

普通高等学校计算机精品课程教材

人工智能方法与应用

主编 尹朝庆

编著 尹朝庆 尹 皓 彭德巍

华中科技大学出版社

中国·武汉

前 言

人工智能是一门综合性学科,它旨在研究如何利用计算机等现代工具设计模拟人类智能行为的系统。随着计算机科学与技术的发展和计算机应用的日益普及,人工智能技术也随之广泛地渗透到各学科领域和各行各业。因此,人工智能不仅是高等学校计算机科学与技术专业和软件工程专业等计算机类专业的主干课程,也是其他信息类和管理类等学科领域提高计算机应用水平的重要基础。

人工智能及其应用领域的研究发展很快,涉及的学科领域越来越多,新的理论、方法与技术不断涌现,已形成多个研究方向。我们认为本科生的的人工智能课程的教学目标应定位为:培养学生掌握人工智能的基本理论、方法和技术,具有开发应用系统的基本能力。教学内容不应过于宽泛,而应突出重点,强调应用,深入浅出地介绍人工智能的方法与实现技术。本着这一指导思想,作者根据多年教学实践的积累编撰了本书。

本书共分 7 章,各章内容如下:

第 1 章绪论 介绍人工智能的发展史、主要学派及研究应用领域。

第 2 章知识表示方法 介绍一阶谓词逻辑表示方法、产生式表示方法和框架表示方法等知识表示方法。

第 3 章搜索方法 在给出问题求解过程的两种形式表示的基础上,分别讨论状态空间和与/或图的多种盲目搜索算法和启发式搜索算法,以及典型应用实例。

第 4 章经典逻辑推理 主要讨论归结演绎推理和与/或形演绎推理,及其在定理证明和问题求解中的应用。

第 5 章专家系统 主要介绍产生式专家系统的知识库、推理机与解释器及其实现技术,讨论知识检测与求精的方法。

第 6 章不确定推理 在讨论知识不确定性的基础上,介绍可信度的不确定推理和模糊推理两种不确定推理方法。

第 7 章机器学习 主要讨论归纳学习方法(CLS 算法和 ID3 算法)、遗传算法和人工神经网络方法(BP 算法)等机器学习方法与算法,以及典型应用实例。

本书内容详实,层次清晰,详略适当,重点突出,语言严谨,例题丰富,便于教学。可作为高等学校计算机等信息类和管理类相关专业的本科生教材,也可供有关科技人员参考。

本书第 2、3、5 章由尹皓编写,第 1、4 章由彭德巍编写,第 6、7 章由尹朝庆编写。尹朝庆任主编,负责全书内容的审定与统稿。

作者十分感谢华中科技大学出版社对本书出版的指导与支持,感谢乔迪为书稿编辑和

PPT 电子课件制作所做的大量工作。

为了便于教师使用本书进行教学,作者制作了本书的 PPT 电子课件,该课件可从华中科技大学出版社网站免费下载,网址是:

www.hustp.com

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,请广大读者批评指正。

E-mail:yinchaoqing@yahoo.com.cn

作 者

2007 年 6 月

内 容 简 介

本书介绍人工智能的基本理论、方法及实现技术。全书共 7 章,分为两部分。第一部分包括第 1 章至第 4 章,主要介绍人工智能的基本概念、方法和技术,包括知识表示方法和搜索、逻辑推理等问题求解的基本方法。第二部分包括第 5 章至第 7 章,讨论产生式专家系统及其实现技术、不确定推理方法和机器学习方法及其应用实例。

本书内容详实,层次清晰,详略适当,重点突出,语言严谨,例题丰富。可作为高等学校计算机等信息类和管理类相关专业的本科生教材,也可供有关科技人员参考。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 人工智能及其发展	(1)
1.2 人工智能的研究与应用领域	(8)
习题一	(12)
第 2 章 知识表示方法	(13)
2.1 一阶谓词逻辑表示方法	(13)
2.1.1 一阶谓词逻辑表示	(13)
2.1.2 一阶谓词逻辑表示方法的特点	(18)
2.2 产生式表示方法	(20)
2.2.1 产生式与产生式系统	(21)
2.2.2 产生式系统的分类及其特点	(24)
2.3 框架表示方法	(27)
2.3.1 框架与框架网络	(27)
2.3.2 框架推理及其特点	(30)
习题二	(33)
第 3 章 搜索方法	(35)
3.1 问题求解过程的形式表示	(35)
3.1.1 状态空间表示方法	(35)
3.1.2 与/或图表示方法	(37)
3.2 状态空间的搜索方法	(39)
3.2.1 盲目搜索算法	(40)
3.2.2 启发式搜索算法	(46)
3.2.3 状态空间搜索算法的应用	(52)
3.2.4 A* 算法及其特性	(63)
3.3 与/或图的搜索方法	(66)
3.3.1 与/或图的盲目搜索算法	(66)
3.3.2 与/或图的启发式搜索算法	(68)
3.3.3 与/或图搜索算法的应用	(71)
习题三	(75)
第 4 章 经典逻辑推理	(77)
4.1 推理的基本概念	(77)
4.1.1 推理方式及其分类	(77)

