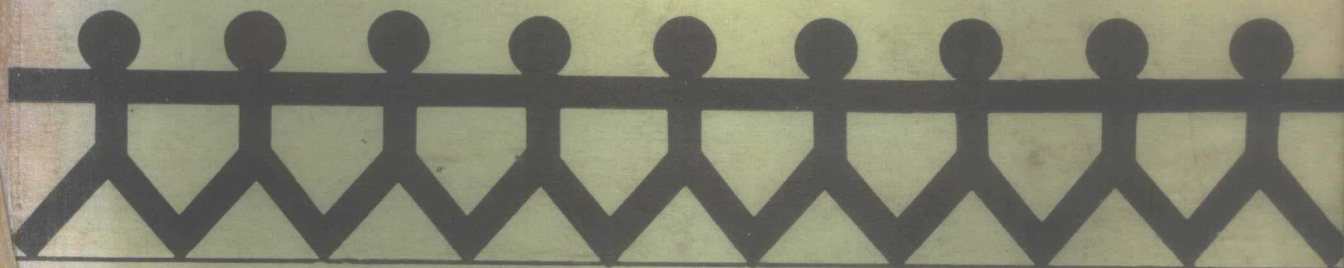


高等学校教材

人工智能导论

何华灿 主编



西北工业大学出版社

高等学校教材

人工智能导论

何华灿 主编

何华灿 李太航 吕艳 编著

西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书是系统介绍人工智能基本原理和方法的入门教材，它以作者提出的广义问题求解为中心，着重讨论人工智能中的三大基本技术：知识表示技术、机械化推理技术和系统构成技术。

全书共八章：一、绪论；二、知识表示；三、搜索；四、逻辑推理；五、产生式系统；六、高级问题求解系统；七、人工智能语言和人工智能机器；八、新的进展。此外在附录中还介绍了本书的预备知识，以利于非计算机专业的读者学习和自学之用。

本书可作为高等院校计算机类各专业研究生和高年级本科生的必修课或选修课教材，也可供自动化、电子、信息处理及其他有关专业的教师、科技人员、学生和广大读者自学与参考。

高 等 学 校 教 材 人 工 智 能 导 论

主 编 何华灿

责任编辑 柴文强

西北工业大学出版社出版
(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店发行
西北工业大学出版社印刷厂印装

开本 787×1092毫米 1/16 21.25印张 508千字
1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷
印数 1—8000册

ISBN 7-5612-0054-4/TP·16(课) 定价：3.55元

前 言

人工智能是本世纪的三大科技成就之一，她的出现引起了计算机科学的第二次革命，开创了智能化的新纪元。人工智能是 50 年代在美国兴起的一门新科学，近十多年来已走向实用化阶段。日、美等国正在积极研制的第五代计算机就是一个大型的综合性的人工智能系统。如果说经典物理学的形成和蒸气机的诞生导致了第一次科学革命和第一次产业革命，实现了人的部分体力劳动的机械化和自动化，使人类社会有了今天这样发达的物质文明和精神文明，那么正在到来的第二次科学革命和第二次产业革命则导源于广义信息科学的形成和计算机的诞生，它将实现人的部分脑力劳动的机械化和自动化，所以人们把它称为信息革命或智力革命。正如蒸气机是一种比较原始的动力机一样，现在的电子数字计算机也是智力机的雏形，人工智能的近期研究目标就是要提高现有电子计算机的智力水平，使其变得更加灵巧。可以预言，在不久的将来，人工智能将会成为每个计算机工作者必须了解的常识。近十年来，人工智能研究在我国也引起了广泛的兴趣和重视，不少单位已开始进行研究，并取得了一些可喜的成果。所以为计算机类专业研究生和本科生开设人工智能课程是十分必要的。不难想象，随着社会生活智能化水平的提高和智能机器的普及，人工智能将会成为每个合格的大学毕业生必须掌握的基础知识和基本技能。

对人工智能的研究对象，学术界有两种不同的主张：一种主张只涉及人类智能活动的核心过程（主要是指理性思维）；另一种主张包括智能活动的核心过程和外围过程（如视觉、听觉、使用自然语言的能力等等）。前者是所谓狭义的理解，后者是所谓广义的理解。本书主要讨论理性思维过程的机械化和自动化问题，但其中的许多原理和方法，对其他智能活动过程来说也是适用的。

目前人工智能的理论体系正处在逐步形成之中。现有的人工智能教科书，大多是具体人工智能系统或研究分支的罗列，经验性较强，系统性、条理性不足，涉及知识面也很广，不便于作为导论课教材。现在正在以问题求解为中心形成人工智能自己的理论体系，这为我们讲授人工智能导论这门课程提供了十分有利的条件。我们认为：

1. 现有人工智能的基本原理和方法可以围绕“广义的问题求解”这个中心来组织。各种智能活动过程都可以等效成一个问题求解过程。所谓广义的问题就是指初始状态和目标状态之间存在某种差异。所谓问题求解就是寻找一个消除这种差异的机械过程或操作序列。

2. 问题求解涉及三个环节：问题的形式化、求解过程的机械化和机械过程的自动化实现等。在人工智能中与这三个环节对应的是人工智能的三大基本技术，即知识表示技术、机械化推理技术和系统构成技术。

