

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:张克忠 / 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)

2006 年 12 月第二次印刷 印张:22 1/4

印数:3 001—4 500 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 章逐一探讨了专家系统的解释机制、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专家表示衷心的感谢。

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 因果时间本体论	233
8.3.2 推理系统设计	240
8.3.3 可变系统的本体论	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 的苜蓿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

第 1 章 专家系统概述

20 世纪 70 年代，专家系统的开发获得成功。正如专家系统的先驱费根鲍姆 (Feigenbaum) 所说：专家系统的力量是从它处理的知识中产生的，而不是从某种形式主义及其使用的参考模式中产生的。这正符合一句名言：知识就是力量。到 80 年代，专家系统在全世界得到迅速发展和广泛应用。

专家系统实质上为一计算机程序，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。在设计专家系统时，知识工程师的任务就是使计算机尽可能模拟人类专家解决某些实际问题的决策和工作过程，即模仿人类专家如何运用他们的知识和经验来解决所面临问题的方法、技巧和步骤。专家系统是在产生式系统的基础上发展起来的。

1.1 专家系统的定义

专家系统 (expert systems) 是人工智能应用研究最活跃和最广泛的领域之一。自从 1965 年第一个专家系统 DENDRAL 在美国斯坦福大学问世以来，经过 20 年的研究开发，到 20 世纪 80 年代中期，各种专家系统已遍布各个专业领域，取得很大的成功。现在，专家系统得到更为广泛的应用，并在应用开发中得到进一步发展。

专家系统领域的早期阶段由学习人工智能和 DENDRAL 两门课程辅助。第一门课程就是程序中知识资源编码的重要性。现已意识到，一般目的的推理技术太局限于解决实际问题。第二门课程与系统知识的范围有关。为热点专题设计的系统比针对广泛问题的系统发展得更好。

在构造某个专家系统时，这两门课程自然地把我们引到一个源头，即与问题相关的专家。专家就是对问题有出众理解的个人。专家通过经验发展有效和迅速解决问题的技能。我们的工作就是在专家系统中“克隆”这个专家。

专家系统可能存在一些不同的定义。下面按我们的理解，给出专家系统的一个定义。

定义 1.1 专家系统是一种设计用来对人类专家的问题求解能力建模的计算机程序。

专家系统是一个智能计算机程序系统，其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验，能够利用人类专家的知识解决问题的方法来处理该领域问题。

也就是说，专家系统是一个具有大量的专门知识与经验的程序系统，它应用人工智能技术和计算机技术，根据某领域一个或多个专家提供的知识和经验，进行推理和判断，模拟人类专家的决策过程，以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。简而言之，专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。

此外，还有其他一些关于专家系统的定义。这里首先给出专家系统技术先行者和开拓者——美国斯坦福大学教授费根鲍姆 1982 年对人工智能的定义。为便于读者准确理解该定义的原意，下面给出英文原文。

定义 1.2 Expert system is “an intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solutions”. That is, an expert system is a computer system that emulates the decision-making ability of a human expert. The term emulate means that the expert system is intended to act in all respects like a human expert.

下面是韦斯 (Weiss) 和库利柯夫斯基 (Kulikowski) 对专家系统的界定。

定义 1.3 专家系统使用人类专家推理的计算机模型来处理现实世界中需要专家做出解释的复杂问题，并得出与专家相同的结论。

1.2 专家系统的历史

人工智能的大多数早期工作本质上都是学术性的，其程序都是用来开发游戏。好例子有香农 (Shannon) 的国际象棋程序和赛缪尔 (Samuel) 的格子棋程序。尽管这些努力产生了一些有趣的游戏，但其真实目的在于为计算机编码加入人的推理能力，以期达到更好的理解。

这个早期阶段研究的另一个重要领域是计算逻辑。1957 年诞生了第一个自动定理证明程序，称作逻辑理论家 (logic theorist)。

到了 1970 年，人们围绕人工智能的兴高采烈情绪被一种冷静的意识所替代：构建智能程序来解决实际问题是一个困难的挑战。莱特黑尔 (James Lighthill) 的报告强调了这一点。

1971 年，英国科学研究理事会（负责对英国大学的研究提供资助的主要政府机构）委托剑桥大学的莱特黑尔对人工智能领域的成果进行评估。根据所做的许诺和支出的经费，理事会想知道持续的资助是否可行。莱特黑尔报告说：“至今为止，在任何领域都没有产生出所许诺的主要成果（有影响的发现）。”他也报告说，当时的研究者正预测“20 世纪 80 年代的可能成果包括人类规模上的知识库的各种智能；这种令人畏惧的可能性暗示：机器智能将在 2000 年以前超过人类智能”，这一点与 50 年代所做的预测相同。他下结论说，没有建立独立的人工

智能领域的必要性；还感到智能计算机最终将是自动化和计算机科学领域综合努力的自然产物。

莱特黑尔报告的直接影响就是对英国以及国外的人工智能努力产生严重破坏。但是，由于在这个咒骂性的报告的阴影下继续奋斗的许多人工智能研究者的信誉，这个领域经历了新方向的再生。