4.1.2	推理的控制策略	(79)
4.1.3	模式匹配及其变量代换	(83)
4.2	归结演绎推理	(86)
4.2.1	谓词公式化为子句集的方法	(86)
4.2.2	归结原理	(87)
4.2.3	归结反演	(91)
4.3	基于归结反演的问题求解	(93)
4.4	归结反演的改进策略	(95)
4.4.1	删除策略	(95)
4.4.2	限制策略	(96)
4.5	与/或形演绎推理	(99)
4.5.1	与/或形正向演绎推理	(99)
4.5.2	与/或形逆向演绎推理	(102)
4.5.3	代换的一致性与剪枝策略	(105)
	习题四	(106)
第 5 章	专家系统	(109)
5.1	专家系统概述	(109)
5.1.1	专家系统的类型与特点	(109)
5.1.2	专家系统的结构与开发方法	(111)
5.2	LISP 语言	(114)
5.2.1	LISP 语言的特点与表达式	(114)
5.2.2	LISP 语言的基本函数	(116)
5.2.3	迭代与递归	(122)
5.3	知识库与推理机	(125)
5.3.1	产生式规则与规则库的存储结构	(125)
5.3.2	推理机及其实现	(129)
5.3.3	元知识与元规则	(138)
5.4	解释机制与解释器	(140)
5.4.1	解释的方法	(141)
5.4.2	解释器及其实现	(142)
5.5	知识获取	(145)
5.5.1	知识获取的任务与方式	(145)
5.5.2	知识的检测与求精	(147)
5.5.3	知识的检测方法	(150)
5.6	专家系统工具	(152)
	习题五	(155)
第 6 章	不确定推理方法	(157)

6.1	知识的不确定性	(157)
6.2	基于可信度的不确定推理方法	(160)
6.2.1	可信度与可信度推理计算方法	(160)
6.2.2	带有阈限的可信度推理方法	(164)
6.2.3	加权的可信度推理方法	(165)
6.3	模糊推理方法	(169)
6.3.1	模糊集合的定义与运算	(169)
6.3.2	模糊知识表示与模糊匹配	(175)
6.3.3	简单模糊推理方法	(180)
6.3.4	多维模糊推理方法	(188)
6.3.5	带有可信度的模糊推理方法	(191)
	习题六	(193)
第7章	机器学习	(196)
7.1	机器学习的概念与方法	(196)
7.2	归纳学习	(197)
7.2.1	CLS 归纳学习方法	(197)
7.2.2	ID3 算法	(200)
7.2.3	归纳学习方法的应用	(204)
7.3	遗传算法	(216)
7.3.1	遗传算法的概念与计算方法	(216)
7.3.2	遗传算法的应用	(220)
7.4	人工神经网络	(224)
7.4.1	人工神经元与感知器	(225)
7.4.2	人工神经网络模型	(228)
7.4.3	BP 神经网络的学习算法	(230)
7.4.4	BP 学习算法的改进	(234)
7.4.5	人工神经网络的应用	(237)
	习题七	(248)
	主要参考文献	(252)

第 1 章

绪 论

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是一门综合性学科,它旨在研究如何利用计算机等现代工具设计模拟人类智能行为的系统。随着计算机科学与技术的发展和计算机应用的日益普及,人工智能技术也随之渗透到各学科领域和各行各业。

1.1 人工智能及其发展

人工智能是计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、语言学等多种学科互相渗透而发展起来的一门学科。人工智能的发展虽然已走过了半个世纪的历程,但是,对人工智能至今尚无统一的定义。尽管学术界有各种各样的说法和定义,但就其本质而言,人工智能是研究、设计和应用智能机器或智能系统,来模拟人类智能活动的能力,以延伸人类智能的科学。人类智能活动的能力是指人类在认识世界和改造世界的活动中,经过脑力劳动表现出来的能力。一般地说,人类智能主要表现在以下几个方面。

(1) 感知能力

通过视觉、听觉、触觉等感官活动,接受并理解文字、图像、声音、语言等各种外界信息,认识和理解外界环境的能力。

(2) 推理与决策能力

通过人脑的生理与心理活动及有关的信息处理过程,将感性知识抽象为理性知识,并能对事物运行的规律进行分析、判断和推理,这就是提出概念、建立方法、进行演绎和归纳推理、作出决策的能力。

(3) 学习能力

通过教育、训练和学习过程,更新和丰富拥有的知识和技能,这就是学习的能力。

(4) 适应能力

对不断变化的外界环境(如干扰、刺激等)能灵活地作出正确的反应,这就是自适应能力。

不论从什么角度来研究人工智能,都是通过计算机等现代工具来实现的。计算机科学与技术的飞速发展和计算机应用的日益普及,为人工智能的研究和应用奠定了良好的物质基础。人工智能的发展使计算机更聪明、更有效,与人更接近。

1. 人工智能的起源

自古以来,人类对人工智能就有持久的、狂热的追求,并凭借当时的认识水平和技术条件,设法用机器来代替人的部分脑力劳动,用机器来延伸和扩展人类的某种智能行为。例如,公元

