

# 人工智能原理及应用

RENGONG ZHINENG YUANLI JI YINGYONG

邢传鼎 杨家明 任庆生 等 编著

曹奇英

主审



東華大學出版社

# 人工智能原理及应用

邢传鼎 杨家明 任庆生 编著  
朱 明 夏小玲 叶 进

曹奇英 主审

## 图书在版编目(CIP)数据

人工智能原理及应用 / 邢传鼎, 杨家明, 任庆生等  
编著. 上海: 东华大学出版社, 2005. 2

ISBN 7 - 81038 - 889 - 4

I. 人... II. ①邢... ②杨... ③任... III. 人  
工智能 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 140727 号

## 内 容 提 要

本书是一本人工智能课程教材,适用于本科高年级和研究生的教学。它比较系统地阐述了人工智能的基础理论、方法、近年来发展的新技术,并引用了一些相关应用实例,因此它既可以作为入门教材,又有一定的深度,对立志研究和开发人工智能应用的科研人员有一定的启发价值。全书分七大部分:知识表示;状态空间搜索;推理方法;知识获取;人工智能系统;新型人工智能算法;交互与通信。这七大部分都是人工智能学科重点关注的问题,希望这些基础知识点的引述能对读者有帮助。

书 名 / 人工智能原理及应用

编 著 / 邢传鼎 杨家明 任庆生 朱 明 夏小玲 叶 进

主 审 / 曹奇英

责任编辑 / 张益储

封面设计 / 吴丹红

出 版 / 东华大学出版社

地 址 / 上海市延安西路 1882 号

邮政编码 / 200051

电 话 / 021 - 62193056

发 行 / 新华书店上海发行所

印 刷 / 句容排印厂

版 次 / 2005 年 2 月第 1 版

印 次 / 2005 年 2 月第 1 次印刷

开 本 / 787×1092 1/16

印 张 / 29.75

字 数 / 761 千字

印 数 / 0001~3000

书 号 / ISBN 7 - 81038 - 889 - 4 / TP · 21

定 价 / 48.00 元

# 前 言

人工智能自 1956 年问世四十多年来取得了较大进展,并正在引起越来越多人的重视,它的基础研究如知识表示、知识获取、推理方法、机器学习等,取得了一定成果,近二十年来在应用研究方面成绩显著,如专家系统和带有智能型的控制已广泛应用于工业、农业、军事、医学、商业、经济、管理、教育等,而且取得了不少实际成效,有的还形成商品进入市场,如智能空调、机器人、专家系统等,这些进展正吸引着各类专家加入人工智能研究队伍,这股研究和开发人工智能技术的热潮目前也正在我国兴起,人工智能使计算机能够解决人们还不知道如何解决的问题,从而大大扩充其用途,它将带来计算机硬件和软件的革命。人工智能正向各个领域渗透,带来这些领域的更新换代。知识工程、知识管理、智能计算机辅助设计、智能控制、智能通信软件、智能机器人等新的研究领域不断出现。人工智能的发展还有助于我们进一步理解人类智能的机制,这一切都将促进和加快社会经济的发展,因此受到各国(也包括我国)的普遍重视,编者在结合长期从事本科生和研究生人工智能课程及课题的实践基础上编著了这本教材,由于作为教材涉及到的基础知识较多,因而在此基础上引入了近几年国外最新的人工智能教材上的部分材料,所以本教材既适合于本科生高年级选修科需要,又适应研究生课程的需要。

除绪论外,本书分七大部分共计二十五章。第一部分为知识表示,包含第二章知识表示方法;第二部分为状态空间搜索,包含第三章盲目搜索策略,第四章启发式搜索,第五章计划、动作和学习,第六章对手式搜索;第三部分为推理方法,包含第七章命题演算和命题演算归结,第八章谓词逻辑,第九章归结原理,第十章基于规则的演绎系统,第十一章基于逻辑的规划方法,第十二章不确定信息的推理和第十三章其他推理技术;第四部分为知识获取,包含第十四章机器学习,第十五章实例学习,第十六章类比学习,第十七章其他学习方法;第五部分为人工智能系统,包含第十八章产生式系统,第十九章专家系统和第二十章基于知识的系统;第六部分为新型人工智能算法,包含第二十一章模糊算法,第二十二章人工神经网络和第二十三章遗传算法;第七部分为交互与通信,包含第二十四章代理(agent)间的通信和第二十五章代理的构造。其中第一至第十一章、第十八章、第二十四章、第二十五章由邢传鼎编写,第十二章、第十三章、第二十章由叶进老师编写,第十四至第十七章由朱明副教授编写,第十九章由杨家明副教授编写,第二十一章由夏小玲副教授编写,第二十二章和第二十三章由任庆生老师编写,全书由邢传鼎统稿,曹奇英教授审稿。在编写过程中,得到了交通大学模式识别研究所戚飞虎教授的热情帮助和大力支持,邢传芬高工、陆志萍同志做了大量的校对和打印工作,借此机会表示感谢。由于是教材,所以在编写过程中参考了大量有关教材和文献并且引述了部分内容,在此表示深深地感谢。编者学术水平有限,加上时间仓促,本教材可能有不少问题和错误,恳请各位专家及广大读者批评指正。