后来发现，莱特黑尔报告的发现是非常有争议的。总的来说，我们过高地估计了一种技术在几年内能为我们所做的事情，也低估了它在几十年内能为我们所做的事情。写这个报告时，人工智能仍然是相对新兴的领域，几乎没有一点实际系统来展示其魅力。对外界而言，人工智能的研究成果就是一些与实际问题没有多大关系的玩具，而不是作为研究智能机器设计的真实测试平台。不过，这个报告在一点上是正确的：当时没有创建任何系统来处理实际世界的问题。剩下的问题就是：要从哪个新的方向努力来达到这个目标，以求赢回对此领域的有力的支持呢？

要回答这个问题，最好从对过去的工作反省开始。以前的大多数研究，其共同主题都是对搜索技术的强调。当时，研究者们相信智能行为主要是建立在巧妙推理技术的基础上的，可以设计聪明的搜索算法来仿效人类对问题的求解。但是，既然早期程序未能创造出有用的系统，于是研究者们开始意识到仅仅有搜索技术不足以创造一个智能系统。

后来，引导研究者们进入正确方向的“灯塔”是一个称为 DENDRAL 的程序，其开发过程从 1965 年开始，按照美国国家航空航天局（NASA）的要求在斯坦福大学进行。那时，NASA 正打算发送一个无人太空飞船到火星上去，并需要开发一个能够执行火星土壤化学分析的计算机程序；给定土壤的大量光谱数据，这个程序就能决定其分子结构。

在化学实验室里，解决这个问题的传统方法就是通过一种产生-测试技术。先产生能够解释大量光谱数据的可能结构，然后测试每个结构看看它是否与参考数据匹配。斯坦福研究小组面临的基本困难就是第一次可能产生数百万个可能结构。他们需要找到一种把这个数目减小到可管理程度的方法。

斯坦福研究小组在实践中发现，有知识的化学家首先使用拇指规则（启发信息）来排除不可能解释这些数据的结构。他们决定在其程序中捕获这些启发信息，用以约束所生成的结构数目。其结果就产生了能够像化学专家那样辨识未知成分的分子结构的计算机程序。更重要的是，该程序是第一个因问题本身的知识而不是复杂的搜索技术而成功的程序。

DENDRAL 的初创工作引导人工智能研究者意识到智能行为不仅依赖于推理方法，更依赖于其推理所用的知识。对知识的强调让斯坦福的费根鲍姆声称：“知识中有力量（in the knowledge lies the power）”，而构造这样的系统的过程

就称为知识工程。本研究结果也产生了基于知识的系统或专家系统的概念，从此专家系统的时代开始了。

专家系统通过新方向获得新生之后，研究者们很快开始寻求计算机程序中知识表示和搜索的更好方法。因为 DENDRAL 通过规则形式编码的知识获取成功，所以这似乎是一条可行的路。可以使用一种简单的体系结构来构建程序：这个体系结构包含存储于知识库模块规则中的问题知识，通过第二个称为推理机的模块处理规则的处理器和另一个包含问题特定事实和推理机得出的结论的工作内存模块，这三个模块共同形成所谓的基于规则的专家系统。于是在 20 世纪 70 年代，拥有这个体系结构“利器”的专家系统开发者们，知道已经是开发系统和学习经验的时候了，也是制造带来实际好处系统的时候了。

能够帮助我们更好地理解基于规则专家系统的构建方法的莫过于 MYCIN 系统了。MYCIN 的目标是诊断感染性血液疾病，它利用大约 500 条能够执行专家职能的规则，其效果要比中级水平的医生更好。但是，按照专家系统开发者的观点，MYCIN 的成功更依赖于基于规则专家系统设计中所提供的见识。

第一个研制成功的商用专家系统是 20 世纪 70 年代在卡内基·梅隆大学 (CMU) 完成的，称为 XCON。XCON 原称 R1，用于辅助数据设备公司 (DEC) 的 VAX 计算机系统的配置设计。使用 OPS 开发 XCON，OPS 是一种今日专家系统设计者仍然爱用的基于规则的程序设计语言。XCON 为 DEC 提供了一种有用的工具。到 1986 年为止，它为这个公司每年大约节省了 2000 万美元。XCON 的成功促使 DEC 公司创建了独立的小组，致力于人工智能的研究。该小组到 1988 年为止已开发了超过 40 个其他的专家系统。

另一个非常成功的专家系统 PROSPECTOR 也在 20 世纪 70 年代建成。它被斯坦福研究所制造，用于辅助地质学家探测矿藏。该系统因在华盛顿的托尔曼山脉 (Mount Tolman) 附近钻探开采成功而获得巨大的声望：这里被证实含有大量价值约 1 亿美元的钼矿藏。

