



人工智能导论

RENGONG ZHINENG DAOLUN

李征宇 付 杨 吕双十 主编

 哈尔滨工程大学出版社



人工智能导论

RENGONG ZHINENG DAOLUN

李征宇 付杨 吕双十 主编

常州大学图书馆
藏书章

 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书较全面地介绍了人工智能领域的基本原理、技术和方法,以及国内外一些经典的应用实例。全书共9章,第1章阐述人工智能研究的发展、基本技术和应用领域;第2章介绍知识表示的常见方法;第3章至第5章讨论问题求解的搜索策略和推理方法,包括状态图搜索、与/或树搜索和博弈对策等搜索策略,对确定性推理中主要陈述消解反演和规则演绎,对非确定性推理主要介绍了概率贝叶斯方法和非单调推理;第6章至第8章说明了人工智能技术的主要应用,包括专家系统、机器学习以及自然语言理解;第9章阐述遗传算法的原理、经典算法、高级算法以及应用。

本书内容丰富,叙述清晰,示例典型,重点描述基本概念、思想和算法,兼顾领域的研究发展趋势。

本书可作为高等院校计算机及有关专业本科生教材或教学辅导用书,也可供相关领域的科研与工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能导论/李征宇,付杨,吕双十主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2016. 12
ISBN 978 - 7 - 5661 - 1425 - 9

I. ①人… II. ①李… ②付… ③吕… III. ①人工智
能 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 304938 号

选题策划 刘凯元
责任编辑 张忠远 马毓聪
封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 北京中石油彩色印刷有限责任公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 12. 25
字 数 340 千字
版 次 2016 年 12 月第 1 版
印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷
定 价 35. 00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

人工智能作为一门前沿交叉学科,尽管其形成和发展已有多年的历史且其间取得过不少令人鼓舞的成就,但时至今日,距离应用机器真正实现人类智能的目标依旧存在不小的差距,故至今它仍然备受重视和关注,是非常具有吸引力的研究领域。

本书是针对普通工科高等院校和重点院校中部分专业及自学爱好者的需要,特别是高等院校人工智能导论课程的要求,由多年从事人工智能教学且具有丰富教学经验的教师精心策划编写的一本通用教材。本书编写的特点是:全面简洁地介绍人工智能的基本理论、技术和方法,结合典型实例,方便理解掌握;章节的安排重点体现知识表现形式和搜索推理技术在人工智能方法学中的核心地位;在人工智能的高阶技术方面主要介绍现今较为成熟和经典的技术方法,作为相关领域的入门铺垫;全书在知识讲解和内容选择上,力求做到通俗易懂、深入浅出。

全书由沈阳建筑大学李征宇统稿,辽宁林业职业技术学院付杨编写第1章和第2章,辽宁林业职业技术学院吕双十编写第3章、第4章和第5章,沈阳建筑大学李征宇编写第6章和第7章,沈阳建筑大学陈宗胜编写第8章,沈阳建筑大学孙平编写第9章。最后,还要感谢沈阳建筑大学张野对书稿的精心校对。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请专家、同行和读者批评指正,以便不断完善。

编 者

2016年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能概念与基础	1
1.2 人工智能的研究与应用	10
第 2 章 知识表示	18
2.1 相关概念	18
2.2 谓词逻辑表示法	22
2.3 产生式表示法	28
2.4 语义网络表示法	35
2.5 框架表示法	46
2.6 过程表示法	49
2.7 面向对象表示法	52
第 3 章 搜索策略	58
3.1 相关概念	58
3.2 状态图搜索	59
3.3 与或树搜索	68
3.4 博弈对策	72
第 4 章 确定性推理	74
4.1 相关概念	74
4.2 自然演绎推理	83
4.3 消解反演推理	84
4.4 基于规则的演绎推理	88
第 5 章 不确定性推理	91
5.1 相关概念	91
5.2 概率贝叶斯方法	99
5.3 非单调推理	108
第 6 章 专家系统	114
6.1 相关概念	114
6.2 结构与工作原理	117
6.3 知识获取	120
6.4 专家系统的建造与评价	123
6.5 专家系统的开发工具与开发环境	130
6.6 新型专家系统介绍	131
第 7 章 机器学习	134
7.1 相关概念	134

7.2	机械学习	137
7.3	归纳学习	139
7.4	类比学习	142
7.5	解释学习	144
7.6	神经网络学习	147
第8章	自然语言理解	152
8.1	相关概念	152
8.2	语法分析	153
8.3	语义解释	156
8.4	语言理解	158
8.5	机器翻译	160
8.6	语音识别	163
第9章	遗传算法	166
9.1	相关概念	166
9.2	遗传算法的工作原理	169
9.3	经典遗传算法	175
9.4	高级遗传算法	184
	参考文献	189

