

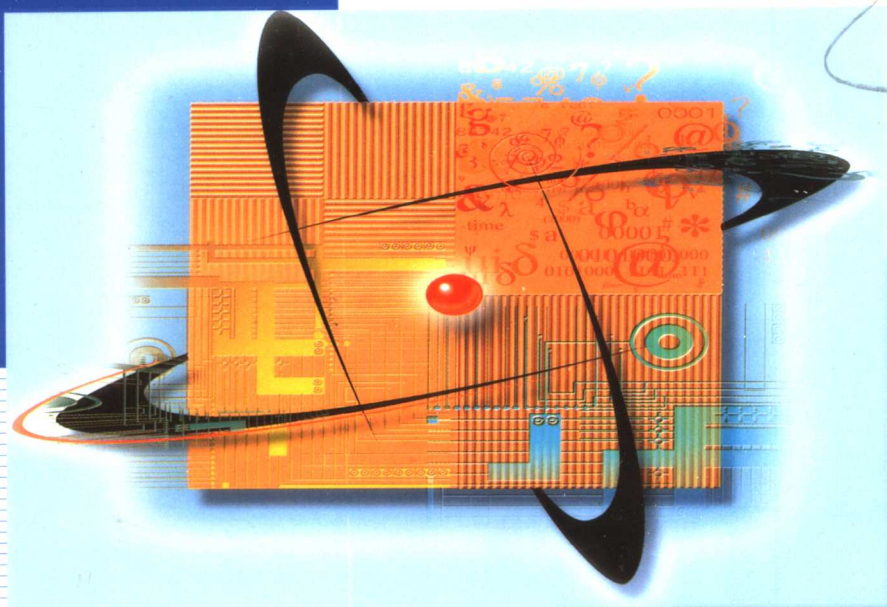
控制科学与工程研究生系列教材



高级专家系统： 原理、设计及应用

Advanced Expert Systems:
Principles, Design and Applications

蔡自兴 〔美〕约翰·德尔金 龚涛 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

控制科学与工程研究生系列教材

高级专家系统： 原理、设计及应用

Advanced Expert Systems:
Principles, Design and Applications

蔡自兴 [美]约翰·德尔金 龚涛 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍专家系统的原理、设计技术及其应用,共 11 章。本书概述专家系统的定义、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一些方法;逐一探讨了专家系统的解释机制、开发工具和评估方法;分别研究了基于规则的专家系统、基于框架的专家系统、基于模型的专家系统和基于 Web 的专家系统的结构、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;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。

本书适合作为高等院校电子信息、自动化、自动控制、机电工程、电子工程、计算机及其他相关专业本科高年级学生和研究生教材,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。

图书在版编目(CIP)数据

高级专家系统:原理、设计及应用=Advanced Expert Systems:Principles, Design and Applications/蔡自兴,(美)约翰·德尔金(John Durkin),龚涛编著. —北京:科学出版社,2005
(控制科学与工程研究生系列教材)

ISBN 7-03-015647-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 058642 号

责任编辑:匡 敏 潘继敏 / 责任校对:朱光光
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

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>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005 年 8 月第一次印刷 印张:22 1/4

印数:1—3 000 字数:428 000

定价:34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

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,并有所创新;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原理、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 章概述专家系统的定义、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的专家系统,基于框架的专家系统,基于模型的专家系统和基于 Web 的专家系统的结构、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

副教授。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，也可作为高等学校电子信息、自动化、自动控制、机电工程、电子工程、计算机及其他相关专业研究生和本科高年级学生的“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。这些著作的作者是 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, 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, 张博锋和张建勋等专家教授。谨向上列各位专家和朋友表示衷心的感谢。

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的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了特别贡献。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，敬请读者批评指正。