1979 年一批与早期专家系统开发有密切关系的人，以沃特曼和费若德瑞克为主席召开了讨论会，交换对知识工程领域的看法。他们回顾过去十年的发展，通过对这种技术的能力和潜能的理解预测：“随着时间的推移，知识工程领域将影响所有知识对重要问题求解提供力量的人类活动领域。”这是另一个相当大胆的预测。到 20 世纪 70 年代末，专家系统领域是一种已经建立起来的成功技术。诸如 MYCIN、XCON 和 PROSPECTOR 等系统的成功重新点燃了人们对这个领域的兴趣和希望，还为其他人提供了设计专家系统时可遵循的路径。在许多应用领域大规模制造专家系统的时机已经成熟了。

现在把专家系统看作一种解决实际世界问题的实用工具。20 世纪 80 年代这门技术走出小团体，许多人都参加进来。大多数大学迅速开设和提供专家系统课

程。公司启动专家系统项目，还经常形成人工智能团队。例如，DuPont 公司拥有自己的人工智能专家组，到 1988 年他们已经建造约 100 个专家系统，每年为公司节省约 1000 万美元；还有另外 500 个系统正在开发。超过三分之二的“财富 1000”公司开始在日常商业活动中应用这门技术。政府机构对专家系统研发的可行资助的增长做出了响应。国际上对这门技术的兴趣也掀起了巨浪。1981 年日本宣布了第五代计算机项目，即建造智能计算机的十年计划。与此计划相呼应的是，在美国诞生了微电子和计算机技术公司（MCC），作为致力于进一步开发专家系统的研究协会。在英国，尽管政府仍然因莱特黑尔报告而害怕，但还是采纳了更乐观的有关这门技术的爱尔卫（Alvey）报告，来恢复对该领域的投资。

20 世纪 80 年代初，医疗专家系统占了主流，其主要原因是它属于诊断类型而且开发比较容易。但是，到了 80 年代中期，低处的“果实”都“摘”完了，轮到高处更难的问题了，也是开始开发对商业部门产生好处的系统的时候了。遗憾的是，最初的努力往往只能满足有限的成功。后来发现，三个主要原因有助于解释这个结果。首先，工业专家系统的早期应用对这门技术提出过高的要求，导致较差的结果。受到会思考机器的幻想小说激发，许多设计者甚至试图建造超过最好专家能力限度的问题求解系统。其次，一些设计者经常开发范围广泛以至于不可能在合理的时间内完成的项目。第三，有些开发者开发了一些特别的智能系统，它们往往与对集成系统到现存硬件和软件资源的客户需求分离开来。其结果就是束之高阁的“强有力”的已完成的产品。

由于这段时间取得的成功较少，加上以前对这门技术的过高的承诺，评论家们快速突袭这个局面。杂志、会议论文、时事通信和国家媒体都聚焦到其缺点上。例如，《财富》（福布斯，Forbes）杂志中有篇报告问了一个问题：“那些必定永远改变商业世界的专家系统现在怎么啦？”专家系统设计者已经开始意识到：想为这门技术找个合适的位置可能就像在灰姑娘的脚上穿玻璃鞋一样冗长乏味。

到 20 世纪 80 年代中叶，当设计者们开始专注于研究执行非常狭窄和很好定义的甚至相当平凡的任务时，转折点发生了。他们也花时间和精力察看可以在哪里嵌入这种技术。尽管遵循主旋律开发的系统可能对那些坐在象牙塔上看风景的人工智能研究者们印象不深，但却被工业经理们很好地接受了，因为它们产生了商业价值。

在这个新方向下开发的专家系统的数目迅速增长。20 世纪 70 年代只开发了一小批系统，而到 80 年代末其数目增到了几千个。观察这门技术的广泛应用也是很有趣的，已经开发了应用范围从辅助地下采矿到辅助宇航员在太空站外行走的系统。1992 年进行的已开发专家系统的文献调查揭示其主要应用领域如表 1.1

表 1.1 专家系统的主要应用领域

农 业	法 律
商 业	制 造
化 学	数 学
通 信	医 学
计算机系统	气 象 学
教 育	军 事
电 子	采 矿
工 程	电 力 系 统
环 境	科 学
生 态	空 间 技 术
图像处理	交 通
信息管理	

所示，广阔的应用范围是惊人的。现在很难找出这门技术还没有触及的领域。实际上，我们常常会在一些奇怪的地方发现它。譬如说，需要建猪场吗？那么你可以获取 TEP（电子猪）系统的一个拷贝。这是一个辅助诊断猪窝大小问题的专家系统。性生活有问题吗？那么启用 S EXPERT 系统，用它来评定和治疗性功能障碍。在开除问题雇员方面需要帮助吗？那么买个 CLARIFYING DISMISSAL 系统，用它来辅助老板决定开除哪些雇员。

直到 20 世纪 80 年代中期，专家系统一直由基于规则的系统主宰。然而，80 年代后期开始向面向对象的系统转变。在专家系统世界中，基于框架的专家系统开始走到中央舞台。框架（frame）的概念是由明斯基（Minsky）提出的。由于具有更容易表示描述性和行为性对象信息的能力以及一套强有力的表工具，基于框架的专家系统能够处理比基于规则的专家系统更复杂的应用，其适用领域正在扩大和发展。大多数的早期基于框架的专家系统解决仿真问题。这是一个好的选择，因为一个仿真任务本质上与交互对象有关。现在，基于框架的专家系统用于处理过去使用基于规则的方法处理的诸如诊断和设计的问题。