第1章 绪 论

1.1 人工智能概念与基础

1956年夏季,麦卡锡(J. McCarthy)、明斯基(M. L. Minsky)、香农(C. E. Shannon)等一群年轻的美国学者与朋友相约于达特茅斯大学(Dartmouth College)聚会。他们共同提出并讨论了“artificial intelligence”(人工智能, AI)这一话题,吹响了向人工智能这一新兴领域进军的号角,人工智能科学就这样诞生了。

伴随着计算机及信息科学的长足发展与进步,人工智能这一新兴研究领域吸引了众多的青年学者前赴后继地艰辛奋斗,迄今已经取得了许多世人瞩目的成就:战胜人类成为国际象棋世界冠军的机器人,具有情绪表现的玩具机器人,能够进行简单检测与判断操作的智能家用电器,各种具有复杂功能的智能飞行器等。人们把人工智能同宇航空间技术、原子能技术一起誉为20世纪对人类影响最为深远的三大前沿科学技术成就。与前三次工业革命(动力工业革命、能源工业革命、电子工业革命)的目标不同,人工智能宣称的目标不只在于实现人的肢体功能、体力工具的替代与延伸,更重要的是实现人的大脑功能和智慧能力的替代与延伸。

1.1.1 智能与人工智能

1. 什么是智能

(1) 智能的概念与表现特性

智能,顾名思义,就是智慧与能力。一般认为智能是指自然界中某个个体或群体,在客观活动中,表现出的有目的地认识世界并运用知识改造世界的一种综合能力。其中,尤其是人类智能,集中体现了人的聪明才智及其群体协调管理的高级智慧力量,并具有许多美妙的特性,诸如感知、学习、思维、记忆、联想、推理、决策、语言理解、图文表达、艺术欣赏、知识运用、规划创造等。虽然迄今揭示的宇宙变迁与星体运动形成的规律暗示我们人类尚不一定是宇宙中唯一的高级智慧生物,要揭示高级智能作用的本质,有待于对活体大脑进行更深层次的研究。

(2) 对智能的不同的认识观点

事实上,智能现象的本质是人类尚未探索明白的四大奥秘(宇宙起源、物质形态、生命活动、智能发生)之一。尽管如此,人类在对脑科学和智能认识的研究中,逐渐形成了许多不同的研究观点。其中,最著名并具代表性的理论有3种,即思维理论、知识阈值理论和“进化”理论。

思维理论又称认知科学,它认为智能的核心是思维,一切智慧及其知识均源于活体大脑的思维。因此,通过研究思维规律与思维方法,有望揭示智能的本质。

知识阈值理论强调知识对智能的重要影响和作用,认为知识集聚到某种满意程度时,将会触发智慧大门的开启。知识阈值理论把智能定义为在巨大搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。这一理论曾经深刻地影响了人工智能的发展进程,专家系统、知识工程等就是在该理论的影响下而发展起来的。

“进化”理论强调智能可以由逐步进化的步骤来实现。这里的“进化”一词,借用了一百多年前英国著名科学家达尔文(Z. R. Darwin)提出的“物种进化,适者生存”的进化概念。中国学者涂序彦等人把进化论思想推广到智能科学研究领域,提出了智能可以逐步成长,亦可以逐渐进化的新思想理论。该理论恰巧与美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)布鲁克(R. A. Brooks)教授提出的行为论观点有许多异曲同工之妙。布鲁克认为:智能行为可以在“没有表达”和“没有推理”的情况下发生,智能可以在低层次信息境遇(situated-ness)交互方式下,依感知经验“激励-响应”模式来浮现(emergence)出来。例如,生物体的智能行为可以由生物躯体局部感知或感官反应信息直接驱动来实现。“进化”理论和行为论的观点都是最近十年来才被提出来的,又与传统看法完全不同,因而引起了人工智能界的广泛关注与兴趣。

(3) 智能原理与智能层次结构

以人类智能为例,智能活动与人的神经系统自适应调节工作密切相关。神经系统通过分布在身体各部分的感受器获取内、外界环境变化信息,经过各个层次级别的神经中枢进行分析综合,发出各种相应的处理信号,进行决策或达到智能控制躯体行为的目的。

一般来说,人类智能生理机构由中枢神经系统和周围神经系统两大部分组成,每一部分都有十分复杂的细微结构。人脑是中枢神经系统的主要部分,能够实现诸如学习、思维、知觉等复杂的高级智能。