编 者

2004 年 11 月

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....     | 1  |
| 1.1 人工智能学科的由来和发展史 ..... | 1  |
| 1.1.1 人工智能的定义 .....     | 1  |
| 1.1.2 人工智能的由来 .....     | 2  |
| 1.1.3 人工智能的发展史 .....    | 2  |
| 1.2 人工智能的主要应用 .....     | 4  |
| 1.2.1 知识工程 .....        | 4  |
| 1.2.2 专家系统 .....        | 6  |
| 1.2.3 专家系统开发工具与环境 ..... | 9  |
| 1.2.4 模式识别技术 .....      | 12 |
| 1.2.5 智能控制及智能机器人 .....  | 14 |
| 习题一 .....               | 17 |

## 第一部分 知识表示

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第二章 知识表示方法</b> .....   | 18 |
| 2.1 概述 .....              | 18 |
| 2.2 状态空间表示法 .....         | 19 |
| 2.2.1 状态空间三元组 .....       | 19 |
| 2.2.2 状态空间表示法举例 .....     | 19 |
| 2.2.3 问题归约法和与/或图表示法 ..... | 25 |
| 2.2.4 关键状态法和关键操作法 .....   | 27 |
| 2.3 谓词逻辑表示法 .....         | 29 |
| 2.3.1 一阶谓词逻辑表示 .....      | 29 |
| 2.3.2 谓词逻辑表示模式 .....      | 32 |
| 2.4 语义网络表示法 .....         | 35 |
| 2.4.1 语义网络的概念 .....       | 35 |
| 2.4.2 语义网络的表达能力 .....     | 35 |
| 2.4.3 基于语义网络的推理 .....     | 38 |
| 2.5 框架表示法 .....           | 39 |
| 2.5.1 框架的概念 .....         | 39 |
| 2.5.2 框架的表达能力 .....       | 40 |
| 2.5.3 基于框架的推理 .....       | 41 |
| 2.5.4 框架的程序实现 .....       | 42 |
| 2.6 产生式规则表示法 .....        | 42 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 2.6.1 产生式规则与产生式系统 .....  | 42 |
| 2.6.2 八数码游戏 .....        | 43 |
| 2.7 常识知识表示法 .....        | 44 |
| 2.7.1 常识世界 .....         | 44 |
| 2.7.2 常识知识表示的困难 .....    | 45 |
| 2.7.3 常识知识的重要性 .....     | 45 |
| 2.7.4 常识知识研究范围 .....     | 46 |
| 2.7.5 时间 .....           | 46 |
| 2.7.6 基于网络法的常识知识表示 ..... | 47 |
| 2.8 剧本表示法 .....          | 51 |
| 2.8.1 概念依赖理论 .....       | 51 |
| 2.8.2 剧本表示法 .....        | 52 |
| 2.9 面向对象的过程性表示方法 .....   | 53 |
| 2.9.1 过程性表示法基本原理 .....   | 53 |
| 2.9.2 过程表示法的特点 .....     | 55 |
| 习题二 .....                | 56 |

