



普通高等教育“十一五”规划教材

计算智能

JISUANZHINENG

夏定纯 徐 涛 编著



科学出版社

www.sciencep.com

·普通高等教育“十一五”规划教材·

计算智能

夏定纯 徐 涛 编著

科学出版社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

内 容 简 介

本书共 9 章，介绍了传统智能技术的主要原理与技术、方法，主要包括知识的表示、基本推理、不确定推理、搜索原理等。同时，还介绍了现代智能技术主要的研究与发展方向，主要包括模糊逻辑、神经网络、进化计算等，并从工程应用的角度讨论人工智能的实际问题及其解决方法。

本书可作为应用数学、计算数学、运筹与控制、信息科学、计算机科学、系统科学、控制科学等专业教材用书，也可作为从事计算智能研究与应用的科研技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算智能/夏定纯，徐涛编著. —北京：科学出版社，2008
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-03-0222396-8

I. 计… II. ①夏…②徐… III. 人工智能—神经网络—计算—高等学校—教材 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 094873 号

责任编辑：张颖兵 吉正霞 / 责任校对：梅 莹
责任印制：董艳辉 / 封面设计：苏 波

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>

武汉市新华印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 7 月第 一 版 开本：16 (787×1092)

2008 年 7 月第一次印刷 印张：14 3/4

印数：1—4 000 字数：364 000

定价：24.50 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

智能可以看做是知识积累和知识运用的综合能力反映,主要是认识客观事物、掌握客观规律,以及运用知识去解决实际问题的能力,其中包括观察、判断、学习、理解、适应、推理、创造等多方面的活动。

人工智能就是用人工系统来模拟人的问题求解、推理、学习等方面的能力,模仿、延伸和扩展人的智能。人工智能涉及多个学科领域的知识,如计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、语言学 and 认知科学等。人工智能经过近半个世纪的发展,形成了多个研究发展方向,从整体上看,可以将它分为符号智能和计算智能两大类。

符号智能即所谓的传统人工智能,主要研究基于知识的智能,其研究思路是“自上而下”的模式,它将知识通过符号进行表示和运用,并被具体化为规则等形式,思维活动通过这些公式和规则来定义,使机器产生像人类一样的思维能力。然而,知识并不都能用符号来表示,智能也不都是基于知识的。因此,这样的研究方法存在着一定的局限性。

20世纪80年代人工神经网络研究出现新的突破,基于结构演化的计算智能迅速成为人工智能研究的发展方向。计算智能是研究基于数据的智能,通过训练和学习建立计算模型,设计求解问题的算法,是人工智能的深化与发展。这一“自下而上”的新的研究方法引起来自各个方面越来越多的关注,成为现代人工智能新的研究热点与方向。

计算智能具有自学习、自组织、自适应的特征和简单、通用、鲁棒性强、适于并行处理的优点,在并行搜索、联想记忆、模式识别、知识获取等方面有广泛应用。常见的计算智能方法有神经计算、模糊计算、进化计算、人工生命、免疫计算和群体智能等。

全书分为两篇:第一篇包括第1章至第4章,简要介绍传统人工智能的基本原理和思想,第1章为人工智能发展概述,第2章为人工智能中知识的表示方法,第3章为基本推理原理,第4章为基本搜索原理;第二篇包括第5章至第9章,着重介绍计算智能的技术与方法,第5章为模糊技术与模糊控制,第6章为神经网络技术及应用,第7章为遗传算法及应用,第8章为群体智能,第9章为数据挖掘。

本书第1、第2、第5、第6、第8、第9章由夏定纯编写,第3、第4、第7章由徐涛编写,全书由夏定纯统稿。

对于书中出现的疏漏和不足之处,恳请各位专家和读者批评指正。

夏定纯 徐涛

2008年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 智能基础	1
1.1.1 智能的含义	1
1.1.2 人工智能的含义	2
1.1.3 研究方法	2
1.2 发展阶段	3
1.2.1 形成及第一个兴旺期(1956~1966 年)	3
1.2.2 萧条波折期(1967~1974 年)	3
1.2.3 第二个兴旺期(1975~1998 年)	4
1.3 研究应用	5
第 2 章 知识表示	8
2.1 知识的基本概念	8
2.1.1 知识的特性	9
2.1.2 知识的分类	10
2.1.3 知识的表示方法	10
2.2 谓词逻辑表示.....	12
2.2.1 命题逻辑	12
2.2.2 谓词逻辑	15
2.3 产生式表示.....	16
2.3.1 产生式表示法	16
2.3.2 产生式系统	17
2.4 语义网络.....	19
2.5 框架表示.....	20
2.6 脚本表示.....	23
第 3 章 基本推理原理	25
3.1 推理的基本概念.....	25
3.1.1 推理的定义	25
3.1.2 推理方法及其分类	25
3.1.3 推理的控制策略及其分类	28
3.2 自然演绎推理.....	29
3.3 归结反演推理.....	30
3.3.1 子句集及其化简	30
3.3.2 鲁滨孙归结原理	32
3.4 不确定推理概述.....	35

