

高等学校计算机教育规划教材

人工 智能

贲可荣 张彦铎 编著
陈志刚 主审

<http://www.tup.com.cn>



清华大学出版社

高等学校计算机教育规划教材

人工智能

贲可荣 张彦铎 编著 / 陈志刚 主审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

人工智能是研究理解和模拟人类智能、智能行为及其规律的一门学科。其主要任务是建立智能信息处理理论,进而设计可以展现某些近似于人类智能行为的计算系统。本书系统介绍人工智能的理论、方法、技术及其应用,除了讨论仍然有用的和有效的基本原理与方法之外,着重阐述新的和正在研究的人工智能方法与技术,特别是近期发展起来的方法与技术。此外,用比较多的篇幅论述人工智能的应用,包括人工智能新的应用研究。

本书适合作为高等学校计算机专业高年级本科生和非计算机专业研究生人工智能的教材,也可作为希望深入学习人工智能的科技人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能 / 贾可荣, 张彦铎编著. —北京: 清华大学出版社, 2006.3

(高等学校计算机教育规划教材)

ISBN 7-302-12405-1

I. 人… II. ①贾… ②张… III. 人工智能-高等学校-教材 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005031 号

出版者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社总机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 张瑞庆

印刷者: 北京密云云胶印厂

装订者: 北京市密云县京文制本装订厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 260 印张: 25.75 字数: 622 千字

版 次: 2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12405-1/TP · 7948

印 数: 1 ~ 3000

定 价: 33.00 元

编 委 会

名誉主任：陈火旺

主 任：何炎祥

副 主 任：王志英 杨宗凯 卢正鼎

委 员：（按姓氏笔画为序）

王更生 王忠勇 刘先省 刘腾红 孙俊逸

芦康俊 李仁发 李桂兰 杨健霭 陈志刚

陆际光 张焕国 张彦铎 罗 可 金 海

钟 珞 贲可荣 胡金柱 徐 苏 康立山

薛锦云

丛书策划：张瑞庆 汪汉友

本书主审：陈志刚

序 言

PREFACE

随着信息社会的到来,我国的高等学校计算机教育迎来了大发展时期。在计算机教育不断普及和高等教育逐步走向大众化的同时,高校在校生的数量也随之增加,就业压力随之加大。灵活应用所学的计算机知识解决各自领域的实际问题已经成为当代大学生必须具备的能力。为此,许多高等学校面向不同专业的学生开设了相关的计算机课程。

时代的进步与社会的发展对高等学校计算机教育的质量提出了更高、更新的要求。抓好计算机专业课程以及计算机公共基础课程的教学,是提高计算机教育质量的关键。现在,很多高等学校除计算机系(学院)外,其他系(学院)也纷纷开设了计算机相关课程,在校大学生也必须学习计算机基础课程。为了适应社会的需求,满足计算机教育的发展需要,培养基础宽厚、能力卓越的计算机专业人才培养和掌握计算机基础知识、基本技能的相关专业的复合型人才迫在眉睫。为此,在进行了大量调查研究的基础上,通过借鉴国内外最新的计算机科学与技术学科和计算机基础课程体系的研究成果,规划了这套适合计算机专业及相关专业人才培养需要的、适用于高等学校学生学习的《高等学校计算机教育规划教材》。

“教育以人为本”,计算机教育也是如此,“以人为本”的指导思想则是将“人”视为教学的主体,强调的是“教育”和“引导”,而不是“灌输”。本着这一初衷,《高等学校计算机教育规划教材》注重体系的完整性、内容的科学性和编写理念的先进性,努力反映计算机科学技术的新技术、新成果、新应用、新趋势;针对不同学生的特点,因材施教、循序渐进、突出重点、分散难点;在写作方法上注重叙述的逻辑性、系统性、适用性、可读性,力求通俗易懂、深入浅出、易于理解、便于学习。

