

# 人工智能 及其应用

傅京孙 蔡自兴 徐光祐

清华大学出版社

# 人工智能及其应用

傅京孙 蔡自兴 徐光祐

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书介绍了人工智能的主要问题和技術及其應用，是关于人工智能的一本入门书。全书共分十二章，第一章叙述了人工智能的概况，第二章至第六章论述了人工智能的基本原理和主要问题求解技术，第七章至第十一章讨论了人工智能系统的应用，第十二章扼要介绍了用于人工智能的两种程序设计语言LISP和PROLOG。

本书可作为高等院校计算机系、数学系、电机工程系、电子工程系、自动化系、生物医学工程系和企业管理系等有关专业高年级学生及研究生的人工智能课程的教材，也可供从事人工智能研究和应用的科学工作者和工程技术人员学习参考用。

### 人 工 智 能 及 其 应 用

傅京孙 蔡自兴 徐光祐 编著  
责任编辑 贾仲良

\*

清华大学出版社出版  
(北京清华园)

中国科学院印刷厂印装  
新华书店北京发行所发行

\*

开本: 787×1092 1/16 印张: 26 字数: 666千字  
1987年9月第1版 1988年7月第3次印刷

印数: 23001—54000 定价: 4.30元

ISBN 7-302-00085-9/TP·20

## 写在前面

傅京孙教授不幸于1985年4月29日因心脏病发作，溘然与世长辞了。国际（模式识别）学术界痛感失去了一位卓越的创建者和组织者。我国有关的科技工作者更是深深哀悼傅教授的过早辞世，我们失去了一位十分可敬的学者和非常真挚的朋友。

我和傅教授相识虽不过五年多，但他却给我留下了非常深刻的印象。我们每次会面总是很坦率地交换意见，好象多年的老友。

傅京孙教授对我国的学术事业和教育事业是十分关心的。在这里，我仅谈两件小事。

傅京孙教授于1983年10月26日接受我校授予名誉教授的时候，很诚恳地表示，他不愿做一名仅是名誉上的教授，而是要做一名确实能帮助我们做一些实际工作的名誉教授。他这样说，也这样做了。

在他离京前一天，我把我们研究生的论文和在国内发表过的一些论文交给他，请他带回去，得暇过目，提些意见。因为他第二天就要离京，事情又很忙，我只希望他多了解一些我们的工作情况，以便日后交换意见。谁想到，傅教授却不顾劳累，连夜仔细地看了我给他的全部资料。第二天一早，他就约我去他的住处，认真而详尽地逐篇地谈了他的看法和意见。傅教授这种认真负责的态度，一丝不苟的精神，使我深为感动。

再有，就是这本“人工智能及其应用”的编译和出版经过。傅教授认为，模式识别必须与人工智能相结合，才能有更大的发展。他先在普渡大学开出了“人工智能”这门课，后来又开了“专家系统与知识工程”这门新课。傅教授曾一再提到，在中国各工科院校里，也应该开出这些课。正好我国访问学者徐光祐和蔡自兴两位同志在美国普渡大学聆听了傅教授的讲课。他们做了详尽的笔记，并参考了有关文献，编译成这本书。编译中，他们根据傅教授的提议，又增加了部分章节。傅教授很郑重地提出：希望这本书由徐光祐和蔡自兴编写出中文书稿，再由他做最后校阅，并希望由清华大学出版，作为他对清华大学的一点贡献。直到逝世前四天，傅京孙教授在写给我的信里还特别讲到：“徐光祐和蔡自兴编译的 AI 和 Application 一书，承蒙大力帮助和支持，希望明夏即可出版，供国内院校使用。”在身体十分不适的情况下，他还念念不忘国内院校的学术工作和教学工作。傅教授这种热情负责的精神，实令人敬佩。

这本书即将付印出版了。但是，傅教授却已不能亲自进行最后的审阅，再也不能看到这本书的出版和使用。这是多么令人遗憾，引人哀思的事啊！

我们一定要用好这本书，来告慰傅京孙教授。

常 迥 谨志

1986年4月10日于清华大学

## 序

近二十年来，人们对人工智能的兴趣与日俱增。人工智能是一门具有实用价值的跨学科的科目。具有不同背景和专业的人们，正在从这个年轻的领域内发现某些新思想和新方法。编译本书的一个目的就是为计算机科学家和工程师们提供一些有关人工智能问题和技术的入门知识。另一个目的在于填补人工智能理论与实践间的间隙。

本书包括两大部分。第一章至第六章介绍人工智能的基本技术和主要问题；第七章至第十二章叙述人工智能的各种应用和程序设计方法。此书计划用来作为人工智能的研究生课程的导论性教材。这两部分内容可以在一个学期内授完，也可以在增加补充材料之后供两个学期教学用。本书是以我在普渡大学为研究生讲授的两门课程“人工智能”和“专家系统与知识工程”的讲稿为基础发展而来的。

如果没有蔡自兴先生和徐光祐先生的勤奋工作，本书就不可能与读者见面；他们作为访问学者，从1982年至1985年在普渡大学度过了一段时间。我们要感谢常迺教授和边肇祺教授对本书感兴趣和提供帮助，他们卓有成效地使本书在短期内可供使用。

傅京孙

1984年10月于美国印第安纳州

西拉法叶特普渡大学

(Purdue University West

Lafayette Indiana

U.S.A.)

