

国家级智能科学基础系列课程教学团队示范教材

高级专家系统： 原理、设计及应用 （第二版）

Advanced Expert Systems: Principles,
Design and Applications

蔡自兴 [美] 约翰·德尔金 龚涛 © 著



科学出版社

国家级智能科学基础系列课程教学团队示范教材

高级专家系统： 原理、设计及应用

(第二版)

蔡自兴 [美]约翰·德尔金 龚涛 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书第二版介绍专家系统的理论基础、设计技术及其应用,共11章。书中概述专家系统定义、发展历史、类型、结构和特点以及专家系统构建的步骤;讨论开发专家系统时可能采用的人工智能的知识表示方法和搜索推理技术;探讨专家的解释机制;研究基于规则专家系统、基于框架专家系统、基于模型专家系统、基于Web专家系统和实时专家系统的结构、推理技术、设计方法及应用示例;介绍人工智能和专家系统的编程语言和开发工具;展望专家系统的发展趋势和研究课题,并简介新型专家系统的特征与示例。本书内容比第一版有较大的更新,特别是补充了许多专家系统的设计方法、编程技术和应用实例。

本书作为专著和教材,可供高等学校计算机、智能科学与技术、自动化、自动控制、机电工程、电子信息和电子工程及其他专业本科高年级学生和研究生作为“专家系统”课程的教材或参考书,也可供从事专家系统、人工智能和智能系统研究、开发和应用的科技工作者使用。

图书在版编目(CIP)数据

高级专家系统:原理、设计及应用/蔡自兴,(美)德尔金,龚涛著.
—2版.—北京:科学出版社,2014.6

国家级智能科学基础系列课程教学团队示范教材

ISBN 978-7-03-040959-1

I. ①高… II. ①蔡… ②德… ③龚… III. ①专家系统-研究生-教材
IV. ①TP182

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 121932 号

责任编辑:余 江 于海云 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第 二 版 印张:25 1/4

2014年6月第一次印刷 字数:592 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



Advanced Expert Systems: Principles, Design and Applications Second Edition

by Zixing Cai, John Durkin, Tao Gong

Science Press
Beijing

第二版前言

专家系统是人工智能最重要和最广泛的应用研究领域之一，在过去 40 多年中获得很大发展，对国民经济各个部门和科学技术各个领域以及人民文化生活与物质生活的方方面面做出不可磨灭的贡献。

本书第一版于 2005 年出版后，受到广大高校师生和其他读者的热烈欢迎。据书市调查显示：本书第一版与中译本《专家系统原理与编程》曾成为国内最受欢迎的两部专家系统著作。本书第一版曾长期脱销，读者反映“一书难求”。这次第二版的问世，将为书籍市场提供一本面貌一新的专家系统著作，尽可能满足读者多年来的渴求。

本书第二版介绍专家系统的理论基础、设计技术及其应用，共 11 章。书中概述专家系统定义、发展历史、类型、结构和特点以及专家系统构建的步骤；讨论开发专家系统时可能采用的人工智能的知识表示方法和搜索推理技术；探讨专家的解释机制；研究基于规则专家系统、基于框架专家系统、基于模型专家系统、基于 Web 专家系统和实时专家系统的结构、推理技术、设计方法及应用示例；介绍人工智能专家系统的编程语言和开发工具；展望专家系统的发展趋势和研究课题，并简介新型专家系统的特征与示例。本书内容比第一版有较大的更新，特别是补充了许多专家系统的设计方法、编程技术和应用实例，使本书整体水平得到进一步提升。新版增加内容的篇幅较大，主要包括专家系统的发展史、分类和人在专家系统中的作用；基于规则的反向推理专家系统、基于规则的正向推理专家系统、基于框架专家系统的设计；各种实时专家系统的案例；MATLAB 等专家系统的新型编程工具等。