本系列教材突出计算机科学与技术学科的特点,强调理论与实践紧密结合,注重能力和综合素质的培养,并结合实例讲解原理和方法,引导学生学会理论方法的实际运用。

本系列教材在规划时注重教材的立体配套,教学资源丰富。除主教材外,还配有电子课件、习题集与习题解答、实验上机指导等辅助教学资源。有些课程将开设教学网站,提供网上信息交互、文件下载,以方便师生的教与学。

《高等学校计算机教育规划教材》覆盖计算机公共基础课程、计算机应用技术课程和计算机专业课程。既有在多年教学经验和教学改革基础上新编

著的教材，也有部分已经出版教材的更新和修订版本。这套教材由国内三十余所知名高校从事计算机教学和科研工作的一线教师、专家教授编写，并由相关领域的知名专家学者审读全部书稿，多数教材已经经受了教学实践的检验，适用于本科教学，部分教材可用于研究生学习。

我们相信通过高水平、高质量的编写和出版，这套教材不仅能够得到大家的认可和支持，也一定能打造成一套既有时代特色，又特别易教易学的高质量的系列教材，为我国计算机教材建设及计算机教学水平的提高，为计算机教育事业的发展和高素质人才的培养作出我们的贡献。

《高等学校计算机教育规划教材》编委会

2005年7月

前言

FOREWORD

智能 (intelligence) 是人类所特有的区别于一般生物的主要特征。智能解释为“感知、学习、理解、知道的能力, 思维的能力”。智能通常被理解为“人认识客观事物并运用知识解决实际问题的能力……往往通过观察、记忆、想象、思维、判断等表现出来”。

人工智能就是用计算机来模拟人的智能, 因此又叫做机器智能。研究人工智能的目的, 一方面是要造出具有智能的机器, 另一方面是要弄清人类智能的本质。通过研究和开发人工智能, 可以辅助、部分代替甚至拓宽人的智能, 使计算机更好地造福于人类。

信息经抽象结晶为知识, 知识构成智能的基础。因此, 信息化到知识化再到智能化, 必将成为人类社会发展的趋势。人工智能已经并正在广泛而深入地结合到科学技术的各门学科和社会的各个领域中, 它的概念、方法和技术, 正在各行各业广泛渗透。智能已经成为当今各种新产品、新装备的发展方向。

随着人工智能的发展, 其课程的内容也应不断更新。在美国, 由 IEEE Computer Society 和 ACM 计算教程联合工作组共同制定了 *Computing Curricula 2001* (CC2001), 主要修订了 CC1991, 以反映计算机领域十余年来的发展。从 CC2001/CC2005 可以看出, 人工智能课程除包括人工智能概论、问题状态与搜索、知识表示、机器人学等传统内容外, 还增加了机器学习、智能体、自然语言处理、语音处理、知识库系统、神经网络、遗传算法等内容。这也充分反映了对人工智能课程的重视。在我国, 从 20 世纪 70 年代末开始, 随着改革开放政策的实施, 人工智能的教学和科研逐步展开。

本书介绍人工智能的理论、方法、技术及其应用, 除了讨论仍然有用的和有效的基本原理与方法之外, 着重阐述新的和正在研究的人工智能方法与技术, 特别是近期发展起来的方法与技术。此外, 用比较多的篇幅论述人工智能的应用, 包括人工智能新的应用研究。具体包括下列内容。

(1) 简述人工智能的起源与发展, 讨论人工智能的定义、人工智能与计算机的关系以及人工智能的研究和应用领域。

(2) 论述知识表示、推理和不确定推理的主要方法, 包括谓词逻辑、产生式系统、语义网络、框架、面向对象、归结推理、非单调推理、主观 Bayes 方法、确定性理论、证据理论、模糊逻辑和模糊推理等。

(3) 讨论常用搜索原理, 如盲目搜索、启发式搜索、min-max 搜索、 α - β 剪枝和约束满足等; 并研究一些比较高级的搜索技术, 如贪婪局部搜索、局部剪枝搜索、模拟退火算法、遗传算法等。