## 编译者的话

人工智能是计算机科学中涉及研究、设计和应用智能计算机的一个分支。在过去二十多年中，已经建立了一些具有不同程度人工智能的计算机系统。近年来，一些先进技术国家争相大力开展具有人工智能的所谓第五代计算机的研制工作。对下一代新型机器人——智能机器人的研制也已纳入一些国家的科学技术发展计划。人工智能的研究已在我国得到初步开展。最近，我国有关部门又组织了智能计算机及其系统的学术讨论会，显示出各方面对人工智能的重视和加速发展人工智能研究的迫切愿望。在这种情势下，我们希望本书的编译出版能够对我国的人工智能研究起一点促进作用。

在美国普渡大学 (Purdue University) 访问期间，我们两人有机会聆听了美国国家工程科学院院士、国际中文计算协会主席、国际模式识别协会首届主席、国际杂志《信息科学》(International Journal of Information Sciences) 主编、美国普渡大学高斯讲座教授 (Goss Distinguished Professor)、我国清华大学和复旦大学名誉教授傅京孙 (King Sun Fu) 博士为研究生讲授的两门有关人工智能的课程“人工智能”和“专家系统与知识工程”。在傅教授的鼓励与指导下，我们结合进修任务，以他讲授的内容为基础，并参阅了有关人工智能的一些参考文献，编译了这本书，作为向祖国的一份汇报。本书可作为高等院校计算机、电机工程、电子工程、自动化、数学、化学、生物医学工程和企业经济管理等有关专业高年级学生及研究生的人工智能课教材，也可供从事人工智能研究和应用的科学工作者和工程技术人员学习参考用。

本书共有十二章。第一章叙述了人工智能的概况，并初步介绍了后续各章的内容或准备知识。第二章至第六章论述了人工智能的基本原理和主要问题求解技术，包括状态空间法、问题归约法（与或图解法）、谓词演算法和规则演绎法等。第七章至第十一章介绍了人工智能的应用，其中包括机器人规划、计算机视觉系统和专家系统等领域，并列举出一些应用实例。第十二章扼要地介绍了用于人工智能的两种主要程序设计语言 LISP 和 PROLOG。在本书的最后，附有两个词汇表。其中“汉英术语对照表”是以汉语的拼音字母次序排列的。而“英汉术语对照”表可供读者阅读有关人工智能的英文文献时参考。值得指出的是，由于国内目前对人工智能的名词术语及其译法还没有一个统一的标准，所以对某些术语的译法可能与其它文献资料有所不同。不过，我们尽可能参照国内有关英汉计算机专业词典的译法。<sup>(2)</sup>

本书第一章至第七章由中南工业大学自动控制工程系副教授蔡自兴编写，第八章至第十二章及第一章的第五节由清华大学计算机科学与工程系副教授徐光祐编写，并互相审阅。大部分稿最后送傅教授审定。由于本书初稿及其定稿工作是在美国普渡大学进修期间完成的，时间较为仓促，加上我们的人工智能知识浅薄，编译经验不足，因此错误和不妥之处在所难免。敬请有关专家及本书的广大读者批评指正，预表谢忱。在本书编译过程中，得到中国科学院学部委员、清华大学常迥教授，边肇祺教授以及在普渡大学学习的我国其它访问学者和研究生的热情鼓励和帮助，对此亦深表谢意。

蔡自兴 徐光祐

一九八七年四月

# 目 录

写在前面	
序	
编译者的话	
第一章 绪论	1
第一节 人工智能	1
1.1.1 人工智能的起源	1
1.1.2 计算机与人工智能	2
第二节 人工智能的现状与应用	3
1.2.1 问题求解	4
1.2.2 逻辑推理与定理证明	4
1.2.3 自然语言处理	5
1.2.4 自动程序设计	5
1.2.5 学习	6
1.2.6 专家系统	6
1.2.7 机器人学	7
1.2.8 机器视觉	7
1.2.9 智能检索系统	7
1.2.10 组合和调度问题	8
1.2.11 系统与表达语言	8
第三节 问题求解	9
1.3.1 问题求解与人工智能	9
1.3.2 难题与博弈	10
1.3.3 问题状态与算符	10
1.3.4 归约在问题求解中的应用	11
1.3.5 逻辑在问题求解中的应用	13
第四节 机器人规划	14
第五节 专家系统	16
第二章 状态空间问题求解	19
第一节 状态空间的表示	19
2.1.1 状态描述	19
2.1.2 算符与重写规则	20
2.1.3 目标状态	21
2.1.4 图示法	22
第二节 状态空间表示举例	23
第三节 搜索过程要点	29
第四节 状态空间搜索策略	31
2.4.1 图搜索策略	31
2.4.2 启发式搜索策略	34
第五节 宽度优先搜索	34
2.5.1 定义	34
2.5.2 算法	35
2.5.3 例题	36
2.5.4 等费用搜索及其算法	38
第六节 深度优先搜索	40
2.6.1 定义	40
2.6.2 算法	40
第七节 启发式搜索	44
2.7.1 估价函数的应用	44
2.7.2 有序状态空间搜索算法	45
2.7.3 A* 算法	47
2.7.4 双向搜索	49
第八节 A*算法几个问题的讨论	50
2.8.1 A*算法的可纳性	50
2.8.2 A*算法的最优性	52
2.8.3 h的单调限制	53
2.8.4 h的启发能力	55
第九节 搜索性能的量度	58
2.9.1 渗透率	58
2.9.2 有效分枝系数	58
习题	60
第三章 问题归约	62
第一节 问题归约描述	62
3.1.1 示例	62
3.1.2 问题归约描述	65
3.1.3 问题归约算符	65
3.1.4 本原问题描述	66
第二节 与或图表示	66
3.2.1 与或图	66

