼,人工智能已经成长为计算机学科的重要分支,不仅用于探索智能理论和模拟智能行为,也广泛应用于实现工程、技术系统的智能化,以解决各学科领域中的困难问题,并将在新世纪的网络和知识经济时代发挥重要作用。

随着计算机技术的快速发展和网络的普及应用,人工智能技术已渗透到应用计算机技术和网络的各行各业,并正在和必将促进这些行业乃至计算机软件产业本身的变革。所以,要求信息学科(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。考虑到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,本书的第1版已将课程的教学目标定位为使学生掌握人工智能技术的基本常识和拥有应用开发的初级能力;因而注重从工程应用的角度,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,并全面反映当时国内外研究和应用的新进展。

最近十年来(尤其是进入新千年以来),人工智能技术取得了重大进展,主要体现在两个方面:新一代网络计算的智能化、机器学习的研究和应用;这些新进展加速了人工智能技术融入网络和知识经济的步伐。本书作者认为,第2版应反映这些新进展,但这会大幅度地提高提高篇的内容。考虑到本书(分3个部分:绪论、基础篇和提高篇)侧重于让学生掌握人工智能的基本原理、方法及初级应用技术(这些属基础篇的内容),而提高篇旨在拓广学生对于人工智能高级技术的视野;所以作者将原提高篇内容分离出来编入研究生教材《人工智能高级技术导论》,代之以设立新的第7章“人工智能高级技术综述”作为提高篇内容,给出对于人工智能高级技术的一个引导性介绍,其中包括对于上述新进展的介绍。

本书第2版保留第1版的内容构架,全书分3个部分:绪论、基础篇和提高篇。绪论即第1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2、3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4、5、6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。第3章增加了3.5节,通过引入基于本体的语义知识表示,将知识表示从面向句法扩展到面向语义,使得通过计算机网络交换的信息内容具有语义清晰和精确的定义。第4章增加了4.5节,阐述从传统知识工程中脱颖而出的本体工程,并将KB系统拓广到基于本体的知识系统,包括语义Web、知识管理、分布协同。第6章在第1

版对于数据挖掘技术的一般性介绍基础上,增加了6.7.3小节阐述实用性很强的关联规则挖掘技术。

提高篇即第7章,对非单调推理和软计算(第1版原有内容的压缩)、基于范例的推理、关于时间和空间的推理、机器学习研究与应用的新进展、Agent技术和多Agent协同工作(第1版原有内容的压缩)以及新一代网络计算的技术基础及其智能化分别作简要综述。基于范例的推理适用于难以抽取足够演绎推理知识(传统KB系统要求获取的知识)的应用领域,再加上关于时间和空间的推理,有效地扩充了知识处理技术在软件智能化中的作用。机器学习的新进展顺延两条脉络:统计学习和发现学习;前者包括贝叶斯网络、隐马尔可夫模型和统计学习理论;后者包括粗糙集、聚类分析和复杂类型数据的挖掘技术。新一代网络计算的智能化则随着21世纪的来临应运而生,并沿着3个相互促进的脉络(即语义Web、网格计算和自治计算)快速发展。

本书第2版保留的原第6章内容由何钦铭编写,其余内容由高济编写。因篇幅受限,本书第1版的原第8章内容不再保留。原第8章的前3节(机器视觉)由朱森良编写,对于这些内容未包含于本书第2版,特此表示歉意。

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

2008年8月

于浙江大学求是园

# 第 1 版前言

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。作为计算机学科的重要分支,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际,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