前 900 多年,我国就有歌舞机器人传说的记载。12 世纪末至 13 世纪初,西班牙的一位神学家和逻辑学家曾试图制造能解决各种问题的通用逻辑机。17 世纪,法国物理学家和数学家巴斯卡(B. Pascal)制成了世界第一台会演算的机械加法器并获得实际应用。随后,德国数学家和哲学家莱布尼兹(G. W. Leibniz)在这台加法器的基础上研发了可进行全部四则运算的计算器,他还提出了逻辑机的设计思想,即通过形式逻辑符号化,对思维进行推理计算。这种“万能符号”和“基于符号的推理计算”的思想是“智能机器”的萌芽,因而莱布尼兹被誉为数理逻辑的第一个奠基人。进入 20 世纪后,人工智能相继出现若干开创性的工作。1936 年,年仅 24 岁的英国数学家图灵(A. M. Turing)在他的一篇“理想计算机”的论文中,提出了著名的图灵机模型;1945 年,他进一步论述了电子数字计算机的设计思想;1950 年,他又在“计算机能思维吗?”一文中提出了机器能够思维的论述。1938 年,德国工程师苏斯(Zuse)研制成第一台累计数字计算机 Z-1。1946 年,在美国诞生了世界上第一台电子数字计算机 ENIAC。在同一时代,控制论和信息论创立,生物学家设计了脑模型等,都为人工智能学科的诞生作出了理论和实验工具的巨大贡献。

1956 年的一次历史性聚会被认为是人工智能学科诞生的标志。1956 年夏季,在美国达特莫斯(Dartmouth)大学,由当时的年青数学助教、后任斯坦福大学教授的麦卡锡(J. McCarthy)联合他的三位朋友:哈佛大学年青数学和神经学家、后任麻省理工学院教授的明斯基(M. L. Minsky),IBM 公司信息研究中心负责人洛切斯特(N. Lochester)和贝尔实验室信息部数学研究员香农(C. E. Shannon)共同发起,邀请 IBM 公司的莫尔(T. Moore)和塞缪尔(A. L. Samuel)、麻省理工学院的塞尔夫利奇(O. Selfridge)和索罗莫夫(R. Solomonff)、兰德(RAND)公司和卡内基工科大学的纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)等 10 名年青学者,举办了为期 2 个月的学术讨论会,讨论机器智能问题。经麦卡锡提议,在会上正式决定使用“人工智能”(Artificial Intelligence)这一术语,从而开创了人工智能作为一门独立学科的研究方向。麦卡锡因而被称为人工智能之父。从此,在美国开始形成了以人工智能为研究目标的几个研究组,如纽厄尔和西蒙的 Carnegie-RAND 协作组,明斯基和麦卡锡的 MIT 研究组,塞缪尔的 IBM 工程研究组等。

1956 年,人工智能的研究取得了两项重大突破。第一项是纽厄尔、肖(J. Shaw)和西蒙的研究组编制了一个逻辑理论程序 LT(The Logic Theory Machine),模拟人们用数理逻辑证明定理的思想,采用分解、代入、替换等规则,证明了怀特赫德(A. N. Whitehead)和罗素(B. A. W. Russell)合著的《数学原理》第二章中的 38 条定理。1963 年,修订的程序在大机器上终于完成了该章中全部 52 条定理的证明。一般认为,这是用计算机模拟人的高级思维活动的一个重大成果,是人工智能研究的真正开端。第二项是 IBM 工程研究组的塞缪尔研制的西洋跳棋程序。这个程序可以像一个优秀棋手那样,向前看几步来下棋。尤其是它具有自学习、自组织、自适应的能力,能在下棋过程中积累经验,不断提高棋艺。它能学习棋谱,在学习了 175000 多个棋局后,可以根据棋局猜测棋谱所有推荐的走步,准确度达 48%,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,它又击败了美国一个州的跳棋冠军。

1957 年,纽厄尔、肖和西蒙通过心理学实验,发现了人在问题求解过程中思维的一般规律:

- ① 先思考出大致的解题计划;
- ② 根据记忆中的公理、定理和推理规则组织解题过程;
- ③ 进行方法和目的分析,不断修正解题计划。

基于这一规律,他们于1960年合作编制成功一种不依赖于具体领域的通用问题求解程序GPS(General Problem Solver),该程序能求解11种不同类型的问题。

1959年,麻省理工学院研究组的麦卡锡发表了表处理语言LISP。由于LISP可以方便地处理符号,所以很快成为人工智能程序设计的主要语言。LISP武装了一代人工智能科学家,至今仍然是研究人工智能的重要工具。

一连串的研究成果使醉心于人工智能远景的学者们作出了过于乐观的预言。1958年,纽厄尔和西蒙曾充满自信地认为:在10年内,计算机将成为世界的象棋冠军;计算机将要发现和证明重要的数学定理;计算机将能谱写具有优秀作曲家水平的乐曲;大多数心理学理论将在计算机上形成。有人甚至断言:20世纪80年代将是全面实现人工智能的年代,到了2000年,机器的智能可以超过人的智能。