3.4.1	不确定推理的概念	35
3.4.2	不确定推理的基本问题	36
3.4.3	不确定性推理的方法	37
第4章	搜索原理	38
4.1	搜索原理概述	38
4.1.1	搜索的概念	38
4.1.2	搜索方法的分类	38
4.1.3	状态空间、搜索空间与解路径	39
4.1.4	搜索成本	40
4.2	盲目搜索策略	41
4.2.1	回溯策略	41
4.2.2	图搜索策略	44
4.2.3	深度优先搜索	46
4.2.4	宽度优先搜索	48
4.2.5	等代价搜索	49
4.3	启发式搜索	52
4.3.1	启发式搜索的概念与必要性	52
4.3.2	启发式搜索算法 A	58
4.3.3	爬山策略搜索	60
4.3.4	启发式搜索算法 A'	60
4.4	博弈树搜索	65
4.4.1	博弈树搜索的概念	65
4.4.2	Grundy 博弈	67
4.4.3	极小极大分析法	68
4.4.4	α - β 剪枝	69
4.4.5	其他改进方法	69
第5章	模糊逻辑	71
5.1	模糊集合	71
5.1.1	集合的概念	71
5.1.2	模糊集合	73
5.1.3	模糊集合表示方法	74
5.1.4	模糊集合的运算	75
5.1.5	隶属函数	78
5.1.6	分解定理	80
5.1.7	扩展原理	83
5.2	模糊关系与推理	86
5.2.1	模糊语言	86
5.2.2	模糊关系	88
5.2.3	模糊规则与推理	91

5.3 模糊系统	98
5.3.1 模糊推理系统	98
5.3.2 模糊推理方法(I)	100
5.3.3 模糊推理方法(II)	106
5.3.4 解模糊方法	110
5.4 模糊控制	112
5.4.1 控制的概念	112
5.4.2 模糊控制器	113
5.4.3 模糊控制系统	117
5.4.4 非线性分析	122
5.4.5 模糊逻辑工具箱	124
第6章 神经网络	127
6.1 概述	127
6.1.1 基本概念	127
6.1.2 人工神经元	129
6.1.3 神经网络结构与学习	130
6.1.4 神经网络的发展	136
6.1.5 神经网络的特点	137
6.2 人工神经网络	138
6.2.1 感知器	138
6.2.2 自适应线性单元	144
6.2.3 多层前向网络	147
6.2.4 神经网络的应用	155
第7章 进化计算	162
7.1 遗传算法概述	163
7.1.1 遗传算法的产生、发展与应用	163
7.1.2 遗传学与遗传算法的基本思想	164
7.2 基本遗传算法	165
7.2.1 简单函数优化实例	165
7.2.2 基本遗传算法的算法描述	168
7.3 遗传算法的数学理论基础	169
7.3.1 模式理论	169
7.3.2 欺骗问题	174
7.4 遗传算法的实现技术	175
7.4.1 编码	176
7.4.2 群体设定	179
7.4.3 适应度函数	180
7.4.4 遗传操作	182
7.4.5 收敛性	190

第 8 章 群体智能	192
8.1 概述	192
8.2 粒子群优化原理	192
8.2.1 PSO 标准算法	192
8.2.2 PSO 算法特性	194
8.3 粒子群改进算法	195
8.3.1 动态自适应参数	195
8.3.2 粒子多样性	197
8.3.3 多子群拓扑结构	198
8.3.4 混合 PSO	200
8.4 参数估计问题	202
第 9 章 数据挖掘	206
9.1 概述	206
9.2 数据挖掘 KDD	206
9.2.1 KDD 的基本概念	206
9.2.2 KDD 的基本过程	207
9.2.3 数据挖掘系统	208
9.3 数据挖掘功能	209
9.3.1 概念描述	209
9.3.2 关联分析	210
9.3.3 信息分类	211
9.3.4 聚类	211
9.3.5 偏差检测	211
9.4 数据挖掘技术与方法	212
9.5 关联分析	212
9.5.1 关联的基本概念	212
9.5.2 关联规则	213
9.5.3 Apriori 算法	213
9.6 聚类分析	216
9.6.1 聚类概述	216
9.6.2 聚类问题	217
9.6.3 聚类方法	218
9.6.4 层次聚类	219
9.6.5 划分聚类	221