## 第二部分 状态空间搜索

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第三章 盲目搜索策略</b> .....  | 58 |
| 3.1 基本概念 .....           | 58 |
| 3.1.1 什么是搜索 .....        | 58 |
| 3.1.2 状态空间的搜索策略 .....    | 59 |
| 3.2 广度优先搜索 .....         | 61 |
| 3.2.1 搜索算法 .....         | 61 |
| 3.2.2 应用举例 .....         | 62 |
| 3.3 深度优先搜索 .....         | 63 |
| 3.3.1 深度优先搜索过程 .....     | 63 |
| 3.3.2 应用举例 .....         | 64 |
| 3.4 有界深度优先搜索 .....       | 65 |
| 3.4.1 有界深度优先搜索过程 .....   | 65 |
| 3.4.2 应用举例 .....         | 65 |
| 3.5 代价树的广度优先搜索 .....     | 67 |
| 3.5.1 代价树的广度优先搜索过程 ..... | 67 |
| 3.5.2 应用举例 .....         | 68 |
| 3.6 代价树的深度优先搜索 .....     | 69 |
| 3.6.1 代价树的深度优先搜索过程 ..... | 69 |
| 3.6.2 应用举例 .....         | 69 |
| 习题三 .....                | 70 |
| <b>第四章 启发式搜索</b> .....   | 71 |
| 4.1 不可撤回方式搜索策略 .....     | 71 |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 4.2        | 可撤回方式搜索策略 .....               | 72         |
| 4.2.1      | 代价树的有界深度优先搜索过程 .....          | 72         |
| 4.2.2      | 回溯策略(BACKTRACK) .....         | 73         |
| 4.2.3      | 图搜索策略 .....                   | 76         |
| 4.3        | 估计函数和启发信息 .....               | 77         |
| 4.4        | 全局最优搜索法 .....                 | 78         |
| 4.5        | 局部择优搜索法 .....                 | 79         |
| 4.6        | 八数码难题的启发式搜索 .....             | 79         |
| 4.7        | A 算法及可采纳的 A* 算法 .....         | 82         |
| 4.7.1      | A 算法 .....                    | 82         |
| 4.7.2      | A* 算法及可采纳性 .....              | 82         |
| 4.8        | 与/或树的启发式搜索 .....              | 83         |
| 4.8.1      | 与/或树求解中的特殊问题 .....            | 83         |
| 4.8.2      | 与/或树的最好优先搜索法 .....            | 86         |
|            | 习题四 .....                     | 89         |
| <b>第五章</b> | <b>计划、动作和学习</b> .....         | <b>90</b>  |
| 5.1        | 感知/计划/动作循环 .....              | 90         |
| 5.2        | 逼近搜索 .....                    | 91         |
| 5.2.1      | 孤岛驱动搜索 .....                  | 91         |
| 5.2.2      | 层次搜索 .....                    | 92         |
| 5.2.3      | 有限范围搜索 .....                  | 93         |
| 5.2.4      | 循环 .....                      | 94         |
| 5.2.5      | 建立反应过程 .....                  | 94         |
| 5.3        | 学习启发式函数 .....                 | 95         |
| 5.3.1      | 显式图 .....                     | 95         |
| 5.3.2      | 隐式图 .....                     | 96         |
| 5.4        | 奖赏代替目标 .....                  | 97         |
|            | 习题五 .....                     | 98         |
| <b>第六章</b> | <b>对手式搜索</b> .....            | <b>100</b> |
| 6.1        | 博弈树的启发式搜索 .....               | 100        |
| 6.1.1      | 博弈树的概念 .....                  | 100        |
| 6.1.2      | 极大极小分析法 .....                 | 101        |
| 6.2        | $\alpha$ - $\beta$ 剪枝技术 ..... | 103        |
| 6.3        | 搜索的完备性与效率 .....               | 104        |
| 6.3.1      | 完备性 .....                     | 104        |
| 6.3.2      | 搜索效率 .....                    | 104        |
| 6.4        | 概率博弈 .....                    | 105        |
| 6.5        | 各种搜索策略归纳 .....                | 106        |
| 6.5.1      | 状态空间表示法 .....                 | 106        |
| 6.5.2      | 与/或树表示法 .....                 | 107        |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 6.5.3 搜索策略性能的衡量准则 | 107 |
| 习题六               | 108 |

### 第三部分 推理方法

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第七章 命题演算和命题演算归结基础</b> | 110 |
| 7.1 对特征值加以约束             | 110 |
| 7.2 语言                   | 111 |
| 7.3 推理规则                 | 112 |
| 7.4 验证定义                 | 113 |
| 7.5 语义                   | 113 |
| 7.5.1 解释                 | 113 |
| 7.5.2 命题真值表              | 114 |
| 7.5.3 可满足性与模型            | 114 |
| 7.5.4 永真性                | 115 |
| 7.5.5 等价                 | 115 |
| 7.5.6 蕴含                 | 115 |
| 7.6 合理性、完备性和命题可满足性       | 116 |
| 7.7 命题演算中的归结             | 117 |
| 7.7.1 子句上的归结             | 117 |
| 7.7.2 转换任意的合式公式为子句的合取式   | 118 |
| 7.7.3 归结反演               | 118 |
| 习题七                      | 120 |
| <b>第八章 谓词逻辑</b>          | 121 |
| 8.1 一阶谓词和量词              | 121 |
| 8.1.1 谓词和个体              | 121 |
| 8.1.2 量词                 | 122 |
| 8.1.3 合式谓词公式             | 123 |
| 8.1.4 自由变元和约束变元          | 123 |
| 8.1.5 谓词公式的解释            | 124 |
| 8.2 含有量词的等价式和蕴含式         | 125 |
| 8.2.1 量词转换律              | 125 |
| 8.2.2 量词辖域的扩张及收缩律        | 125 |
| 8.2.3 量词分配律              | 125 |
| 8.2.4 量词次序的交换            | 126 |
| 8.3 谓词逻辑中的推论规则           | 127 |
| 8.3.1 约束变元的改名规则          | 127 |
| 8.3.2 自由变元的代入规则          | 127 |
| 8.3.3 命题变元的代换规则          | 127 |
| 8.3.4 取代规则               | 127 |
| 8.3.5 全称规定规则 US          | 127 |