但是,事情的发展远非如此理想。塞缪尔的下棋程序在获得州冠军之后并没有获得全国冠军。自然语言的机器翻译是人工智能研究最早并取得实验性成果的研究方向之一。人们以为只要用一部双向互译字典和某些语法知识即可很快地解决自然语言之间的互译问题,实际上,由机器翻译出来的文字有时会出现十分荒谬的错误。例如,英语句子“The spirit is willing but the flesh is weak”(心有余而力不足),翻译成俄语后再翻译成英语,竟然成为“The wine is good but the meat is spoiled”(酒是好的但肉变质了)。

自从工人智能形成一个学科之后,许多学者遵循的指导思想是:研究和总结人类思维的普遍规律,并用计算机来模拟人类的思维活动。他们认为,实现这种计算机智能模拟的关键是建立一种通用的符号逻辑运算体系。但是,由于人类的认知和思维过程是一种非常复杂的行为,故至今仍未能被完全解释;也由于现实世界的复杂性和问题的多样性,故老一辈人工智能科学家为之奋斗的通用逻辑推理体系至今也没有创造出来。其早期的代表作通用问题求解程序GPS的通用性受到严格的限制,只能对具有相当小的状态集和良定义的形式规则的问题有效。人工智能的早期研究只能停留在实验室里,作为研究的实验系统或演示系统,不能解决实际问题。科学家们开始对工人智能探索人类思维普遍规律的研究战略思想进行反思。

2. 人工智能的发展

20世纪60年代中期以后,人工智能由追求万能、通用的一般研究转入特定的具体研究,通用的解题策略与特定领域的专业知识及实际经验结合,产生了以专家系统(Expert System, ES)为代表的基于知识的各种人工智能系统,使人工智能走向社会、走向实际应用研究。斯坦福大学当时的年轻教授费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)重新举起了英国16世纪的哲学家和自然科学家培根(Francis Bacon)的旗帜“知识就是力量”,于1965年开创了基于知识的专家系统这一人工智能研究的新领域。与通用问题求解程序GPS那样的系统不同,专家系统并不试图发现强有力的和通用的问题求解方法,而是把研究范围缩小在一个特定的相对狭小的专业领域中。人类专家之所以成为专家,是因为他拥有解决自己专业领域问题的大量专门知识,包括各

种有用的经验。

在费根鲍姆的主持下,第一个专家系统课题 DENDRAL 化学分子结构分析系统于 1965 年在斯坦福大学开始研究,1968 年研制成功。该系统能根据质谱仪数据推断未知有机化合物的分子结构。它是一个启发式系统,把化学专家关于分子结构质谱测定法的知识结合到控制搜索的规则中,从而能迅速消去不可能为真的分子结构,避免了搜索空间以指数级膨胀。通过产生全部可能为真的分子结构,它甚至可以找出那些人类专家可能漏掉的结构。DENDRAL 及附属的 CONGEN 系统商品化后,每天为上百个国际用户提供化学结构的解释。这一研究成果使人们看到,在某个专门领域里,以知识为基础的计算机系统完全可能起到相当于这个领域里的人类专家的作用。

MACSYMA 系统是麻省理工学院于 1968 年开始研制的大型符号数学专家系统。该系统从应用数学家那儿获得了几百条关于一个表达式与另一等价表达式之间转换的规则,擅长于易引起组合爆炸的符号表达式的化简,能执行微分、积分、解方程、台劳级数展开、矩阵运算、向量代数等 600 多种不同的数学运算。1971 年研制成功后,由于它具有很强的与应用分析相结合的符号运算能力,很多数学和物理学研究人员及各类工程师争相使用 MACSYMA 系统,遍及美国各地的很多用户每天都通过 ARPA 网与它联机工作达数小时。

在 DENDRAL 和 MACSYMA 的影响下,在化学、数学、医学、生物工程、地质探矿、石油勘探、气象预报、地震分析、过程控制、计算机配置、集成电路测试、电子线路分析、情报处理、法律咨询和军事决策等方面出现了一大批专家系统。著名的 MYCIN 系统就是斯坦福大学人工智能研究所于 1973 年开始研制的一个诊断和治疗细菌感染性血液病的专家咨询系统。该系统可以看成是 DENDRAL 系统的直接后继者,并且具有更广泛的影响。MYCIN 拥有的知识包括约 450 条“前提-结论”型的关于细菌性血液感染的诊疗规则,系统根据提供的数据和主动向医生询问获得的数据,运用相应的规则进行推理,最终给出对患者诊断和治疗方面的咨询性建议。经专家小组对医学专家、实习医生及 MYCIN 系统的行为进行正式测试评价,认为 MYCIN 的行为能力超过了临床医生助手,尤其在诊断和治疗败血症和脑膜炎方面有相当高的准确率。在 MYCIN 系统框架基础上建立的肺功能专家系统 PUFF 曾在旧金山太平洋医疗中心使用过相当长的一段时间。

