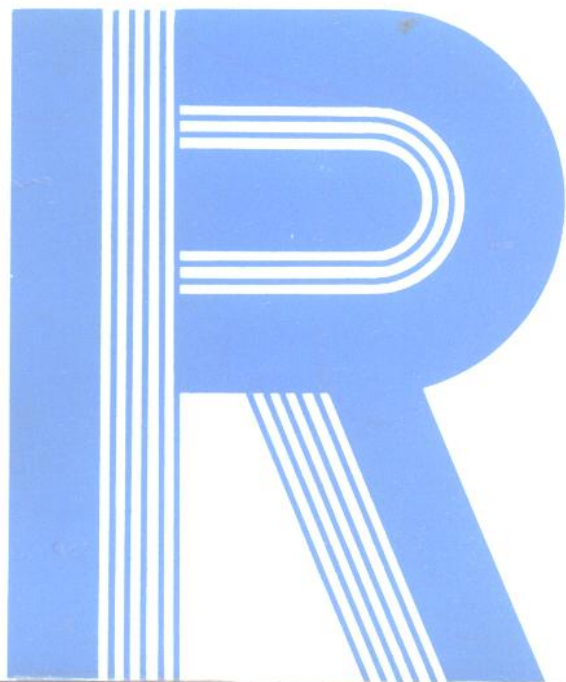


● 国防科技大学出版社

人工智能与 专家系统

吴泉源 刘江宁 编著



人工智能与专家系统

吴泉源 刘江宁 编著

国防科技大学出版社

【湘】新登字 009 号

内 容 简 介

本书详细阐述了人工智能程序设计的基本原理和专家系统的构造技术。在基础部分,对问题求解技术基础、符号逻辑基础和人工智能语言基础进行了系统概括;在基本方法和技术部分,着重研究了产生式系统、语义网络、框架系统和面向对象程序系统等知识表示系统,深入讨论了概率推理、可信度理论、证据理论和模糊推理等不确定推理方法,并全面介绍了专家系统开发过程中的其他实用方法与技术,包括问题分类、知识获取、黑板结构、解释机制、工具与实例等;在前沿研究部分,简要论述了各种机器学习方法及定性推理、非单调推理、基于事例的推理、分布式人工智能与协同式专家系统等新一代知识处理技术。

本书可作为计算机、信息处理、系统工程和自动化等专业研究生和高年级本科生的教材,并可供从事计算机研究、开发、应用和教学工作的科技人员参考。

人工智能与专家系统

吴泉源 刘江宁 编著

责任编辑 何 晋

责任校对 李 毅

*

国防科技大学出版社出版发行 (长沙)

新华书店总店科技发行所经销

湖南大学印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张:12 字数:307千

1995年3月第1版第1次印刷 印数:1—5 000

ISBN 7—81024—326—8

TP·62 定价:9.60元

前言

20097/16
现代人工智能是近 40 年发展起来的一门综合性学科,旨在研究如何利用计算机等现代化工具设计一种系统来模仿人类的智能行为。从图形、图像、语言、文字的识别到自然语言理解,从博弈、自动定理证明、自动程序设计、数据库的智能检索到机器人,人工智能的应用十分宽广。在众多的人工智能应用领域中,专家系统是近 30 年发展起来的一种极富代表性的智能应用系统,旨在研究如何设计一种基于知识的计算机程序系统来模仿人类专家求解专门问题的能力。现在,专家系统已成为人工智能中一个独立发展的重要分支。

人工智能与专家系统有着极其诱人的目标,并且都取得过不少令人鼓舞的成就,因此曾多次引起社会各界的广泛兴趣,80 年代国际上就出现过一股人工智能与专家系统热,中国也不例外。近两年来。随着信息高速公路的提出和多媒体等计算机主流技术的发展,人工智能与专家系统的研究再度活跃起来,并正在向更为健康更加成熟的方向发展。

但是,必须清醒地看到,人类对自身的思维规律和智能行为仍处在探索阶段,“智力的形成”是全人类正在努力攻克的四大难题之一,加上计算机等现有技术的限制,智能模拟的任务是十分复杂和艰巨的。人工智能与专家系统是一门开放性的年轻学科,任重道远,亟需我们的跨世纪人才不断地开拓和耕耘,使其根深叶茂,结出更丰硕的果实。