本书既是教材又是专著，可作为高等学校计算机、智能科学与技术、自动化、控制工程、机电工程、电子信息和电子工程及其他专业本科高年级学生和研究生“专家系统”课程教材或参考书，也可供从事专家系统、人工智能和智能系统研究、开发和应用的科技工作者参考。

本书第一版和第二版都是由蔡自兴、(美)约翰·德尔金(John Durkin)和龚涛三人合作编著的。约翰·德尔金博士是国际著名的专家系统专家、美国阿克伦大学(University of Akron)电气与计算机系教授。他在麦克米兰(Macmillan)出版公司发表的专著 *Expert Systems: Design and Development* 至今仍不失为专家系统的国际经典之作。该书更多的精彩内容已被收入本书，以飨读者。我们在本书修订过程中的合作，使我们的友谊获得持续发展，并希望为中美两国学者和人民的友谊和合作做出微薄贡献。借本书第二版问世之际，我衷心祝愿约翰·德尔金先生健康快乐，生活美满、学术之树常青。

龚涛为本书第一版的编著发挥过重要作用。当年他还是我指导的一位博士研究生，尚未毕业，处于学习阶段。现在，他已取得长足进步，是东华大学信息科学与技术学院的一位比较有为的青年学者，在免疫计算等领域崭露头角。我希望他攻坚克难，继续攀登，争取新的突破，获得更大的进步，做出更大贡献。

本书第二版编写过程中，我们从国内外许多专家系统著作中吸取了丰富的营养；在参考文献中列出这些著作及其作者，谨向他们致以诚挚感谢。中南大学及其信息科学与工程学院、美国阿克伦大学及其电气与计算机工程系、东华大学及其信息科学与技术学院的有关领

导和老师，对本书修订工作提供了有力支持和无私帮助；在此谨向他们表示由衷感谢。蔡竞峰和蔡清波两位博士为本书提供了大量的最新参考资料，并提出不少宝贵建议；《冶金自动化》杂志沈黎颖主编也提供了许多资料。郭璠、彭梦、文莎、吴冰璐等绘制了部分插图。科学出版社的有关领导和编辑也为本书的编辑出版付出了智慧和辛劳。在此，一并向他们致以亲切问候和谢意。

专家系统仍处于持续发展时期，尚有许多问题有待解决，我们也需要进一步深入研究与学习。因此，本书修订本难免还存在一些问题与不足，敬请诸位批评指正。

蔡自兴

2014年5月26日

于长沙中南大学民主楼

第一版前言

专家系统实质上为一计算机程序系统,它能够以人类专家的水平完成特别困难的某一专业领域的任务。作为人工智能最重要和最广泛的一个应用研究领域,专家系统在过去 30 多年中取得很大进展,其基础理论研究不断深入,有所创新;技术水平不断提高,应用领域不断扩大,研发队伍更加壮大。现在,专家系统正在应用开发中得到进一步发展。

专家系统的成功开发与应用,对实现脑力劳动自动化具有特别重要的意义。正如国际知名人工智能专家、首届国家最高科学技术奖得主、中国科学院院士吴文俊教授所说:“现在由于计算机的出现,人类正在进入一个崭新的工业革命时代,它以机器代替或减轻人的脑力劳动为其重要标志。”专家系统已为人类物质文明建设和精神文明建设做出重要贡献,并将在未来岁月中,与时俱进,不断发展和走向成熟,在发展中为人类社会做出新的更大的贡献。专家系统必将成为 21 世纪人类进行智能管理与决策的更加得力工具,成为人类可信赖的重要智能助手。

计算机不可能在每个方面都突然变得具有和人一样的智能。现在的专家系统只不过是傻瓜专家。它只在非常狭窄的有限领域里显得聪明。毫无疑问,更多的智能机器将会逐步出现,专家系统技术将继续发展。智能机器和智能系统的发展势不可挡,是不以人的意志为转移的。

