

尹朝庆 尹皓 编 著

人工智能与专家系统



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

人工智能与专家系统

尹朝庆 尹皓 编著

HH 60/27
01

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书较全面地阐述了人工智能的基本理论、方法和专家系统的构造技术。全书共 8 章, 可分为两大部分。第一部分包括第 1 章至第 4 章, 主要介绍人工智能的三个基本技术, 即知识表示、推理及搜索。第二部分包括第 5 章至第 8 章, 其中, 第 5 章详细介绍了专家系统的开发方法和技术, 包括知识库、推理机、解释器和知识获取, 以及人工智能语言和专家系统工具; 第 6 章阐述了知识的不确定性和不确定推理的有关理论与方法, 包括概率推理、可信度推理和模糊推理; 第 7 章讨论了机器学习的多种方法及其应用实例; 第 8 章介绍了人工神经网络的有关模型、学习算法及其应用实例。

本书具有系统性、新颖性、实用性等特点, 可作为计算机、自动化、管理科学与工程专业的本科生和研究生的教材, 也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能与专家系统 / 尹朝庆, 尹皓编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2001

ISBN 7-5084-0890-X

I. 人… II. ①尹… ②尹… III. ①人工智能—高等学校—教材②专家系统—高等学校—教材 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 084641 号

书 名	人工智能与专家系统
作 者	尹朝庆 尹皓 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@public3.bta.net.cn (万水) sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 68359286 (万水) 63202266 (总机) 68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京天竺颖华印刷厂印刷
规 格	787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 476 千字
版 次	2002 年 1 月第一版 2002 年 1 月北京第一次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

人工智能是经过 40 多年发展起来的一门综合性学科，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。在众多的人工智能应用领域中，专家系统是 30 多年来发展起来的一种最具代表性的智能应用系统，它旨在研究如何设计基于知识的计算机程序系统来模拟人类专家求解专门问题的能力。专家系统是人工智能中最活跃的一个分支，是人工智能发展最主要的推动力。

由于人类对自身的思维规律和智能行为仍在探索中，因此，人工智能与专家系统仍然是一门开放的年轻学科。近几年来，人工智能与专家系统的研究越来越深入，新的思想、新的理论以及新的方法与技术不断涌现，新的研究成果不断充实着这一研究领域，尤其是模糊逻辑与神经网络及其结合的研究已成为当前人工智能或智能模拟的重要研究方向，学术论文数以千计，应用成果迭出。

本书吸收和借鉴了国内外诸多同行的研究成果，并结合作者的研究和教学实践，把人工智能和专家系统有关的理论和方法系统地归纳起来，使之对从事这一领域工作的同行们能起到参考作用。本书可用于高等学校计算机、自动化、管理科学与工程等相关专业的本科生和研究生的教学，本书内容符合全国高校计算机专业教学指导委员会与中国计算机学会教育委员会于 1999 年 9 月发表的《计算机学科教学计划 2000》的 AI 模块的要求。

本书有以下主要特点：

(1) 系统性与新颖性相结合。本书比较系统地介绍了人工智能与专家系统的理论、方法与实现技术，力求反映该领域的学科前沿及最新成果。在介绍经典理论与方法的同时，根据目前国内外人工智能与专家系统发展与应用的情况，对知识的不确定性表示与推理、机器学习与神经网络进行了较多的讨论，介绍了多种方法和实现技术。

(2) 理论性与实用性相结合。本书既注重理论上的论述，又注重结合有关语言与工具的编程介绍实现技术，精选应用实例和习题，理论联系实际。

(3) 对有关概念、原理、方法与技术的阐述力求准确、精练，写作风格上尽量通俗易懂、深入浅出。尽量用实例说明抽象的概念与原理，便于读者理解。

全书共分 8 章，可分为两大部分。第一部分包括第 1 章至第 4 章，主要介绍人工智能的三大基本技术，即知识表示、逻辑推理与搜索技术。第二部分包括第 5 章至第 8 章，讨论专家系统的构造技术。第二部分是第一部分的延伸和深化，涉及到人工智能领域的若干新的理论、方法和技术。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）介绍了多种知识表示方法；第 3 章（经典逻辑推理）首先介绍各种推理的方式、控制策略、模式匹配等基本概念，然后讨论了归结演绎推理和与/或形演绎推理两种经

典逻辑推理的理论与方法；第 4 章（搜索策略）在给出问题求解过程的两种形式表示的基础上，分别讨论这两种表示形式的推理过程可用的各种搜索策略；第 5 章（专家系统）以产生式系统为主，讨论专家系统的知识库、推理机与解释器的实现技术，介绍了专家系统工具 CLIPS 及其应用，以及知识检测与求精的方法；第 6 章（知识的不确定性与不确定推理）在讨论知识不确定性的基础上，介绍不确定知识表示和不确定推理的有关理论与推理方法；第 7 章（机器学习）介绍了机器学习的多种方法及其应用实例；第 8 章（人工神经网络）介绍了人工神经网络有关模型、学习算法及其应用实例。