本书是作者 10 多年来从事人工智能与专家系统教学和科研工作的成果结晶,主要讲述人工智能程序设计的基本原理和专家系统的构造技术。内容涉及人工智能问题求解的基本方法,人工智

能的基础理论,人工智能语言的基本计算机制,各种知识表示系统,多种典型的不确定推理方法,开发专家系统的一系列实用技术,以及若干机器学习方法和新一代知识处理技术。全书共10章,每章都包含大量实例,大多还附有习题,适合教学和各类读者自学。预期学完本书后,读者对人工智能与专家系统的基本概念和构造方法会有一个比较清晰的认识,并能独立从事基于知识的人工智能系统及其软件环境的研究与开发。

本书在选材上注重理论与实际相结合,提高与普及相兼顾,编写中十分强调基本概念和基本观点的阐述,内容由浅入深,深入浅出,并力图在阐明基本原理和方法的同时反映最新的研究成果。

本书第一、二、三、四章和6.3、7.2、8.7节由吴泉源执笔,其他章节由刘江宁执笔,全书由吴泉源统稿。

在本书前身的第一稿讲义的编写中,葛家翔副教授和金芝博士付出了辛勤的劳动,在此向他们表示深切的感谢。

作 者

1995年1月

目 录

第一章 引言

1.1 早期的人工智能	1
1.2 专家系统的出现与发展	5
1.3 知识工程和专家系统工具	9
1.4 人工智能的发展趋势	13

第二章 问题求解和专家系统的基本原理

2.1 什么是人工智能	16
2.2 问题求解的基本原理	18
2.2.1 产生式认知模型	18
2.2.2 搜索与思维过程	21
2.2.3 一般的搜索系统	23
2.3 启发式搜索	27
2.3.1 什么是启发式搜索	27
2.3.2 启发式图搜索算法	28
2.3.3 启发式搜索例解	30
2.3.4 其它搜索技术	33
2.4 专家系统概述	36
2.4.1 什么是专家系统	36
2.4.2 专家系统的组成	39
2.4.3 专家系统的研究课题	44

习题

第三章 符号逻辑基础

3.1 人工智能的基本假设	54
3.2 谓词逻辑的基本概念	56
3.2.1 概述	56
3.2.2 一阶谓词演算的形式符号	56
3.2.3 合式公式及其解释	57
3.2.4 知识的逻辑表示	59

3.2.5 逻辑推理	61
3.3 海伯伦理论	63
3.3.1 斯柯林标准型与子句集	63
3.3.2 海伯伦全域	65
3.3.3 海伯伦定理及其实现方法	68
3.4 归结原理	72
3.4.1 基本思想	72
3.4.2 命题逻辑中的归结原理	73
3.4.3 代换和一致化	75
3.4.4 一致化算法	77
3.4.5 一阶逻辑中的归结原理	79
3.4.6 归结原理的完备性	80
3.5 Horn 逻辑	82
3.5.1 Horn 子句集的归结原理	82
3.5.2 逻辑程序概述	83
3.5.3 逻辑程序的过程语义	85

习题

第四章 人工智能语言的基本机制

4.1 代数项语法	91
4.1.1 串	91
4.1.2 树	92
4.1.3 关于树的操作	93
4.1.4 项	94
4.1.5 代换与次序	95
4.1.6 项集的完全格	96
4.2 基本计算机制	98
4.2.1 项的匹配	98
4.2.2 项的一致化	98
4.2.3 项的逆一致化	99
4.2.4 项的分离一致化	100
4.2.5 等式理论中的一致化	100
4.3 等式逻辑与重写系统	102
4.3.1 等式推理	102

4.3.2	项重写	102
4.3.3	重写系统的终止性问题	104
4.3.4	重写系统的合流问题	105
4.3.5	归约与窄化	107
4.4	函数程序设计与逻辑程序设计	108
4.4.1	函数程序设计	108
4.4.2	逻辑程序设计	111
4.4.3	函数型语言与逻辑型语言的合成	112

习题

第五章 产生式系统

5.1	产生式系统概述	116
5.2	推理的方向	121
5.3	产生式系统语言 CLIPS	126
5.4	Rete 快速匹配算法	133
5.4.1	模式匹配的基本概念	133
5.4.2	Rete 算法的基本思想	134
5.4.3	Rete 匹配网络结构	136
5.4.4	Rete 网络匹配过程	139
5.5	冲突消解	143
5.6	元知识	146
5.6.1	什么是元知识	146
5.6.2	元知识的用途	148
5.6.3	元知识的表示与使用模式	151
5.7	产生式系统分析	152