神经网络自 1969 年被明斯基和佩坡特（Papert）的《感知器》（Perceptrons）一书埋葬之后，又在 20 世纪 80 年代重新露面。在这十年里，两个主要事件促使了人们对这门技术的兴趣的再生。1982 年，霍普菲尔德（John Hopfield）写了一篇描述 Hopfield 模型的神经系统的论文，这个模型表示作为极端操作的神经元活动和作为存储于神经元之间连接的信息存储器。该模型第一次建立了动态稳定网络中存储信息的原理。特别从工程视角来看，下一个重要事件就是用来训练多层感知器网络的反向传播（back-propagation, BP）算法的发展。BP 已经成为训练神经网络的最流行的学习算法。它已经被用于处理大量神经网络应用问题，使得这门技术成为解决实际数据分类问题的有效工具。

1965 年扎德（Zadeh）提出一个新领域，称为模糊逻辑，它第一次提供了在计算机内执行公共感知推理的能力。20 世纪 70 年代，曼达尼（Mamdani）和阿司里安（Assilian）建立了模糊控制器的框架，并用它开发了第一个实际模糊专家系统，以控制蒸汽发动机。模糊逻辑作为有效的专家系统工具使用始于 70 年代。但是不幸的是，很少有人注意到它的潜在价值。在美国，这门技术的诞生地，该领域在 80 年代进展非常缓慢，主要是因为非常少的人在这个领域工作。幸运的是，日本看到了这门技术的潜在商业价值，并开始开发许多系统。日本

的成功引起了专家系统界的注意。90 年代在美国商业和政府方面的模糊系统项目的数目惊人增长。近年来，欧洲、韩国和加拿大在该领域的活动也已经开始增长。

1.3 专家系统的类型

在 20 世纪 90 年代早期，专家系统继续发展，已使用的专家系统数目继续迅速增长。许多没有涉足早期专家系统项目开发的组织，开始研究整个程序。有更多的新杂志、职业组织中新的特定兴趣小组和会议致力于这门新兴技术的推广。可以参阅《专家系统：编目应用》(Expert Systems: Catalog of Applications) 一书及其 1996 年的早期版本中介绍的调查报告，来了解该领域在 90 年代的发展状况。

1.3.1 应用领域

回顾 1978 年以瓦特曼 (Waterman) 和黑斯·若斯 (Hayes-Roth) 为主席的讨论会上的早期预测：“这个领域将影响人类活动的所有领域。”调查的结果显示这个预测正好说对了。图 1.1 显示表 1.1 中所示的不同领域里开发的系统的数目。我们不必为应用的范围而惊奇。专家系统本质上是一个辅助人类决策的工具。我们应用它到需要专家技术来完成的知识密集任务。因此，无论我们观察人类活动的任何领域，诸如诊断系统、设计结构或者教育学生等活动，我们都会发现这门技术的“家园”。

图 1.1 也提供了关于技术方向的见解。在 20 世纪 70 年代，对许多人来说，人工智能几乎是一种信仰。研究者们以生产智能通用推理机为中心目标，对完成这个学术挑战的迷恋驱动他们致力于研究工作。直到 80 年代，当技术发展的原料出现在需要投资回报的部门时，研究者们才开始意识到人工智能不是一种信仰活动，而是一种经济活动。瓦特曼 1986 年进行的调查显示，人工智能主要是应用在医疗领域 (30%)。图 1.1 显示这个领域对专家系统开发者仍具有吸引力 (10%)，但从百分比来看，这个领域的活动显著减少。最近几年更显著的是商业和工业领域的活动。按照瓦特曼的调查，在 1986 年这些领域的应用约占 10%；而到 1996 年却大约占 60%。事实上，1996 年的调查发现这段时期建造的专家系统中五个就有一个应用于商业领域。1995 年在英国进行的调查发现，已运行的专家系统有 24% 属于财经服务部门。这是一个清楚的信号，表明专家系统正以信息处理的主流兴起，以代替传统的数据处理器。这也表明最近几年内这个领域已经足够成熟，现在发现这门技术已很好地被商业部门接受了。