由拉特格尔斯(Rutgers)大学于 20 世纪 70 年代中期开发的 CASNET 是一个诊断和治疗青光眼的专家咨询系统。CASNET 的知识不使用 MYCIN 的静态规则的表示方式,而是按因果关系把疾病表示为与病理生理状态相连接的网络。系统共有 150 个状态、350 个测试、50 个分类表。系统利用因果网络推断疾病类型,预测治疗效果。此外,系统还包括广泛的医学参考资料,能对疾病作出相当完善的解释。经评价,该系统接近专家水平,曾被美国和日本一些学术团体用于疾病研究。

CADUCEUS(原名 INTERNIST)系统也是 20 世纪 70 年代研制的医疗咨询专家系统,由匹兹堡大学的计算机专家和内科专家合作研制,用于内科疾病诊断。它的知识表示方式与 CASNET 类似,它的知识库是当前专家系统中最大的知识库之一,据称拥有比人类任何个人都多的内科知识。它用疾病树表达疾病分类知识,知识库中包含 500 多种内科疾病及 10 万条疾病与症状的相关关系。它还采用了一些复杂的策略来区别和组合多种疾病。因此,它能正

确地对人类专家感到棘手的复杂病案作出诊断。CADUCEUS 已用于医学教学和某些由美国国家健康研究机构赞助的医疗服务点。

HEARSAY I 和 II 是卡内基-梅隆大学于 20 世纪 70 年代先后研制的两个语音理解系统。HEARSAY II 通过称为“黑板”的全局数据库来组合专家的知识。它的语音理解能力可以和一个 10 岁的孩子接近,但离专家水平甚远。这是因为语音理解是一个更为困难的研究方向。

PROSPECTOR 是一个著名的地质勘探专家系统,由斯坦福大学人工智能研究所于 1976 年开始研制。它能帮助地质学家解释地质矿藏数据,提供硬岩石矿物勘探方面的咨询,包括勘探评价、区域资源估值、钻井井位选择等。该系统的知识来自地质学家的矿床模型,用似然推理网络表示知识,网络的节点为有关探测证据和重要地质假设的各种断言,有向弧表示所连接的节点之间的推理规则,用贝叶斯(Bayes)概率推理处理不确定的数据和知识。该系统拥有 12 种矿藏知识库,共有 1100 多条规则,另有 400 种岩石和地质术语。它的性能足以与地质学家相比较,并已在实际应用中取得巨大的经济效益,例如,它发现了一个钼矿,据说该系统在这个钼矿勘探与开采中的使用价值可能超过 1 亿美元。

XCON(原名 R1)是由卡内基-梅隆大学从 1978 年开始研制的一个 VAX 计算机配置专家系统,它能根据 DEC 公司的 VAX 机的用户对每一部件的需求订单,以及关于部件结合方面的上千条规则型约束知识,形成一个功能上可以接受的 VAX 系统配置。经评价小组的正式性能测试,认为该系统具有足够的专家水平。后来,系统又进行了多次改进和发展,最后成为一个成熟的系统,在 DEC 公司担负了日常的 VAX 计算机系统配置任务,每年为 DEC 公司可节省 1500 万美元的设计费用。

专家系统的一系列研究成果展示了人工智能应用的广阔前景,社会各界对人工智能的兴趣与应用需求与日俱增。卫生界因某些医学专家系统的成功而受到极大鼓舞;军界期望它能开辟军事决策和指挥自动化的新局面;工商企业界出自对新技术的厚望,对人工智能的热情迅速高涨起来,过去对人工智能研究的态度十分保守的 IBM 公司也很快改变了态度。20 世纪 70 年代后期,随着专家系统技术的逐渐成熟和应用领域的不断开拓,人们从各种不同类型的专家系统和知识处理系统中抽取共性,人工智能又从具体系统的研究逐渐回到一般研究。围绕知识这一核心问题,人们重新对人工智能的原理和方法进行探索,并在知识获取、知识表示和知识推理等方面开始出现新的原理、方法、技术和工具。在这一背景下,在国际人工智能联合会(International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI)于 1977 年召开的 IJCAI-77 会议上,费根鲍姆提出了“知识工程”(Knowledge Engineering, KE)的概念。费根鲍姆因而被称为知识工程之父。知识工程综合了科学、技术和方法论三方面的因素,研究专门知识的获取、形式化和计算机实现,为研制以知识为基础的各类人工智能应用系统提供一般方法和基本工具。知识工程的研究有利于缩短专家系统的研制周期,促进了专家系统从单学科专用型向多学科通用型的发展,出现了一批通用程度不等、类型不同的专家系统工具,包括骨架型工具、有更大通用性的语言型工具和知识处理系统环境。应该说,知识工程和专家系统是人工智能研究中最有成就的分支领域之一,为推进人工智能研究起到了重要作用。

20 世纪 90 年代,计算机发展的主要趋势是小型化、并行化、网络化和智能化。人工智能技术逐渐与数据库技术、多媒体技术、网络技术相结合,旨在使计算机系统更聪明、更有效、与