蔡自兴 德尔金 (Durkin) 龚涛

2005 年 5 月

目 录

前言

第1章 专家系统概述	1
1.1 专家系统的定义	1
1.2 专家系统的历史	2
1.3 专家系统的类型	7
1.3.1 应用领域	7
1.3.2 应用活动	8
1.3.3 发展率和软件平台	12
1.4 专家系统的结构	14
1.5 专家系统的特点	18
1.6 构建专家系统的步骤	22
1.7 小结	25
参考文献	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	33
2.1.5 语义网络	36
2.1.6 逻辑	36
2.2 知识获取	39
2.2.1 基本概念和知识类型	39
2.2.2 知识提取任务	41
2.2.3 知识获取的时间需求和困难	43
2.3 知识推理	44
2.3.1 人类的推理	44
2.3.2 机器推理	47
2.4 不确定性推理	48
2.4.1 关于证据的不确定性	48

2.4.2 关于结论的不确定性	49
2.4.3 多个规则支持同一事实时的不确定性	50
2.5 基于规则的推理系统	51
2.6 模糊逻辑	52
2.6.1 模糊集合、模糊逻辑及其运算	53
2.6.2 模糊逻辑推理	55
2.6.3 模糊判决方法	58
2.7 人工神经网络	60
2.7.1 人工神经网络研究的进展	60
2.7.2 人工神经网络的结构	61
2.7.3 人工神经网络的典型模型	64
2.7.4 基于神经网络的知识表示与推理	65
2.8 进化计算	68
2.8.1 遗传算法	69
2.8.2 进化策略	78
2.8.3 进化编程	80
2.9 小结	83
参考文献	83
第3章 专家系统的解释机制	85
3.1 解释机制的行为	85
3.2 解释机制的要求	86
3.3 解释机制的结构	87
3.3.1 预制文本法	88
3.3.2 追踪解释法	89
3.3.3 策略解释法	95
3.3.4 自动程序员法	99
3.3.5 基于事实的自动解释机制	101
3.4 解释机制的实现	102
3.4.1 预制文本法的实现	102
3.4.2 基于事实的自动解释机制的实现	104
3.5 小结	107
参考文献	108
第4章 专家系统的开发工具	109
4.1 骨架开发工具	110
4.2 语言开发工具	110

4.3 辅助构建工具	111
4.4 支持环境	112
4.5 基于框架的开发工具	113
4.6 基于模糊逻辑的开发工具	116
4.7 基于神经网络的开发工具	120
4.8 其他工具	121
4.9 专家系统开发工具的使用实例	125
4.9.1 专家知识的描述	125
4.9.2 知识的使用和决策解释	129
4.10 小结	131
参考文献	131
第5章 专家系统的评估	133
5.1 评估专家系统的原因	133
5.1.1 发展专家系统的需要	133
5.1.2 专家系统评估的受益者	134
5.2 评估专家系统的内容和时机	136
5.2.1 评估专家系统的内容	136
5.2.2 评估专家系统的时机	139
5.3 专家系统的评估方法	141
5.4 专家系统的评估工具	144
5.4.1 一致性检验程序	144
5.4.2 在数据库中查找模式搜索程序	145
5.4.3 比较计算机结论与专家结论	146
5.5 专家系统的评估实例	147
5.5.1 多面评估方法实例	147
5.5.2 R1 专家系统的评估实例	152
5.6 小结	156
参考文献	156
第6章 基于规则的专家系统	157
6.1 基于规则专家系统的发展	157
6.2 基于规则专家系统的工作模型	159
6.2.1 产生式系统	159
6.2.2 基于规则专家系统的工作模型和结构	176
6.3 基于规则专家系统的特点	177
6.3.1 基于规则专家系统的优点	178