3.2.2	与或图构成规则	68	4.4.3	含有变量子句的归结	113
3.2.3	问题归约表示举例	69	习题		115
第三节	问题归约中的规划机理	74	第五章	谓词演算在人工智能中的应用	117
3.3.1	问题的三元状态	74			
3.3.2	关键算符	75	第一节	谓词演算在定理证明中的	
3.3.3	差别	75		应用	117
第四节	与或图的盲目搜索	78	5.1.1	归结反演	117
3.4.1	与或图搜索过程	79	5.1.2	归结搜索策略	119
3.4.2	与或树的宽度优先搜索	80	第二节	简化策略	121
3.4.3	与或树的深度优先搜索	82	5.2.1	重言式消去法	121
第五节	与或树的有序搜索	84	5.2.2	谓词估算消去法	121
3.5.1	解树的费用	84	5.2.3	包孕消去法	121
3.5.2	费用估计在直接搜索中的		第三节	改进策略	121
	应用	85	5.3.1	支持集策略	122
3.5.3	与或树的有序搜索算法	85	5.3.2	线性输入形(藤形)策略	123
第六节	AO*算法	88	5.3.3	祖先过滤形策略	124
3.6.1	与或图的解图及其费用	88	5.3.4	模型策略	125
3.6.2	与或图的一种启发式搜索		5.3.5	组合策略	126
	程序——AO*算法	90	第四节	有序策略	127
第七节	博弈树搜索	93	第五节	由归结反演求取答案的方法	127
3.7.1	博弈与博弈树	93			
3.7.2	博弈树搜索的极大极小过程	95	5.5.1	问题求解中的谓词演算	128
			5.5.2	答案求取过程	129
3.7.3	$\alpha$ - $\beta$ 过程	98	5.5.3	含有全称量化变量的目标	
习题		100		公式	133
第四章	人工智能中的谓词演算	102	第六节	谓词演算在问题求解中的	
第一节	谓词演算	102		应用	135
4.1.1	命题逻辑及其局限性	102	第七节	中间-结局分析	141
4.1.2	句法和语义	103	5.7.1	目标与方法	142
4.1.3	连词和量词	104	5.7.2	GPS工作步骤与算法	143
第二节	谓词公式	105	5.7.3	操作符选择与深度界限	145
4.2.1	谓词公式的定义	105	5.7.4	例题	145
4.2.2	合适公式的性质	105	习题		150
4.2.3	推理规则、定理与证明	107	第六章	规则演绎系统	153
4.2.4	永真性和可满足性	107	第一节	基于规则的正向演绎系统	154
第三节	置换与合一	108	6.1.1	事实表达式的与或形变换	154
第四节	归结原理	110	6.1.2	事实表达式的与或图表示	154
4.4.1	化为子句形的步骤	110	6.1.3	与或图的F规则变换	155
4.4.2	归结推理规则	112	6.1.4	作为终止条件的目标公式	157



6.1.5 含有变量的表达式·····	158	线条·····	229
第二节 基于规则的逆向演绎系统·····	161	8.2.2 无断裂和阴影时三面顶点的标志方法·····	231
6.2.1 目标表达式的与或形式·····	161	8.2.3 有断裂和阴影时线条图的分析·····	236
6.2.2 与或图的B规则变换·····	162	8.2.4 实验检验·····	239
6.2.3 作为终止条件的事实节点的一致解图·····	162	第三节 用于计算机视觉的知识表达方法·····	243
6.2.4 逆向演绎系统举例·····	164	8.3.1 视觉信息的语义网络表达·····	243
第三节 基于规则的双向组合演绎系统·····	171	8.3.2 位置网络·····	244
习题·····	173	第九章 专家系统介绍及知识表达方法·····	248
第七章 机器人问题求解与规划·····	175	第一节 专家系统介绍·····	248
第一节 机器人问题求解·····	195	9.1.1 什么是专家系统·····	248
第二节 规划系统的任务·····	179	9.1.2 为什么要建立专家系统·····	248
7.2.1 应用规则的选择·····	179	9.1.3 专家系统的组成·····	249
7.2.2 应用规则·····	179	9.1.4 建立专家系统的过程·····	249
7.2.3 解答检验·····	181	第二节 知识表达方法·····	251
7.2.4 空端(死端)检验·····	182	9.2.1 引言·····	251
7.2.5 几乎正确答案的修正·····	182	9.2.2 语义网络·····	252
第三节 三角表规划法·····	183	9.2.3 框架·····	265
第四节 STRIPS系统·····	185	9.2.4 单元·····	269
第五节 具有学习能力的机器人规划系统·····	192	9.2.5 剧本·····	274
7.5.1 系统的结构·····	193	第十章 产生式系统(基于规则的系统)·····	277
7.5.2 系统的操作方式·····	194	第一节 引言·····	277
7.5.3 系统的规划性能·····	194	10.1.1 产生式系统的组成·····	277
第六节 应用演绎系统的机器人规划·····	195	10.1.2 冲突解决策略·····	278
7.6.1 格林表示法·····	196	第二节 用于综合的产生式系统·····	279
7.6.2 科瓦尔斯基表示法·····	198	10.2.1 用于食品装袋的综合系统BAGGER·····	283
第七节 应用目标集的非线性规划·····	199	第三节 用于分析的产生式系统·····	283
第八节 分层规划·····	204	10.3.1 动物识别系统IDENTIFIER·····	283
习题·····	207	10.3.2 产生式系统的与或树·····	287
第八章 计算机视觉引论·····	210	10.3.3 产生式系统的推理过程解释·····	288
第一节 图象理解·····	210	第四节 不确定性·····	289
8.1.1 视觉系统的表达法·····	210	10.4.1 关于证据的不确定性·····	290
8.1.2 边缘距离的计算·····	214		
8.1.3 表面方向的计算·····	222		
第二节 积木世界景物分析·····	229		
8.2.1 积木世界景物分析及标志			