本书就是根据作者近十年来在西北工业大学、北京师范大学和电力科学院研究生部为研究生和高年级大学生讲授《人工智能导论》课的讲义，按照上述“一个核心和三大技术”的思路来编写的。它介绍给读者的不是人工智能的各个具体研究分支（如模式识别，自然语言理解，定理证明、专家系统等等），而是包含在这些具体研究分支中的人工智能的基本原理和方法，是目前已知的人工智能的最本质的东西。这对读者今后研究人工智能的各个具体分

支或从事其他工作都是有指导意义的。

本书是一本人工智能的入门书，它主要是作为计算机类各专业研究生或本科生必修课及选修课的教材。为了便于其他各类专业的读者阅读，本书还专门在附录中编进了一章预备知识。全书文字流畅，便于自学。它的主要内容有：

第一章 绪论。它系统介绍了人工智能的发展简史，学科范畴和具体研究领域，从各种角度讨论了研究智能科学的意义。

第二章 知识表示。它介绍了知识表示技术中的两种最基本的方法：状态空间法和与/或图表示法。

第三章 搜索。系统介绍了各种搜索策略及其性质。

第四章 逻辑推理。介绍王浩算法和消解原理。三、四章属机械化推理技术。

第五章 产生式系统。介绍最基本的系统构成技术及其应用。

第六章 高级问题求解系统。介绍复杂系统中的知识表示技术、推理技术和系统组织技术，特别介绍了我国李太航提出的意识胞思维模型。

第七章 人工智能语言和人工智能机器。介绍 LISP 语言、PROLOG 语言、人工智能机器。五、六、七章属于系统构成技术。

第八章 新的进展。介绍人工智能研究的最新进展，主要是非精确性推理和机器学习。

本书原稿曾于 1983 年被航空工业部选为统编教材，由航空专业教材编审组编辑出版，内部发行。五年来，它先后被五十多个单位选作教材或主要参考书，并提出了不少宝贵的意见和建议。此次正式出版前，我们又对原稿作了大幅度的修改和补充，但基本的逻辑体系未变。

本书由何华灿副教授主编，李太航副教授参加了第七章的编写，吕艳同志参加了六、七、八章的编写，吉玉琴同志参加了部分收集资料和拟稿工作。

在本书的形成过程中得到康继昌、韩兆轩、柴佩琪、张遵濂、马希文、汪培庄、孙怀民、张锡令、洪声贵诸位教授，袁萌、周孝宽、刘家铨、李应谭副教授及刘云丰、杨心灿、敖其芳等同志的许多帮助。在此，表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中，我们还参考了一些兄弟单位的讲义和资料，与同行们的学术讨论，也使我们受到许多启发。

借此机会，我们谨向所有为本书的构思、编写和出版作出过贡献的同志们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的缺点错误在所难免，欢迎批评指正。

编 著 者

1988年3月于西北工业大学

预告：为便于教学和读者自学，将出版学习指导书和习题解答、发行辅助教学软件。欲购者请与出版社或著者联系。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 人工智能的产生和发展简史	(1)
1.1.1 孕育期 (1956年以前)	(1)
1.1.2 推理期 (1956年~1975年)	(2)
1.1.3 知识期 (1976年至今)	(4)
§ 1.2 人工智能的学科范畴	(6)
1.2.1 人工智能的研究目标	(7)
1.2.2 人工智能的核心课题	(7)
1.2.3 人工智能研究中的学派	(9)
1.2.4 人工智能的基本技术	(11)
1.2.5 人类智能和人工智能	(12)
1.2.6 人工智能研究的特点	(14)
§ 1.3 人工智能的具体研究领域	(15)
1.3.1 模式识别 (Pattern Recognition)	(15)
1.3.2 物景分析 (Scene Analysis)	(17)
1.3.3 自然语言理解 (Natural Language Understanding)	(17)
1.3.4 知识库系统 (Knowledge Base Systems)	(19)
1.3.5 博弈 (Game Playing)	(20)
1.3.6 自动定理证明 (Automatic Theorem Proving)	(20)
1.3.7 自动程序设计 (Automatic Programming)	(21)
1.3.8 专家系统 (Expert System)	(22)
1.3.9 自然语言生成 (Natural Language Synthesis)	(22)
1.3.10 机器人 (Robots)	(23)
1.3.11 人工智能的应用和发展方向	(24)
§ 1.4 研究智能科学的意义	(25)
1.4.1 当前许多学科发展的需要	(25)
1.4.2 第二次科学革命中的核心课题	(27)
1.4.3 人类社会进化新阶段的要求	(29)
思考题	(32)
第二章 知识表示	(33)
§ 2.1 适当的表示对问题求解是至关重要的	(33)
2.1.1 问题的同态变换	(33)
2.1.2 麦卡赛问题和火柴问题	(35)
2.1.3 一字棋游戏的不同表示法	(37)
§ 2.2 状态空间表示法	(39)
2.2.1 状态、操作和状态空间	(39)
2.2.2 修士和野人问题的状态空间	(41)