(4) 介绍近期发展起来的已成为当前研究热点的人工智能技术和方法, 即分布式人工智能与 Agent、计算智能、机器学习、反向传播神经网络、Hopfield 神经网络、知识发现等。

(5) 比较详细地分析人工智能的主要应用领域, 涉及自动规划系统、自然语言处理、信息检索、语言翻译、语音识别、机器人等。

本书第 3, 4, 9, 10 章由张彦铎撰写, 其余各章由贾可荣撰写。全书由贾可荣统稿。吴荣华撰写了附录初稿。陈志刚教授对全书进行了认真审校, 特此致谢。

在本书编写过程中, 参考和引用了许多专家、学者的著作和论文, 正文中未一一注明。在此, 作者谨向相关参考文献的作者表示衷心的感谢。

不当之处, 恳请读者批评指正。

作者

2006 年 1 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能的定义与发展	1
1.2 人类智能与人工智能	3
1.2.1 智能信息处理系统的假设	3
1.2.2 人类智能的计算机模拟	5
1.3 人工智能各学派的认知观	6
1.4 人工智能的研究与应用领域	8
1.4.1 智能感知	8
1.4.2 智能推理	11
1.4.3 智能学习	14
1.4.4 智能行动	16
1.5 未来 50 年的人工智能问题	21
习题	24
第 2 章 知识表示和推理	25
2.1 概述	25
2.1.1 知识和知识表示	25
2.1.2 知识-策略-智能	27
2.1.3 人工智能对知识表示方法的要求	28
2.1.4 知识的分类	28
2.1.5 知识表示语言问题	29
2.1.6 现代逻辑学的基本研究方法	30
2.2 命题逻辑	32
2.2.1 语法	33
2.2.2 语义	33
2.2.3 命题演算形式系统 PC	35
2.3 谓词逻辑	36
2.3.1 语法	37
2.3.2 语义	39
2.3.3 谓词逻辑形式系统 FC	41
2.3.4 一阶谓词逻辑的应用	43

2.4	归结推理	44
2.4.1	命题演算中的归结推理	44
2.4.2	谓词演算中的归结推理	48
2.4.3	谓词演算归结反演的合理性和完备性	56
2.5	产生式系统	60
2.5.1	产生式系统的组成部分	61
2.5.2	产生式系统的基本过程	65
2.5.3	产生式系统的控制策略	66
2.6	知识表示的其他方法	68
2.6.1	语义网络	68
2.6.2	框架	74
2.6.3	面向对象	77
2.7	基于知识的系统	80
2.7.1	知识获取	80
2.7.2	知识组织	83
2.7.3	知识应用	84
2.8	小结	84
	习题	85
第3章	搜索技术	91
3.1	引言	91
3.2	盲目搜索方法	93
3.2.1	宽度优先搜索	93
3.2.2	深度优先搜索	95
3.2.3	迭代加深搜索	96
3.3	启发式搜索	97
3.3.1	启发性信息和评估函数	97
3.3.2	最好优先搜索算法	98
3.3.3	通用图搜索算法	99
3.3.4	A*算法	102
3.3.5	迭代加深 A*算法	106
3.4	问题归约和 AND-OR 图启发式搜索	107
3.4.1	问题归约的描述	107
3.4.2	AND-OR 图表示	107
3.4.3	AO*算法	109
3.5	博弈	113
3.5.1	极大极小过程	115
3.5.2	α - β 过程	117
3.6	约束满足搜索	119
3.7	小结	122