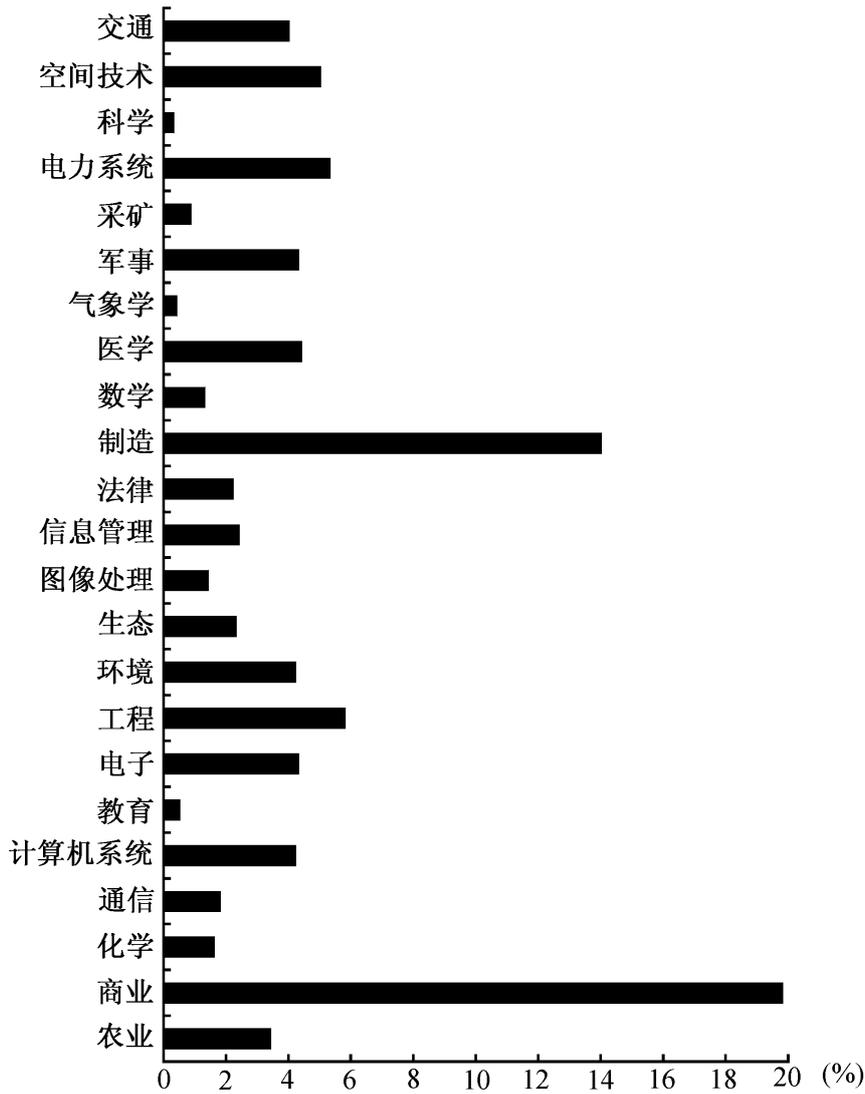


图 1.1 不同应用领域里已开发系统的百分比

1.3.2 应用活动

表 1.2 专家系统所解决的问题的类型

问题求解的类型	描述
控制	管理系统行为以满足要求
设计	按约束配置对象
诊断	从观察到的现象推断出系统的故障
教学	诊断、调试并修复学生的行为
解释	从数据推断出现状描述
监视	把观察到的现象与期望相比较
规划	设计行为
预测	推断出给定情况下的可能结论
调试	推荐系统故障的解决方案
筛选	从一组可能性中挑出最好的选择
仿真	对系统组件之间的交互进行建模

专家系统分类的另一个途径就是根据问题求解的类型。无论哪种应用领域，给定了问题的类型，专家系统都相似地收集信息并利用信息进行推理。按照待求解问题的任务可对专家系统进行分类，如表 1.2 所示。

图 1.2 显示了表 1.2 中的每种问题类型应用的百分比。要知道许多应用使用于多种活动。例如，一个诊断系统可能首先要解释现有的数据，随后给出找到的故障的解决方法。

如图 1.2 所示，专家系统的主要功能就是诊断。调查显示每 4 个已建造的专家系统中就有一个是用作于诊断活动的，其原因之一就是大多数专家发挥这种作用。在诸如医疗、工程和制造领域有许多人都帮助诊断。另一个原因就是大多数诊断系统相对容易开发。大多数诊断系统有确切的可能解组，并且解决问题需要比较有限的信息。这些限制提供了有利于高效系统设计的开发环境。

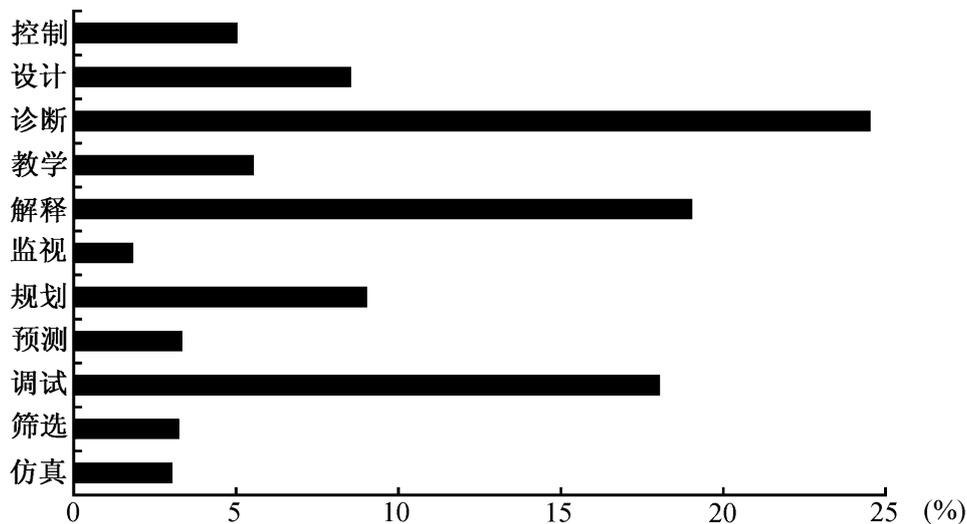


图 1.2 按照问题类型专家系统应用的百分比

对于很大一部分诊断专家系统的另一种解释可追寻到一些组织引用新技术的实际考虑。大多数组织在考虑新技术时喜欢占据低风险的位置。这样，他们喜欢需要最少资源且最可能成功的项目。由于这些系统相对更易于开发，所以它们对在这个领域投资的公司有吸引力。