习题

第六章 知识的结构化表示法

6.1	语义网络	159
6.1.1	语义网络知识表示	159
6.1.2	语义网络的推理	170
6.1.3	网络表示法的局限性	173
6.2	框架系统	174
6.2.1	框架系统概述	174
6.2.2	基于框架的推理	180

6.2.3 框架系统与产生式系统的结合	185
6.2.4 小结	189
6.3 面向对象的表示	190
6.3.1 对象、消息和方法	190
6.3.2 类、类层次和继承性	194
6.3.3 面向对象知识表示与语义网络、框架系统的比较	197

习题

第七章 不确定推理

7.1 不确定性	200
7.1.1 证据的不确定性	200
7.1.2 规则的不确定性	202
7.1.3 推理的不确定性	203
7.2 概率推理模型	205
7.2.1 主观贝叶斯方法	205
7.2.2 PROSPECTOR 的不确定推理模型	209
7.3 可信度理论	215
7.3.1 MYCIN 模型	215
7.3.2 一般 CF 模型	219
7.4 证据理论	224
7.4.1 证据理论基础	224
7.4.2 Dempster 组合规则	228
7.4.3 证据推理模型	233
7.5 模糊推理	237
7.5.1 模糊集合及其基本操作	237
7.5.2 模糊关系	240
7.5.3 语言变量与模糊推理	242

习题

第八章 专家系统的开发技术

8.1 专家系统的开发过程	247
8.1.1 建造专家系统的步骤	247
8.1.2 增量式开发方法	249
8.1.3 原型系统与快速原型法	249
8.1.4 螺旋形模型	251

8.2 专家系统问题求解类型	252
8.2.1 专家系统的任务类型	252
8.2.2 分类问题与分析型专家系统	254
8.2.3 构造问题与设计型专家系统	257
8.2.4 层次假设与测试	260
8.3 知识获取	262
8.3.1 概述	262
8.3.2 知识获取的心理学方法	264
8.3.3 知识库求精	270
8.4 黑板模型	271
8.4.1 基本思想	271
8.4.2 问题求解的黑板结构	272
8.4.3 HEARSAY-Ⅱ系统	274
8.5 解释机制	277
8.5.1 解释机制概述	277
8.5.2 预置文本与路径跟踪法	279
8.5.3 策略解释法	281
8.5.4 自动程序员方法	282
8.5.5 解释型专家系统	283
8.6 专家系统工具	285
8.7 专家系统设计实例	289
8.7.1 咨询过程	289
8.7.2 知识库的描述	294
8.7.3 知识在推理咨询过程中的使用	300

习题

第九章 机器学习

9.1 机器学习的概念和方法	310
9.2 归纳学习	312
9.2.1 归纳学习的基本概念	312
9.2.2 描述空间	314
9.2.3 基于决策树的归纳学习方法	317
9.2.4 Induce 算法	323
9.3 基于解释的学习	326

9.3.1 基于解释的学习框架	326
9.3.2 基于解释的学习过程	328
9.4 人工神经网络学习方法	330
9.4.1 人工神经网络的结构与工作原理	330
9.4.2 感知器及其学习算法	332
9.4.3 反向传播网络与算法	333
9.5 小结	335
第十章 新一代知识处理技术	
10.1 定性推理技术	337
10.1.1 定性推理概述	337
10.1.2 定性演算的数学基础	340
10.1.3 基于定性演算的行为预测方法	343
10.2 常识与非单调推理	346
10.2.1 非单调推理的基本概念	346
10.2.2 非单调推理的逻辑方法	347
10.2.3 非单调推理方法	350
10.3 基于事例的推理	357
10.3.1 基于事例推理的基本思想	357
10.3.2 事例的表示与组织	358
10.3.3 事例的检索与改写	360
10.4 分布式人工智能与协同式专家系统	361
10.4.1 基本概念	361
10.4.2 分布式问题求解的研究课题	362
10.4.3 契约网模型	365

参考文献

第一章 引言

人工智能、生物工程、空间技术是当今世界的三大尖端技术，专家系统、模式识别、智能机器人则被并列为人工智能技术中最活跃的三个领域。

人工智能源于人类智能，它从一开始就取得过不少令人鼓舞的成就。专家系统源于人类专家求解专门问题的能力，它的出现在很大程度上使人工智能重新活跃起来。知识工程概念的建立和专家系统工具的发展，使各种知识处理系统得到了广泛应用。随着社会的不断进步和科学技术的不断发展，特别是信息高速公路的提出和多媒体技术的发展，人工智能和专家系统又出现了新的生机，也面临着更深层次的挑战，许多新的研究方向和关键课题正等待着我们去探索、去攻克。