2.2.3	梵塔问题的状态空间	(43)
2.2.4	问题求解的基本框架	(45)
2.2.5	重排九宫问题和隐式图	(46)
§ 2.3	与/或图表示法	(48)
2.3.1	与/或图的基本概念	(48)
2.3.2	问题递简法和与/或图	(50)
2.3.3	解不定积分问题的状态空间	(52)
2.3.4	博弈问题的状态空间	(54)
	习题	(55)
第三章	搜索	(56)
§ 3.1	基本概念	(56)
3.1.1	搜索和推理	(56)
3.1.2	启发和算法	(57)
3.1.3	隐式图的搜索过程	(59)
3.1.4	搜索效率	(61)
§ 3.2	基本搜索策略	(62)
3.2.1	广度优先搜索法 A^*_d	(62)
3.2.2	深度优先搜索法 A_{ps}	(63)
3.2.3	有界深度优先搜索法 A_{cd}	(66)
3.2.4	分支界限搜索法 A^*_b	(68)
3.2.5	瞎子爬山搜索法 A_{ps}	(71)
3.2.6	代价树的有界深度优先搜索法 A_{cp}	(72)
§ 3.3	启发式搜索的基本原理	(73)
3.3.1	估计函数和启发信息	(74)
3.3.2	搜索策略的诸要素和分类	(74)
3.3.3	最好优先搜索法 A_{ef}	(76)
3.3.4	局部择优搜索法 A_{pf}	(76)
3.3.5	重排九宫问题的启发式搜索	(77)
§ 3.4	与/或树的启发式搜索	(80)
3.4.1	与/或树求解中的特殊问题	(80)
3.4.2	与/或树的最好优先搜索法 AO_{ef}	(82)
3.4.3	博弈树的启发式搜索	(84)
3.4.4	剪枝技术	(90)
§ 3.5	启发式搜索过程的可采纳性和复杂性	(91)
3.5.1	启发信息的形式	(91)
3.5.2	A^* 算法的若干性质	(93)
3.5.3	搜索的代价和复杂性	(96)
	习题	(97)
第四章	逻辑推理	(99)
§ 4.1	王浩算法	(100)

4.1.1	基本系统	(100)
4.1.2	规则证明	(102)
4.1.3	定理证明过程	(103)
§ 4.2	基于谓词逻辑的知识表示技术	(105)
4.2.1	用谓词逻辑表示状态	(105)
4.2.2	用谓词逻辑表示操作	(107)
4.2.3	用谓词逻辑表示知识单元	(109)
4.2.4	用计算谓词增大表达能力	(112)
§ 4.3	海伯伦定理	(112)
4.3.1	公式的解释	(112)
4.3.2	子句集合	(116)
4.3.3	子句集的海伯伦全域	(118)
4.3.4	海伯伦定理及其改进	(121)
§ 4.4	鲁滨逊消解原理	(124)
4.4.1	命题逻辑中的消解原理	(124)
4.4.2	代换与合一	(126)
4.4.3	谓词逻辑中的消解原理	(129)
§ 4.5	消解原理的改进	(132)
4.5.1	问题的提出	(132)
4.5.2	删除策略	(133)
4.5.3	锁消解	(135)
4.5.4	线性消解	(137)
4.5.5	语义消解	(138)
	习题	(139)
第五章	产生式系统	(141)
§ 5.1	产生式表示法	(141)
§ 5.2	产生式系统的基本原理	(145)
5.2.1	产生式系统的组成和分类	(145)
5.2.2	回溯式产生式系统	(147)
5.2.3	图搜索式产生式系统	(150)
5.2.4	可交换的产生式系统	(151)
5.2.5	可分解的产生式系统	(152)
5.2.6	高阶的产生式系统	(155)
§ 5.3	产生式系统的实例	(156)
5.3.1	基于消解原理的产生式系统	(156)
5.3.2	基于自然演绎法的产生式系统	(158)
5.3.3	基于专门知识的产生式系统	(164)
	习题	(165)
第六章	高级问题求解系统	(166)
§ 6.1	知识的结构表示	(166)

6.1.1	语义网络 (Semantic Network)	(166)
6.1.2	概念从属 (Conceptual Dependency)	(173)
6.1.3	特性表表示法	(178)
6.1.4	框架表示法	(180)
6.1.5	剧本	(182)
§ 6.2	复杂系统的组织	(184)
6.2.1	日程表	(184)
6.2.2	黑板模型	(185)
§ 6.3	规划与问题求解	(186)
6.3.1	规划可以进一步减缓组合爆炸	(186)
6.3.2	基本规划	(187)
6.3.3	多层规划	(190)
§ 6.4	意识胞思维模型	(193)
6.4.1	模型的基本原理	(193)
6.4.2	模型的机器实现	(201)
	习题	(209)
第七章	人工智能语言和人工智能机器	(210)
§ 7.1	LISP 语言	(211)
7.1.1	LISP语言的特点	(211)
7.1.2	LISP 的数据结构	(213)
7.1.3	基本 LISP 函数	(216)
7.1.4	LISP 程序设计	(220)
7.1.5	简单实例	(226)
§ 7.2	PROLOG 语言	(238)
7.2.1	PROLOG 的三种基本语句	(239)
7.2.2	PROLOG 中的数据结构	(241)
7.2.3	递归	(242)
7.2.4	搜索、匹配、回溯	(244)
7.2.5	截断 (Cut!)	(247)
7.2.6	算法+数据结构=程序设计	(248)
§ 7.3	人工智能机器	(249)
7.3.1	LISP 机	(250)
7.3.2	日本的五代机计划	(250)
	习题	(252)
第八章	新的进展	(254)
§ 8.1	非精确性推理	(254)
8.1.1	非单调推理	(254)
8.1.2	非精确性推理的理论框架	(255)
8.1.3	主观 Bayes 方法	(256)
8.1.4	确定性理论	(257)