和大量的诊断应用相比，其他问题类型的应用数量的急剧下降是惊人的。两个理由可以解释这个结果：其一，设计和规划任务在专家系统中难于实现，因为对于不同的应用领域它们的步骤变化非常大，而且经常难以精确地定义这些步骤。其二，尽管诸如教学、控制和仿真的任务属于专家系统应用的优秀领域，但它们相对而言是一种新的风险。

具体说来，专家系统按其问题求解的性质可分为以下几种类型。

1. 解释专家系统 (expert system for interpretation)

解释专家系统的任务是通过对于已知信息和数据的分析与解释，确定它们的含义。解释专家系统具有下列特点：

- (1) 系统处理的数据量很大，而且往往是不准确的、有错误的或不完全的。
- (2) 系统能够从不完全的信息中得出解释，并能对数据做出某些假设。
- (3) 系统的推理过程可能很复杂且很长，因而要求系统具有对自身的推理过

程做出解释的能力。

作为解释专家系统的例子有语音理解、图像分析、系统监视、化学结构分析和信号解释等。例如，卫星图像（云图等）分析、集成电路分析、DENDRAL 化学结构分析、ELAS 石油测井数据分析、染色体分类、PROSPECTOR 地质勘探数据解释和丘陵找水等实用系统。

2. 预测专家系统 (expert system for prediction)

预测专家系统的任务是通过过去和现在已知状况的分析，推断未来可能发生的情况。预测专家系统具有下列特点：

(1) 系统处理的数据随时间变化，而且可能是不准确和不完全的。

(2) 系统需要有适应时间变化的动态模型，能够从不完全和不准确的信息中得出预报，并达到快速响应的要求。

预测专家系统的例子有气象预报、军事预测、人口预测、交通预测、经济预测和谷物产量预测等。例如，恶劣气候（包括暴雨、飓风、冰雹等）预报、战场前景预测和农作物病虫害预报等专家系统。

3. 诊断专家系统 (expert system for diagnosis)

诊断专家系统的任务是根据观察到的情况（数据）来推断出某个对象机能失常（即故障）的原因。诊断专家系统具有下列特点：

(1) 能够了解被诊断对象或客体各组成部分的特性以及它们之间的联系。

(2) 能够区分一种现象及其所掩盖的另一种现象。

(3) 能够向用户提出测量的数据，并从不确切信息中得出尽可能正确的诊断。

诊断专家系统的例子特别多，有医疗诊断、电子机械和软件故障诊断以及材料失效诊断等。用于抗生素治疗的 MYCIN，肝功能检验的 PUFF，青光眼治疗的 CASNET，内科疾病诊断的 INTERNIST-I 和血清蛋白诊断等医疗诊断专家系统，计算机故障诊断系统 DART/DASD，火电厂锅炉给水系统故障检测与诊断系统，雷达故障诊断系统和太空站热力控制系统的故障检测与诊断系统等，都是国内外颇有名气的实例。

4. 设计专家系统 (expert system for design)

设计专家系统的任务是根据设计要求，求出满足设计问题约束的目标配置。设计专家系统具有如下特点：

(1) 善于从多方面的约束中得到符合要求的设计结果。

(2) 系统需要检索较大的可能解空间。

- (3) 善于分析各种子问题，并处理好子问题间的相互作用。
- (4) 能够试验性地构造出可能设计，并易于对所得设计方案进行修改。
- (5) 能够使用已被证明是正确的设计来解释当前新的设计。

设计专家系统涉及电路（如数字电路和集成电路）设计、土木建筑工程设计、计算机结构设计、机械产品设计和生产工艺设计等。比较有影响的专家设计系统有 VAX 计算机结构设计专家系统 R1(XCOM)、花布立体感图案设计和花布印染专家系统、大规模集成电路设计专家系统以及齿轮加工工艺设计专家系统等。

5. 规划专家系统 (expert system for planning)

规划专家系统的任务在于寻找出某个能够达到给定目标的动作序列或步骤。规划专家系统的特点如下：

- (1) 所要规划的目标可能是动态的或静态的，因而需要对未来动作做出预测。
- (2) 所涉及的问题可能很复杂，要求系统能抓住重点，处理好各子目标间的关系和不确定的数据信息，并通过试验性动作得出可行规划。