习题	123
第 4 章 高级搜索	124
4.1 爬山法搜索	124
4.2 模拟退火搜索	127
4.2.1 模拟退火搜索的基本思想	127
4.2.2 模拟退火算法	128
4.2.3 模拟退火算法关键参数和操作的设计	129
4.2.4 模拟退火算法的改进	131
4.3 遗传算法	132
4.3.1 遗传算法的基本思想	133
4.3.2 遗传算法的基本操作	135
4.3.3 遗传算法的应用情况	139
习题	141
第 5 章 不确定知识表示和推理	142
5.1 概述	142
5.1.1 什么是不确定推理	142
5.1.2 不确定推理要解决的基本问题	143
5.1.3 不确定性推理方法分类	145
5.2 非单调逻辑	146
5.2.1 单调性与非单调性	146
5.2.2 非单调逻辑的产生	146
5.2.3 缺省推理逻辑	147
5.2.4 非单调逻辑系统	151
5.3 主观 Bayes 方法	153
5.3.1 全概率公式和 Bayes 公式	154
5.3.2 主观 Bayes 方法	155
5.4 确定性理论	160
5.4.1 建造医学专家系统中的问题	161
5.4.2 C-F 模型	162
5.5 证据理论	166
5.5.1 假设的不确定性	167
5.5.2 证据的不确定性	169
5.5.3 证据的组合函数	169
5.5.4 规则的不确定性	170
5.5.5 不确定性的传递	170
5.5.6 不确定性的组合	171
5.6 模糊逻辑和模糊推理	173
5.6.1 模糊集合及其运算	173
5.6.2 模糊关系	175

5.6.3	语言变量	176
5.6.4	模糊逻辑	176
5.6.5	模糊推理	177
5.7	小结	181
	习题	182
第 6 章	Agent	184
6.1	概述	184
6.2	Agent 及其结构	186
6.2.1	Agent 要素及特性	186
6.2.2	Agent 的结构特点	188
6.2.3	Agent 的结构分类	189
6.3	Agent 通信	192
6.3.1	通信方式	192
6.3.2	Agent 通信语言 KQML	193
6.3.3	SACL 语言	196
6.4	协调与协作	199
6.4.1	引言	199
6.4.2	合同网	202
6.4.3	协作规划	204
6.5	移动 Agent	207
6.5.1	引言	208
6.5.2	定义和系统组成	211
6.5.3	实现技术	212
6.5.4	技术优势	221
6.6	基于 Agent 的系统及其应用	223
6.6.1	移动 Agent 系统	223
6.6.2	移动 Agent 技术的应用	225
6.6.3	多 Agent 系统的应用	227
6.7	小结	228
	习题	228
第 7 章	自然语言处理技术	230
7.1	自然语言理解的一般问题	230
7.1.1	自然语言理解的概念及意义	230
7.1.2	自然语言理解研究的发展	231
7.1.3	自然语言理解的层次	233
7.2	词法分析	233
7.3	句法分析	234
7.3.1	短语结构文法和 Chomsky 文法体系	235
7.3.2	句法分析树	237

7.3.3 转移网络	238
7.4 语义分析	239
7.4.1 语义文法	239
7.4.2 格文法	240
7.5 大规模真实文本的处理	242
7.5.1 语料库语言学及其特点	242
7.5.2 统计学方法的应用及所面临的问题	244
7.5.3 汉语语料库加工的基本方法	244
7.6 信息搜索	247
7.6.1 信息搜索概述	247
7.6.2 搜索引擎	248
7.6.3 智能搜索引擎	252
7.7 机器翻译	258
7.7.1 机译系统概述	258
7.7.2 机器翻译理论与方法	260
7.8 自动文摘	262
7.9 语音识别	263
7.9.1 组成单词读音的基本单元	264
7.9.2 信号处理	264
7.9.3 识别	266
7.9.4 隐马尔可夫模型	267
7.10 小结	269
习题	269
第8章 机器学习和神经网络	271
8.1 机器学习概述	271
8.1.1 学习中的元素	272
8.1.2 目标函数的表示	273
8.1.3 学习任务的类型	275
8.1.4 机器学习的定义和发展史	276
8.1.5 机器学习的主要策略	277
8.1.6 机器学习系统的基本结构	278
8.2 经典机器学习方法	279
8.2.1 机械学习	279
8.2.2 归纳学习	281
8.2.3 类比学习	284
8.2.4 解释学习	286
8.3 基于神经网络的学习	289
8.3.1 神经网络概述	289
8.3.2 基于反向传播网络的学习	294