第1章 绪论

人工智能(artificial intelligent, AI)是计算机科学、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的一门综合性的前沿学科,其研究目标是使机器能够具有人类那样的智能水平。在50多年的发展历程中,人工智能曾面临不少的困难和挑战,受到过一些挫折,但仍然取得了巨大的成果,对人类社会的发展和进步起到了积极的推动和促进作用。当今,人工智能所涉及的领域越来越广泛,其处理的问题也越来越复杂,在许多领域里获得了成功的应用。然而,人工智能还远远没有达到成熟阶段,需要人们对其继续不断地进行研究和探索。本书从工程角度来介绍人工智能的基本原理、方法及应用。

1.1 智能基础

1.1.1 智能的含义

人工智能是关于如何在机器上实现智能的一门科学,它研究如何制造出智能机器或智能系统,使其能够模拟人类的智能活动,延伸人类的智能。人类的许多活动,如解题证明、讨论分析、医疗诊断、管理决策等,都需要一定的“智能”,如果机器能够执行这些任务,就可以认为该机器已具有某种性质的“智能”了。那么,究竟什么是智能?智能的本质是什么?由于目前对其认识还不够深入和全面,所以回答这些问题还比较困难;但是,人们一直在不断努力探索关于智能本质的问题,从不同的角度和侧面、用不同的方法来对智能进行研究。虽然提出的观点不尽相同,但对智能的含义还是达成了一些共识,大致来说可概括为以下几个方面。

(1) 智能具有感知能力。通过感觉(如视觉、听觉、触觉等)器官的活动,接收来自外界的一些信息(如声音、图像、语言等)。感知是人类最基本的生理、心理现象,是获取外部信息的重要途径,人类的大部分知识都是通过感知获取的,感知是产生智能活动的前提与必要条件,可以说没有感知人们就不可能获得知识,也不可能引发各种智能活动。

(2) 智能具有记忆与思维能力。人通过感觉器官获得对外部事物的感性认识,经过初步概括和加工之后,形成相应事物的信息并存储于大脑之中,这是一种记忆的能力。同时,通过人脑的生理与心理活动,对有关的信息进行处理,即利用已有的知识对信息进行分析、计算、比较、判断、推理、联想、决策等,将感性认知抽象为理性认知,这就是一种思维的能力。思维是一个动态过程,是获取知识以及运用知识求解问题的重要途径。

(3) 智能具有学习与适应能力。通过教育、训练和学习过程来丰富自身的知识和技巧的能力,是学习能力;对变化多端的外界环境、条件(如干扰,刺激等作用)灵活地作出反应的能力,就是适应能力。学习与适应是人的本能,每个人都在随时随地地进行着学习,这种学习可能是有意识的,也可能是无意识的,既可以是有教师指导进行的,也可以是通过自己实践进行的。人们在与环境的相互作用之中不断地进行学习,积累知识,适应环境的变化。由于每个人所处的环境不同,条件不同,学习的效果也不相同,体现出不同的智能差异。

由此可见,人类的智能实际上可以反映到两个方面,一个是关于信息和知识的描述与存

储,即智能的记忆能力;另一个是关于信息和知识的处理与更新,即智能的思维能力、学习能力和适应能力等。人工智能就是试图用人工的方法在机器上体现智能的这两方面的能力,即知识表示与知识运用的能力。

1.1.2 人工智能的含义

目前,关于人工智能还没有一个严格的定义,人们往往结合自己的认识,从不同的角度来阐述对人工智能的理解。

(1) 人工智能是计算机科学的一个分支,是研究使用计算机来完成能表现出人类智能的任务的学科。主要包括计算机实现智能的原理、制造类似于人脑的智能计算机,以及使计算机更巧妙地实现高层次的应用。它涉及计算机科学、心理学、哲学和语言学等学科,总的目标是增强人的智能。

(2) 人工智能研究怎样使计算机能模仿人脑所从事的推理、学习、思考、规划等思维活动,来解决需专家才能处理的复杂问题,如医疗诊断、气象预报、管理决策等。从实用观点看,人工智能是一门知识工程学:以知识为对象,研究知识的获取、知识的表示方法和知识的使用。

(3) 人工智能是关于知识的科学(知识的表示、知识的获取以及知识的运用),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,其近期目标在于研究用机器来模仿和执行人脑的某些智能,并开发相关理论和技术。

(4) 人工智能主要研究如何用机器来模拟或实现智能,能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务,能适应环境变化,解决各种实际问题等,使机器具有类似于人的智能,并开发相关理论和技术。