本书介绍专家系统的理论基础、设计技术及其应用,是一部比较系统和全面的专家系统专著与教材,反映出国内外专家系统研究的最新进展。本书共 11 章。第 1 章概述专家系统定义、发展历史、类型、结构和特点以及专家系统构建的步骤。第 2 章讨论开发专家系统时可能采用的人工智能的知识表示方法和搜索推理技术,包括传统人工智能方法和计算智能的一些方法。第 3 章至第 5 章逐一探讨了专家的解释机制、开发工具和评估方法。第 6 章至第 9 章分别研究了基于规则专家系统、基于框架专家系统、基于模型专家系统和基于 Web 专家系统的结构、推理技术、设计方法及应用示例。第 10 章介绍人工智能和专家系统的编程语言,涉及 LISP、Prolog 和关系数据库操作语言等。第 11 章展望专家系统的发展趋势和研究课题,并简介新型专家系统的特征与示例。由此也可以看出,专家系统已经形成学科体系,包括基础理论、技术方法和实际应用诸方面。

本书由蔡自兴、约翰·德尔金(John Durkin)和龚涛三人合作完成。德尔金博士是国际著名的专家系统专家、美国阿克伦(Akron)大学电气与计算机系教授。我们的合作是中美两国学者友谊和合作的又一范例,是中美两国人民友好情谊的又一见证。

本书既是一本专著,也可作为高等学校计算机、电子信息、自动化、自动控制和机电工程以及其他专业研究生和高年级学生的“专家系统”课程教材,可供从事专家系统教学、研究、开发和应用的科技工作者及广大高校师生参考。

在本书编写过程中参阅了国内外许多关于专家系统的著作,从这些著作中吸取了新的营养。这些著作的作者 J. S. Albus, K. L. Clark, Hayes-Roth, F. Holtz, B. K. P. Horn, C. A. Kulikowski, C. T. Leondes, G. F. Luger, F. G. McCabe, A. M. Meystel, C. V. Negoita, D. A. Schlobohm, S. M. Weiss, S. M. Weiss, P. H. Winston, Yoshinobu Kitamura, 敖志刚, 白

润, 陈洁, 陈世福, 陈卫芹, 段韶芬, 蒋慰孙, 林尧瑞, 刘金琨, 刘文礼, 石群英, 吴信东, 武波, 徐光祐, 尹朝庆, 张博锋, 张建勋等专家教授。谨向上列各位专家和朋友表示衷心感谢。

中南大学及其信息科学与工程学院、美国 Akron 大学及其电气与计算机工程系的有关领导和师生对本书写作提供了宽松环境和多方协助。蔡自兴主持的国家级研究课题组成员和蔡自兴所指导的研究生们为本书做出特别贡献。蔡清波和蔡竞峰博士为本书提供了大量的最新资料, 并提出不少宝贵建议。科学出版社的有关领导和责任编辑匡敏也为本书的编辑出版付出了辛勤劳动。在此, 也向他们深表谢意。

专家系统仍然是一门比较年轻的学科, 仍处于蓬勃发展时期, 对许多问题作者并未深入研究, 一些有价值的新内容也来不及收入本书。加上编著时间很紧, 作者知识和水平有限, 书中难免存在不足之处, 敬请诸位批评指正。

蔡自兴 德尔金(Durkin) 龚涛

2005 年 5 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 专家系统概述	1
1.1 专家系统的定义	1
1.2 专家系统的发展历史	4
1.3 专家系统的分类	11
1.3.1 系统应用领域	11
1.3.2 问题求解任务	12
1.3.3 系统工作原理	16
1.4 专家系统的结构	16
1.5 专家系统的特点	18
1.6 构建专家系统的步骤	22
1.7 人在专家系统中的作用	24
1.8 本章小结	26
习题 1	27
第 2 章 专家系统的知识表示和推理	28
2.1 知识表示	28
2.1.1 知识的类型	28
2.1.2 对象-属性-值三元组	29
2.1.3 规则	30
2.1.4 框架	32
2.1.5 语义网络	34
2.1.6 谓词逻辑	35
2.2 知识获取	37
2.2.1 基本概念和知识类型	37
2.2.2 知识提取任务	39
2.2.3 知识获取的时间需求和困难	40
2.3 知识推理	41
2.3.1 人类的推理	41
2.3.2 机器的推理	43
2.4 不确定推理	44
2.4.1 关于证据的不确定性	44
2.4.2 关于结论的不确定性	45
2.4.3 多个规则支持同一事实的不确定性	46
2.5 基于规则的推理系统	47