10.4.2 关于结论的不确定性(规则的不确定性).....	290	11.3.4 Hearsay- I 作为问题解决系统的优点.....	324
10.4.3 多个规则支持同一事实时的不确定性.....	291	第四节 MYCIN.....	327
第五节 设计举例——EXPERT.....	292	11.4.1 咨询子系统.....	329
10.5.1 引言.....	292	11.4.2 静态数据库(知识库).....	330
10.5.2 专家知识的描述.....	293	11.4.3 动态数据库.....	334
10.5.3 使用知识.....	297	11.4.4 非精确推理.....	336
10.5.4 决策的解释.....	300	11.4.5 控制策略.....	338
第六节 设计专家系统的技巧.....	301	第十二章 用于人工智能的程序语言.....	343
第七节 专家系统的试验和评价的简介.....	302	第一节 概述.....	343
10.7.1 为什么要评价专家系统.....	302	第二节 PROLOG.....	344
10.7.2 评价专家系统的方法.....	302	12.2.1 PROLOG入门.....	345
10.7.3 评价专家系统的内容.....	303	12.2.2 回溯.....	348
第十一章 专家系统示例.....	305	12.2.3 通用数据结构.....	349
第一节 DENDRAL.....	305	12.2.4 回溯的控制.....	351
11.1.1 启发式DENDRAL.....	306	12.2.5 模式匹配.....	352
11.1.2 Meta-DENDRAL.....	309	12.2.6 语法规则.....	356
第二节 R1(或XCOM).....	312	12.2.7 应用.....	357
11.2.1 上下文.....	313	第三节 LISP.....	357
11.2.2 部件信息和约束知识.....	313	12.3.1 使用.....	359
11.2.3 产生式系统结构.....	316	12.3.2 实际的LISP函数.....	361
11.2.4 搜索策略.....	317	12.3.3 LISP数据库.....	365
11.2.5 R1的性能.....	317	12.3.4 递归和迭代.....	366
第三节 HEARSAY- I.....	319	12.3.5 变量的域.....	369
11.3.1 不确定性和假设的解释.....	319	12.3.6 用LISP实现产生式系统的举例.....	370
11.3.2 Hearsay- I 的问题解决模型.....	312	参考文献.....	376
11.3.3 Hearsay- I 的结构.....	323	汉英术语对照表.....	378
		英汉术语对照表.....	391

# 第一章 绪 论

人工智能 (AI) 是一门新兴的边缘学科, 它已引起许多学科的日益重视, 并具有越来越重要的实用意义。许多具有不同专业背景的科学家正在从人工智能这门年轻的学科中发现一些新思想和新方法。热心于理论研究的心理学家们, 以人工智能的基本概念——符号系统和信息处理为基础, 提出了人脑机理的新模型。语言学家们也正在以人工智能的基本概念为指导, 对计算语言学的研究发生兴趣; 这一工作的目标在于编写出实际上能够理解语言的程序。而哲学家们在考虑有关非人类智能研究工作的进展、问题和潜力的时候, 已经预见到思维和知识老化问题的新前景。

在另外一些人类活动中, 人们往往首先碰到一些以某种形式的“专家”系统出现的人工智能, 这些系统被用到他们各自研究领域的实验中去。这些领域有: 化学数据的解释、符号积分、传染病诊断、脱氧核酸核糖 (DNA) 的结构生成、计算机系统的调整、建筑工程和计算机芯片设计等等。随着计算机计算费用的进一步降低, 许多新的计算机应用是切实可行的。许多这样的应用领域在使用计算机进行计算时不存在什么数学“核心”, 而是用符号模型或符号推断技术进行研究。

## 第一节 人 工 智 能

人工智能 (AI) 是计算机科学中涉及设计智能计算机系统的一个分支, 这些系统呈现出与人类的智能行为如理解语言、学习、推理和解决问题等有关特性。许多人相信, 通过对有关程序操作的研究, 能够深入地了解人脑机理的本质。自从五十年代中期开始对人工智能进行研究以来, 一些人工智能研究工作者已经创造出许多保障这些智能行为的程序设计技术——程序、程序编写技术以及用于描述它们的计算上的概念。