人更接近。计算机智能化技术的主要研究方向大体上可分为三个方面：一是并行与分布处理技术，包括大规模并行计算机和机群系统的体系结构，并行操作系统，并行编译系统与并行数据库系统，分布式 Client/Server 计算模型及其处理技术，多专家协同工作与知识共享技术等；二是知识的获取、表示、更新和推理的新方法与新技术，大型知识库的组织与维护，新一代逻辑处理机制等；三是多功能的感知技术，包括对语音、文字、图形和图像等多媒体信息的获取、压缩、识别与转化，以及虚拟现实技术等。

我国从 1978 年才开始设立人工智能的研究课题，主要在定理证明、汉语自然语言理解、机器人及专家系统方面设立课题，并取得一批研究成果。在我国的“863”高技术研究开发计划中，智能计算机系统和智能机器人被列入我国高技术的重点发展主题。自该计划实施以来，我国在人工智能与智能计算机领域已取得许多可喜成绩。根据智能计算机系统的高技术研究开发计划，我国将研制可扩充的、大规模并行的、智能化的先进计算机系统，它们主要用于智能化的可视计算、事务处理、信息管理、信息分析与服务，它们将具有高速的和可视化计算的能力，具有对大量复杂信息进行存取与分析的能力，具有有效灵活的推理及机器学习的能力，具有以语音、文字、图形、图像为界面的和谐的人机交互能力，具有方便有效的智能化的软件开发能力。我们相信，21 世纪初期，这种计算机系统将成为促进我国社会经济发展的重要基础。

3. 人工智能的主要学派

随着人工智能的发展，围绕人工智能的基本理论和方法，诸如人工智能的定义、基础、核心、要素、认识过程、学科体系及人工智能与人类智能的关系等，形成几个学派。

1987 年，在美国波士顿由麻省理工学院人工智能研究所、美国国家科学基金 (NSF) 和美国人工智能学会 (AAAI) 联合主办了人工智能基础国际研讨会。许多在人工智能发展历史上作过重要贡献的各种学派的人工智能科学家应邀出席会议，并在会上报告了自己的论文。在报告中，他们阐明了各自的学术思想，讨论作为其方法基础的各种原理，叙述使用其方法取得成功的例子，解释这些方法的效用，探讨这些方法的适用性和局限性。这些报告已在国际杂志《人工智能》第 47 卷 (1991) 1~3 期 (合刊) 上发表。

目前，人工智能的主要学派有下述 3 家。

① 符号主义 (Symbolicism) 学派，又称为逻辑主义 (Logicism) 学派、心理学派 (Psychologism) 或计算机学派 (Computerism)。

② 联结主义 (Connectionism) 学派，又称为仿生学派 (Bionicsism) 或生理学派 (Physiologism)。

③ 行为主义 (Actionism) 学派，又称为进化主义 (Evolutionism) 学派或控制论学派 (Cyberneticsism)。

人工智能各学派的起源及进行人工智能研究所采用的基本理论和方法各不相同。

(1) 人工智能各学派的起源

符号主义认为人工智能源于数理逻辑。形式逻辑从 19 世纪末开始迅速发展，到 20 世纪 30 年代开始用于描述智能行为。计算机出现后，又在计算机上实现了逻辑演绎系统，其代表性的成果是 1956 年研制的逻辑理论程序 LT，可证明 38 条数学定理，从而表明可以应用计算

机研究人的思维过程,模拟人类智能活动。正是这些符号主义者在1956年首先采用“人工智能”这个术语;后来又发展了启发式算法、专家系统、知识工程理论与技术,并在20世纪80年代取得很大的发展。符号主义曾长期一枝独秀,为人工智能发展作出了重要贡献,尤其是专家系统的成功开发与应用,对人工智能走向工程应用具有特别重要的意义。在人工智能的其他学派出现之后,符号主义学派仍然是人工智能的主流。这个学派的代表人物有纽厄尔、肖、西蒙、尼尔逊(N. J. Nilsson)等。

联结主义认为人工智能源于仿生学,特别是人脑模型的研究。1943年,由生理学专家麦卡洛克(McCulloch)和数理逻辑学家皮茨(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,开辟了人工智能研究的新途径。20世纪60年代至70年代,联结主义以感知器为代表的脑模型的研究曾出现过热潮,受当时的理论模型、生物原型和技术条件的限制,脑模型研究在20世纪70年代后期至80年代初期进入低潮。1982年,美国加州工学院物理学家荷伯维尔德(Hopfield)提出了人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的HNN模型,有力地推动了人工神经网络的研究。他引入了“计算能量函数”的概念,给出了神经网络稳定性判据。HNN模型的电子电路的实现为神经计算机的研究奠定了基础,同时开拓了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径。1985年,赫顿(Hinton)和塞罗斯基(Sejnowski)借用统计物理学的概念和方法,提出了Boltzman机模型,首次采用了多层神经网络的学习算法,即在学习过程中用模拟退火技术保证神经网络趋于全局稳定。1986年,鲁梅尔哈特(Rumelhart)和麦克勒兰德(McClelland)提出多层神经网络的反向传播(BP)学习算法:通过实例的学习改变多层神经网络的邻接权矩阵,从而达到学习的目的。这是至今为止使用最广泛的人工神经网络。荷兰德(Holland)提出的分类系统类似于以规则为基础的专家系统,他提出的发现和改进规则的学习算法是对专家系统的重要发展。至此,人工神经网络的研究再次出现热潮。神经网络的发展为认知科学、计算机科学及人工智能的发展开辟了一条崭新的途径。虽然有不少人对神经网络研究的前景存在疑虑,但最悲观的估计仍然认为它会带来重大的科学研究成果和广泛的应用,而最乐观的估计则称之为一种新主义——联结主义,它是一种能解决知识表示、推理、学习、联想记忆等复杂系统的统一模型。