8.1.5 其他模型	(260)
§ 8.2 机器学习	(262)
8.2.1 死记硬背式学习	(262)
8.2.2 参数修正学习	(263)
8.2.3 演绎式学习	(263)
8.2.4 归纳学习	(263)
8.2.5 类比学习法	(265)
附录一	(267)
第九章 预备知识	(267)
§ 9.1 命题逻辑	(267)
9.1.1 命题和命题定律	(267)
9.1.2 范式 (Normal Forms)	(271)
9.1.3 命题逻辑中的推论规则	(274)
§ 9.2 谓词逻辑	(275)
9.2.1 一阶谓词和量词	(275)
9.2.2 含有量词的等价式和蕴含式	(279)
9.2.3 谓词逻辑中的推论规则	(281)
9.2.4 谓词公式的范式	(282)
§ 9.3 集合与关系	(283)
9.3.1 集合及其基本运算	(284)
9.3.2 二元关系	(286)
9.3.3 模糊集合的一般概念	(290)
§ 9.4 形式语言	(294)
9.4.1 四类等价的模型	(294)
9.4.2 语言和文法的分型	(295)
9.4.3 各型语言的实例	(298)
§ 9.5 自动机	(300)
9.5.1 一般概念	(300)
9.5.2 逻辑自动机	(301)
9.5.3 有穷自动机	(303)
9.5.4 图灵机	(308)
§ 9.6 可计算性	(312)
9.6.1 图灵可计算函数	(312)
9.6.2 递归函数	(313)
9.6.3 递归集合	(317)
9.6.4 过程和算法	(318)
习题	(319)
附录二 关于组合爆炸问题的三个表	(321)
附录三 LISP 系统函数	(323)
参考文献	(327)

第一章 绪 论

人工智能是一门正在迅速发展的新兴的综合性很强的边缘学科，它与原子能和空间技术一起被誉为本世纪的三大科学技术成就。人工智能的英文原名是 Artificial Intelligence，简记为 AI。国内也有人主张将 AI 译为智能模拟。在国外还有人主张用 Machine Intelligence (MI. 机器智能) 一词来称呼人工智能这一研究领域 (例如在英国)，但在国际上主要还是用人工智能这一术语。

什么是智能？什么是人工智能？人工智能和人的智能有什么区别和关系？这些都是学术界长期争论而又没有定论的问题。虽然它们都是值得探索的十分有趣的问题，但在本书中我们将避开这些争论，直接按大多数人工智能科学工作者接受的观点来介绍这门学科。本章重点介绍人工智能的产生和发展简史、学科范畴、具体研究领域和各种应用，以及研究智能科学的意义等等，以便使读者对人工智能有一个总的概貌性的了解。在以后各章中将按专题分别讨论人工智能的基本原理、方法和主要应用。

§ 1.1 人工智能的产生和发展简史

人工智能的出现不是偶然的。从思想基础上讲，它是人们长期以来探索能进行计算、推理和其他思维活动的智能机器的必然结果；从理论上讲，它是由于控制论、信息论、系统论、计算机科学、神经生理学、心理学、数学和哲学等多种学科相互渗透的结果；从物质技术基础上讲，它是由于电子数字计算机的出现和广泛应用的结果。

人工智能的产生和发展过程大致经历了以下几个阶段：

1.1.1 孕育期(1956年以前)

这时期的主要成就是创立数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论和系统论，并发明了通用电子数字计算机。这些成就为人工智能的诞生准备了充足的思想、理论和物质技术条件。

自古以来，人们一直在试图用各种机器来代替人的部分脑力劳动，以提高人类征服自然的能力。许多国家的神话故事和民间传说反映了人们的这种美好愿望。在近代史上，关于研究人的思维规律，制造可完成计算、推理和其他智能行为的机器的记载更是不胜枚举。逻辑学的创始人、古希腊的哲学家亚里斯多德 (Aristotle, 384—322, B. C) 是研究人类思维规律的鼻祖。12 世纪末至 13 世纪初的西班牙神学家和逻辑学家罗门·卢乐 (Romen Luee) 最早提出了制造可以解决各种问题的通用逻辑机。17 世纪法国的物理学家和数学家帕斯卡 (B. Pascal, 1623—1662) 制成了世界上第一台机械式加法器，并在他生前就得到广泛的应用。随后，德国的数学家和哲学家莱布尼茨 (G. W. Leibniz, 1646—1716) 在帕斯卡加法器的基础上又制成了可进行四则运算的计算器。莱布尼茨还提出了“万能符号”和“推理计算”的思想，这是现代“思维”机器设计思想的萌芽。由于这一贡献，莱布尼茨被后人尊为数理

逻辑的第一个奠基人。19世纪,英国的数学家布尔(G.Boole, 1815—1864)在《思维法则》一书中,第一次用符号语言描述了思维活动中推理的基本法则,实现了莱布尼茨的理想,创立了逻辑代数(即布尔代数)。在近代,研究“思维”机器的最高成就属于英国的数学家巴贝奇(C.Babbage, 1791—1871)。他毕生致力于差分机和分析机的研究,后者的设计思想与现代电子数字计算机十分相似。但终因种种条件的限制未能成功,抱憾死去,他的超人的思想也一并被埋进了坟墓,致使一百年后科学家们不得不重走一遍他已走过的道路,成为科学史上的一大憾事。