6.3.2 基于规则专家系统的缺点	180
6.4 基于规则专家系统的设计实例	181
6.4.1 MYCIN 概述	181
6.4.2 咨询子系统	183
6.4.3 静态数据库	185
6.4.4 动态数据库	190
6.4.5 非精确推理	192
6.4.6 控制策略	195
6.5 机器人规划专家系统	197
6.5.1 系统结构和规划机理	198
6.5.2 ROPES 机器人规划系统	199
6.6 小结	203
参考文献	203
第7章 基于框架的专家系统	205
7.1 基于框架的专家系统概述	205
7.2 框架的表示与推理	206
7.2.1 框架的表示	207
7.2.2 框架的推理	209
7.3 基于框架专家系统的定义和结构	211
7.4 基于框架专家系统的概念剖析	212
7.4.1 框架的类剖析	212
7.4.2 框架的子类剖析	213
7.4.3 实例框架剖析	214
7.4.4 框架的属性剖析	215
7.5 基于框架专家系统的继承、槽和方法	216
7.5.1 基于框架专家系统的继承	216
7.5.2 基于框架专家系统的槽	218
7.5.3 基于框架专家系统的方法	219
7.6 基于框架专家系统的应用实例	220
7.6.1 基于槽的对象间通信	220
7.6.2 消息传递	221
7.7 小结	222
参考文献	223
第8章 基于模型的专家系统	224
8.1 基于模型专家系统的提出	224

8.2 基于神经网络的专家系统	226
8.2.1 传统专家系统与神经网络的集成	227
8.2.2 基于神经网络专家系统的结构	228
8.2.3 基于神经网络的专家系统实例	229
8.3 基于模型专家系统的设计	233
8.3.1 因果时间实体论	233
8.3.2 推理系统设计	240
8.3.3 可变系统的实体论	244
8.4 基于模型专家系统的示例	246
8.4.1 电厂应用	246
8.4.2 电路和汽车启动部分的示例	251
8.5 小结	253
参考文献	253
第9章 基于 Web 的专家系统	254
9.1 基于 Web 专家系统的结构	254
9.2 基于 Web 专家系统的实例	260
9.2.1 基于 Web 的飞机故障远程诊断专家系统	260
9.2.2 基于 Web 的拖网绞机专家系统	262
9.2.3 基于 Web 的通用配套件选型专家系统	266
9.2.4 基于 Web 的首蓓产品开发与利用专家系统	270
9.2.5 基于 Web 的好莱坞经理决策支持系统	270
9.3 基于 Web 专家系统的开发工具	280
9.4 小结	285
参考文献	286
第10章 专家系统的编程语言	287
10.1 概述	287
10.2 LISP	288
10.2.1 LISP 的特点和数据结构	289
10.2.2 LISP 的基本函数	291
10.2.3 递归和迭代	295
10.2.4 LISP 编程举例	298
10.3 PROLOG	301
10.3.1 语法与数据结构	301
10.3.2 PROLOG 程序设计原理	302
10.3.3 PROLOG 编程举例	304

10.4 其他语言	305
10.4.1 关系数据模型	305
10.4.2 关系模型的操作语言	312
10.5 小结	316
参考文献	316
第11章 专家系统的展望	317
11.1 专家系统的发展趋势	317
11.1.1 专家系统的发展要求	317
11.1.2 专家系统的研究方向	319
11.2 专家系统的研究课题	323
11.3 新型专家系统	324
11.3.1 新型专家系统的特征	324
11.3.2 分布式专家系统	326
11.3.3 协同式专家系统	328
11.4 小结	330
参考文献	331
索引	332

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Definition of Expert Systems	1
1.2 History of Expert Systems	2
1.3 Types of Expert Systems	7
1.3.1 Application Areas	7
1.3.2 Application Activity	8
1.3.3 Rate of Development and Software Platforms	12
1.4 Structure of Expert Systems	14
1.5 Features of Expert Systems	18
1.6 Steps for Building Expert Systems	22
1.7 Summary	25
References	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	33
2.1.5 Semantic Network	36
2.1.6 Logic	36
2.2 Knowledge Acquisition	39
2.2.1 Basic Concepts and Knowledge Types	39
2.2.2 Tasks of Knowledge Acquisition	41
2.2.3 Time Requirements and Difficulty of Knowledge Acquisition	43
2.3 Knowledge Reasoning	44
2.3.1 Human Reasoning	44
2.3.2 Machine Reasoning	47
2.4 Reasoning with Uncertainty	48
2.4.1 Uncertainty about Evidence	48