|             |                        |     |
|-------------|------------------------|-----|
| 8.3.6       | 存在规定规则 ES .....        | 127 |
| 8.3.7       | 存在推广规则 EG .....        | 128 |
| 8.3.8       | 全称推广规则 UG .....        | 128 |
| 8.4         | 谓词公式的范式 .....          | 128 |
| 8.4.1       | 前束范式 .....             | 128 |
| 8.4.2       | 斯柯林范式 .....            | 129 |
| 习题八         | .....                  | 129 |
| <b>第九章</b>  | <b>归结原理</b> .....      | 131 |
| 9.1         | 置换与合一 .....            | 131 |
| 9.1.1       | 置换 .....               | 131 |
| 9.1.2       | 合一 .....               | 131 |
| 9.2         | 归结原理 .....             | 133 |
| 9.2.1       | 化为子句形的步骤 .....         | 133 |
| 9.2.2       | 归结推理规则 .....           | 135 |
| 9.2.3       | 含有变量子句的归结 .....        | 136 |
| 9.3         | 归结推理在人工智能中的应用 .....    | 138 |
| 9.3.1       | 归结反演在定理证明中的应用 .....    | 138 |
| 9.3.2       | 简化策略 .....             | 142 |
| 9.3.3       | 改进策略 .....             | 142 |
| 9.4         | 由归结反演求取答案的方法 .....     | 144 |
| 9.4.1       | 问题求解中的谓词演算 .....       | 144 |
| 9.4.2       | 答案求取过程 .....           | 146 |
| 9.4.3       | 含有全称量词量化变量的目标公式 .....  | 147 |
| 习题九         | .....                  | 150 |
| <b>第十章</b>  | <b>基于规则的演绎系统</b> ..... | 152 |
| 10.1        | 规则正向演绎系统 .....         | 152 |
| 10.1.1      | 事实表达式的与或形变换 .....      | 152 |
| 10.1.2      | 事实表达式的与或图表示 .....      | 153 |
| 10.1.3      | 与或图的 F 规则变换 .....      | 154 |
| 10.1.4      | 作为终止条件的目标公式 .....      | 156 |
| 10.2        | 规则逆向演绎系统 .....         | 157 |
| 10.2.1      | 目标表达式的与或形式 .....       | 157 |
| 10.2.2      | 与或图的 B 规则变换 .....      | 158 |
| 10.2.3      | 作为终止条件的事实节点的一致解图 ..... | 158 |
| 10.3        | 规则双向演绎系统 .....         | 160 |
| 习题十         | .....                  | 161 |
| <b>第十一章</b> | <b>基于逻辑的规划方法</b> ..... | 163 |
| 11.1        | 积木世界的机器人规划 .....       | 163 |
| 11.1.1      | 积木世界的机器人问题 .....       | 163 |
| 11.1.2      | 用 F 规则求解规划序列 .....     | 164 |