在本世纪中,为现代人工智能的出现作了大量开拓性贡献的是英国的数学家图灵(A.M. Turing, 1912—1954)。他是一个超时代的奇才。1936年二十四岁的图灵就提出了理想计算机模型(即图灵机),创立了自动机理论,把“思维”机器的研究和计算机的理论研究大大地向前推进了一步。1945年他在为英国ACE计算机提出的一份长达50页的设计说明书中,进一步阐述了他关于电子数字计算机的设计思想。遗憾的是这些超人的见解大部分未被采纳,也未公诸于世。直到1977年英国计算机学报才透露说:图灵1945年设计思想的21种特点中,已有15种由别人重新提出并在机器上实现了,如变址寄存器、微程序设计、虚拟存贮器和变指令系统等等。1950年图灵在“计算机能思维吗?一文中明确提出了“机器能思维”的观点,并设计了一种检验机器智能的实验(即著名的图灵测验)。1946年美国的数学家莫克利(J.W. Mauchly, 1907—1980)和研究生埃克特(J.P. Eckert)合作,研制成功了第一台通用电子数字计算机ENIAC。1948年美国的数学家维纳(N. Wiener)创立控制论,美国的数学家香农(C.E. Shannon 贝尔实验室研究信息的数学家)创立信息论,同期美籍奥地利生物学家贝塔朗非创立了系统论,英国的生物家阿希贝(W.R. Ashby)出版《设计脑》一书。50年代初,有更多的科学家和工程师投身到这项工作中来。1956年初香农和麦卡赛(J. McCarthy)广泛收集了关于“思维”机器研究的十三篇论文,汇编成《自动机研究》一书。

这些成果充分显示出人工智能已经是躁动于母腹中的即将出世的婴儿了。

1.1.2 推理期(1956~1975年)

这时期的主要成就是现代人工智能的正式诞生,并很快在定理证明、问题求解、博弈和LISP语言以及模式识别等关键领域取得重大突破,人工智能作为一门新兴学科受到世人的注目。

1956年夏季,在美国的达特玛斯(Dartmouth)大学,由年轻的数学助教麦卡赛联合他的三个朋友明斯基(M. L. Minsky, 哈佛大学年轻的数学和神经学家)、朗彻斯特(N. Lochester, IBM公司信息研究中心负责人)和香农共同发起,邀请IBM公司的莫尔(T. More)和塞缪尔(A. L. Samuel)、麻省理工学院(MIT)的赛尔夫利奇(O. Selfridge)和索罗孟夫(R. Solomonoff)以及兰德公司(RAND)和卡纳奇(Carnegie)工科大学的纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)等人参加(他们十人都是研究数学、心理学、神经学、信息论和计算机方面的学者或工程师),在一起共同学习和探讨用机器模拟智能的各方面问题和特征,历时两个月之久。在会上第一次正式使用了人工智能这一术语。这次具有历史意义的会议,标志着人工智能这门新兴学科的正式诞生。这次会议之后在美国形成了三个以人工智能为目标的研究组织。

就在这一年，人工智能在实验研究上取得了两项重大突破：

一个是美国的纽厄尔、肖（J. Shaw）和西蒙合作编制了一个名为逻辑理论机（The Logic Theory Machine 简称 LT）的程序系统。该程序模拟了人用数理逻辑证明定理时的思维规律，它用分解（把一个问题分解为若干子问题）、代入（用常量代入变量）和替换（用一个逻辑符号替换另一个逻辑符号）等方法来处理待证的定理。如果这些子问题最终能转换成已知的公理或已证明过的定理的形式，那么该定理就得证了。分解、代入和替换属于推理规则，先解决子问题然后解决总问题是程序给定的解题步骤。只要事先在机器中存入一组公理和一组推理规则，LT 程序就可以在探索中求解问题。利用 LT 程序，纽厄尔等人证明了怀特黑德（A. N. Whitehead）和罗素（B. A. W. Russell）的名著——《数学原理》的第二章中的 38 条定理（1963 年在一部较大的计算机上终于完成了该章中全部 52 条定理的证明）。学者们普遍认为，这是用计算机对人的高级思维活动进行研究的第一个重大成果，是人工智能研究的真正开端。

另一个重大突破是塞缪尔 1956 年研制成功的具有自学习、自组织和自适应能力的跳棋程序。它和 LT 程序都是第一次在计算机上运行的启发式程序。这个跳棋程序可以象一个优秀的棋手那样向前看几步后再走棋，可以向人学习下棋经验或自己积累经验，还可以学习棋谱。它在分析了 175000 幅不同棋局后，可以归纳出书上推荐的走法，准确率达 48%。这是模拟人类学习过程的一次卓有成效的探索。1959 年这个程序已击败了它的设计者，1962 年又击败了美国某个州的冠军。

1956 年另一个有深远影响的成就是乔姆斯基（N. Chomsky）提出了一种文法的数学模型，开创了形式语言的研究。形式语言和自动机是等价的，它们都可以用来研究思维过程。

1959 年籍勒洛特发表了证明平面几何问题的程序。赛尔夫利奇等人发表了模式识别程序。

纽厄尔、肖和西蒙等人又通过心理学实验，发现人在解题时的思维过程都大致可以分为三个阶段：

- ① 首先想出大致的解题计划；
- ② 根据记忆中的公理、定理和解题规则，按计划实施解题过程；
- ③ 在实施解题的过程中不断进行方法和目的的分析，修订解题计划。