2.4.2	Uncertainty about Conclusion	49
2.4.3	Uncertainty Supported by Multiple Rules for the Same Fact	50
2.5	Reasoning System Based on Rules	51
2.6	Fuzzy Logic	52
2.6.1	Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Their Operations	53
2.6.2	Fuzzy Logic Inference	55
2.6.3	Methods of Defuzzification	58
2.7	Artificial Neural Networks	60
2.7.1	Advances of ANN Research	60
2.7.2	Architecture of ANN	61
2.7.3	Typical Models of ANN	64
2.7.4	Knowledge Representation and Reasoning Based on ANN	65
2.8	Evolutionary Computation	68
2.8.1	Generic Algorithm	69
2.8.2	Evolutionary Strategy	78
2.8.3	Evolutionary Programming	80
2.9	Summary	83
	References	83
Chapter 3	Interpretation Mechanism of Expert Systems	85
3.1	Behaviors of Interpretation Mechanism	85
3.2	Requirements of Interpretation Mechanism	86
3.3	Architecture of Interpretation Mechanism	87
3.3.1	Prefabricated Text Method	88
3.3.2	Track Interpretation Method	89
3.3.3	Strategy Interpretation Method	95
3.3.4	Automatic Programmer Method	99
3.3.5	Automatic Interpretation Mechanism Based on Facts	101
3.4	Implementation of Interpretation Mechanism	102
3.4.1	Implementation of Prefabricated Text Method	102
3.4.2	Implementation of Automatic Interpretation Mechanism Based on Facts ...	104
3.5	Summary	107
	References	108
Chapter 4	Development Tools for Expert Systems	109
4.1	Skeletal Development Tools	110
4.2	Language Development Tools	110

4.3	Construction-Aided Tools	111
4.4	Supporting Environments	112
4.5	Development Tools Based on Frame	113
4.6	Development Tools Based on Fuzzy Logic	116
4.7	Development Tools Based on ANN	120
4.8	Other Development Tools	121
4.9	Paradigm of Development Tool for Expert Systems	125
4.9.1	Description of Expertise	125
4.9.2	Knowledge Utilization and Decision Interpretation	129
4.10	Summary	131
	References	131
Chapter 5	Evaluation of Expert Systems	133
5.1	Reasons for Evaluating Expert Systems	133
5.1.1	Requirements of Expert Systems Development	133
5.1.2	Who Benefits from Expert System Evaluation	134
5.2	What and When to Evaluate Expert Systems	136
5.2.1	What Evaluate Expert Systems	136
5.2.2	When Evaluate Expert Systems	139
5.3	Evaluation Methods for Expert Systems	141
5.4	Evaluation Tools for Expert Systems	144
5.4.1	Consistency Test	144
5.4.2	Pattern Lookup in Database	145
5.4.3	Comparison between Computer Conclusion and Expert Conclusion	146
5.5	Evaluation Examples of Expert Systems	147
5.5.1	Multiple Evaluation Examples of Expert Systems	147
5.5.2	Evaluation Example of Expert System R1	152
5.6	Summary	156
	References	156
Chapter 6	Rule-Based Expert Systems	157
6.1	Development of Rule-Based Expert Systems	157
6.2	Model of Rule-Based Expert Systems	159
6.2.1	Production Systems	159
6.2.2	Model and Architecture of Rule-Based Expert Systems	176
6.3	Features of Rule-Based Expert Systems	177
6.3.1	Advantages of Rule-Based Expert Systems	178