不管这些研究是否能够导致对人脑的更好了解, 不过有一点是非常清楚的, 即它们可能导致一个对我们的社会产生重大影响的新的智能技术。人工智能的实验系统已引起工业界的热情关注, 并正在研究供应市场的人工智能实验系统。这些系统包括:

- (1) 在人类专家的水平上解决化学、生物学、地质学、工程学和医学等方面的某些难题。
- (2) 操纵机器人装置去执行某些有效的、重复的和传感马达系统的任务。
- (3) 回答以简单的英语 (或法语、汉语、日语或其它自然语言) 方言提出的问题。

### 1.1.1 人工智能的起源

时代思潮直接帮助科学家去研究某些现象。对于人工智能的发展来说, 二十世纪三十年代和四十年代的智能界, 发现了两件最重要的事: 数学逻辑 (它从十九世纪末起就获得迅速发展) 和关于计算的新思想。弗雷治 (Frege)、怀特赫德 (Whitehead)、罗素 (Russell) 和塔斯基 (Tarski) 以及另外一些人的研究表明, 推理的某些方面可以用比较简单的结构加

以形式化。数学逻辑仍然是人工智能研究的一个活跃领域,其部分原因是由于一些逻辑-演绎系统已经在计算机上实现过。不过,即使在计算机出现之前,逻辑推理的数学公式就为人们建立了计算与智能关系的概念。

丘奇(Church)、图灵(Turing)和其它一些人关于计算本质的思想,提供了形式推理概念与即将发明的计算机之间的联系。在这方面的一个重要工作是关于计算和符号处理的理论概念。第一批数字计算机(实际上为数字计算器)看来不包含任何真实智能。早在这些机器设计之前,丘奇和图灵就已发现,数字并不是计算的主要方面,它们仅仅是一种解释机器内部状态的方法。被称为人工智能之父的图灵,不仅创造了一个简单的通用的非数字计算模型,而且直接证明了计算机可能以某种被理解为智能的方法工作。道格拉斯·霍夫施塔特(Douglas Hofstadter)在1979年写的《永恒的金带》(An Eteranal Golden Braid)一书对这些逻辑和计算的思想以及它们与人工智能的关系给予了透彻而又引人入胜的解释。

正如艾伦·纽厄尔(Allen Newell)和赫伯特·塞蒙(Herbert Simon)1972年在他们的优秀著作《人类问题求解》(Human Problem Solving)的“历史补篇”中指出的那样,本世纪中叶人工智能的奠基者在人工智能研究中出现了几股强有力的思潮。温纳(Winner)、麦克洛(Mc Culloch)和其它一些人提出的控制论和自组织系统的概念集中地讨论了“局部简单”系统的宏观特性。我国优秀的科学家钱学森提出的“工程控制论”<sup>[8]</sup>开辟了控制论的新分支,是对控制论的重大贡献。控制论影响了许多领域,因为控制论的概念跨接了许多领域,把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑以及计算联系起来。控制论的这些思想是时代思潮的一部分,而且在许多情况下影响了许多早期人工智能工作者,成为他们的指导思想。

最终把这些不同思想连接起来的是由巴贝奇(Babbage)、图灵、冯·诺曼(Von Neuman)和其它一些人所研制的计算机本身。在机器的应用成为可行之后不久,人们就开始试图编写程序以解决智力测验难题、下棋以及把文本从一种语言翻译成另一种语言。这是第一批人工智能程序。对于计算机来说,促使人工智能发展的是什么?出现在早期设计中的许多与人工智能有关的计算概念包括存储器和处理器的概念、系统和控制的概念以及语言的程序级别的概念。不过,引起新学科出现的新机器的唯一特征是这些机器的复杂性;它促进了对描述复杂过程方法的新的更直接的研究(采用复杂的数据结构和具有数以百计的不同步骤的过程来描述这些方法)。

### 1.1.2 计算机与人工智能

正如帕梅拉·麦考达克(Pamela McCorduck)在她的有趣的人工智能历史研究——《机器思维》(Machines Who Think, 1979年)中所提出的:在复杂的机械装置与智能之间存在长期的联系。从几世纪前出现的神话般复杂的巨钟和机械自动机开始,人们已对机器操作的复杂性与自身的某些智能活动进行直观联系。经过几个世纪之后,新技术已使我们所建造的机器的复杂性大为提高。现代计算机要比以前人们建造过的任何机器复杂几十倍、几百倍,以至几千倍以上。

本世纪计算机的第一件工作主要集中在数值计算方面。这类工作以前要由几百个工作人员进行流水作业才能完成;每个人进行一小部分的计算,然后把计算结果传给下一个人。第一台数字计算机所进行的精确计算显示出引人注目的成就。不久之后,人们开始探索更普遍的

智能的人工特性：机器能不能下棋、证明定理或者翻译语言呢？

机器能够做这些事，但不是做得很好。计算机按照给出的指令一步步地进行计算，计算方法必须详细加以说明。大多数计算机科学家参与设计新算法、新语言和新机器以执行诸如求解方程式和把字母按次序列成表这类任务；人们用他们能够解释的方法执行这些任务。不过人们无法详细说明在国际象棋比赛中他们该如何决定走步及该走哪些棋子，或者在语言翻译时该如何判定两个句子具有同样的意义。