根据现代脑科学和神经生理学的研究成果,把神经系统生理结构同智能发生的认识层次相联系,人们可以发现一个有趣的事实:智能现象实际可以由分布于全身的神经系统的任何部位产生,并且某个部位神经系统产生智能行为的反应速度与智能效能水平呈相反趋势。也就是说,低级智能动作反应快,高级智能产生要慢一些。总体来说,可将智能行为特性比照其发生的区域情况进行分析,从而建立起一个具有高、中、低三层结构的智能特性模型:高层智能由大脑皮层来组织启动,主要完成诸如思维、记忆、联想、推理等高级智能活动;中层智能由丘脑来组织实现,负责对神经冲动进行转换、调度和处理,主要完成诸如感知、表达、语言、艺术、知觉等智能;低层智能由小脑、脊髓、周围神经系统来组织,主要完成条件反射、紧急自助、动作反应、感觉传导等智能。同时,允许不同层次的智能先后发生,相互协同。每个智能层次还可细分为对应的特性群区域或更小的层次,例如,思维特性可分为感知思维、抽象思维、形象思维、顿悟思维及灵感思维等,视觉感知视野可分为色觉感、形体感、运动感等神经细胞特性感知区。

依据智能的层次结构分析,比照前述的3种智能认识理论,我们不妨这样设想:思维理论和知识阈值理论主要对应了高层智能活动,而“进化”理论分别对应了3个智能层次的发展过程。例如,“进化”理论可以有下述两种工作选择方式:其一,让各个智能层次都竞相参与进化作用,实行优胜劣汰;其二,先快速实现低级智能层次,后演化到中级智能层次,再推进到高级智能层次。后者描述了一个由低向高、逐级进化的智能协同发展的过程模型。

2. 什么是人工智能

(1) 人工智能的概念及其学科特性

人工智能,顾名思义,即用人工制造的方法,实现智能机器或在机器上实现智能。从学科的角度去认识,所谓人工智能是一门研究构造智能机器或实现机器智能的学科,是研究模拟、延伸和扩展人类智能的科学。从学科地位和发展水平来看,人工智能是当代科学技术的前沿学科,也是一门新思想、新理论、新技术、新成就不断涌现的新兴学科。人工智能的研究,是在计算机科学、信息论、控制论、心理学、生理学、数学、物理学、化学、生物学、医学、哲学、语言学、社会学等多学科的基础上发展起来的,因此它又是一门综合性极强的边缘学科。

(2) 人工智能测试与图灵实验

计算机或者机器是否具有智能?这个问题很早就引起了人们的关注。

为此,现代人工智能科学家、英国天才数学家图灵(A. M. Turing)于1950年在论文“Computer Machinery and Intelligence”中提出了著名的“图灵测试”标准:测试的参加者由一位测试主持人和两位被测试者组成,其中一位被测试者是人,另一位被测试者则是机器。要求被测试者回答测试主持人的问题时,都尽可能表现自己是“人”而不是“机器”。测试者和被测试者可以对话,但彼此都看不到对方。如果测试主持人无论如何都分辨不出被测试者究竟是人还是机器,则认为该机器具有了人的智能。

尽管也有人对这个测试标准提出了某些异义,认为图灵测试没有反映思维过程,也没有明确被测试的人的自身智力智商水平,仅仅只是强调了测试结果的比较等。然而,该测试标准的提出,对人工智能科学的进步与发展所产生的影响是十分深远的。

(3) 人工智能的研究目标

从长远来看,人工智能研究的远期目标就是要设计并制造一种智能机器系统。其目的在于使该系统能代替人,去完成诸如感知、学习、联想、推理等活动,使人类生活得更美好,让机器能够去理解并解决各种复杂困难的问题,代替人去巧妙地完成各种具有思维劳动的任务,成为人类最聪明、最忠实的助手和朋友。此外,有人认为:从长远来看,人工智能既然能够设计智能系统,就应能够充分理解并解释人类的各种智能现象和行为。

在目前阶段,人工智能研究的近期现实目标是:最大限度地发挥计算机的灵巧性,使电脑能模拟人脑,在机器上实现各种智能。例如,让计算机能够看、听、读、说、写,使计算机还能想、学、模仿、执行命令甚至出谋献策及创新等。也就是说,当前人工智能应该发展并解决智能模拟的理论和技術。

事实上,人工智能研究的远期目标与近期目标是相辅相成的。远期目标为近期目标确立了方向,而近期目标的研究亦在为实现远期目标的实现准备着理论和技術的基本条件。随着人工智能的不断发展与进步,近期目标势将不断地调整 and 改变,最终完全实现远期目标。

1.1.2 人工智能的发展历史

回顾人工智能的发展历史,可归结为孕育、形成和发展3个阶段。

1. 孕育(1956年之前)

自古以来,人们就一直试图用各种机器来代替人进行部分脑力劳动,以提高人们征服自然的能力。其中,对人工智能的产生、发展有重大影响的主要研究成果如下:

(1)早在公元前,伟大的哲学家亚里士多德(Aristotle)就在他的著名著作《工具论》中提出了形式逻辑的一些主要定律,他提出的三段论至今仍是演绎推理的基本依据。