规划专家系统可用于机器人规划、交通运输调度、工程项目论证、通信与军事指挥以及农作物施肥方案规划等。比较典型的规划专家系统的例子有军事指挥调度系统、ROPES 机器人规划专家系统、汽车和火车运行调度专家系统以及小麦和水稻施肥专家系统等。

6. 监视专家系统 (expert system for monitoring)

监视专家系统的任务在于对系统、对象或过程的行为进行不断观察，并把观察到的行为与其应当具有的行为进行比较，以发现异常情况，发出警报。监视专家系统具有下列特点：

- (1) 系统应具有快速反应能力，应在造成事故之前及时发出警报。
- (2) 系统发出的警报要有很高的准确性。在需要发出警报时发警报，在不需发出警报时不得轻易发警报（假警报）。
- (3) 系统能够随时间和条件的变化而动态地处理其输入信息。

监视专家系统可用于核电站的安全监视、防空监视与预警、国家财政的监控、传染病疫情监视及农作物病虫害监视与警报等。粘虫测报专家系统是监视专家系统的一个实例。

7. 控制专家系统 (expert system for control)

控制专家系统的任务是自适应地管理一个受控对象或客体的全面行为，使之

满足预期要求。

控制专家系统的特点为：能够解释当前情况，预测未来可能发生的情况，诊断可能发生的问题及其原因，不断修正计划，并控制计划的执行。也就是说，控制专家系统具有解释、预报、诊断、规划和执行等多种功能。

空中交通管制、商业管理、自主机器人控制、作战管理、生产过程控制和生产质量控制等都是控制专家系统的潜在应用方面。例如，已经对海、陆、空无人驾驶车，生产线调度和产品质量控制等课题进行控制专家系统的研究。

8. 调试专家系统 (expert system for debugging)

调试专家系统的任务是对失灵的对象给出处理意见和方法。

调试专家系统的特点是同时具有规划、设计、预报和诊断等专家系统的功能。

调试专家系统可用于新产品或新系统的调试，也可用于维修站进行被修设备的调整、测量与试验。在这方面的实例还比较少见。

9. 教学专家系统 (expert system for instruction)

教学专家系统的任务是根据学生的特点、弱点和基础知识，以最适当的教案和教学方法对学生进行教学和辅导。

教学专家系统的特点为

- (1) 同时具有诊断和调试等功能。
- (2) 具有良好的人机界面。

已经开发和应用的教学专家系统有 MACSYMA 符号积分与定理证明系统，计算机程序设计语言和物理智能计算机辅助教学系统以及聋哑人语言训练专家系统等。

10. 修理专家系统 (expert system for repair)

修理专家系统的任务是对发生故障的对象（系统或设备）进行处理，使其恢复正常工作。

修理专家系统具有诊断、调试、计划和执行等功能。

ACI 电话和有线电视维护修理系统是修理专家系统的一个应用实例。此外，还有决策专家系统和咨询专家系统等。

1.3.3 发展率和软件平台

度量新技术成功的一种更好途径是看它的应用比率。如果比率呈上升趋势，

那么很明显是一种积极的信号。相反地，如果呈下降或者停滞趋势，就需要考虑考虑专家系统领域。

在 20 世纪 70 年代，当研究者们着手开拓新技术时，开发了一小批专家系统。这个时期的工作主要集中在计算机中寻求更好的知识表示和处理方法。因此大多数开发的系统主要用于学术研究，研究者们的工作与面向商业的需要分离开来了。在 80 年代，对如何建造专家系统有了更好的理解，情形发生了戏剧性的改变。

图 1.3 显示从 1985 年到 1996 年开发的专家系统的估计数目。专家系统的惊人增长表明工业界接受了这门技术，并且回报了早期研究者的劳动。

已开发专家系统数目的迅速增长还归因于 20 世纪 80 年代为专家系统设计者引入了新的硬件和软件技术。这段时期该技术的不断推广应用促使了新工业的出现，这些新工业提供了易用的专家系统开发软件，称作外壳（shells）。这些外壳运行于从个人计算机到主框架的平台上。70 年代的专家系统都是在强大的工作站上使用诸如 LISP、PROLOG 和 OPS 的语言开发而成的。这就把开发系统的挑战落到那些付得起平台费用且有耐心学习复杂的可用语言的少数人手上。在 80 年代，个人计算机发展很快，有了更可行的平台和外壳，更多的人能够参加专家系统的开发。

1996 年的调查发现大多数专家系统都是在个人计算机上使用外壳建造的。事实显示，大约 60% 的专家系统在 PC 上开发而成，20% 的专家系统在工作站上开发而成，小型机和主框架各占 10%，如图 1.4 所示。大约 45% 的专家系统使用外壳开发而成，25% 的使用 LISP，PROLOG 和 OPS 各占 10%。少数使用了诸如 C、Pascal、