2.6	模糊逻辑	48
2.6.1	模糊集合、模糊逻辑及其运算	48
2.6.2	模糊逻辑推理	51
2.6.3	模糊判决方法	53
2.7	人工神经网络	54
2.7.1	人工神经网络研究的进展	55
2.7.2	人工神经网络的结构	56
2.7.3	人工神经网络的典型模型	58
2.7.4	基于神经网络的知识表示与推理	59
2.8	进化计算	64
2.8.1	遗传算法基本原理	64
2.8.2	遗传算法求解步骤	67
2.9	免疫计算	72
2.9.1	自体 and 异体的知识表示	72
2.9.2	异体特征空间的表示	73
2.9.3	异体特征空间的搜索与推理	74
2.10	本章小结	77
	习题 2	78
第 3 章	专家系统的解释机制	80
3.1	解释机制的行为	80
3.2	解释机制的要求	81
3.3	解释机制的结构	82
3.3.1	预制文本法	83
3.3.2	追踪解释法	83
3.3.3	策略解释法	88
3.3.4	自动程序员法	91
3.3.5	基于事实的自动解释机制	93
3.4	解释机制的实现	94
3.4.1	预制文本法的实现	94
3.4.2	基于事实的自动解释机制的实现	95
3.5	解释机制的 Web 可视化	98
3.5.1	基于 Web 的解释界面设计	98
3.5.2	解释信息的可视化显示	99
3.5.3	解释机制的 Web 可视化案例	100
3.6	本章小结	104
	习题 3	104
第 4 章	基于规则的专家系统	105
4.1	基于规则专家系统的发展	105
4.2	基于规则专家系统的工作模型	107
4.2.1	产生式系统	107

4.2.2	基于规则专家系统的工作模型和结构	120
4.3	基于规则专家系统的特点	122
4.3.1	基于规则专家系统的优点	122
4.3.2	基于规则专家系统的缺点	124
4.4	基于规则专家系统的设计过程	125
4.4.1	专家知识的描述	125
4.4.2	知识的使用和决策解释	128
4.5	反向推理规则专家系统的设计	129
4.5.1	基于规则专家系统的一般设计方法	130
4.5.2	反向推理规则专家系统的设计任务	130
4.6	正向推理规则专家系统的设计	142
4.6.1	正向规则专家系统的一般设计方法	142
4.6.2	正向推理规则专家系统的设计任务	143
4.7	基于规则专家系统的设计示例	152
4.7.1	MYCIN 概述	152
4.7.2	咨询子系统	154
4.7.3	静态数据库	156
4.7.4	动态数据库	160
4.7.5	非精确推理	161
4.7.6	控制策略	163
4.8	基于规则专家系统的应用实例	165
4.8.1	机器人规划专家系统	165
4.8.2	基于模糊规则的飞机空气动力学特征预测专家系统	169
4.9	本章小结	175
	习题 4	176
第 5 章	基于框架的专家系统	178
5.1	基于框架的专家系统概述	178
5.2	框架的表示与推理	179
5.2.1	框架的表示	179
5.2.2	框架的推理	179
5.3	基于框架专家系统的定义和结构	181
5.4	基于框架专家系统的概念剖析	182
5.4.1	框架的类剖析	182
5.4.2	框架的子类剖析	183
5.4.3	实例框架剖析	184
5.4.4	框架的属性剖析	184
5.5	基于框架专家系统的继承、槽和方法	185
5.5.1	基于框架专家系统的继承	185
5.5.2	基于框架专家系统的槽	187
5.5.3	基于框架专家系统的方法	188