<b>第 1 章 人工智能研究的发展和基本原则</b> .....	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 .....	4
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 .....	9
1.5 存在的问题和发展前景 .....	10
习题 .....	13
参考文献 .....	13
<b>第 2 章 问题求解的基本方法</b> .....	14
2.1 一般图搜索 .....	14
2.1.1 状态空间搜索 .....	14
2.1.2 启发式搜索 .....	21
2.1.3 状态空间抽象和生成 - 测试法 .....	27
2.1.4 启发式搜索的适用性讨论 .....	28
2.2 问题归约 .....	30
2.2.1 问题归约的描述 .....	30
2.2.2 与或图搜索 .....	34
2.2.3 与或图的启发式搜索 .....	36
2.3 基于归结的演绎推理 .....	39
2.3.1 谓词演算 .....	39
2.3.2 归结演绎方法 .....	46
2.3.3 归结反演 .....	53
2.4 基于规则的演绎推理 .....	57
2.4.1 基于规则的正向演绎推理 .....	58
2.4.2 基于规则的逆向演绎推理 .....	63
2.4.3 演绎推理的应用讨论 .....	66
2.4.4 逻辑编程语言 Prolog .....	67
本章小结 .....	74
习题 .....	75
参考文献 .....	79
<b>第 3 章 知识表示</b> .....	80
3.1 知识和知识表示 .....	80



3.1.1	知识原则 .....	80
3.1.2	知识表示的作用 .....	81
3.1.3	知识表示的功能 .....	83
3.1.4	知识表示的性能 .....	84
3.1.5	基本的知识表示方式 .....	85
3.2	产生式表示 .....	87
3.2.1	产生式系统 .....	87
3.2.2	控制策略 .....	92
3.2.3	产生式系统的分类 .....	95
3.3	结构化表示 .....	97
3.3.1	语义网络 .....	97
3.3.2	框架表示法 .....	102
3.3.3	面向对象的表示法 .....	106
3.4	知识表示的实用化问题 .....	107
3.4.1	程序性和陈述性知识 .....	107
3.4.2	表示能力和推理效率之间的制约关系 .....	108
3.5	基于本体的语义知识表示 .....	113
3.5.1	语义知识表示和共享本体 .....	113
3.5.2	本体表示语言的研究 .....	114
3.5.3	Web 本体语言 OWL .....	119
3.5.4	语义 Web 的应用情景和支持技术 .....	121
	本章小结 .....	124
	习题 .....	126
	参考文献 .....	128
<b>第 4 章</b>	<b>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 .....	132
4.1.3	KB 系统的开发过程 .....	134
4.1.4	KB 系统的开发工具和环境 .....	136
4.2	设计基于产生式表示的 KB 系统开发工具 .....	137
4.2.1	总体设计 .....	137
4.2.2	Xps 的实现 .....	140
4.2.3	应用实例——家族树 .....	142
4.2.4	性能改进 .....	144
4.2.5	开发工具 OPS5 .....	145
4.3	专家系统实例——MYCIN .....	147
4.3.1	知识库的构造 .....	147

4.3.2 推理机的设计 .....	149
4.3.3 系统服务设施 .....	153
4.3.4 开发工具 EMYCIN .....	155
4.4 问题求解的结构化组织 .....	156
4.4.1 结构化组织的需求 .....	156
4.4.2 事务表 .....	158
4.4.3 黑板法 .....	159
4.4.4 问题求解建模 .....	160
4.4.5 KB 系统的高级技术 .....	164
4.5 基于本体的知识系统 .....	167
4.5.1 基础级本体工程 .....	167
4.5.2 高级本体工程 .....	173
4.5.3 开发基于本体的知识系统 .....	180
本章小结 .....	188
习题 .....	189
参考文献 .....	191
<b>第 5 章 自动规划和配置 .....</b>	<b>193</b>
5.1 经典规划技术 .....	193
5.1.1 经典规划技术的发展 .....	193
5.1.2 规划的基本概念 .....	194
5.1.3 早期的自动规划技术 .....	197
5.1.4 部分排序规划技术 .....	203
5.2 自动规划技术的新进展 .....	206
5.2.1 非经典规划技术的开发 .....	207
5.2.2 自动规划技术的实用化 .....	208
5.2.3 智能的调度、规划和项目管理 .....	210
5.3 自动配置 .....	217
5.3.1 配置的一般概念 .....	217
5.3.2 自动配置的建模 .....	219
5.3.3 XCON——计算机自动配置系统 .....	224
本章小结 .....	230
习题 .....	231
参考文献 .....	233
<b>第 6 章 机器学习 .....</b>	<b>234</b>
6.1 机器学习概论 .....	234
6.1.1 机器学习的基本概念 .....	234
6.1.2 机器学习的发展历史 .....	235
6.1.3 机器学习分类 .....	237