这是一个具有普遍意义的思维活动过程，其中最活跃的是方法和目的的分析。基于这一发现，他们在 1960 年编制了一个名为通用问题求解（General Problem Solving 简称 GPS）的程序。该程序可以解十一种不同类型的课题，使启发式程序有了较大的普适性。

同年，麦卡赛研制出表处理语言 LISP，它不仅能处理数值，而且可以更方便地处理符号，在人工智能的各个研究领域中都得到广泛的应用。早期的人工智能程序大部分都是用 LISP 语言写成的，它武装了一代人工智能科学家。至今 LISP 语言仍然是研究人工智能的重要工具。

1961 年明斯基发表了题为“走向人工智能的步骤”的论文，对当时人工智能的研究起了推动作用。

美国是人工智能的发源地。人工智能的主要奠基人有美国的心理学家纽厄尔和西蒙，数学家麦卡赛和明斯基。他们分别在思维模拟、数理逻辑和启发式程序方面做出了巨大贡献。在欧洲，人工智能的先驱者有英国爱丁堡大学的米切依（D. Michie）和梅特泽尔（B. Melt-

zer)。

人工智能的出现,很快引起了学术界的广泛注意,各先进工业国家相继开展了研究。为了进一步搞清智能的基本机理,人工智能研究者们继续在问题求解、博弈、自动定理证明、自动程序设计、模式识别、物景分析和自然语言理解等方面深入进行了研究,并在智能机器人和专家系统等应用领域进行了实际检验。关于这个时期的早期成果,1974年美国的人工智能科学家尼尔逊(N. J. Nilsson)作过一个十分清晰的经典性综述。他把整个人工智能研究领域分成了四个核心课题和八个一级应用课题,并讨论了它们与其他学科之间的联系。文中还提出了建立智能科学的设想。

1972年法国马赛大学的科麦瑞尔(A. Colmerauer)在Horn子句的基础上提出逻辑程序设计语言PROLOG。该语言开始并不被人重视,后经柯瓦斯基(R. A. Kowalski)等人的改进,才逐渐被人承认。现在已成为继LISP语言之后的最主要的一种人工智能语言。特别适于知识信息处理。已被日本列为第五代计算机的核心语言。

在此期间发生的另一个重大事件是在1969年,由国际上许多学术团体共同发起,成立了国际人工智能联合会议(International Joint Conferences on Artificial Intelligence,简称IJCAI),它决定从1969年开始每两年召开一次国际学术会议,宣读论文,讨论和交流研究成果,探讨研究方向。

1970年国际性的人工智能专业杂志《Artificial Intelligence》创刊,它是由IJCAI主办的双月刊。这些国际性的学术活动对促进协作研究共同关心的重大核心问题,制定研究方向,推动日本、西欧和苏联等国学者参加人工智能研究起了积极的作用。

在这期间,专家们研究的主要问题是一批可以确切定义并具有良性结构的难题。开始人们以为依靠几个有待发现的推理定律和机器的高速度,就可以解决智能问题。所以十分重视具有一般意义的推理算法和搜索策略的研究,轻视与问题直接有关的领域知识。后来发现这些缺乏领域知识支持的弱方法存在致命的弱点:组合爆炸迅速地吞噬掉计算机的时空资源!

1.1.3 知识期(1976年至今)

这时期的主要成就是确定了知识在人工智能中的重要地位,知识工程的方法很快渗透到人工智能的各个分支领域的研究中,人工智能开始从实验室研究走向实际应用,并迅速地产生了许多奇迹般的效果。

人工智能诞生后的最初十年,主要是一批科学家在实验室中进行人工智能基本原理和方法的研究。他们认为:如何将这些一般原理和方法应用到各个实际领域中去,是该领域工程师的事,人工智能科学家如果陷入各个应用领域,将会妨碍学科自身的发展。

美国斯坦福大学的费根宝姆(E. Feigenbaum)教授力排众议,积极倡导将人工智能的原理和方法应用于解决实际领域中的问题。1965年,在他领导的研究小组内开始了第一个专家系统DENDRAL的研究,1968投入使用。该系统是一个化学质谱分析系统,能根据质谱仪的数据和核磁共振的数据并利用有关知识推断出有机化合物的分子结构,其能力相当于一个年轻的博士。DENDRAL系统的成功,为人工智能开拓了一个新的研究领域——专家系统。1972年费根宝姆研究小组又开始了医疗专家系统MYCIN的设计,该系统是为协助内科医生诊断细菌感染病人,为患者选择适当的抗菌药物而设计的。它的工作过程分四步:确定患者是否有重要的病菌感染,并确定是否需要治疗;对致病细菌进行分类;判断哪些抗