人工智能工作者认识到，几乎全部的人类智能活动的详细步骤是未知的。这标志着人工智能开始作为计算机科学的一个分支出现。他们对各种不同的计算和计算描述方法进行了研究，力图既要创造出智能的人工制品，又要理解智能是什么。他们的基本思想是：人类的智力将最好地用人工智能程序来描述。

举例来说，让我们考虑下棋的计算机程序。现有程序是十分熟练的、具有人类“专家”棋手水平的最好实验系统，但是下得没有人类国际象棋大师那样好。该计算机程序对每个可能的走步空间进行搜索，即考虑该比赛中可供选择的各种走步以及它们后面的几步，就象人类棋手所考虑的一样。计算机能够同时搜索几千种走步，而人类棋手只能考虑十来步左右。进行有效搜索的技术构成了人工智能的某些核心思想。计算机不能战胜最好的人类棋手的原因在于：向前看不是下棋所必须具有的一切，需要彻底搜索的走步太多；在估计替换走步时并不能确信一定能够导致比赛的胜利。这是人类专家所具有的不能解释的能力之一。心理学家已经指出，当象棋大师们盯着一个棋位时，在他们的脑子里出现了几千盘重要的棋局；这大概能够帮助他们决定最好的走步。但是，至今还没有人设计出一种能够辨别这些棋局的计算机程序。

最后必须指出，要给人工智能下个准确的定义是困难的。人类的自然智能伴随着人类活动到处存在。人类的许多活动，如解算题、猜谜语、进行对话、编制计划和编写计算机程序等，甚至驾驶汽车和骑自行车，都需要“智能”。如果计算机（机器）能够执行这种任务，就可以认为这类计算机具有某种程度的“人工智能”。最简单地讲，由计算机来表示和执行人类的智能活动，就是人工智能；或者比较准确地说，人工智能就是机器（计算机）执行某些与人的智能有关的复杂功能（如判断、图象识别、理解、学习、规划和问题求解等）的能力。已经建立了一些具有人工智能的计算机系统，简称为智能机。我们将在下一节中加以介绍。

## 第二节 人工智能的现状与应用

在大多数学科中存在着几个不同的研究领域，每个领域都有其特有的感兴趣的研究课题、研究技术和术语。在人工智能中，这样的领域包括语言处理、自动定理证明、智能数据检索系统、视觉系统、问题求解、人工智能方法和程序语言以及自动程序设计等。在过去二十多年中，已经建立了一些具有人工智能的计算机系统；例如，能够求解微分方程，下棋，设计分析集成电路，合成人类自然语言，检索情报，诊断疾病以及控制太空飞行器和水下机器人的具有不同程度人工智能的计算机系统。

本书首先不是以这些应用研究领域来讨论人工智能的，而是介绍人工智能一些最基本的概念和基本原理，它们是后面几章中各种应用的基础。下面对人工智能状况和应用的讨论，

试图把有关各个子领域直接联接起来，辨别某些方面的智能行为，并指出有关的人工智能研究和应用的状况。

值得指出的是，正如不同的人工智能子领域不是完全独立的一样，这里所要讨论的各种智能特性也完全不是互不相关的。把它们分开来介绍只是为了便于指出现有的人工智能程序能够做些什么和还不能做什么。大多数人工智能研究课题都涉及许多（如果不是全部的话）智能领域。

### 1.2.1 问题求解<sup>[6,33]</sup>

人工智能的第一个大成就是发展了能够求解难题的下棋（如国际象棋）程序。在下棋程序中应用的某些技术，如向前看几步，并把困难的问题分成一些比较容易的子问题，发展成为搜索和问题归约这样的人工智能基本技术。今天的计算机程序能够下锦标赛水平的各种方盘棋、十五子棋和国际象棋。另一种问题求解程序把各种数学公式符号汇编在一起，其性能达到很高的水平，并正在为许多科学家和工程师所应用。有些程序甚至还能够用经验来改善其性能。

如前所述，这个问题中未解决的问题包括人类棋手具有的但尚不能明确表达的能力，如国际象棋大师们洞察棋局的能力。另一个未解决的问题涉及问题的原概念，在人工智能中叫做问题表示的选择。人们常常能够找到某种思考问题的方法从而使求解变易而解决该问题。到目前为止，人工智能程序已经知道如何考虑它们要解决的问题，即搜索解答空间，寻找较优的解答。

### 1.2.2 逻辑推理与定理证明

早期的逻辑演绎研究工作与问题和难题的求解相当密切。已经开发出的程序能够借助于对事实数据库的操作来“证明”断定；其中每个事实由分立的数据结构表示，就象数学逻辑中由分立公式表示一样。与人工智能的其它技术的不同之处是，这些方法能够完整地一致地加以表示。也就是说，只要本原事实是正确的，那么程序就能够证明这些从事实得出的定理，而且也仅仅是证明这些定理。

逻辑推理是人工智能研究中最持久的子领域之一。其中特别重要的是要找到一些方法，只把注意力集中在一个大型数据库中的有关事实上，留意可信的证明，并在出现新信息时适时修正这些证明。