行为主义是人工智能的一个新的学派。行为主义源于控制论。在20世纪50年代,控制论的思想已对早期的人工智能工作者产生影响。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,如对自寻优、自适应、自组织和自学习等控制系统的研究,并进行“控制论动物”的研制。在20世纪60年代至70年代,上述控制论系统的研究取得一定的进展,产生了智能控制和智能机器人的萌芽,并在20世纪80年代诞生了智能控制和智能机器人系统。行为主义学派的代表作首推布鲁克斯(Brooks)的六足行走机器人(机器虫),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智能控制系统。

(2) 人工智能学派的基本理论框架

人类的认知过程是非常复杂的行为,至今仍未能完全被解释,人工智能各学派从不同的角度对人的智能行为进行研究,从而形成各学派研究人工智能的不同的基本理论。

符号主义认为可以用一个符号系统在计算机上形式化地描述和模拟人的思维活动过程。

符号主义还认为知识是智能的基础,人工智能的核心问题是知识表示与知识推理,知识是可以
用一种符号系统来表示的,也可以用符号的操作进行知识推理。因此,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。

联结主义利用人工神经网络模仿人类智能,认为人的智能的基本单元是神经元,由许多人
工神经元连接起来的人工神经网络可以具有自学习和自适应功能,能更好地模仿人类智能。
人工神经网络并不是人脑的真实描写,只是人脑的某种抽象、简化与模拟。人工神经网络实际
上是一种非线性自适应信息处理系统,信息处理由神经元之间的相互作用来实现,知识与信息
的存储表现为网络各神经元之间的联系,学习则表现为网络各神经元连接权的动态变化过程。

行为主义认为智能取决于感知、表现为行动,智能行为只能在现实世界中与周围环境交互
作用时表现出来,从而提出智能行为的“感知-动作”模式。

由于各学派对人工智能研究的基本理论框架不同,因此,对人工智能的研究方法也各不相
同。

符号主义认为人工智能的研究方法应是功能模拟方法:分析人类认知系统所具备的功能
和机理,然后用计算机来模拟这些功能,从而实现人工智能。符号主义力图用数理逻辑方法来
建立人工智能的统一理论体系。

联结主义认为人工智能应着重于结构模拟,即模拟人的生理神经网络结构,并认为功能与
结构是密切相关的,不同的结构表现出不同的功能和智能行为。至今,已经提出多种人工神经
网络结构和多种学习算法。

行为主义认为人工智能的研究方法应采用行为模拟方法,也认为功能、结构和智能行为是
不可分开的,不同的行为需要不同的控制结构并表现出不同的功能。行为主义的研究方法受
到其他学派的怀疑:认为行为主义最多只能创造出低智能的昆虫行为,无法创造出人的高智能
行为。

现在,在人工智能的基本理论、研究方法和技术路线等方面存在几种不同的学派,说明人
工智能已经从“一枝独秀”的符号主义发展到多学派“百花争艳”,必将促进人工智能的进一步
发展。

人工智能的近期研究目标是建造智能计算机,即:使现有的计算机更聪明、更有用。正是
根据这一近期研究目标,才把人工智能理解为计算机科学的一个分支。人工智能的远期研究
目标是研究人类智能和机器智能的基本原理,用智能机器来模拟人类的思维过程和智能行为。
这个远期目标几乎涉及所有的自然科学学科和社会学科。

人类智能是人脑系统的整体效应,有着极为丰富的层次和侧面。符号主义、联结主义和行
为主义都只抽象出人脑思维的部分特征来模仿人的智能和功能,人的认知过程和智能行为要
比人们想象的复杂得多,因此,人工智能需要多学科长期协作研究,才能达到一个更高的水平。

1.2 人工智能的研究与应用领域

目前,人工智能的研究更多的是结合具体应用领域来进行的。这里,介绍几个主要的应用

研究领域。

1. 定理证明

数学领域中对臆测的定理寻求一个证明或反证,一直被认为是一项需要智能才能完成的工作。证明定理时,不仅需要具有根据假设进行演绎的能力,而且需要具有某些直觉的技巧。例如,为了求证一个定理,数学家会熟练地运用专业知识,设想需要先证明哪几个引理,精确判断出已有的哪些定理会在这个定理的证明过程中起作用,并把这个定理证明分解为若干子问题,分别独立地对子问题进行求解。