菌素对该病菌起作用；为患者选择最佳处方。该系统能识别 51 种病菌，正确使用 23 种抗菌素。它的全部医学知识包含在 200 条产生式规则之中，它还能够向医生学习新的规则，修改已有规则，向用户解释自己的诊断过程。无论从人工智能角度还是从医学角度看，MYCIN 系统的设计都是相当成功的。1976 年前后，美国对 MYCIN 系统组织了两次严格的考核，特别是第二次由八名医学专家组成的考核组，对包括医学教授、临床医师、医科大学生和 MYCIN 系统在内的众对象进行了一次统考，结果 MYCIN 荣获冠军。MYCIN 系统的成功使它几乎成了专家系统的标准模式。从此，人工智能研究进入了一个新的发展阶段，各个人工智能研究中心开始了实验性专家系统的开发，各种不同领域的专家系统相继涌现，比较著名的有斯坦福人工智能研究中心的地质专家系统 PROSPECTOR，匹兹堡大学的内科诊治系统 INTERNIST，拉特格尔斯大学的青光眼诊治系统 CASNET，麻省理工学院的肾脏疾病专家系统 PIP 等等。

1977 年，在第五届国际人工智能会议上，费根宝姆进一步提出了知识工程（Knowledge Engineering）的概念，并预言 80 年代是专家系统发展的黄金时代。事实的发展证实了这一预言，进入 80 年代以来，专家系统的研究和应用已经迅速地渗透到各个产业部门。据 1983 年的一个统计资料表明，仅美国就建造了或正在建造 50 多个专家系统，从事专家系统的研究机构仅美、日两国就有 70 多个，且其中 80% 属于企业界。费根宝姆已被誉为知识工程之父。

专家系统的成功、使人们清楚地认识到：知识是人类智慧的源泉。人工智能系统应该是一个知识信息处理系统，知识表示，知识利用和知识获取是其中的三个基本问题。这一思想已经逐渐为人工智能的各个研究分支所接受、如自然语言理解，物景分析、文字识别和机器翻译等等。

最新的研究动向是：专家系统开发工具、非精确性推理和学习理论的研究。

专家系统开发工具的研究，可为一类专家系统的建立提供支持环境。如斯坦福大学的 EMYCIN，拉特格尔斯大学的 EXPERT，卡尔基-梅隆大学的 OPS-5，斯坦福大学的 AGE，国际系统研究所的 KAS，兰德公司的 ROSIE，智能终端公司的 AL/X 等等。

非精确性推理理论的研究，其核心问题是研究在推理过程中，如何处理专家知识的不精确性和推理证据的不精确性，并给出这些不精确性在推理过程中的传播规律。如 1976 年杜达（R. O. Duda）提出的主观贝叶斯理论，1975 年肖特里夫（E. H. Shortliffe）提出的确定性理论，1978 年查德（L. A. Zadeh）提出的可能性理论，1981 年巴内特（J. A. Barnett）引入专家系统的证据理论，1984 年邦迪（A. Bundy）提出的发生率计算以及假设推理、定性推理和证据空间理论等等。

学习理论的研究。近几年随着知识获取系统研究的深入，学习理论研究再次形成高潮；如能有新的突破，将会把人工智能研究推向一个新的时期。因此我们预言，继知识期后人工智能发展的下一个时期将是学习期。

从世界范围看，人工智能的许多学术思想渊源于英国，但由于英国当时的学术界十分保守，没有它生根发育的合适土壤。美国为人工智能的形成和发展提供了良好的环境，成了信息革命的先驱。日本的人工智能研究起步较晚，但认识明确，措施得力，因而发展较快，许多方面大有超过美国之势。

日本是最早认识到世界正在向信息化社会过渡的少数几个国家之一，并把促进这一过渡尽快完成定为国策。她要抢先进入信息社会。因此日本在完成了它的第一个十年计划——在

大规模集成电路方面赶超美国之后，立即开始了它的第二个十年计划——在计算机方面赶超美国，以争取下一个世纪的战略优势。他们认为，由于超大规模集成电路，大容量贮存器和高速器件的出现；由于人工智能和模式识别研究的进展，以及通讯和信息处理技术的融合，计算机已面临它三十年历史发展的质的飞跃：第五代计算机将不是第四代计算机的简单延伸，它将是一个能听、说、看、能理解和解答问题、进行推理的智能计算机。为此日本成立了“新一代计算机技术研究所”（ICOT），并计划拨款4.5亿美元，用十年时间（1982~1991）搞出第五代计算机，在九十年代大量推广使用。现在第一阶段（1982~1984）的任务已顺利完成，正在开展第二阶段（1985~1988）的研究。实现整个规划的希望是很大的。日本率先把人工智能与新一代计算机的研制如此紧密地联系起来，作为新时期的战略目标来实现，这在世界范围内引起了强烈的反响，各先进工业国家在“不能落后于日本”的口号下纷纷行动起来了。美国1983年制定规划，要在6~10年内耗资6亿美元，创造新一代能看、听、说和思想的计算机，并破例将十八家计算机公司联合起来，组成“美国微电子学和计算机技术联合公司”（MCC）。英国反省了他在人工智能研究方面的失误，于1982年10月制定规划，准备在今后五年内集资5.5亿美元来发展自己的第五代计算机系统。欧洲共同体也于1983年11月提出一项“欧洲信息技术研究开发战略计划”（ESPRIT），要在微电子学、机器人学、人工智能和软件技术等方面采取联合行动，预计在10年内将集资13亿美元投入这一计划。可见80年代以来，人工智能已进入它飞速发展的黄金时代，具有人工智能的第五代计算机已被誉为新时期的“两弹一星”，是新时期的尖端技术，可见其战略地位之重要。