对数学中臆测的定理寻找一个证明或反证，确实称得上是一项智能任务。为此不仅需要有关根据假设进行演绎的能力，而且需要某些直觉技巧。例如为了求证主要定理而猜测应当首先证明哪一个引理。一个熟练的数学家运用他的（以大量专门知识为基础的）判断力能够精确地推测出某个科目范围里哪些前已证明的定理在当前的证明中是有用的，并把他的主问题归结为若干子问题，以便独立地处理它们。有几个定理证明程序已在有限的程度上具有某些这样的技巧。

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，采用谓词逻辑语言的演绎过程的形式化有助于我们更清楚地理解推理的某些子命题。许多非形式的工作，包括医疗诊断和信息检索都可以和定理证明问题一样加以形式化。因此，在人工智能方法的研究中定理证明是一个极其重要的论题。

### 1.2.3 自然语言处理<sup>[7,39,67]</sup>

语言处理也是人工智能的早期研究领域之一，并引起进一步的重视。已经编写出能够从内部数据库回答用英语提出的问题的程序，这些程序通过阅读文本材料和建立内部数据库，能够把句子从一种语言翻译为另一种语言，执行用英语给出的指令和获取知识等。有些程序甚至能够在一定程度上翻译从话筒输入的口头指令（而不是从键盘打入计算机的指令）。尽管这些语言系统并不象人们在语言行为中所做的那样好，但是它们能够适合某些应用。那些能够回答一些简单询问的和遵循一些简单指示的程序是这方面的初期成就，它们与机器翻译初期出现的故障一起，促使整个人工智能语言方法的彻底变革。目前语言处理研究的主要课题是：在翻译句子时，以主题和对话情况为基础，注意大量的一般常识——世界知识和期望作用的重要性。

实际语言系统的技术发展水平是用各种软件系统的有效“前端”来表示的。这些程序接收某些局部形式的输入，但不能处理英语语法的某些微小差别，而且只适用于翻译某个有限讲话范围内的句子。人工智能在语言翻译-语音理解程序方面已经取得的成就，发展为人类自然语言处理的新概念。

当人们用语言互通信息时，他们几乎不费力地进行极其复杂却又只需要一点点理解的过程。然而要建立一个能够生成和“理解”那怕是片断自然语言的计算机系统却是异常困难的。语言已经发展成为智能动物之间的一种通信媒介，它在某些环境条件下把一点“思维结构”从一个头脑传输到另一个头脑，而每个头脑都拥有庞大的高度相似的周围思维结构作为公共的文本。这些相似的、前后有关的思维结构中的一部分允许每个参与者知道对方也拥有这种共同结构，并能够在通信“动作”中用它来执行某些处理。语言的发展显然为参与者使用他们巨大的计算资源和公共知识来生成和理解高度压缩和流畅的知识开拓了机会。语言的生成和理解是一个极为复杂的编码和解码问题。

一个能理解自然语言信息的计算机系统看起来就象一个人一样需要有上下文知识以及根据这些上下文知识和信息用信息发生器进行推理的过程。理解口头的和书写的片断语言的计算机系统所取得的某些进展，其基础就是有关表示上下文知识结构的某些人工智能思想以及根据这些知识进行推理的某些技术。

### 1.2.4 自动程序设计

也许程序设计并不是人类知识的一个十分重要的方面，但是它本身却是人工智能的一个重要研究领域。这个领域的工作叫做自动程序设计。已经研制出能够从各种不同的目的描述（例如输入/输出对，高级语言描述，甚至英语描述算法）来编写计算机程序。这方面的进展局限于少数几个完全现成的例子。对自动程序设计的研究不仅可以促进半自动软件开发系统的发展，而且也使通过修正自身数码进行学习（即修正它们的性能）的人工智能系统得到发展。程序理论方面的有关研究工作对人工智能的所有研究工作都是很重要的。

编写一段计算机程序的任务既同定理证明又同机器人学有关。自动程序设计、定理证明和机器人问题求解中大多数基础研究是相互重叠的。在某种意义上讲，编译程序已经在干“自动程序设计”的工作。编译程序接受一份有关想干些什么的完整的源码说明，然后编写一份目标码程序去实现。我们在这里所指的自动程序设计是某种“超级编译程序”或者是某

种能够对程序要实现什么目标进行非常高级描述的程序，并能够由这个程序产生出所需要的新程序。这种高级描述可能是采用形式语言的一条精辟语句（如谓词演算），也可能是一种松散的描述（如用英语）；这就要求在系统和用户之间进一步对话澄清语言的模糊。

自动编制一份程序来获得某种指定结果的任务同证明一份给定程序将获得某种指定结果的任务是紧密相关的。后者叫做程序验证。许多自动程序设计系统将产生一份输出程序的验证作为额外收获。

自动程序设计研究的重大贡献之一是作为问题求解策略的调整概念。已经发现，对程序设计或机器人控制问题，先产生一个不费事的有错误的解，然后再修改它（使它正确工作），这种做法一般要比坚持要求第一个解就完全没有缺陷的做法有效得多。

### 1.2.5 学习

学习能力无疑是人工智能最突出和最重要的一个方面。但人工智能系统目前在这方面几乎没有取得什么显著进展，这是一个说明对人类的认识行为如此难以理解的好例子。有几个有意义的研究，其中包括从例子、从它们自己的特性以及从被告知的认识进行学习的程序等。不过，总的说来，学习在人工智能研究中是不突出的，至少目前是如此。