1.1.3 研究方法

关于人工智能的研究方法,不同科学或学科背景的学者对其有不同的理解,提出的观点也不同,归结起来为符号主义、联结主义和行为主义三个主要的派别。

(1) 符号主义又称为逻辑主义,认为人的认知基元是符号,认知的过程就是符号操作过程。计算机也是一个物理符号系统,我们能够用计算机来模拟人的智能行为,即用计算机的符号操作来模拟人的认知过程。知识是信息的一种形式,是构成智能的基础。因此,人工智能的核心问题就是知识的表示、知识的推理和知识的运用。知识可用符号表示,也可用符号进行推理,因而有可能建立起基于知识的人类智能和机器智能的统一理论体系。符号主义在人工智能的发展过程中有着重要的影响和作用,尤其是专家系统的成功开发与应用,为人工智能走向工程应用作出了重要的贡献,成为人工智能的主流派。

(2) 联结主义又称为仿生学派或生理学派,认为人的思维基元是神经元,而不是符号处理,知识的处理是建立在神经元及其连接机制与学习算法之上,提出联结主义的大脑工作模式,用于取代符号操作的电脑工作模式。联结主义的大脑模型来自于1943年由生理学家McCulloch和数理逻辑学家Pitts所提出的MP模型,并经过数十年的发展,成为当今关于智能计算的一个重要分支领域——人工神经网络技术。

(3) 行为主义又称为进化主义或控制论学派,认为智能取决于感知和行动,取决于对外界复杂环境的适应,不需要知识,不需要表示,不需要推理,不同的行为表现出不同的功能和控制结构。人工智能可以像人类智能一样逐步进化,智能行为只能在现实世界中与周围环境交互

作用而表现出来。行为主义提出的技术观点和方法,引起许多人的兴趣与研究。

1.2 发展阶段

1.2.1 形成及第一个兴旺期(1956~1966年)

人工智能的思想可以追溯到人类历史发展的早期,那时人类就有利用机器来代替人的部分劳动的愿望并作出了一些努力,然而人工智能的真正形成则是在20世纪50年代以后的事情。1956年夏季,美国Dartmouth大学的年青数学助教J. McCarthy和他的三位朋友(麻省理工学院教授M. L. Minsky、IBM公司信息研究中心负责人N. Lochester,以及贝尔实验室信息部数学研究员C. E. Shannon)共同发起,邀请IBM公司的T. Moore和A. L. Samuel、麻省理工学院的O. Selfridge和R. Solomonoff以及RAND公司的A. Newell和Carnegie工科大学的H. A. Simon等10名青年学者,举办了为期两个月的夏季学术讨论班,讨论机器智能问题。

在这次历史性的聚会上,经J. McCarthy提议,正式采用了人工智能这一术语,第一次将人工智能作为一门独立学科的研究方向,标志着人工智能作为一门新兴学科正式诞生,J. McCarthy因而被称为人工智能之父,这是一次具有历史意义的重要会议。在这次会议之后,形成了三个有代表性的研究小组,分别是A. Newell、J. Shaw和H. A. Simon领导的心理学小组、A. L. Samuel领导的IBM小组以及J. McCarthy领导的MIT小组。

1956年,A. Newell和H. A. Simon等人编写的程序证明了《数学原理》(A. N. Whitehead, B. Russell, 1903, Cambridge University Press)第二章中的第38条定理,第一次将求解方法和问题的领域知识分离开。在机器学习方面,IBM工程研究组的A. L. Samuel于1956年研制出跳棋程序,该程序具有自学习、自组织、自适应的能力,能够在下棋过程中积累经验,不断提高自己的棋艺。这是机器模拟人类学习过程的一次极有意义的探索。1959年这个程序战胜了设计者本人,1962年又击败了美国某个州的跳棋冠军。在人工智能语言方面,1958年J. McCarthy发明了表处理语言LISP,该语言是建造智能系统的重要工具,可以方便地处理符号,并很快成为人工智能程序设计的主要语言。

1969年国际人工智能联合会成立并举行第一次学术会议IJCAI-69('69 International Joint Conference on Artificial Intelligence),以后每两年召开一次。1974年成立了欧洲人工智能学会并召开第一次会议ECAI(European conference on artificial intelligence),也是每两年召开一次。在人工智能刊物方面,有人工智能国际性期刊*Artificial Intelligence*、爱丁堡大学杂志*Machine Intelligence*,还有IJCAI会议论文集、ECAI会议论文集等。此外,ACM、AFIPS和IEEE等刊物也刊载人工智能的论著。

1.2.2 萧条波折期(1967~1974年)