5.6 基于框架专家系统的设计	188
5.6.1 框架专家系统与规则专家系统的对比	188
5.6.2 基于框架专家系统的一般设计任务	190
5.7 基于框架专家系统的设计示例	201
5.7.1 基于槽的对象间通信	202
5.7.2 消息传递	203
5.8 基于框架专家系统的应用实例	203
5.8.1 基于框架的系统知识表示与获取	204
5.8.2 故障诊断推理与系统实现	206
5.9 本章小结	206
习题 5	207
第 6 章 基于模型的专家系统	208
6.1 基于模型专家系统的提出	208
6.2 基于神经网络的专家系统	210
6.2.1 传统专家系统与神经网络的集成	210
6.2.2 基于神经网络专家系统的结构	211
6.2.3 基于神经网络的专家系统实例	212
6.3 基于概率模型的专家系统	216
6.3.1 主观概率与 Monte Carlo 模拟	216
6.3.2 概率模型	217
6.4 基于模型专家系统的设计方法	219
6.4.1 因果时间本体论	219
6.4.2 推理系统设计	225
6.4.3 可变系统的本体论	228
6.5 基于模型专家系统的实例	229
6.5.1 核电站应用实例	230
6.5.2 电路和汽车启动部分的实例	234
6.6 本章小结	236
习题 6	237
第 7 章 基于 Web 的专家系统	238
7.1 基于 Web 专家系统的结构	238
7.2 基于 Web 专家系统的应用实例	243
7.2.1 基于 Web 的飞机故障远程诊断专家系统	243
7.2.2 基于 Web 的拖网绞机专家系统	245
7.2.3 基于 Web 的通用配套件选型专家系统	247
7.2.4 基于 Web 的首蓿产品开发与利用专家系统	251
7.2.5 基于 Web 的好莱坞经理决策支持系统	251
7.3 基于 Web 专家系统的开发工具	260
7.4 本章小结	264
习题 7	265

第 8 章 实时专家系统	266
8.1 实时专家系统的定义和技术要求	266
8.1.1 实时专家系统的定义	266
8.1.2 实时专家系统的设计要求和技术要点	267
8.2 基于单片机的实时专家系统	268
8.2.1 基于单片机的实时专家系统结构	268
8.2.2 基于单片机的实时专家系统案例分析	269
8.3 基于嵌入式系统的实时专家系统	270
8.3.1 基于嵌入式系统的实时专家系统结构	271
8.3.2 基于嵌入式系统的实时专家系统案例	271
8.3.3 基于手机的实时专家系统案例	273
8.4 实时控制与决策的专家系统 RTXPS	275
8.5 高炉监控专家系统	276
8.6 实时专家系统研究的难点与生长点	280
8.7 本章小结	282
习题 8	283
第 9 章 专家系统的评估	284
9.1 评估专家系统的原因	284
9.1.1 发展专家系统的需要	284
9.1.2 专家系统评估的受益者	285
9.2 评估专家系统的内容和时机	286
9.2.1 评估专家系统的内容	286
9.2.2 评估专家系统的时机	289
9.3 专家系统的评估方法	291
9.4 专家系统的评估工具	293
9.4.1 一致性检验程序	293
9.4.2 在数据库中查找模式搜索程序	293
9.4.3 比较计算机结论与专家结论	294
9.5 专家系统的评估实例	295
9.5.1 多面评估方法实例	295
9.5.2 R1 专家系统的评估实例	299
9.6 本章小结	302
习题 9	303
第 10 章 专家系统的编程语言和开发工具	304
10.1 概述	304
10.2 LISP	305
10.2.1 LISP 的特点和数据结构	305
10.2.2 LISP 的基本函数	307
10.2.3 递归和迭代	310
10.2.4 LISP 编程举例	312
10.3 PROLOG	315