6.2 示例学习 .....	243
6.2.1 示例学习的基本策略 .....	243
6.2.2 决策树构造法 ID3 .....	252
6.3 基于解释的学习 .....	255
6.3.1 基于解释的泛化(EBG) .....	256
6.3.2 基于解释学习的若干基本问题 .....	260
6.4 遗传算法 .....	261
6.4.1 简单遗传算法 .....	261
6.4.2 分类系统 .....	265
6.5 加强学习 .....	269
6.5.1 加强学习的基本方法 .....	269
6.5.2 Q 学习 .....	272
6.5.3 有关加强的进一步讨论 .....	274
6.6 基于范例的学习 .....	275
6.6.1 基于范例推理的过程 .....	275
6.6.2 应用实例:智能饲料配方系统 ICMIX .....	277
6.7 知识发现与数据挖掘 .....	279
6.7.1 定理发现 .....	279
6.7.2 数据挖掘 .....	284
6.7.3 关联规则挖掘 .....	287
6.7.4 数据库及网络中的知识发现 .....	295
本章小结 .....	299
习题 .....	300
参考文献 .....	302
<b>第7章 人工智能高级技术综述 .....</b>	<b>305</b>
7.1 非单调推理和软计算 .....	305
7.1.1 真值维持系统 .....	306
7.1.2 约束满足问题 .....	308
7.1.3 不确定推理 .....	310
7.1.4 模糊逻辑和模糊推理 .....	315
7.1.5 人工神经网络 .....	319
7.2 基于范例的推理 .....	323
7.2.1 基于范例的推理系统 .....	324
7.2.2 范例表示和索引 .....	326
7.2.3 检索、改编和辩证 .....	328
7.2.4 基于范例的学习 .....	329
7.2.5 结论 .....	330
7.3 关于时间和空间的推理 .....	330

---

7.3.1 伴有时间的推理 .....	331
7.3.2 时间的不确定性和分支 .....	333
7.3.3 关于空间的推理 .....	336
7.3.4 关于形状的推理 .....	339
7.4 机器学习研究与应用的新进展 .....	340
7.4.1 贝叶斯网络 .....	340
7.4.2 隐马尔可夫模型 .....	343
7.4.3 统计学习理论 .....	344
7.4.4 粗糙集理论 .....	348
7.4.5 聚类分析 .....	352
7.4.6 复杂类型数据的挖掘 .....	354
7.5 Agent 技术和多 Agent 协同工作 .....	356
7.5.1 Agent 技术的研究和发展 .....	357
7.5.2 多 Agent 协作 .....	361
7.5.3 Agent 通信 .....	366
7.6 新一代网络计算的技术基础及其智能化 .....	369
7.6.1 语义 Web .....	370
7.6.2 网格计算 .....	371
7.6.3 自治计算 .....	373
本章小结 .....	375
习题 .....	383
参考文献 .....	385

# 第1章 人工智能研究的发展和基本原则

人工智能(Artificial Intelligence, 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50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,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,所以这里不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,它能避开障碍物爬行,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。基于本体的语义知识表示和本体工程的开发,则将 KB 系统拓广到基于本体的知识系统。

### 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,既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。进入新千年,机器学习的研究和应用顺延两条脉络即统计学习和发现学习,并取得了重大进展。

### 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;并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奠定了基础。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促使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;最后,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, 从而带来 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回应。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(1983—1992)研究计划, 头 5 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