人工智能在过去的10年获得迅速发展,取得了一些瞩目的成果,使人们产生了乐观的情绪。然而,当人们进行了比较深入的工作后,发现人工智能研究碰到的困难比原来想象的要多得多。例如,1965年发明的消解法(归结原理)曾给人们带来了希望,可很快就发现消解法的能力也有限;Samuel的下棋程序当了州冠军之后没能进一步当上全国冠军,更不要说世界冠军了。在机器翻译方面,最初采用的依靠词典的词到词的简单映射方法,结果没有成功。在神经网络技术方面,人们发现从神经生理学角度研究人工智能面临几乎不可逾越的困难:电子

线路模拟神经元及人脑没有成功;在问题求解中存在着组合爆炸的难题,如国际象棋走第一步就有 10^{120} 种可能等。

20 世纪 50 年代的盲目乐观和期望值过高,没有充分估计困难的程度,人工智能的发展要比平时慢得多,而且遇到了严重的困难。60 年代中期至 70 年代初期,人工智能受到了各种责难和打击,使其研究进入了萧条、波折时期。尽管社会压力很大,但这些并没能动摇人工智能研究者的信念,他们认为人工智能的研究比预料的要难得多,前一段初步的成功掩盖了人工智能本质性的困难,为了打开困难的局面,必须检讨过去的技术思想,以找到问题的症结,不仅加强基础理论研究,而且在专家系统、自然语言理解、机器人、计算机视觉等方面也开展了很有成效的工作。

在这个时期里,出现了不少有代表性的成果。例如,ELIEA 是 J. Weizenbaum 于 1968 年在 MIT 设计的基于“模式匹配”的自然语言系统,模拟心理治疗医生(机器)同一位患者(用户)进行交谈;DENDRAL 是斯坦福大学计算机科学系 E. A. Feigenbaum、化学家 C. Djerassi 及 J. Leberberg 等人于 1970 年研制出的世界上第一个专家系统,是对知识表示、存储、获取、推理及利用等技术的一次非常有益的探索,为以后专家系统的建造树立了榜样,其意义远远超出了系统本身在实用上所创造的价值;MYCIN 是 E. H. Shortliffe 等人在 1972~1974 年研制的医疗专家系统,可给出处方建议以及抗菌剂治疗建议,并具有解释功能和知识获取功能;HEARSAY-I 是卡内基-梅隆大学(CMU)L. D. Erman 等人于 1973 年设计的自然语言理解系统,具有一千多条词汇,能以 60MIPS 的速度理解连贯的语言,正确率达 85%,该系统对未来的知识系统的发展起着重要的推动作用。此外,1970 年英国爱丁堡大学的 R. Kowalski 首先提出了以逻辑为基础的程序设计语言 Prolog,1972 年法国马赛大学的 A. Colmerau 及其研究小组实现了第一个 Prolog 系统。Prolog 被称为面向人工智能的程序设计语言,成为继 LISP 语言之后的最主要的一种人工智能语言。

1.2.3 第二个兴旺期(1975~1998 年)

1977 年第五届国际人工智能联合会会议上,E. A. Feigenbaum 教授在一篇题为《人工智能的艺术:知识工程课题及实例研究》的特约文章中系统地阐述了专家系统的思想,并提出了“知识工程”的概念。自人工智能形成以来,科学家们遵循一条明确的指导思想:研究和总结人类思维的普遍规律并用计算机模拟它的实现,创造一个万能的逻辑推理体系。E. A. Feigenbaum 认为,万能的逻辑推理体系根本就不可能存在,其最大的弱点就是缺乏知识,它的主要技术(状态空间搜索技术)所面临的困难是“组合爆炸”,要摆脱这种困境,只有大量使用知识。知识工程的概念使人工智能的研究又有了新的转折点,即从获取智能的基于能力的策略,变成了基于知识的方法研究。知识作为智能的基础开始受到重视,知识工程的方法很快渗透到人工智能的各个领域,促使人工智能从实验室研究走向实际应用。

20 世纪 80 年代中后期,人们研究通用的智能机器或专家系统的设想和计划开始出现危机。首先,智能系统的实时性以及环境的交互性不尽如人意,感知问题要解决很不容易,声音、图像、文字信息等多媒体信息处理也是个问题,而要模拟人的直觉、顿悟、灵感等智能就更难了;其次,人工智能问题在规模扩大后有了新问题,如专家系统走向一般化时出现了问题,问题不在存储量和检索速度,而在于专家系统的专用领域有质的变化,目标判断要求更高层的知识、常识、推理知识、通用概念和理论等;最后,还有推理问题、常识的形式化问题没有解决,常