10.3.1	PROLOG 语法与数据结构	315
10.3.2	PROLOG 程序设计原理	316
10.3.3	PROLOG 编程举例	318
10.4	基于 Web 专家系统的编程语言	319
10.4.1	Java 语言	319
10.4.2	JavaScript 语言	320
10.4.3	JSP 语言	321
10.4.4	PHP 语言	322
10.4.5	ASP.NET 语言	322
10.5	其他语言	323
10.5.1	关系数据模型	323
10.5.2	关系模型的操作语言	329
10.6	专家系统的开发工具	333
10.6.1	骨架开发工具	333
10.6.2	语言开发工具	334
10.6.3	辅助构建工具	334
10.6.4	支持环境	335
10.7	专家系统的新型开发工具	336
10.7.1	基于框架的开发工具	336
10.7.2	基于模糊逻辑的开发工具	338
10.7.3	基于神经网络的开发工具	341
10.8	专家系统的 Matlab 开发工具	342
10.9	其他开发工具	347
10.10	本章小结	350
习题 10		351
第 11 章	专家系统的展望	353
11.1	专家系统的发展趋势	353
11.1.1	专家系统的发展要求	353
11.1.2	专家系统的研究方向	355
11.2	专家系统的研究课题	358
11.3	新型专家系统	359
11.3.1	新型专家系统的特征	359
11.3.2	分布式专家系统	360
11.3.3	协同式专家系统	362
11.3.4	基于免疫计算的专家系统	363
11.3.5	无处不在与随时随地的专家系统	364
11.4	本章小结	369
习题 11		370
参考文献		371
索引		378

Contents

Preface for Second Edition

Preface for First Edition

Chapter 1 Introduction to Expert Systems	1
1.1 Definition of Expert Systems	1
1.2 Development History of Expert Systems	4
1.3 Types of Expert Systems	11
1.3.1 Classify by Application Fields	11
1.3.2 Classify by Problem-solving Tasks	12
1.3.3 Classify by Working Principles	16
1.4 Structure of Expert Systems	16
1.5 Features of Expert Systems	18
1.6 Steps for Building Expert Systems	22
1.7 Human Roles in Expert Systems	24
1.8 Summary	26
Exercise 1	27
Chapter 2 Knowledge Representation and Reasoning of Expert Systems	28
2.1 Knowledge Representation	28
2.1.1 Knowledge Types	28
2.1.2 Object-Attribute-Value Combination	29
2.1.3 Rule	30
2.1.4 Frame	32
2.1.5 Semantic Network	34
2.1.6 Logic	35
2.2 Knowledge Acquisition	37
2.2.1 Basic Concepts and Knowledge Types	37
2.2.2 Tasks of Knowledge Acquisition	39
2.2.3 Time Requirements and Difficulty of Knowledge Acquisition	40
2.3 Knowledge Reasoning	41
2.3.1 Human Reasoning	41
2.3.2 Machine Reasoning	43
2.4 Reasoning with Uncertainty	44
2.4.1 Uncertainty about Evidence	44
2.4.2 Uncertainty about Conclusion	45
2.4.3 Uncertainty Supported by Multiple Rules for Same Fact	46
2.5 Reasoning System Based on Rules	47
2.6 Fuzzy Logic	48