|   |            |
|---|------------|
| 11.2 STRIPS 规划系统 .....                        | 165        |
| 11.2.1 STRIPS 系统的组成 .....                     | 165        |
| 11.2.2 STRIPS 系统规划过程 .....                    | 165        |
| 11.2.3 含有多重解答的规划 .....                        | 168        |
| 11.3 STRIPS 规划分析 .....                        | 171        |
| 11.3.1 递归的 STRIPS .....                       | 171        |
| 11.3.2 Sussman 异常 .....                       | 173        |
| 11.3.3 逆向搜索方法 .....                           | 173        |
| 11.3.4 规划空间和部分有序规划 .....                      | 175        |
| 11.3.5 分层规划 .....                             | 178        |
| 11.3.6 学习规划 .....                             | 183        |
| 11.4 具有学习能力的规划系统 .....                        | 184        |
| 11.4.1 PULP-1 系统的结构与操作方式 .....                | 185        |
| 11.4.2 PULP-1 的世界模型和规划结果 .....                | 186        |
| 习题十一 .....                                    | 187        |
| <b>第十二章 不确定信息的推理 .....</b>                    | <b>191</b> |
| 12.1 回顾概率论 .....                              | 191        |
| 12.1.1 基本观点 .....                             | 191        |
| 12.1.2 条件概率 .....                             | 193        |
| 12.2 概率性推理 .....                              | 194        |
| 12.2.1 通用方法 .....                             | 194        |
| 12.2.2 条件独立性 .....                            | 196        |
| 12.3 Bayes 网络 .....                           | 196        |
| 12.4 Bayes 网络中的推理范型 .....                     | 198        |
| 12.5 不确定证据 .....                              | 199        |
| 12.6 D-分离 .....                               | 200        |
| 12.7 复合树中的概率推理 .....                          | 201        |
| 12.7.1 之上证据(Evidence Above) .....             | 201        |
| 12.7.2 之下证据(Evidence Below) .....             | 202        |
| 12.7.3 之上之下证据(Evidence Above and Below) ..... | 204        |
| 12.7.4 举例 .....                               | 204        |
| 习题十二 .....                                    | 206        |
| <b>第十三章 其他推理技术 .....</b>                      | <b>208</b> |
| 13.1 非单调推理 .....                              | 208        |
| 13.1.1 非单调逻辑 .....                            | 208        |
| 13.1.2 非单调系统 .....                            | 208        |
| 13.2 限定推理 .....                               | 209        |
| 13.2.1 最小模型 .....                             | 209        |
| 13.2.2 按最小化原则建立假设 .....                       | 209        |
| 13.3 缺省推理 .....                               | 211        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 13.3.1 缺省推理规则的表达 .....      | 211 |
| 13.3.2 缺省规则的分类 .....        | 211 |
| 13.4 自认识推理 .....            | 213 |
| 13.4.1 自认识逻辑的描述 .....       | 213 |
| 13.4.2 自认识逻辑系统 AE 的语义 ..... | 214 |
| 13.5 真值维护系统(TMS) .....      | 214 |
| 习题十三 .....                  | 216 |