定理证明的研究在人工智能方法的发展中曾经产生过重要的影响。例如,采用谓词逻辑的演绎过程的形式化,可以帮助人们更清楚地理解演绎推理过程。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,因此,机器定理证明的研究在人工智能研究中具有普遍意义。

2. 专家系统

一般地说,专家系统是一个具有大量专门知识与经验的程序系统。专家系统存储有某个专门领域中经过事先总结分析并按某种模式表示的专家知识(组成知识库),以及拥有类似于领域专家解决实际问题的推理机制(构成推理机)。系统能对输入信息进行处理,并运用知识进行推理,做出决策和判断,其解决问题的水平达到或接近专家的水平,因此能起到专家或专家助手的作用。专家系统是人工智能中最活跃的一个应用研究领域,涉及社会各个方面,可以说,需要有专家工作的场合,就可以开发专家系统。

开发专家系统的关键是表示和运用专家知识,即:来自专家的已被证明对解决有关领域内的典型问题有用的事实和过程。目前,专家系统主要采用基于规则的知识表示和推理技术。由于领域的知识更多是不精确或不确定的,因此,不确定的知识表示与知识推理是专家系统开发与研究的重要课题。此外,专家系统开发工具的研制与发展也很迅速,这对扩大专家系统的应用范围,加快专家系统的开发过程,将起到积极促进的作用。随着计算机科学技术整体水平的提高,分布式专家系统、协同式专家系统等新一代专家系统的研究也发展很快。在新一代专家系统中,不但采用基于规则的推理方法,而且采用诸如人工神经网络的方法。

3. 机器学习

学习是人类智能的主要标志,也是人类获得知识的基本手段,学习能力无疑是人工智能研究的一个最重要的方面。学习是一个有特定目的的知识获取过程,其内部表现为新知识的不断建立和知识的更新,而外部则表现为系统的性能得到改善。机器学习过程本质上是把导师或专家提供的学习实例或信息转换成能被学习系统理解并应用的形式存储起来的过程。

传统的机器学习倾向于使用符号表示知识而不是使用数值表示知识,使用归纳方法进行学习而不是使用演绎方法进行学习。近几年来,又发展了下述各种学习方法:基于解释的学习方法、基于事例的学习方法、基于人工神经网络的学习方法、基于遗传算法的学习方法等。

4. 自然语言理解

自然语言是人类之间信息交流的主要媒介,由于人类有很强的理解自然语言的能力,因此,人们相互间的信息交流轻松自如。但是,目前计算机系统和人类之间的交互几乎还只能使用严格限制的各种非自然语言,因此,解决计算机系统理解自然语言的问题就是人工智能研究的一个十分重要的课题。在智能计算机的研究中,自然语言理解就是其中的重点研究课题之一。

一个独立的简单句子是比较容易理解它的含义的,但是,对于一段用自然语言表示的较长的文章或对话,要准确地理解其中每个句子的含义就不局限于这个句子本身,而与此句子的上下文甚至背景知识有关。因此,自然语言理解涉及对上下文知识结构的表示和根据上下文知识进行推理的方法和技术。目前,在理解有限范围的自然语言对话和小段文章方面的程序系统研制已有一些进展,但是,实现功能较强的自然语言理解系统还是一个比较艰巨的任务。显然,在实现机器翻译时,如果机器系统能准确地理解每一个句子的含义,那么就能翻译出更准确、更通顺的译文。

5. 智能检索

数据库系统是存储某学科大量事实的计算机系统,随着应用的发展,存储的信息量愈来愈庞大。因此,研究智能检索系统具有重要的实际意义。

智能信息检索系统应具有下述功能。

① 理解自然语言,允许用户使用自然语言提出检索要求和询问。

② 具有推理能力,能根据数据库存储的事实,推理产生用户要求和询问的答案。

③ 系统拥有一定的常识性知识,以补充数据库中学科范围的专业知识。系统根据这些常识性知识和专业知识能演绎推理出专业知识中没有包含的答案。例如,某单位的人事档案数据库中有下列事实:“张强是采购部工作人员”、“李明是采购部经理”。如果系统具有“部门经理是该部门工作人员的领导”这一常识性知识,就可以对询问“谁是张强的领导”演绎推理出答案“李明”。

6. 机器人学

随着工业自动化和计算机技术的发展,到 20 世纪 60 年代,机器人开始进入大量生产和实际应用阶段。后来,由于自动装配、海洋开发、空间探索等领域的需要,对机器人的智能水平提出了更高的要求。特别是危险环境和恶劣环境更迫切需要机器人代替人来工作,从而推动了智能机器人的研究。

智能机器人的运动规划分为高层规划和低层规划两个层次。先由高层规划根据感知的环境信息和要求实现的目标规划出机器人执行动作的命令序列,然后由低层规划将每一个动作命令转换成驱动机器人各关节运动的驱动电机的角速度或角位移,各关节驱动电机的协调运动将保证实现相应的动作命令。

智能机器人是多学科交叉的综合课题,它涉及精密机械、视觉、触觉、力觉等信息传感技