(2)英国哲学家培根(F. Bacon)曾系统地提出了归纳法,还提出了“知识就是力量”的警句。这对于人类思维过程的研究,以及自20世纪70年代人工智能转向以知识为中心的研究都产生了重要影响。

(3)德国数学家和哲学家莱布尼茨(G. W. Leibniz)提出了万能符号和推理计算的思想,他认为可以建立一种通用的符号语言并在此符号语言的基础上进行推理的演算。这一思想不仅为数理逻辑的产生和发展奠定了基础,也是现代机器思维设计思想的萌芽。

(4)英国逻辑学家布尔(G. Boole)致力于使“思维规律”形式化和实现机械化,并创立了布尔代数。他在《思维法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。

(5)英国数学家图灵在1936年提出了一种理想计算机的数学模型,即图灵机,为后来电子数字计算机的问世奠定了理论基础。

(6)美国神经生理学家麦卡洛克(W. McCulloch)与匹兹(W. Pitts)在1943年建成了第一个神经网络模型(M-P模型),开创了微观人工智能的研究工作,为后来人工神经网络的研究奠定了基础。

(7)美国数学家莫克利(J. W. Mauchly)和埃克特(J. P. Eckert)在1946年研制出了世界上第一台电子计算机ENIAC,这项划时代的研究成果为人工智能的研究奠定了物质基础。

由上面的发展过程可以看出,人工智能的产生和发展绝不是偶然的,它是科学技术发展的必然产物。

2. 形成(1956—1969年)

1956年夏季,由当时麻省理工学院的年轻的数学助教、现任斯坦福大学教授麦卡锡(J. McCarthy)联合他的三位朋友,哈佛大学年轻的数学家和神经学家、现任麻省理工学院教授明斯基(M. L. Minsky),IBM公司信息研究中心负责人罗切斯特(N. Lochester),贝尔实验室信息部数学研究员香农(C. E. Shanno)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弗里奇(O. Selfridge)和索罗莫夫(R. Solomonoff)以及兰德(RAND)公司和卡耐基梅隆大学的纽厄尔(A. Newell)、西蒙(H. A. Simon)等10名年轻学者在美国达特茅斯(Dartmouth)大学召开了一次为时两个月的学术研讨会,讨论关于机器智能的问题。会上经麦卡锡提议正式采用了“人工智能”这一术语,麦卡锡因而被称为“人工智能之父”。这是一次具有历史意义的重要会议,它标志着人工智能作为一门新兴学科正式诞生了。此后,美国形成了多个人工智能研究组织,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。

自这次会议之后的十多年间,人工智能的研究在机器学习、定理证明、模式识别、问题求解、专家系统及人工智能语言等方面都取得了许多引人注目的成就,例如:

(1)在机器学习方面,1957年,Rosenblatt成功研制了感知机。这是一种将神经元用于识别的系统,它的学习功能广泛地引起了科学家们的兴趣,推动了连接机制的研究,但人们

很快发现了感知机的局限性。

(2)在定理证明方面,美籍华人数理逻辑学家王浩于1958年在IBM-704机器上用3~5分钟证明了《数学原理》中有关命题演算的全部定理(220条),并且还证明了谓词演算中150条定理的85%;1965年,鲁宾孙(I. A. Robinson)提出了归结原理,为定理的机器证明做出了突破性的贡献。

(3)在模式识别方面,1959年,塞尔弗里奇推出了一个模式识别程序;1965年,罗伯特(Roberts)编制出了可分辨积木构造的程序。

(4)在问题求解方面,1960年,纽厄尔等人通过心理学试验总结出了人们求解问题的思维规律,编制了通用问题求解程序GPS,用来求解11种不同类型的问题。

(5)在专家系统方面,美国斯坦福大学的费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)领导的研究小组自1965年开始对专家系统DENDRAL进行研究,1968年完成并投入使用。该专家系统能根据质谱仪的实验,通过分析推理决定化合物的分子结构,其分析能力已接近于甚至超过有关化学专家的水平,在美、英等国得到了实际应用。该专家系统的研制成功不仅为人们提供了一个实用的专家系统,对知识表示、存储、获取、推理及利用等技术来说也是一次非常有益的探索,为以后专家系统的建造树立了榜样,对人工智能的发展产生了深刻的影响,其意义远远超过了系统本身在实用上所创造的价值。

(6)在人工智能语言方面,1960年,麦卡锡研制出了人工智能语言LISP,成为建造智能系统的重要工具。

1969年成立的国际人工智能联合会议(International Joint Conferences On Artificial Intelligence, IJCAI)是人工智能发展史上一个重要的里程碑,它标志着人工智能这门新兴学科已经得到了世界的肯定和公认。1970年创刊的国际性的人工智能杂志 *Artificial Intelligence* 对推动人工智能的发展、促进研究者的交流起到了重要的作用。

3. 发展(1970年以后)