## 第四部分 知识获取

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第十四章 机器学习</b> .....   | 218 |
| 14.1 概述 .....            | 218 |
| 14.1.1 机器学习的定义及其特点 ..... | 218 |
| 14.1.2 机器学习的发展简史 .....   | 220 |
| 14.2 机器学习的基本模型 .....     | 220 |
| 14.3 机器学习的分类 .....       | 222 |
| 14.3.1 机器学习方法 .....      | 222 |
| 14.3.2 学习方法和系统的评价 .....  | 224 |
| 14.4 机器学习的研究目标 .....     | 227 |
| 习题十四 .....               | 228 |
| <b>第十五章 实例学习</b> .....   | 229 |
| 15.1 实例学习概念及其分类 .....    | 229 |
| 15.1.1 实例学习的两个空间模型 ..... | 229 |
| 15.1.2 实例学习的分类 .....     | 234 |
| 15.2 学习单个概念 .....        | 234 |
| 15.2.1 变型空间方法 .....      | 234 |
| 15.2.2 改进假设方法 .....      | 238 |
| 15.2.3 产生与测试方法 .....     | 239 |
| 15.2.4 方案示例方法 .....      | 241 |
| 15.3 学习多个概念 .....        | 243 |
| 15.3.1 AQ11 程序 .....     | 244 |
| 15.3.2 ID3 系列方法 .....    | 245 |
| 15.4 学习多步任务 .....        | 255 |
| 15.4.1 LEX 的结构 .....     | 255 |
| 15.4.2 LEX 的运行实例 .....   | 256 |
| 15.4.3 问题求解器 .....       | 257 |
| 15.4.4 评论器 .....         | 257 |
| 15.4.5 归纳器 .....         | 258 |
| 15.4.6 问题产生器 .....       | 258 |
| 习题十五 .....               | 259 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第十六章 类比学习</b> .....      | 260 |
| 16.1 类比学习定义 .....           | 260 |
| 16.1.1 类比学习定义 .....         | 260 |
| 16.1.2 类比学习的类型 .....        | 261 |
| 16.2 类比推理 .....             | 262 |
| 16.2.1 可扩展关系表示法 .....       | 262 |
| 16.2.2 匹配机制 .....           | 263 |
| 16.2.3 类比学习 .....           | 264 |
| 16.3 转换类比学习系统 .....         | 264 |
| 16.3.1 转换类比系统的基本原理 .....    | 264 |
| 16.3.2 应用转换类比的求解 .....      | 265 |
| 16.3.3 实例 .....             | 267 |
| 16.3.4 派生类比系统 .....         | 268 |
| 16.4 因果关系型类比学习 .....        | 269 |
| 16.5 联想类比学习 .....           | 272 |
| 习题十六 .....                  | 273 |
| <b>第十七章 其他学习方法</b> .....    | 274 |
| 17.1 记忆学习 .....             | 274 |
| 17.1.1 记忆学习的模式及主要问题 .....   | 274 |
| 17.1.2 记忆学习应用举例 .....       | 276 |
| 17.2 传授学习 .....             | 277 |
| 17.3 归纳学习 .....             | 279 |
| 17.3.1 概述 .....             | 279 |
| 17.3.2 基于归纳的发现系统 CASM ..... | 280 |
| 17.4 解释学习 .....             | 281 |
| 17.4.1 基于解释的学习简介 .....      | 281 |
| 17.4.2 解释学习的工作原理 .....      | 281 |
| 17.4.3 典型系统分析 .....         | 285 |
| 17.5 机器学习的展望 .....          | 290 |
| 习题十七 .....                  | 290 |
| <b>第五部分 人工智能系统</b>          |     |
| <b>第十八章 产生式系统</b> .....     | 291 |
| 18.1 产生式规则 .....            | 291 |
| 18.1.1 产生式规则 .....          | 291 |
| 18.1.2 基于产生式的推理模式 .....     | 292 |
| 18.2 产生式系统 .....            | 292 |
| 18.2.1 产生式系统的组成 .....       | 292 |
| 18.2.2 产生式系统的运行过程 .....     | 293 |
| 18.2.3 控制策略与常用算法 .....      | 293 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 18.3 产生式系统的应用 .....           | 296        |
| 18.4 产生式系统的程序实现 .....         | 296        |
| 18.4.1 产生式规则的程序语言实现 .....     | 296        |
| 18.4.2 规则库的程序实现 .....         | 298        |
| 18.4.3 动态数据库的程序实现 .....       | 298        |
| 18.4.4 推理机的程序实现 .....         | 298        |
| 习题十八 .....                    | 299        |
| <b>第十九章 专家系统</b> .....        | <b>300</b> |
| 19.1 概述 .....                 | 300        |
| 19.1.1 专家系统的由来 .....          | 300        |
| 19.1.2 专家系统的定义 .....          | 302        |
| 19.1.3 专家系统的分类 .....          | 304        |
| 19.2 专家系统的结构 .....            | 305        |
| 19.2.1 专家系统的一般结构 .....        | 305        |
| 19.2.2 专家系统的知识构成 .....        | 308        |
| 19.3 黑板系统结构 .....             | 321        |
| 19.3.1 黑板模型 .....             | 321        |
| 19.3.2 黑板框架结构 .....           | 323        |
| 19.3.3 HEARSAY-III 系统简介 ..... | 325        |
| 19.4 专家系统开发工具 .....           | 327        |
| 19.4.1 智能程序设计语言 .....         | 327        |
| 19.4.2 骨架系统 .....             | 332        |
| 19.4.3 通用开发工具 .....           | 336        |
| 19.5 一个典型的专家系统 MYCIN .....    | 338        |
| 习题十九 .....                    | 345        |
| <b>第二十章 基于知识的系统</b> .....     | <b>347</b> |
| 20.1 面对实际问题 .....             | 347        |
| 20.2 用 Horn 子句推理 .....        | 347        |
| 20.3 维护动态知识库 .....            | 351        |
| 20.4 基于规则的专家系统 .....          | 354        |
| 20.5 规则学习 .....               | 356        |
| 20.5.1 学习命题演算规则 .....         | 357        |
| 20.5.2 学习一阶逻辑规则 .....         | 360        |
| 20.5.3 基于解释的产生器 .....         | 363        |
| 20.6 知识库系统的组成 .....           | 364        |
| 20.6.1 知识库 .....              | 364        |
| 20.6.2 知识库管理系统 .....          | 365        |
| 20.6.3 知识库系统 .....            | 366        |
| 20.7 知识库系统开发方法和工具 .....       | 367        |
| 20.7.1 通用型的人工智能语言 .....       | 367        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 20.7.2 专用人工智能开发工具 .....         | 367 |
| 20.8 知识库系统的应用 .....             | 367 |
| 20.8.1 知识库系统应用的特点 .....         | 367 |
| 20.8.2 知识库应用系统的开发特点及开发过程 .....  | 367 |
| 20.8.3 知识库系统的类型及应用领域 .....      | 368 |
| 20.9 知识库系统在图形处理及 CAD 中的应用 ..... | 369 |
| 20.9.1 图形的构造 .....              | 369 |
| 20.9.2 图形的坐标变换 .....            | 370 |
| 20.9.3 图形逻辑理论基本内容 .....         | 371 |
| 20.10 知识库系统的发展趋势 .....          | 372 |
| 20.10.1 扩大知识表示 .....            | 372 |
| 20.10.2 知识推理及推理的不确定性 .....      | 372 |
| 20.10.3 知识获取和机器学习 .....         | 373 |
| 习题二十 .....                      | 374 |