用的一阶谓词推理与常识推理有较大的差别。

于是,人工智能研究人员开始再次反思,认识到还有一系列的技术关键问题需要研究和解决,如常识性知识表示、非单调推理、不确定推理、机器学习、分布式人工智能、智能机器体系结构等基础性研究,以期取得突破性进展。同时,还要开展人工智能的实际应用研究,特别是专家系统、自然语言理解、计算机视觉、智能机器人、机器翻译系统等,朝实用化方向迈进。进入20世纪90年代,人工智能出现研究高潮,开始由单个智能主体研究转向基于网络环境下的分布式人工智能研究,不仅研究基于同一目标的分布式问题求解。而且研究多个智能主体的多目标问题求解。人工智能面向实用,深入到社会生活的各个领域,出现了欣欣向荣的景象。

在中国,人工智能的整体研究起步都较晚,虽然机器翻译在1956年就开始规划和研究,但是直到1978年才开始人工智能课题的全面研究,主要集中在定理证明、汉语自然语言理解、机器翻译、专家系统、智能机器人等方面,取得了一些研究成果。20世纪80年代,中国相应成立中国人工智能学会及人工智能和模式识别专业委员会、中国自动化学会模式识别与机器智能专业委员会、中国中文信息学会计算语言学专业委员会、自然语言处理专业委员会、基础理论专业委员会、人工智能与教育专业委员会等,开展这方面的国内外学术交流。此外,还兴建了几个人工智能方面的国家重点实验室,如清华大学的智能技术与系统国家重点实验室、北京大学的语音图像国家重点实验室、中科院自动化所的模式识别国家重点实验室等。

1.3 研究应用

人工智能是科学技术发展中的一门前沿学科,同时也是一门新思想、新观念、新理论、新技术不断出现的迅速发展的新兴学科,其研究应用领域十分广泛,主要包括问题求解、自动定理证明、语言处理、智能数据检索系统、视觉系统、人工智能方法和程序语言以及自动程序设计等。

1. 定理证明

定理证明(theorem proving)是人工智能最早研究的领域之一。对设想的定理寻求一个证明,一直被认为是一项需要智能才能完成的任务,这不仅需要有根据假设进行演绎的能力,而且需要有某些直觉的技巧。例如,数学家在求证一个定理时,会熟练地运用他丰富的专业知识,猜测应当先证明哪一个引理,精确判断出已有的哪些定理将起作用,并将主问题分解为若干子问题,分别独立进行求解。因此,在人工智能的研究中,机器定理证明很早就受到人们的关注,取得不少的成果。例如,1976年,美国K. Appel等人合作解决了令人困惑长达124年之久的难题——四色定理,在计算机界产生巨大的反响。定理证明的研究在人工智能方法的发展中曾起到过重要的作用,例如,使用谓词逻辑语言进行描述与推理、演绎过程的形式体系研究等,帮助人们更清楚地理解推理过程的各个组成部分。在许多其他领域的问题,如医疗诊断、信息检索等,也可以应用定理证明的方法来加以解决。因此,机器定理证明的研究具有普通意义。

2. 自然语言理解

自然语言理解(natural language understanding)是人工智能早期研究的领域之一。自然语言是人类之间信息交流的主要媒介,由于人类具有很强的理解自然语言的能力,故相互间的信息交流轻松自如;然而,计算机系统和人类之间的交互,几乎还只能使用较为严格的各种非自然语言形式,于是如何使计算机系统能理解自然语言成为人们所关注的研究课题和内容。

目前,人工智能在语言翻译与语音理解程度方面取得了一些成就,但实现功能较强的理解系统仍然是一个十分艰巨的任务。

3. 自动程序设计

自动程序设计(automatic programming)的任务是设计这样一个程序系统:它接受关于所设计程序要实现目标的需求描述(如高级语言描述,甚至接近于人类的自然语言描述),然后自动生成一个能完成这个目标的具体程序。这种转换相当于一种“超级编译程序”,它要求能够对高级描述进行处理,生成所需的目标程序。也许程序设计并不是人类知识的一个十分重要的方面,但是如何使得这种程序设计自动地加以完成却是人工智能的一个重要研究领域,它所涉及的基本问题与定理证明、机器人学、软件工程等有关。

4. 专家系统

专家系统(expert system)是一个智能计算机程序系统,该系统存储有大量专家水平的某个领域知识与经验(知识库),同时具有求解问题的方法和策略(推理系统),可以解决某个领域内的专家才能解决的许多复杂问题。系统能够接收外部的输入信息,运用人工智能技术进行推理、判断、决策等,模拟人类专家的决策过程,是人工智能应用的一个重要方面,在许多的领域,如化工、地质、医疗、气象、交通、军事等,专家系统都获得了成功的应用,取得显著成效。

5. 机器人学

机器人学(robotics)是人工智能研究的另一个重要分支,这个领域研究的问题包括从机器人手臂的最佳移动到目标实现的序列规划。机器人的研究和应用反映出了多种学科的交叉,如机器人体系结构、运动控制、计算智能、机器感知、机器人装配以及机器人语言等。机器人学的研究不仅推动了许多人工智能思想的发展,同时也促进了各个学科的相互结合,在工业、农业、商业、旅游业、空间和海洋以及国防等领域获得越来越普遍的应用。