苏联在40年代末至50年代初，曾把控制论等新兴学科列为唯心主义，在政治上横加批判，因而走了一段弯路。现在对人工智能极为重视，把它作为控制论的一部分大力发展。

我国党和政府对人工智能的研究一开始就给予了高度重视，早在1956年周恩来同志就明确指出：电子计算机已开始有条件地代替一部分特定的脑力劳动，因而人类已面临一场更宏伟的技术革命，处在又一个新时代的前夕。60年初期我国翻译出版了《控制论》、《自动机研究》等重要著作。但后来由于种种原因，人工智能研究在我国未能开展起来。最近十年，人工智能研究在我国又开始活跃起来。在许多高等院校和科研单位，逐渐形成了一支研究力量，取得了一些初步成果（如定理证明、医疗诊断、汉语理解和模式识别等），不少学校和研究所建立了人工智能实验室、招收了人工智能研究生。1978年我国政府在科学发展规划中正式将智能模拟列为计算机科学的四个重要课题之一。1986年又将人工智能、模式识别、智能机器人等列入我国“七·五”期间重大科研攻关项目，并列入了跟踪国际高科技计划。全国性学术团体有：中国人工智能学会（CAAI，1981.9.20成立）、全国高教系统人工智能研究会、中国计算机学会人工智能与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和中国软件行业协会人工智能协会。相信通过大家的共同努力，我国一定可以后来居上，为这门重要的新兴学科作出我们中华民族应有的贡献。

§ 1.2 人工智能的学科范畴

对于人工智能，目前尚无普遍接受的统一的科学定义。由于它本身正处在发展演变之中，尚未定型，因此在本节中编者只能通过几个不同侧面的描述，来帮助读者理解人工智能的学科范畴，了解它的内涵和外延。当然，对这些描述本身，也不是没有争议的。

1.2.1 人工智能的研究目标

目前大多数人工智能工作者采纳了人工智能创始人的说法，认为人工智能的中心任务是研究如何使计算机去做那些过去只有靠人的智力才能做的工作。这实际上只是人工智能工作者的近期研究目标——使现有的电子数字计算机更有用（或者说更聪明）。根据这个近期研究目标，人工智能被认为是计算机科学的一个重要分支。它主要是研究用计算机软、硬件系统模拟人类某些智能行为的基本理论、技术和方法。但不少人认为，人工智能工作者还应该有的远期研究目标——探讨智能的基本机理，研究如何利用各种自动机来模拟人的某些思维过程和智能行为。这个研究目标涉及自然科学和社会科学的几乎所有学科，远远超出了计算机科学的范畴。从这个远期目标看，人工智能又不应该局限于计算机科学之内，它将与各方面的研究成果相结合，形成一门范围更加广泛的智能科学。编者认为所谓智能科学是研究人和其它智能系统中知识信息处理规律的科学。它包括理论研究和工程研究两部分，工程研究部分可以叫做仿智学，目的在于探讨模拟智能的各种理论和方法，制造各种智能机器。事实上，仿智学已有三十多年的研究历史，形成了两个完全不同的研究方向：一个是1943年由麦卡洛克（W. S. McCulloch）和比脱斯（W. Pitts）创立的脑模型（Brain model）研究。它的特点是用仿生学的观点和方法，把脑的微观结构与宏观功能统一起来进行研究，希望制成一种类似大脑的机器，叫智能机器（Intelligent Machine）或控制论机器（Cybernetics Machine）。另一个是1956年由纽厄尔、肖和西蒙等人创立的人工智能研究。它的特点是用计算机科学的观点和方法，撇开脑的微观结构，单纯进行脑的宏观功能的模拟。它使用的机器实体主要是电子数字计算机系统，大部分工作是计算机软件研究。所以这种机器叫智能计算机（Intelligent Computer）。在现有的物质条件下，人工智能方法显得简单、灵活、见效快，所以取得的成果最多。自60年代以来，它已成为仿智学中的主流方法。但是应该指出，人工智能并不能完全取代脑模型研究。由于电子数字计算机与脑结构之间有着巨大的差别，如人脑是由巨量基本单元（ 10^{12} 个神经元）组成，以并行处理为主，具有结构可塑性和遵从连续值逻辑等特点，相比之下目前的电子数字计算机是太简单了，人脑的许多复杂功能，不适于用它来模拟。只有把脑结构和脑功能密切结合起来，才有可能解决这些复杂脑功能的模拟问题。所以脑模型仍然是一个值得重视的研究方向。在一个复杂的智能工程系统中，把这两种方法结合起来使用，让它们相互补充，各施其长，将是有益的。随着智能科学特别是仿智学的发展和技术的进步，也不能排除有其他模拟智能的方法出现。

注意：正如数字计算机可以仿真模拟计算机工作一样，许多不太复杂的脑模型（即神经网络）也可以在数字计算机中被仿真，所以确切地讲，脑模型和人工智能的界面是模糊的。

1.2.2 人工智能的核心课题

在人工智能的发展初期，是把一个完整的智能系统分割开来研究的，从而形成了一些研究领域。如模式识别、物景分析、自然语言理解、博弈、自动定理证明，自动程序设计，问答系统，问题求解系统、机器发明系统、专家系统、计算机作曲，绘画系统和智能机器人等。后来当人工智能研究经过了二十多年的发展，已经有了一定的广度和深度后，人们自然提出了一个问题：人工智能是否也象生物一样，虽然门类繁多、五花八门，但却被共同的DNA