## 第六部分 新型人工智能算法

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第二十一章 模糊算法</b> .....    | 376 |
| 21.1 模糊算法概述 .....          | 376 |
| 21.1.1 模糊集合的概念 .....       | 377 |
| 21.1.2 模糊集合的操作 .....       | 382 |
| 21.1.3 模糊关系 .....          | 385 |
| 21.1.4 扩张原理 .....          | 388 |
| 21.1.5 模糊逻辑 .....          | 389 |
| 21.1.6 模糊规则 .....          | 391 |
| 21.1.7 最大-最小合成 .....       | 393 |
| 21.1.8 可能性和概率 .....        | 395 |
| 21.1.9 转换规则 .....          | 397 |
| 21.1.10 模糊专家系统中的不确定性 ..... | 399 |
| 21.2 模糊规则推理 .....          | 401 |
| 21.2.1 模糊假言推理和广义假言推理 ..... | 401 |
| 21.2.2 模糊拒取式推理 .....       | 402 |
| 21.2.3 假言三段论式推理 .....      | 402 |
| 21.3 模糊决策推理 .....          | 403 |
| 21.4 应用举例 .....            | 403 |
| 习题二十一 .....                | 403 |
| <b>第二十二章 人工神经网络</b> .....  | 405 |
| 22.1 生物神经元模型及基本特征 .....    | 405 |
| 22.2 前向网络模型及 BP 算法 .....   | 406 |
| 22.2.1 网络结构 .....          | 406 |
| 22.2.2 BP 算法 .....         | 407 |

|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 22.2.3       | BP 算法的改进方案           | 409        |
| 22.3         | 反馈网络模型及 Hopfield 算法  | 409        |
| 22.3.1       | 网络结构及学习规则            | 409        |
| 22.3.2       | 能量函数与稳定性             | 411        |
| 22.3.3       | 存储容量及改进学习规则          | 412        |
| 22.3.4       | 连续 Hopfield 网络       | 412        |
| 22.4         | 自组织及随机神经网络           | 415        |
| 22.4.1       | Hamming Net & MAXNET | 416        |
| 22.4.2       | 自适应共振理论              | 417        |
| 22.4.3       | Kohonen 网络           | 418        |
| 22.4.4       | 对传网络(CPN 网络)         | 419        |
| 22.4.5       | 随机网络                 | 420        |
| 22.5         | 神经网络的应用              | 421        |
| 22.5.1       | 专家系统                 | 421        |
| 22.5.2       | 信号处理与图像              | 422        |
| 22.5.3       | 智能控制                 | 423        |
| 22.5.4       | 模式识别                 | 423        |
| 22.5.5       | 神经网络多媒体              | 424        |
|              | 习题二十二                | 425        |
| <b>第二十三章</b> | <b>遗传算法</b>          | <b>426</b> |
| 23.1         | 遗传算法的主要步骤            | 426        |
| 23.1.1       | 遗传算法与生物进化            | 426        |
| 23.1.2       | 遗传算法的过程              | 426        |
| 23.1.3       | 遗传算法的特点              | 429        |
| 23.2         | 表示模式                 | 429        |
| 23.2.1       | 模式                   | 429        |
| 23.2.2       | 模式定理                 | 430        |
| 23.2.3       | 积木块假设                | 431        |
| 23.3         | 选择操作                 | 432        |
| 23.4         | 交叉操作                 | 433        |
| 23.5         | 变异操作                 | 434        |
| 23.6         | 并行遗传算法               | 435        |
| 23.6.1       | 主从式(master-slave)模型  | 435        |
| 23.6.2       | 粗粒度模型                | 436        |
| 23.6.3       | 细粒度模型                | 437        |
| 23.7         | 基于遗传算法的学习系统          | 437        |
| 23.7.1       | 概述                   | 437        |
| 23.7.2       | 分类器系统                | 438        |
| 23.7.3       | 学习系统 LS-1            | 440        |
|              | 习题二十三                | 441        |