本书的第 2、4、5 章由尹皓编写，第 1、3、6、7、8 章由尹朝庆编写。全书由尹朝庆统稿。

由于作者水平有限，书中疏漏与错误之处在所难免，恳请广大读者指正。

作者

2001 年 12 月

于武汉理工大学

目 录

前言

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	9
习题一	12
第 2 章 知识表示	13
2.1 一阶谓词逻辑表示法	13
2.1.1 谓词逻辑	13
2.1.2 一阶谓词逻辑表示法的特点	20
2.2 产生式表示法	21
2.2.1 产生式与产生式系统	22
2.2.2 产生式系统的分类及其特点	26
2.3 框架表示法	29
2.3.1 框架与框架网络	29
2.3.2 框架的推理及其特点	35
2.4 语义网络表示法	39
2.4.1 语义网络	39
2.4.2 语义网络的推理及其特点	46
2.5 面向对象表示法	49
2.5.1 面向对象的知识表示	49
2.5.2 面向对象表示法的特点	53
习题二	55
第 3 章 经典逻辑推理	58
3.1 推理的基本概念	58
3.1.1 推理方式及其分类	58
3.1.2 推理的控制策略	60
3.1.3 模式匹配及其变量代换	64
3.2 自然演绎推理	67
3.3 归结演绎推理	68
3.3.1 谓词公式化为子句集的方法	68

3.3.2	海伯伦理论.....	70
3.3.3	归结原理.....	72
3.3.4	归结反演.....	75
3.3.5	基于归结反演的问题求解.....	76
3.3.6	归结反演策略.....	79
3.4	与/或形演绎推理.....	84
3.4.1	与/或形正向演绎推理.....	84
3.4.2	与/或形逆向演绎推理.....	87
3.4.3	代换的一致性与剪枝策略.....	90
	习题三.....	91
第 4 章	搜索策略.....	95
4.1	问题求解过程的形式表示.....	95
4.1.1	状态空间表示法.....	95
4.1.2	与/或树表示法.....	97
4.2	状态空间的盲目搜索策略.....	100
4.2.1	宽度优先搜索.....	100
4.2.2	深度优先搜索.....	102
4.2.3	有界深度优先搜索.....	104
4.2.4	代价树的宽度优先搜索.....	105
4.2.5	代价树的深度优先搜索.....	107
4.3	状态空间的启发式探索策略.....	109
4.3.1	估价函数与择优搜索.....	109
4.3.2	图的有序搜索与 A* 算法.....	111
4.4	与 / 或树的搜索策略.....	115
4.4.1	与 / 或树的宽度优先搜索.....	116
4.4.2	与/或树的有界深度优先搜索.....	118
4.4.3	与 / 或树的有序搜索.....	120
4.4.4	博弈树的启发式搜索.....	124
4.5	搜索性能的量度.....	127
	习题四.....	128
第 5 章	专家系统.....	134
5.1	专家系统概述.....	134
5.1.1	专家系统的类型与特点.....	134
5.1.2	专家系统的结构与开发方法.....	137
5.2	LISP 语言.....	140

5.2.1	LISP 语言的特点与表达式.....	140
5.2.2	LISP 语言的基本函数.....	142
5.2.3	迭代与递归.....	149
5.3	知识库与推理机.....	151
5.3.1	产生式规则与规则库的存储结构.....	151
5.3.2	推理机及其实现.....	155
5.3.3	元知识与元规则.....	167
5.4	解释机制与解释器.....	170
5.4.1	解释的方法.....	170
5.4.2	解释器及其实现.....	174
5.5	知识获取.....	177
5.5.1	知识获取的任务与方式.....	177
5.5.2	知识的检测与求精.....	180
5.5.3	知识的组织与管理.....	187
5.6	专家系统工具.....	189
5.6.1	专家系统工具概述.....	189
5.6.2	专家系统工具 CLIPS 及其应用.....	192
5.7	分布式专家系统与协同式专家系统.....	203
5.7.1	分布式专家系统及其驱动方式.....	203
5.7.2	协同式专家系统及其协同方法.....	205
	习题五.....	209
第 6 章	知识的不确定性与不确定推理.....	211
6.1	知识的不确定性.....	211
6.1.1	证据的不确定性.....	211
6.1.2	规则的不确定性.....	212
6.1.3	推理的不确定性.....	213
6.2	基于概率的不确定推理.....	214
6.2.1	有关概率的基本概念与计算.....	214
6.2.2	基于概率的不确定推理方法.....	216
6.3	基于可信度的不确定推理.....	222
6.3.1	可信度不确定推理方法.....	222
6.3.2	带有阈限的不确定推理.....	226
6.3.3	加权的 uncertain 推理.....	227
6.3.4	可信度 uncertain 推理方法的改进.....	230
6.4	模糊逻辑与模糊推理.....	237