6. 机器感知

机器感知(machine perception)主要包括机器视觉或计算机视觉和口语识别。计算机视觉研究就是研究用计算机来模拟人和生物视觉系统功能,使计算机具有“感知”外部世界的的能力,如图形图像、空间位置、环境变化等,研究内容涉及图像的获取、特征的抽取、信息理解、景象描述、图像解释等。机器视觉在机器人装配、卫星图像处理、工业过程监控、飞行器跟踪和制导以及电视实况转播等领域有着极为广泛的应用。口语识别也是机器感知研究的重要内容,它建立在自然语言理解的基础之上,包括语音分析、词法分析、语句分析和语义分析,是自然语言理解的主流技术,它对于人工智能技术,特别是基于规则的推理技术,起着核心作用,并在实用化和工程化方面取得了重要的进展。

7. 智能控制

智能控制(intelligent control)的概念主要是针对外部环境、被控对象、控制目标和任务的复杂性而提出来的。由于人类具有很强的学习和适应周围环境的能力,能够根据一些直觉和经验很好地进行相关的处理和操作,并达到或接近理想的目标和任务。因此,建立这样一种人工系统也就成为人工智能研究的一个重要领域。智能控制的任务在于对实际环境或过程进行决策、规划和组织,实现广义问题的求解。目前,已经提出的用以构造智能控制系统的理论和技术有分级递阶控制理论、分级控制器设计的熵方法、智能逐级增高而精度逐级降低原理、专家控制系统、学习控制系统和基于NN的控制系统等。智能控制有很多研究领域,它们的研究课题既具有独立性,又相互关联,目前研究得较多的是智能机器人规划与控制、智能过程规划、

智能过程控制、专家控制系统、语音控制以及智能仪器等。

8. 智能检索

智能检索(intelligent retrieval from data)主要是研究庞大而复杂的信息处理问题。随着科学技术的迅速发展,人们所要处理的信息越来越庞大,对这些种类繁多和数量巨大的资料进行检索已远非人力和传统检索系统所能胜任的了。因此,研究智能检索系统成为科技持续快速发展的重要保证。智能信息检索系统一般应具有如下功能:①能够理解自然语言,允许用自然语言提出各种询问;②具有各种推理的能力,能根据存储的事实,演绎出所需的答案;③拥有一定常识性知识,以补充学科范围的专业知识等,系统根据这些知识能够演绎出更一般询问的一些答案等。另外,数据库系统的设计也是计算机科学的一个活跃的分支,为了有效地表示、存储和检索大量事实,已经发展了许多技术。当我们想用数据库中的事实进行推理并从中检索答案时,这个课题就显得很有意义。

实际上,人脑的结构和功能要比人们想象的复杂得多,人工智能研究面临的困难要比我们估计的大得多,人工智能研究的任务要比我们所讨论过的艰巨得多。因此,研究人工智能要从根本上了解人脑的结构和功能,解决面临的难题;完成人工智能的研究任务,需要寻找和建立更新的人工智能框架和理论体系,为人工智能的进一步发展打下理论基础;需要进行多学科联合协作研究,除了信息技术外,未来的智能系统还要集成认知科学、心理学、生物学、社会学、语言学、系统学和哲学等,使人工智能理论与应用达到一个更高的水平。随着人工智能的应用方法日趋成熟,人工智能的应用领域必将不断扩大。可以预言,人工智能、智能机器和智能系统比现在的电子计算机一定会有广泛得多的应用领域。哪里有人类活动,哪里就将应用到人工智能技术。

第2章 知识表示

人类智能活动一般都是基于一定知识而进行的,例如,求解几何问题时总要知道一些基本的公理或定理,医生在看病过程中也要有一定的医学常识等。人类开展的这些活动都离不开相关的领域知识,也就是说,只有当人们具备了一定的知识之后,才能对问题进行分析、推理和综合等。因此,可以认为知识是人类智能活动的物质基础与条件。

人工智能主要研究使用人工系统(机器或计算机)来模拟人类的智能活动。首先需要考虑的内容就是如何使该人工系统具有知识,即如何将知识表达出来并存储到人工系统当中去,这就是知识的表示问题。知识表示是人工智能研究的一个重要课题,不同的知识有不同的表示方法,而且对不同的问题其表示方法也各不相同,一个合理的知识表示不仅会使得问题求解变得容易,并且还有较高的求解效率。为此,人们研究了许多知识的表示方法,本章将介绍主要的几种。