### 1.2.6 专家系统<sup>[20,53]</sup>

近年来，在专家系统或“知识工程”的研究中已经出现了成功和有效地应用人工智能技术的趋势。有代表性的是，用户与专家系统进行“咨询对话”，就象他与具有某方面经验的专家进行对话一样：解释他的问题，建议进行某些试验以及向专家系统提出询问以求得到有关解答等。目前的实验系统，在咨询任务如化学和地质数据分析、计算机系统结构、建筑工程以及医疗诊断等方面，其质量已经达到很高的水平。可以把专家系统看做人类专家（他们用“知识获取模型”与专家系统进行人机对话）和人类用户（他们用“咨询模型”与专家系统进行人机对话）之间的媒介。在人工智能的这个领域里，还有许多研究集中在使专家系统具有解释它们的推理能力，从而使咨询更好地为用户所接受，又能帮助人类专家发现系统推理过程中出现的差错。

当前的研究涉及有关专家系统设计的各种问题。这些系统是在某个领域的专家（他可能无法明确表达他的全部知识）与系统设计者之间经过艰苦的反复交换意见之后建立起来的。现有的专家系统都局限在一定范围内，而且没有人类那种能够知道自己什么时候可能出错的感觉。新的研究包括应用专家系统来教初学者以及请教有经验的专业人员。

自动咨询系统向用户提供特定学科领域内的专家结论。在已经建立的专家咨询系统中，有能够诊断疾病的（包括中医诊断智能机），估计潜在石油等矿藏的，假定复杂有机化合物结构的以及提供使用其它计算机系统的参考意见等。

发展专家系统的关键是表达和运用专家知识，即来自人类专家的并已被证明对解决有关领域内的典型问题是有用的事实和过程。专家系统和传统的计算机程序最本质的不同之处在于专家系统所要解决的问题一般没有算法解，并且经常要在不完全、不精确或不确定的信息基础上作出结论。

专家系统可以解决的问题一般包括解释、预测、诊断、设计、规划、监视、修理、指导和控制等。高性能的专家系统也已经从学术研究开始进入实际应用研究。



### 1.2.7 机器人学

人工智能研究日益受到重视的另一个分支是机器人学，其中包括对操作机器人装置程序的研究。这个领域所研究的问题，从机器人手臂的最佳移动到实现机器人目标的动作序列的规划方法，无所不包。尽管已经建立了一些比较复杂的机器人系统。不过现正在工业上运行的成千上万台机器人，都是一些按预先编好的程序执行某些重复作业的简单装置。大多数工业机器人是“盲人”，而某些机器人能够用电视摄像机来“看”。电视摄像机发送一组信息返回计算机。处理视觉信息是人工智能另一个十分活跃和十分困难的研究领域。已经开发的程序能够识别可见景物的实体与阴影，甚至能够辨别出两幅图象间（例如在航空侦察中）的细小差别。

一些并不复杂的动作控制问题，如移动式机器人的机械动作控制问题，表面上看并不需要很多智能。即使是个小孩，也能顺利地通过周围环境，操作电灯开关、玩具积木和餐具等物品。然而人类几乎下意识就能完成的这些任务，要是由机器人来实现就要求机器人具备在求解需要较多智能的问题时所用到的能力。

机器人和机器人学的研究促进了许多人工智能思想的发展。它所导致的一些技术可用来模拟世界的状态，用来描述从一种世界状态转变为另一种世界状态的过程。它对于怎样产生动作序列的规划以及怎样监督这些规划的执行有了一种较好的理解。复杂的机器人控制问题迫使我们发展一些方法，先在抽象和忽略细节的高层进行规划，然后再逐步在细节越来越重要的低层进行规划。在本书中，我们经常应用一些机器人问题求解的例子来说明一些重要的思想。

### 1.2.8 机器视觉<sup>[4,5,42]</sup>

在视觉方面，已经给计算机系统装上电视输入装置以便能够“看见”周围的东西。视觉是感知问题之一。在人工智能中研究的感知过程通常包含一组操作。例如，可见的景物由传感器编码，并被表示为一个灰度数值的矩阵。这些灰度数值由检测器加以处理。检测器搜索主要图象的成分，如线段、简单曲线和角度等。这些成分又被处理，以便根据景物的表面和形状来推断有关景物的三维特性信息。其最终目标则是利用某个适当的模型来表示该景物。

整个感知问题的要点是形成一个精练的表示以取代难以处理的、极其庞大的未经加工的输入数据。最终表示的性质和质量取决于感知系统的目标。不同系统有不同的目标，但所有系统都必须把来自输入的多得惊人的感知数据简化为一种易于处理的和有意义的描述。

对不同层次的描述作出假设，然后测试这些假设。这一策略为视觉问题提供了一种方法。已经建立的某些系统能够处理一幅景物的某些适当部分，以此扩展一种描述若干成分的假设。然后这些假设通过特定的场景描述检测器进行测试。这些测试的结果又用来发展更好的假设等。

### 1.2.9 智能检索系统

数据库系统是储存某学科大量事实的计算机系统，它们可以回答用户提出的有关该学科的各种问题。例如，假设这些事实是某公司的人事档案。这个数据库中的某些条款可以代表下列事实：“张强在采购部工作”，“张强在1984年8月15日退休”，“采购部共有15名工