进入20世纪70年代,许多国家都开展了对人工智能的研究,涌现出了大量的研究成果。例如:1972年,法国马赛大学的柯麦瑞尔(A. Comerauer)提出并实现了逻辑程序设计语言PROLOG;斯坦福大学的肖特里菲(E. H. Shortliffe)等人从1972年开始研制用于诊断和治疗感染性疾病的专家系统MYCIN。

但是,和其他新兴学科的发展一样,人工智能的发展道路也不是平坦的。例如,机器翻译的研究没有像人们最初想象的那么容易。当时人们总以为只需要一部双向词典及一些词法知识就可以实现两种语言文字间的互译,后来发现机器翻译远非这么简单。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,当把英语“Out of sight, out of mind.”翻译成俄语时变成了“又瞎又疯。”;当把“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“The wine is good but the meat is spoiled.”,即“酒是好的,但肉变质了。”;当把“光阴似箭。”的英语句子“Time flies like an arrow.”翻译成日语,然后再翻译回来的时候,竟变成了“苍蝇喜欢箭。”。由于机器翻译出现的这些问题,英国、美国当时中断了对大部分机器翻译项目的资助。在其他方面,如问题求解、神经网络、机器学习等,也都遇到了困难,使人工智能的研究一时陷入了困境。

人工智能研究的先驱者们认真反思,总结了前一段研究的经验和教训。1977年,费根

鲍姆在第五届国际人工智能联合会议上提出了“知识工程”的概念,对以知识为基础的智能系统的研究与建造起到了重要的作用。大多数人接受了费根鲍姆关于以知识为中心展开人工智能研究的观点。从此,人工智能的研究又迎来了蓬勃发展的以知识为中心的新时期。

这个时期中,专家系统的研究在多个领域中取得了重大突破,各种不同功能、不同类型的专家系统如雨后春笋般地建立起来,产生了巨大的经济效益及社会效益。例如,地矿勘探专家系统 PROSPECTOR 拥有 15 种矿藏知识,能根据岩石标本及地质勘探数据对矿藏资源进行估计和预测,能对矿床分布、储藏量、品位及开采价值等进行推断,制订合理的开采方案,应用该系统成功地找到了超亿美元的钼矿。专家系统 MYCIN 能识别 51 种病菌,能正确地处理 23 种抗生素,可协助医生诊断、治疗细菌感染性血液病,为患者提供最佳处方,该系统成功地处理了数百病例,并通过了严格的测试,显示出了较高的医疗水平。美国 DEC 公司的专家系统 XCON 能根据用户要求确定计算机的配置,由专家做这项工作一般需要 3 小时,而该系统只需要 0.5 分钟,速度提高了 300 多倍。DEC 公司还建立了另外一些专家系统,由此产生的净收益每年超过 4 000 万美元。信用卡认证辅助决策专家系统 American Express 能够防止不应有的损失,据说每年可节省约 2 700 万美元。

专家系统的成功,使人们越来越清楚地认识到知识是智能的基础,对人工智能的研究必须以知识为中心来进行。由于对知识的表示、利用及获取等的研究取得了较大的进展,特别是对不确定性知识的表示与推理取得了突破,建立了主观 Bayes 理论、确定性理论、证据理论等,人工智能中模式识别、自然语言理解等领域的发展得到了支持,解决了许多理论及技术上的问题。

人工智能在博弈中的成功应用举世瞩目。人们对博弈的研究一直抱有极大的兴趣,早在 1956 年人工智能刚刚作为一门学科问世时,塞缪尔就研制出了跳棋程序。这个程序能从棋谱中学习,也能在下棋实践中提高棋艺,1959 年它击败了塞缪尔本人,1962 年又击败了一个州冠军。1991 年 8 月,在悉尼举行的第 12 届国际人工智能联合会议上,IBM 公司研制的 Deep Thought 2 计算机系统与澳大利亚象棋冠军约翰森进行了两场人机对抗赛,结果以 1:1 平局告终。

1996 年 2 月 10 日至 17 日,为了纪念世界上第一台电子计算机诞生 50 周年,美国 IBM 公司出巨资邀请国际象棋棋王卡斯帕罗夫(Kasparov)与 IBM 公司的深蓝计算机系统进行了六局“人机大战”。这场比赛被人们称为“人脑与电脑的世界决战”,参赛的双方分别代表了人脑和电脑的世界最高水平。当时的深蓝是一台运算速度达每秒 1 亿次的超级计算机。第一盘,深蓝就给了卡斯帕罗夫一个下马威,赢了这位世界冠军,给世界棋坛以极大的震动。但卡斯帕罗夫总结经验,稳扎稳打,在剩下的五盘中赢三盘,平两盘,最后以总比分 4:2 获胜。一年后,即 1997 年 5 月 3 日至 11 日,深蓝再次挑战卡斯帕罗夫。这时,深蓝是一台拥有 32 个处理器和强大并行计算能力的 RS/6000 SP/2 的超级计算机,运算速度达每秒 2 亿次。计算机里存储了百余年来世界顶尖棋手的棋局。5 月 3 日棋王卡斯帕罗夫首战击败深蓝,5 月 4 日深蓝扳回一盘,之后双方平三局。双方的决胜局于 5 月 11 日拉开了帷幕,卡斯帕罗夫在这盘比赛中仅仅走了 19 步便放弃了抵抗,比赛用时只有一小时多一点。这样,深蓝最终以 3.5:2.5 的总比分赢得了这场世人瞩目的“人机大战”的胜利。深蓝的胜利表明了人工智能所达到的成就。尽管它的棋路还远非真正的对人类思维方式的模拟,但它已经向世人说明,电脑能够以人类远远不能企及的速度和准确性,完成属于人类思维的大量任