2.1 知识的基本概念

知识反映了客观世界中事物某一方面的属性以及事物之间的相互关系,不同事物或者相同事物间的不同关系形成了不同的知识。这些事物及其属性的反映就是信息,对信息的处理通常是通过数据来完成的。这里,将涉及数据、信息和知识三个不同层次的概念。

数据是客观世界中搜集的原始素材,它是信息的载体和表示,如数字“6”就是一个数据。

人们根据一定的目的按一定的形式对数据进行加工与处理,就形成了有关的信息,如用数据“6”可以代表“6本书”,也可以代表“6个人”。可见,信息是数据在特定场合下的具体含义,或者说信息是数据的语义。数据与信息是紧密相关的,只有将二者结合起来,才能实现某一具体事物的描述。

知识是将有关的信息进一步关联在一起,形成更高层次含义的一种信息结构,信息与关联是构成知识的两个基本要素。图 2.1 反映了数据、信息和知识三者之间的关系。

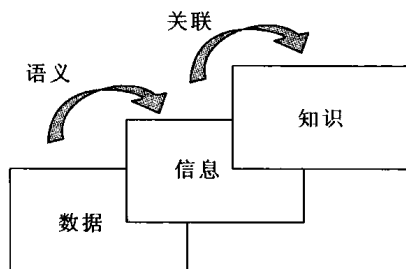


图 2.1 数据、信息、知识

信息之间有多种关联形式,其中用得最多的一种是用因果关系表示的关联形式,如下:

如果……那么……

或

if ... then ...

例如,在我国北方,人们经过多年的观察发现,每当冬天要来临的时候,就会看到有一批批的大雁向南方飞去,于是将“大雁向南飞”与“冬天就要来临了”这两个信息关联在一起,得到如下一条知识:

如果大雁向南飞,那么冬天就要来临了。

在客观世界中,人们通过各种途径和方法可以获得大量知识,如对客观事物或现象等信息进行分析、概括和综合等,所获得的知识为以后解决实际问题 and 从事创造活动奠定了基础。由此可见,知识是以高度概括的形式对客观事实及其相互关系的整合。由于客观事物是相互联系的,因此,知识也必然是相互联系的。正确理解和运用知识之间的这种相互关联,就反映出了人类的智能。智能是比知识更高层次的概念,它是人类内在的一种获取知识并运用知识的能力,有时称之为智力,即正确地运用信息、知识、经验和悟性,进行判断、计划、处理事务以及创新活动的综合能力。

2.1.1 知识的特性

知识存在着自身的一些特性,主要有如下几个方面。

1. 相对正确性

任何知识都是在一定的条件及环境下产生的,因而,只有在符合这种条件及环境下,知识才是正确的;脱离这种环境条件,知识就不一定正确了。例如, $1+1=2$,式子在十进制的前提下是正确的,如果是二进制,显然就不正确了。因此,在应用知识的时候,需注意该知识的适用条件或范围。

2. 不确定性

由于现实世界的复杂性,许多事实和概念都不能绝对精确和肯定,即知识本身具有某些不确定性。这是因为构成知识的信息可能是精确的,也可能是不精确的。同时,它们之间的关联也可能是确定的或不确定的。因此,许多知识是不能仅仅只用简单的对或错、真或假来划分,这些知识还存在着一些中间状态,这一特性称为知识的不确定性。

造成知识不确定性的原因是多方面的,随机特性就是其中一种。在随机现象中,一个事件是否发生不能预先确定,它可能发生也可能不发生。因此,在处理这类信息时,需要用个数来衡量事件发生的可能性,而不是二值逻辑数值0或1。例如,“如果头痛且流涕,则有可能患了感冒”,其中的“有可能”反映了一种不确定的因果关系,可以用数 $\eta=0\sim 1$ 来描述这条知识。

另外,由于人们对客观世界认识得不够全面,致使对它的认识不够准确。这种认识上的不完全、不准确必然导致相应知识的不精确、不确定。事实上,由于现实世界的复杂性,人们很难一下子掌握完全的信息,因而不完全性就成为引起知识不确定性的一个重要原因。

经验知识也是引起知识不确定性的一个原因。在很多领域中,专家们在长期的实践及研究中积累了一定的经验知识,并能够很好地运用这些知识来处理领域内的有关问题;但是,如果让他们精确地将这些经验知识表述出来则相当困难,原因在于经验自身就蕴含着许多的不精确性及模糊性,从而造成了知识的不确定性。

3. 可表示性

知识可以用适当的形式表示出来并且为人们所感知,如语言、文字、图形等。知识不仅能够表示出来,而且还能够被人们认识与理解,正是由于它具有这一特性,所以它才能被存储并得以传播,也只有这样,知识才能够获得应用和发展。