2.6.1	Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Their Operations	48
2.6.2	Fuzzy Logic Inference	51
2.6.3	Methods of Defuzzification	53
2.7	Artificial Neural Network	54
2.7.1	Advances of ANN Research	55
2.7.2	Architecture of ANN	56
2.7.3	Typical Models of ANN	58
2.7.4	Knowledge Representation and Reasoning Based on ANN	59
2.8	Evolutionary Computation	64
2.8.1	Generic Principle of Genetic Algorithm	64
2.8.2	Step of Genetic Algorithm	67
2.9	Immune Computation	72
2.9.1	Knowledge Representation of Self and Non-self	72
2.9.2	Representation of Non-self Characteristic Space	73
2.9.3	Searching and Reasoning of Non-self Characteristic Space	74
2.10	Summary	77
	Exercise 2	78
Chapter 3	Interpretation Mechanism of Expert Systems	80
3.1	Behaviors of Interpretation Mechanism	80
3.2	Requirements of Interpretation Mechanism	81
3.3	Architecture of Interpretation Mechanism	82
3.3.1	Prefabricated Text Method	83
3.3.2	Track Interpretation Method	83
3.3.3	Strategy Interpretation Method	88
3.3.4	Automatic Programmer Method	91
3.3.5	Automatic Interpretation Mechanism Based on Facts	93
3.4	Implementation of Interpretation Mechanism	94
3.4.1	Implementation of Prefabricated Text Method	94
3.4.2	Implementation of Automatic Interpretation Mechanism Based on Facts	95
3.5	Web Visualization of Interpretation Mechanism	98
3.5.1	Design of Interpretation Interface Based on Web	98
3.5.2	Visualization Display of Interpretation Information	99
3.5.3	Paradigm for Web Visualization of Interpretation Mechanism	100
3.6	Summary	104
	Exercise 3	104
Chapter 4	Rule-Based Expert Systems	105
4.1	Development of Rule-Based Expert Systems	105
4.2	Model of Rule-Based Expert Systems	107
4.2.1	Production System	107
4.2.2	Model and Architecture of Rule-Based Expert Systems	120
4.3	Features of Rule-Based Expert Systems	122

4.3.1	Advantages of Rule-Based Expert Systems	122
4.3.2	Disadvantages of Rule-Based Expert Systems	124
4.4	Design Issues of Rule-Based Expert Systems	125
4.4.1	Description of Expertise	125
4.4.2	Knowledge Utilization and Decision Interpretation	128
4.5	Design of Backward Chaining Rule-Based Expert Systems	129
4.5.1	General Design Methods of Rule-Based Expert Systems	130
4.5.2	Design Tasks of Backward Chaining Rule-Based Expert Systems	130
4.6	Design of Forward Chaining Rule-Based Expert Systems	142
4.6.1	General Design Methods of Forward Chaining Rule-Based Expert Systems	142
4.6.2	Design Tasks of Forward Chaining Rule-Based Expert Systems	143
4.7	Design Example of Rule-Based Expert Systems	152
4.7.1	Introduction to MYCIN	152
4.7.2	Consulting Sub-System	154
4.7.3	Static Database	156
4.7.4	Dynamic Database	160
4.7.5	Imprecise Reasoning	161
4.7.6	Control Strategies	163
4.8	Paradigms of Rule-Based Expert Systems	165
4.8.1	Robot Planning Based on Expert Systems	165
4.8.2	Prediction Expert System of Aircraft Aerodynamics Based on Fuzzy Rules	169
4.9	Summary	175
	Exercise 4	176
Chapter 5 Frame-Based Expert Systems		178
5.1	Introduction to Frame-Based Expert Systems	178
5.2	Representation and Reasoning of Frame-Based Expert Systems	179
5.2.1	Representation of Frame-Based Expert Systems	179
5.2.2	Reasoning of Frame-Based Expert Systems	179
5.3	Definition and Architecture of Frame-Based Expert Systems	181
5.4	Conceptual Anatomy of Frame-Based Expert Systems	182
5.4.1	Class Anatomy of Frame	182
5.4.2	Sub-class Anatomy of Frame	183
5.4.3	Anatomy of Sample Frame	184
5.4.4	Attribute Anatomy of Frame	184
5.5	Inheriting, Slot and Method of Frame-Based Expert Systems	185
5.5.1	Inheriting of Frame-Based Expert Systems	185
5.5.2	Slot of Frame-Based Expert Systems	187
5.5.3	Method of Frame-Based Expert Systems	188
5.6	Design of Frame-Based Expert Systems	188
5.6.1	Frame-Based Expert Systems VS Rule-Based Expert Systems	188
5.6.2	Design Tasks of Frame-Based Expert Systems	190