## 第七部分 交互与通信

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第二十四章 代理间的通信</b> ..... | 443 |
| 24.1 代理(agent)间的通信 .....  | 443 |
| 24.1.1 规划说行为 .....        | 444 |
| 24.1.2 实现说行为 .....        | 444 |
| 24.2 理解语言串 .....          | 444 |
| 24.2.1 短语结构语法 .....       | 445 |
| 24.2.2 语义分析 .....         | 447 |
| 24.2.3 扩展语法 .....         | 451 |
| 24.3 有效的通信 .....          | 451 |
| 24.3.1 运用上下文 .....        | 451 |
| 24.3.2 运用知识来解决多义问题 .....  | 452 |
| 24.4 自然语言的处理 .....        | 453 |
| 习题二十四 .....               | 454 |
| <b>第二十五章 代理的构造</b> .....  | 455 |
| 25.1 三层构造 .....           | 455 |
| 25.2 目标裁决(公断) .....       | 456 |
| 25.3 三塔结构 .....           | 457 |
| 25.4 引导程序 .....           | 457 |
| 习题二十五 .....               | 458 |
| <b>参考文献</b> .....         | 459 |



# 第一章 绪 论

## 1.1 人工智能学科的由来和发展史

“人工智能”(Artificial Intelligence 简称 AI)是计算机学科的一个重要分支,在当前被人们称为世界三大尖端技术之一(空间技术,能源技术,人工智能),近三十年来它获得了迅速的发展,在很多学科领域都获得了广泛应用,并取得了丰硕的成果,人工智能已逐步成为一个独立的分支,无论在理论和实践上已自成一系统。在国内外许多高等学府均在硕士和博士研究生学位课程或重要选修课课程中开设了人工智能或人工智能的相关课程,为进一步研究和开拓应用培养了人才。

### 1.1.1 人工智能的定义

著名的美国斯坦福大学人工智能研究中心尼尔逊(Nilson)教授对人工智能下了这样一个定义:“人工智能是关于知识的学科——怎样表示知识以及怎样获得知识并使用知识的科学。”而另一名著名的美国大学 MIT 的 Winston 教授认为:“人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能的工作。”这些说法反映了人工智能学科的基本思想和基本内容。所以我们可以这样来概括即人工智能是研究人类智能活动的规律,构造具有一定智能行为的人工系统。人工智能研究的近期目标是:研究如何使用计算机去完成以往需要人的智力才能胜任的工作。也即研究如何通过计算机的软硬件系统来模拟人类某些智能行为的基本理论、方法和技术。人工智能的研究是从所谓问题求解开始的,早期的人工智能问题是从智力游戏难题、弈棋、简单数学定理证明等起步的。例如 1955 年 A. L. 塞缪尔(A. L. Samuel)编制了一个下棋程序,随着该程序的完善和学习性能的提高,四年后它就战胜了源程序的编程者;又过三年,此程序战胜了美国一个保持八年之久的常胜不败的世界冠军。该项工作对于机器的自学习机能,进行了较好的探索。

人工智能的远期研究目标是:探讨人类智能的基本机理,研究如何用各种自动机来模拟人的某些思维过程和智能行为。这就要在思维科学的指导下,通过对传统的计算机的软、硬件的结构改造,不断提高系统的思维模拟水平。人工智能的技术是从人的智能行为(如感知、学习、知策、创造、语言等)中模仿、总结、提炼得出的,除去计算机科学与技术之外,它还涉及自动化技术,机器学、心理学、逻辑学、语言学、哲学等几乎是自然科学和社会科学的所有学科,其范围已远远超出了计算机科学的范畴。人工智能与思维科学的关系是实践和理论的关系,人工智能处于思维科学的技术应用层次。目前,人工智能还仅仅以实现推理为目标,关于学习和联想的机能尚处于研究阶段。因此,在当前要解决较复杂的实际问题。人工智能的理论和方法,主要还是以“专家系统”(Expert System, 简称 ES)的形式到实际应用。所谓专家系统,即是一个智能程序系统,系统内部拥有大量专家水平的专门领域知识与实践经验,系统应用人工智能技术和计算机技术,根据这些经验和知识,进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程,因而它能