6.4.1	模糊集合的定义与运算	237
6.4.2	模糊知识表示与模糊匹配	247
6.4.3	模糊推理方法	252
6.4.4	带有可信度的模糊推理	264
习题六		266
第 7 章	机器学习	271
7.1	机器学习的概念与方法分类	271
7.2	归纳学习	272
7.2.1	归纳学习的基本概念	272
7.2.2	基于描述空间的归纳学习方法	274
7.2.3	基于决策树的归纳学习方法	276
7.3	基于解释的学习	282
7.3.1	基于解释的学习框架	283
7.3.2	基于解释的学习过程	284
7.4	遗传算法	286
7.4.1	遗传算法的概念与计算方法	286
7.4.2	遗传算法的应用	291
习题七		294
第 8 章	人工神经网络	296
8.1	人工神经元与感知器	296
8.1.1	人工神经元模型	296
8.1.2	感知器及其学习算法	298
8.2	人工神经网络模型	300
8.2.1	神经网络的互连结构	300
8.2.2	前向神经网络	301
8.2.3	反馈神经网络	303
8.3	神经网络的学习	306
8.3.1	神经网络的两类学习方法	306
8.3.2	BP 学习算法及其改进方法	307
8.4	人工神经网络的应用	314
8.4.1	神经网络专家系统	314
8.4.2	基于神经网络的模糊分类器	317
8.4.3	神经网络在预测中的应用	324
8.4.4	模糊逻辑与神经网络的结合	328
习题八		331
参考文献		333

第 1 章 绪论

40 多年来, 人工智能 (AI, Artificial Intelligence) 获得很大的发展, 引起众多学科的日益重视, 已成为一门具有广泛应用的交叉学科和前沿学科。

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 40 多年的历程, 但是, 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, 可概括为:

1) 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, 这就是认识和理解外界环境的能力。

2) 通过人脑的生理与心理活动以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) 通过教育、训练和学习过程, 日益丰富自身的知识和技能, 这就是学习的能力。

4) 对不断变化的外界环境条件 (如干扰、刺激等外界作用) 能灵活地作出正确地反应, 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发展并制成了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，因而他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，控制论和信息论的创立，生物学家设计的脑模型等，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，由当时的年轻数学助教、现任斯坦福大学教授的麦卡锡（J.McCarthy）联合他的三位朋友：哈佛大学年轻数学和神经学家、现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.Solomonoff）、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 名年轻学者，举办了为期两个月的学术讨论会，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时思维过程的一般规律，思维过程大致可分为三个阶段：

- 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), 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 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, 时至今日, 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的冠军之后, 再也没有当上全国冠军。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, 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, 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。他们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 (ES, Expert System) 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 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, 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 多种不同的数学符号运算。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以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 ARPANET 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各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、实习医生以及 MYCIN 系统的行为进行正式测试评价，认为 MYCIN 的行为超过了临床医生助手的作用，尤其在诊断和治疗菌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 的静态规则的表达方式，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 多种内科疾病以及 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，以及关于部件组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（IJCAI, International Joint Conference on Artificial Intelligence）于 1977 年召开的 IJCAI-77 会议上，费根鲍姆提出了“知识工程”（KE, Knowledge Engineering）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、以及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，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果。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的能力，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等问题，诸如人工智能的定义、基础、核心、要素、认识过程、学科体系以及人工智能与人类智能的关系等，由于存在不同的观点而形成不同的学派。

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，讨论作为他们方法基础的各种原理，叙述各自方法取得成功的形式，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以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,其有代表性的成果是 1956 年研制的逻辑理论程序 LT 证明了 38 条数学定理,表明了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,为人工智能走向工程应用具有特别重要意义。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,由于当时的理论模型、生物原型和技术条件的限制,脑模型研究在 70 年代后期至 80 年代初期落入低潮。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(ANN, Artificial Neural Network)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 模型电子电路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。

行为主义是近几年来才被认为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 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,至今仍未能被完全解释,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,由许多人工神经元联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和表现为行动,智能行为只能在现实世界中与周围环境交互作用而表现出来,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,各学派对人工智能的研究方法也不同。

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和表现出不同的功能。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,并肩开创人工智能的新纪元。

人工智能的近期研究目标是建造智能计算机,即使得现有的计算机更聪明更有用。正是