8.3.3 Hopfield 网络模型	306
8.4 知识发现	311
8.4.1 知识发现的处理过程	312
8.4.2 知识发现的方法	313
8.4.3 知识发现的应用	315
8.5 小结	316
习题	317
第 9 章 智能规划	320
9.1 规划问题与实例	320
9.1.1 规划问题及其描述语言	320
9.1.2 规划问题实例	323
9.2 状态空间搜索规划	326
9.2.1 前向状态空间搜索	326
9.2.2 后向状态空间搜索	327
9.2.3 状态空间搜索的启发式	328
9.3 偏序规划	329
9.3.1 偏序规划的描述	329
9.3.2 偏序规划的实例	332
9.3.3 无约束变量的偏序规划	334
9.3.4 启发式偏序规划	335
9.4 命题逻辑规划	335
9.5 分层任务网络规划	338
9.6 非确定性规划	340
9.7 多 Agent 规划	342
9.7.1 合作: 联合目标和规划	343
9.7.2 多 Agent 规划	343
9.7.3 协调机制	345
9.7.4 竞争	346
习题	346
第 10 章 机器人学	347
10.1 概述	347
10.1.1 机器人的由来	347
10.1.2 机器人的定义	348
10.1.3 机器人的分类	350
10.1.4 机器人的特性	350
10.1.5 机器人的发展概况	351
10.1.6 机器人学的形成	353
10.1.7 机器人学的研究领域	354
10.2 机器人系统	354

10.2.1 机器人系统的组成	354
10.2.2 机器人系统的几个重要概念	356
10.3 机器人的编程模式与语言	359
10.4 机器人的社会问题	362
习题	362
附录 A Turbo Prolog 核心机制	363
A.1 逻辑型程序设计语言 Prolog	364
A.1.1 Prolog 语句	364
A.1.2 Prolog 程序	365
A.1.3 Prolog 程序运行机理	366
A.2 Turbo Prolog 程序设计	368
A.2.1 程序结构	368
A.2.2 数据与表达式	370
A.2.3 输入与输出	374
A.2.4 分支与循环	375
A.2.5 动态数据库	376
A.2.6 表处理与递归	376
A.2.7 回溯控制	379
附录 B Visual Prolog 编程环境	380
B.1 Visual Prolog 概述	380
B.2 系统安装	381
B.2.1 安装环境	381
B.2.2 安装步骤	381
B.3 编程初步	381
B.3.1 测试目标	381
B.3.2 应用程序专家	382
B.3.3 了解默认应用程序所生成的代码	383
B.4 编写第一个应用程序 Hello World	384
B.4.1 调用菜单编辑器修改菜单	385
B.4.2 使用对话框与窗口专家	386
B.5 VP 调试器	389
参考文献	391

人工智能自诞生之日起就引起人们无限美丽的想象和憧憬。人工智能已经成为学科交叉发展中的一盏明灯，光芒四射；但其理论起伏跌宕，也存在争议和误解。

本章首先介绍人工智能的定义、发展概况和相关学派及其认知观，然后讨论人工智能的研究和应用领域，最后综述未来人工智能领域有待解决的问题。

1.1 人工智能的定义与发展

四十多年来，人工智能获得很大发展，已引起众多学科和不同专业背景学者们的日益重视，成为一门交叉学科和前沿科学。近十年来，现代计算机已能够存储极其大量的信息，进行快速信息处理，软件功能和硬件实现均取得长足进步，使人工智能获得进一步的应用。