6.3.2	Disadvantages of Rule-Based Expert Systems	180
6.4	Design Example of Rule-Based Expert Systems	181
6.4.1	Introduction to MYCIN	181
6.4.2	Consulting Sub-System	183
6.4.3	Static Database	185
6.4.4	Dynamic Database	190
6.4.5	Imprecise Reasoning	192
6.4.6	Control Strategies	195
6.5	Robot Planning Expert Systems	197
6.5.1	Architecture and Planning Mechanism of System	198
6.5.2	ROPES Robot Planning System	199
6.6	Summary	203
	References	203
Chapter 7	Frame-Based Expert Systems	205
7.1	Introduction to Frame-Based Expert Systems	205
7.2	Representation and Reasoning of Frame-Based Expert Systems ...	206
7.2.1	Representation of Frame-Based Expert Systems	207
7.2.2	Reasoning of Frame-Based Expert Systems	209
7.3	Definition and Architecture of Frame-Based Expert Systems	211
7.4	Conceptual Anatomy of Frame-Based Expert Systems	212
7.4.1	Class Anatomy of Frame	212
7.4.2	Sub-class Anatomy of Frame	213
7.4.3	Anatomy of Sample Frame	214
7.4.4	Attribute Anatomy of Frame	215
7.5	Inheriting, Slot and Method of Frame-Based Expert Systems ...	216
7.5.1	Inheriting of Frame-Based Expert Systems	216
7.5.2	Slot of Frame-Based Expert Systems	218
7.5.3	Method of Frame-Based Expert Systems	219
7.6	Application Example of Frame-Based Expert Systems	220
7.6.1	Communication between Slot-Based Objects	220
7.6.2	Message Transfer	221
7.7	Summary	222
	References	223
Chapter 8	Model-Based Expert Systems	224
8.1	Introduction of Model-Based Expert Systems	224

8.2 ANN-Based Expert Systems	226
8.2.1 Integration of Traditional Expert Systems and ANN	227
8.2.2 Architecture of ANN-Based Expert Systems	228
8.2.3 Paradigm of ANN-Based Expert Systems	229
8.3 Design for Model-Based Expert Systems	233
8.3.1 Cause and Effect Time Ontology	233
8.3.2 Design for Reasoning Systems	240
8.3.3 Ontology of Variable Systems	244
8.4 Paradigms of Model-Based Expert Systems	246
8.4.1 Power Plant Application	246
8.4.2 Paradigm of Circuit and Auto Startup Part	251
8.5 Summary	253
References	253
Chapter 9 Web-based Expert Systems	254
9.1 Architecture of Web-based Expert Systems	254
9.2 Paradigms of Web-based Expert Systems	260
9.2.1 Web-based Expert System for Plane Fault Remote Diagnosis	260
9.2.2 Web-based Expert System for Trawl Winches	262
9.2.3 Web-based Expert System for General Type-selection of Fittings	266
9.2.4 Web-based Expert System for Alfalfa Production Development and Utilization	270
9.2.5 Web-based Decision Support System for Hollywood Managers	270
9.3 Development Tools of Web-based Expert Systems	280
9.4 Summary	285
References	286
Chapter 10 Programming Language of Expert Systems	287
10.1 Introduction	287
10.2 LISP	288
10.2.1 Features and Data Structure of LISP	289
10.2.2 Basic Functions of LISP	291
10.2.3 Recurrence and Replacement	295
10.2.4 Example of LISP Programming	298
10.3 PROLOG	301
10.3.1 Grammar and Data Structure	301
10.3.2 Programming Principles of PROLOG	302

10.3.3	Example of PROLOG Programming	304
10.4	Other Languages	305
10.4.1	Model of Relational Data	305
10.4.2	Operation Language of Relational model	312
10.5	Summary	316
	References	316
Chapter 11	Prospect for Expert Systems	317
11.1	Development Trend of Expert Systems	317
11.1.1	Requirements of Expert System Development	317
11.1.2	Directions of Expert System Research	319
11.2	Research Issues of Expert systems	323
11.3	New Generation of Expert Systems	324
11.3.1	Features of New Generation Expert Systems	324
11.3.2	Distributed Expert systems	326
11.3.3	Synergetic Expert Systems	328
11.4	Summary	330
	References	331
Index		332