本章将围绕人工智能和专家系统的发展史，扼要介绍历史上较著名的几个人工智能程序，以及曾取得较大经济效益或社会影响的若干专家系统和专家系统工具，并指出 90 年代人工智能和专家系统的发展趋势。

1.1 早期的人工智能

人工智能旨在用机械的、电子的、光的或生物的器件制造一种装置或机器模仿人类的智能。因此，人工智能又称机器智能。如果

说人类自身的智能是“上帝”创造的自然智能或第一智能,那么人工智能可以看成由人工制造的第二智能。

自古以来,人类对人工智能就有持久的、狂热的追求,并凭借自己的认识水平和当时的技术条件,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 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 世纪德国著名数学家和哲学家莱布尼兹(G. W. Leibniz)在一种加法计算器的基础上制成了能做全部四则运算的手摇计算器,并开创性地提出了数理逻辑的思想,也就是把形式逻辑符号化,从而能对人的思维进行推理计算。1936 年,年仅 24 岁的英国数学家图灵(A. M. Turing)提出了一种理想计算机的数学模型,后世通称之为图灵机。随着科学技术的不断进步,特别是数理逻辑、控制论、信息论的创立以及电子数字计算机的出现,在计算机科学、数学、神经生理学、心理学、语言学等多种学科的相互渗透下,现代人工智能这门新兴学科终于于 1956 年正式诞生。

1956 年夏季,在美国达特莫斯(Dartmouth)大学,由当时的年青数学助教、现斯坦福大学教授麦卡锡(J. McCarthy),联合他的三位朋友:哈佛大学年青数学和神经学家、现麻省理工学院教授明斯基(M. L. Minsky),以及 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)和索罗孟夫(R. Solomonff),以及兰德(RAND)公司和卡内基(Carnegie)工科大学的纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)等十名年青学者,举办了为期两个月的夏季学术讨论班,讨论机器智能问题。经麦卡锡提议,在会上正式决定使用人工智能(Artificial Intelligence,缩写为 AI)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。

1956年在人工智能的研究上取得了两项重大突破。一是美国的纽厄尔、肖(J. Shaw)和西蒙的心理学小组编制了一个逻辑理论程序 LT(The Logic Theory Machine),模拟人用数理逻辑证明定理的思想,采用分解、代入、替换等规则,证明了怀特海(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证完了该章中的全部 52 条定理)。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。

另一个是 IBM 工程研究组的塞缪尔研制的西洋跳棋程序。这个程序可以象一个优秀棋手那样,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,不断提高自己的棋艺。它能学习棋谱,在分析 175 000 多副棋局后,可以猜测书上所有推荐的走步,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 年又击败了美国一个州的跳棋冠军。

1957 年,纽厄尔、肖和西蒙又通过心理学实验,发现人在解题时思维过程的一般规律,特别是在解题过程中不断进行方法和目的的分析,修订解题计划。基于这些规律,1960 年他们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),能求解 11 种不同类型的问题。

在麻省理工学院的研究组中,1958 年麦卡锡发明了表处理语言 LISP。由于 LISP 语言可以方便地处理符号,很快成为人工智能程序设计的主要语言。LISP 语言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。

一连串的胜利使人们兴奋起来,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,纽厄尔和西蒙充满自信地说:在 10 年内计算机将成为世界的象棋冠军;10 年内计算机将要发

现和证明重要的数学定理；10年内计算机将能谱写具有优秀作曲家水平的乐曲；10年内大多数心理学理论将在计算机上形成。有些人甚至断言：照此趋势下去，80年代将是全面实现人工智能的年代，到了公元2000年，机器的智能就可以超过人了。

但是，事情的发展远非如此理想。塞缪尔的下棋程序在当了州的冠军之后再也没有当上全国冠军。世界冠军海尔门(Helmann)与它对弈了四局，它未胜一局，有一和局是因为海尔门“匆忙地同时和几个人对弈”的结果。