人类智能伴随着人类活动时处处存在。人类的许多活动，如下棋、竞技、解题、游戏、规划和编程，甚至驾车和骑车都需要“智能”。如果机器能够执行这种任务，就可以认为机器已具有某种性质的“人工智能”。不同科学或学科背景的学者对人工智能有着不同的理解，先后出现了 3 个主流学派：逻辑学派（符号主义方法）、仿生学派（联结主义方法）和控制论学派（行为主义方法）。

1. 人工智能的定义

人工智能（artificial intelligence）是研究理解和模拟人类智能、智能行为及其规律的一门学科。其主要任务是建立智能信息处理理论，进而设计可以展现某些近似于人类智能行为的计算系统。

智能机器（intelligent machine）是能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务的机器。

人工智能能力是智能机器所执行的通常与人类智能有关的智能行为，如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。

2. 人工智能的起源与发展

20世纪30年代,数理逻辑学家 Frege, Whitehead, Russell 和 Tarski 等人研究表明,推理的某些方面可以用比较简单的结构加以形式化。Church 和 Turing 等人给出了计算的本质刻画。

1956年 Dartmouth 会议标志人工智能学科的诞生,它从一开始就是交叉学科的产物。与会者有数学家、逻辑学家、认知学家、心理学家、神经生理学家和计算机科学家。Dartmouth 会议上, Marvin Minsky 的神经网络模拟器、John McCarthy 的搜索法,以及 Herbert Simon 和 Allen Newell 的定理证明器是会议的3个亮点。分别讨论如何穿过迷宫,如何搜索推理和如何证明数学定理。会上,首次使用了“人工智能”这一术语。这些学者(还包括 Lochester, Shannon, More, Samuel)后来绝大多数都成为著名的人工智能专家。

1969年召开了第一届国际人工智能联合会议(International Joint Conference on AI, IJCAI),此后每两年召开一次;1970年《International Journal of AI》杂志创刊。这些对开展人工智能国际学术活动和交流、促进人工智能的研究与发展起到积极的作用。

控制论思想对人工智能早期研究有着重要影响。Wiener、McCulloch 等人提出的控制论和自组织系统的概念集中讨论了“局部简单”系统的宏观特性。1948年, Wiener 发表的“动物与机器中的控制与通信”论文,不但开创了近代控制论,而且为人工智能的控制论学派(即行为主义学派)树立了新的里程碑。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。

最终把这些不同思想连接起来的是由 Babbage, Turing, von Neumann 和其他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。

三十多年来,人工智能的应用研究取得了重大进展。首先,专家系统(expert system)显示出强大的生命力。被誉为“专家系统和知识工程之父”的 Feigenbaum 所领导的研究小组于1968年研究成功第一个专家系统 DENDRAL,用于质谱仪分析有机化合物的分子结构。1972—1976年, Feigenbaum 小组又成功开发了医疗专家系统 MYCIN,用于抗生素药物治疗。此后,许多著名的专家系统,如地质勘探专家系统 PROSPECTOR、青光眼诊断治疗专家系统 CASNET、计算机结构设计专家系统 RI、符号积分与定理证明专家系统 MACSYMA、钻井数据分析专家系统 ELAS 和电话电缆维护专家系统 ACE 等被相继开发,为工矿数据分析处理、医疗诊断、计算机设计、符号运算和定理证明等提供了强有力的工具。1977年, Feigenbaum 进一步提出了知识工程(knowledge engineering)的概念。整个20世纪80年代,专家系统和知识工程在全世界得到迅速发展。在开发专家系统的过程中,许多研究者获得共识,即人工智能系统是一个知识处理系统,而知识表示、知识利用和知识获取则成为人工智能系统的3个基本问题。

近十多年来,机器学习、计算智能、人工神经网络等行为主义的研究深入开展,形成高潮,这些都推动了人工智能研究的深入发展。

我国的人工智能研究起步较晚。纳入国家计划的研究(“智能模拟”)开始于1978