务。深蓝精湛的残局战略使观战的国际象棋专家们大为惊讶。卡斯帕罗夫也表示：“这场比赛中有许多新的发现，其中之一就是计算机有时也可以走出人性化的棋步。在一定程度上，我不得不赞扬这台机器，因为它对盘势因素有着深刻的理解，我认为这是一项杰出的科学成就。”

我国自1978年开始也把“智能模拟”作为国家科学技术发展规划的主要研究课题之一，并在1981年成立了中国人工智能学会（China Association of Artificial Intelligence, CAAI），目前在专家系统、模式识别、机器人学及汉语的机器理解等方面都取得了研究成果。

1.1.3 人工智能的主要学派及研究途径

在人工智能科学的研究与发展中，形成了诸多学派。其中，主要有三大流派，即功能派、结构派和行为派。

功能派是最早发展起来的传统主流学派，又称逻辑学派或宏观功能派，采用功能模拟的观点，使用的是“黑盒”研究方法。

结构派也是最早发展起来的传统学派之一，又称生物学派或微观结构派与功能派不同，它采用的是结构模拟的观点，使用的是“白盒”研究方法。

行为派又被称作实用技术学派。与传统学派完全不同，它采用实用行为模拟的观点，使用“能工巧匠”式的制造方法，是一种按照“激励-响应”的工作模式来建立实用工程装置的研究方法。也有人认为这是一种实现 agent 模型的技术方法。

功能派涉及众多学科技术，包括逻辑学、心理学、数学、物理学、工具学、语言学、计算机、数理逻辑等学科；结构派涉及的学科有生物学、微结构学、医学、仿生学、神经生理学等；行为派涉及的学科有行为学、工程学、机械学、电子学等。

赞成 AI 的，表达了进化论、创新论、科学技术改造世界的观点，而从伦理道德、神学论等观点出发，又派生出 AI 的反对派，体现了神学论、创生论、“上帝”说等方面的观点。

从认识上应该看到，正是不同学科的学者云集，各自进行人工智能的探索研究，从而形成了诸多学派。各个学派学术观点有所不同，研究思路各有侧重，对人工智能的理解定义也不完全一致，百家争鸣，百花齐放，这一切共同形成了人工智能科学生动活泼的研究氛围。

1. 功能派及其研究方法

(1) 主要观点

计算机的智能可以用硬件，尤其可以用软件来实现。任何智能系统的功能及其控制均可用程序命令来完成。程序命令就是一种语言文字符号，因此，一切智能实际上都可以用语言、文字及符号来表示并完成，故功能派又被称为符号派。

通常，程序命令都是用逻辑思想或按逻辑规律进行设计编写的，计算机按照逻辑程序运行，这样就有了按逻辑进行识别判断的能力。因此，这样一种智能实现思路又被称为逻辑功能派。

(2)重要事件与技术发展

20世纪50年代, Samuel 创制了具有学习功能的跳棋程序, Newell、Show、Simon 等人共同创制了 LT(logic theoretical)程序。

20世纪60年代, Newell、Show、Simon 等人提出了 GPS(general problem solver)程序, 据说可解决 11 类不同领域的问题, 还有各种形式化语言被提出, 例如 1960 年 J. McCanhy 提出了 Lisp 语言。

20世纪70年代, Feigenbaum 提出了专家系统 ES, 重新举起了 Bacon 的“知识就是力量”的旗帜。

20世纪80年代, 日本提出了 KIPS(knowledge information processing system)研究计划。

20世纪90年代的人机博弈。

21世纪之初的现代演绎战争等。

随后智能软件工程、智能计算机等技术的发展, 大多采用了以符号化及其处理为核心的研究方法, 也就是 AI 的主流思想方法。

(3)主要特征

符号逻辑所表现的合理性和必然性反映在如下方面: 逻辑型推理, 符合人类心理特点; 形式化表达, 易建模建库(知识库无须输入大量的细节知识, 简化了问题求解的设计过程), 设计方便易行; 模块化思路处理, 易于扩充修改; 结合界面可视化设计, 易于理解; 启发式思维, 便于设计实现; 工作过程透明, 便于解释、跟踪, 用户心理易于接受。