自然语言的机器翻译也许是人工智能中研究最早并取得实验性成果的方向之一。人们原以为只要用一部双向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，结果发现机器翻译的文字阴差阳错。著名的例子是：英语句子“The spirit is willing, but the flesh is weak”(心有余而力不足)，翻成俄语再翻回来竟成了“The wine is good but the meat is spoiled”(酒是好的，肉变质了)。因此有人挖苦说，美国花2000万美元为机器翻译立了一块墓碑。

鲁滨逊(J. A. Robinson)于1965年发明的消解法是与传统的自然演绎法完全不同的方法，当时被公认为一项重大突破，并掀起了研究计算机定理证明的又一次高潮。可是，人们很快发现消解法的能力也很有限，用它证明两个连续函数之和还是连续函数，推理10万步还没有推出来。

麦克卢斯(W. S. McCulloch)被称为神经网络理论之父，他的神经元模型和仿生学概念奠定了从神经生理学角度进行智能模拟的基础。他本人对青蛙视觉系统这样的局部问题也作出过很有价值的研究。人工智能领域最早掀起一阵狂热也许就是50年代的神经网络研究。许多热衷者认为，这种紧密互连的系统可以从一无所知开始，在一个奖惩程序的训练下，最后能完成设计者所希望的工作。但是，即使设计一个少于1000个神经元的蚂蚁的神经系统也已超出了当时的技术条件。

自从人工智能形成一个学科以来,许多科学家所遵循的指导思想是:研究和总结人类思维的普遍规律,并用计算机模拟它。他们认为,达到这种计算机智能模拟的关键是建立一个通用的、万能的符号逻辑运算体系。然而,老一辈人工智能科学家为之奋斗的这个万能逻辑推理体系至今也没有创造出来。他们早期的代表作通用问题求解程序 GPS,通用性其实受到严格限制:只对具有相当小的状态集和良定义的形式规则的问题有效。许多系统只能在诸如梵塔问题、传教士与野人问题、猴子摘香蕉问题等微型世界中起作用,人求解这些问题显然是毫无困难的。

由于人们忽视了现实世界的复杂性和问题的多样性,人工智能的早期研究只能停留在实验室里进行。因为解决不了实际问题,美国 IBM 公司曾一度取消了本公司范围内的所有人工智能研究;英国政府采纳了一份指责“人工智能研究不是骗局,至少也是庸人自扰”的综合报告,所有研究几乎都被一笔勾销。人工智能研究遇到了比想象的要严重得多的压力和困难。科学家们开始对过去的战略思想和主要技术进行反思,探索人类思维普遍规律的信条更是受到了年轻一代的挑战。

1.2 专家系统的出现与发展

人类智能,由人类对外界事物识别和理解的感知能力,进行推理、联想和学习的思维能力,以及作出决策和采取行动的反应能力组成。人之所以有这些智能,是因为他有知识(包括经验,经验这种活的知识往往比书本知识更重要)。早在公元前 4 世纪,我国伟大的古代军事家孙子在其《兵法》中就写道:“故明君贤将,所以动而胜人,成功出于众者,生知也。”就是强调知识的作用,说知识使英明的君主和贤能的将军能够做到进攻时不必冒险,战绩可以超过其他所有人。因此,智能的核心是知识,智能便是指运用知识解决

问题的能力。毫无知识基础的能力属于本能,不是智能。在实际生活中,人主要是根据知识行事的,不是仅根据建立在抽象原则上的推理行事的。人类文明社会的不断进步,靠的正是几千年人类知识的不断积累。万能的逻辑推理体系至今没有创造出来的根本原因也正是它缺乏知识,缺乏人类在几千年文明史上积累起来的知识。其次,推理体系中的状态空间搜索遇到了“组合爆炸问题”,单靠一些推理原则是无法解决的,唯有大量使用现成的知识。

于是,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,通用的解题策略同特定领域的专业知识与实际经验结合,产生了以专家系统为代表的基于知识的各类人工智能系统,使人工智能真正走向社会,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(Expert System,缩写为ES)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很强有力的和很通用的问题求解方法,它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,包括各种有用的诀窍和经验,专家系统实际上就是在计算机上实现的这种领域专家的模仿物。

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,具有从化学专家那儿获得的关于质谱测定法的知识,把它结合到控制搜索的规则中,能迅速消去不可能为真的分子结构,避免了以指数级膨胀的搜索。通过产生全部可能为真的结构,它甚至可以找出那些人类专家往往会漏掉的候选结构。DENDRAL及其附属的CONGEN系统商品化后,更显示了它的超