(4)存在的局限性及可能的解决途径

形式化方法对于非逻辑的推理过程、经验式模糊推理、形象思维推理往往难以用符号系统表示。符号形式化方法的有效性取决于符号概念的精确性。当把有关信息转换成符号化的推理机制时, 将会丢失一些重要的信息。对于带有噪声的信息以及不完整的信息往往也难以进行恰当的表达和处理。

可能的解决途径: 可采用结构派的互联技术方法, 该方法具有很好的互补作用。

2. 网络互联(network connection)技术及其研究方法

(1)主要观点

网络互联是结构派的一种实现方式。网络互联技术学派认为: 人类的智能归根结底是用大脑中的神经元活动来实现的, 神经元是一种具有记忆、联想、协调工作的智能网络。因此, 可以在结构上采用生物神经元及其连接机制来模仿生成其全部的智能活动。显然, 这是一种“白盒法”的微结构模拟智能活动的研究思路。

结构派认为大脑是一切智能活动的物质基础, 因而从生物神经元模型着手, 设法弄清楚大脑的结构以及它进行信息处理的过程与机理, 就有望从物质结构本质上揭示人类智能的奥秘。

但是, 由于人脑有多达 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经元, 每个神经元又与 $10^3 \sim 10^4$ 个其他神经元互相联系, 构成了一个多层次立体结构的复杂互联的网络, 加上这种结构的特性是基于生命活动而存在的, 因此客观上完成这种模拟是不可能的, 这就造成该研究长期处于停滞不前的状态。加上计算机技术和集成记忆单元的局限性, 一直到 20 世纪 80 年代后, 在功能模拟研究暂趋于平稳冷静状态时, 结构派才又随着微处理器集成化发展而活跃起来。

(2) 重要成果与发展历程

1943年,神经元模型首次被提出。20世纪80年代中后期,各种ANN(artificial neural network,人工神经网络)模型如雨后春笋,脱颖而出。20世纪90年代前后,全世界掀起ANN研究热潮,论文研究成果成千上万。神经网络计算机被提出,由多达数百个微处理器互联而成。

(3) 主要特点

这种方法通过对I/O信息状态(抑制,兴奋)模式进行分析处理,可以从训练样本中自动获取知识,逐步适应环境的变化。它采用分布式表示信息,一个概念不是对应于一个节点,而是对应于一种分布模式,因此可实现联想机制。其次,噪声信息可在分布式表达中得到近似体现,加以处理,就能得到比较满意而合理的结果。总结起来,其主要特点如下:

- ①循序渐进训练,符合人类学习发展过程规律,适于机器学习训练,特色明显;
- ②形象性思维,直观明了;
- ③分布式表示信息,便于实现联想;
- ④对局部畸变不敏感,模糊识别能力强,抗干扰性好;
- ⑤状态变迁机制便于实现变异、交叉、繁殖功能,进而实现并发展进化计算、遗传算法等;

⑥调整分布参数与连接的加权值可模拟各种控制过程,便于实现进化规划和策略,便于实现数值优化、系统预测和经验寻优过程。

(4) 存在的局限性及可能的解决途径

局限性:难以用因果分析关系解释其活动过程。而这恰恰是符号化逻辑处理的优势,二者互补,可否取得更大成果有待探索研究。

发展与展望:随着进化计算(EC)理论的开拓和生物医学工程技术的进步,尤其是克隆技术的发展,其前景十分诱人。

3. 行为派及其研究方法

(1) 主要观点

以美国麻省理工学院人工智能实验室年轻教授布鲁克斯(R. A. Brooks)为首的研究组,分别于1991年、1992年提出了“没有表达的智能”和“没有推理的智能”研究观点。采用典型装置实现局部,这是Brooks根据自己对人造机器动物的实践研究中的体验提出的一种近于生物系统的智能模型。Brooks认为,智能是某种复杂系统所浮现(emergence)出来的性质,智能又可理解为由很多部件之间的交互并与境遇相联系才具体化的行为特性。

Brooks指出:具体的生物体有直接来自周围客观世界的经验,它们的作用是世界动态行为中的一部分,其感官具有反馈作用,故这种作用可用人造动物体的具体化(embodiment)构成的行为来模拟。Brooks认为,智能行为可以仅仅由系统总的行为以及行为与环境的交联作用来体现,它可以在没有明显的可操作的内部的情况下产生,可以在没有明显的推理系统出现的情况下形成。

目前这种观点尚在发展完善中。它与人们传统的看法完全不同,因而引起了人工智能界广泛的兴趣和关注。

Brooks等行为派倾向性认为,要造出一个功能完善、思考周密的人工智能机器人,难度太高、周期太长,不如先快速造出具有一定感受功能的智能机器虫,先实现本能或局部智能,然后

在初步可见成果基础上逐步扩充完善。

事实上,人们可以把这种研究方法进而理解为:先实现局部的智能主体 agent,然后将其组合成为高级的智能主体系统,即从局部实现到全局集成的研究。

(2) 主要成果

20 世纪 90 年代初, Brooks 等人实现了多腿脚协调行走并可上下楼梯的机器蝗虫。

近年来,日本 Sony 不断地推出升级版的“AIBO”机器人;日本欧姆龙推出了“Tama”机器人,采用模糊推理决策行动算法,用以指导人们使用 ATM;美国 Tiger 电子公司推出“Fabee”、美国微软推出“ActiMates”等玩具类机器人;还有日本松下的“宠物机器人”,可用于帮助独身老人在发生紧急情况时(如发生急病)同外界进行联系。

(3) 主要特点

①“激励-响应”模式,很实用。

②代表性典型装置实现适应性强,难度较低,易于物理实现。

③行为模拟的“小前提”思想,即采用层次式处理手法,“满足→实现→小有成功”,再进行第二层次……依次推进装置完善、成功。

④直觉式感知模拟,便于实现经验式智能。

(4) 存在的局限性及可能的解决途径

局限性:缺乏系统理论指导,必须加强规划决策指导与体系结构分析。

解决途径:融合功能派和结构派的技术观点,更有利于走向全面。

1.2 人工智能的研究与应用

1.2.1 人工智能的基本技术

人工智能既是综合性极强的边缘学科,又是兼容并蓄的基础科学,其理论体系不断丰富完善,前沿攻关及实验课题层出不穷。

早期学者们认为,在人工智能基础理论和基本系统中,至少应包括以下 4 个方面的基本技术:

(1) 机器学习和知识获取技术,主要有信息变换技术,知识信息的理解技术,知识的条理化、规则化技术,机器的感知与成长技术等;

(2) 知识表示与处理技术,包括知识模型的建立与描述技术、表示技术及各种知识模型处理技术方法等;

(3) 知识推理和搜索技术,尤其包括演绎推理计算和智能搜索技术;

(4) AI 系统构成技术,包括 AI 语言,硬件系统及智能应用系统等方面的构成技术等。

人工智能的三大学派和四大技术构成了 AI 体系的基础与骨架。

1.2.2 人工智能研究的基本内容

结合人工智能的远期目标和上述基本技术,可以认为人工智能目前的基本研究内容应

包括以下几个方面:

1. 机器感知

所谓机器感知就是使机器(计算机)具有类似于人的感知能力,包括视觉、听觉、触觉、力感、味觉、嗅觉、知觉等。其中,以机器视觉与机器听觉为主。机器视觉是让机器能够识别并理解文字、图像、景物等;机器听觉则是让机器能识别并理解人类语言表达及语声、音响等。从而形成了人工智能的两个专门的研究领域,即模式识别与自然语言理解技术分支。

2. 机器思维

所谓机器思维是指对通过感知得来的外部信息及机器内部的各种工作信息进行有目的的处理。正像人的智能是来自大脑的思维活动一样,机器智能也主要是通过机器思维实现的。因此,机器思维是人工智能研究中最重要而关键的部分。为了使机器能模拟人类的思维活动,尤其需要开展以下几方面的研究工作:

- (1)知识的表示,特别是各种不精确、不完全知识的表示;
- (2)知识的推理,特别是各种不精确推理、归纳推理、非单调推理、定性推理,还包括各种启发式搜索推理及控制策略的研究;
- (3)神经网络、人脑的结构及其工作原理。

3. 机器学习

人类具有获取新知识、学习新技巧,并在实践中不断完善、改进的能力,机器学习就是要使计算机具有这种能力,使它能自动地获取知识,能直接向书本学习,能通过与入谈话学习,能通过对环境的观察学习,并在实践中实现自我完善,克服人们在学习中的局限性,例如容易忘记、效率低以及注意力分散等。

4. 机器行为

与人的行为能力相对应,机器行为主要是指计算机的表达能,即“说”“写”“画”的能力,对于智能机器人,它还应具有人的四肢功能,即能走路,能取物,能操作等。

5. 人工智能系统构成

为了实现人工智能的近期目标及远期目标,需要建立智能系统及智能机器,为此还需要开发对模型、系统分析与构造技术、建造工具及语言等的研究。

1.2.3 人工智能研究与应用领域

如同大多数学科中都存在着几个不同的研究领域,每个领域都有其特有的研究课题、研究方法和术语一样,人工智能也存在许多不同的研究领域。

1. 问题求解

人工智能的第一大成就是能够求解难题的下棋(如国际象棋)程序。在下棋程序中应