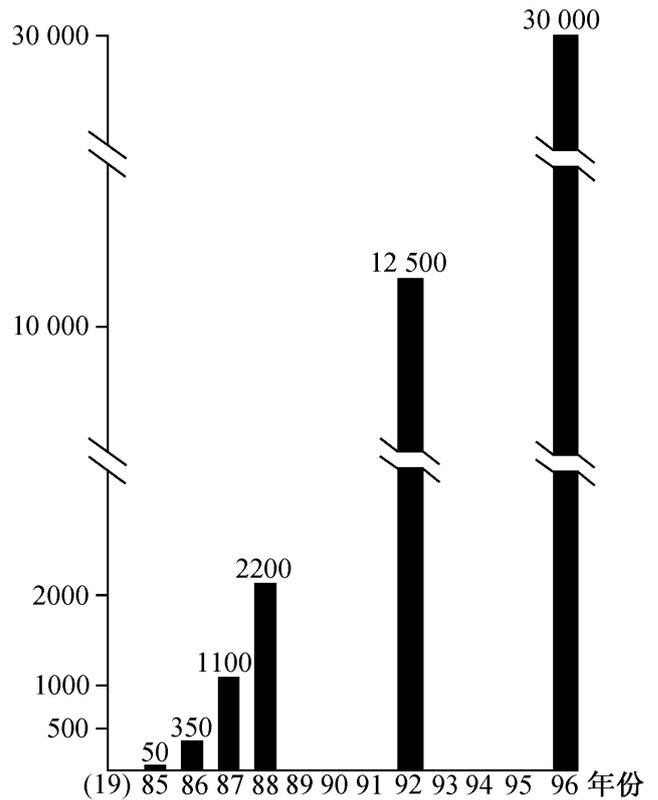


图 1.3 每年开发的专家系统的总数

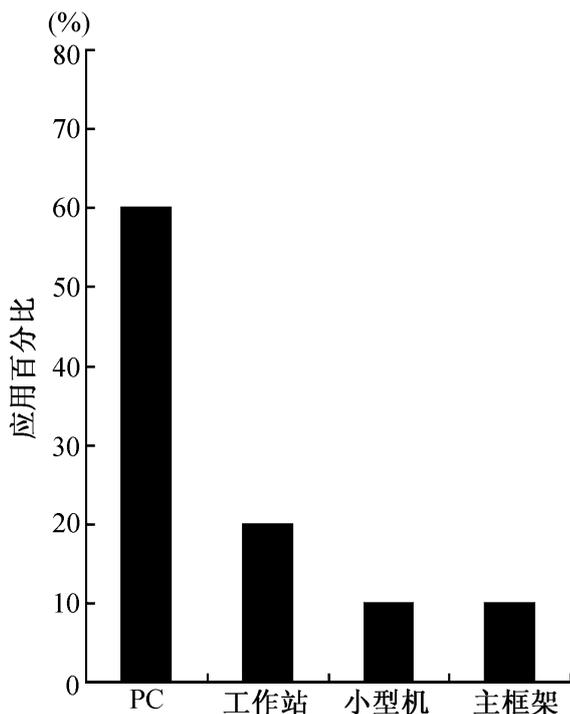


图 1.4 专家系统开发的平台

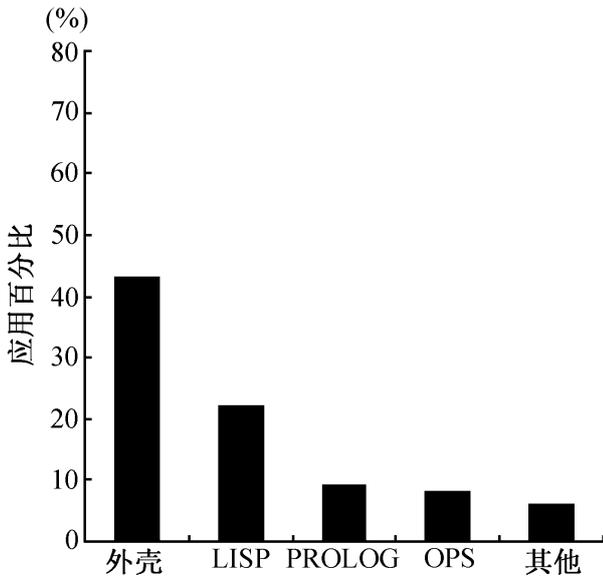


图 1.5 专家系统开发的软件

LOOPS、Fortran、Smalltalk 和 Basic 语言，如图 1.5 所示。

1.4 专家系统的结构

专家系统的结构是指专家系统各组成部分的构造方法和组织形式。系统结构选择恰当与否，是与专家系统的适用性和有效性密切相关的。选择什么结构最为恰当，要根据系统的应用环境和所执行任务的特点而定。例如，MYCIN 系统的任务是疾病诊断与解释，其问题的

特点是需要较小的可能空间、可靠的数据及比较可靠的知识，这就决定了它可采用穷尽检索解空间和单链推理等较简单的控制方法和系统结构。HEARSAY-II 系统的任务是进行口语理解。这个任务要检索巨大的可能解空间，数据和知识都不可靠，缺少问题的比较固定的路线，经常需要猜测才能继续推理等。这些特点决定了它必须采用比 MYCIN 更为复杂的系统结构。

试图在专家系统中采用专家的主要优点建模：专家的知识 and 推理。要实现这一点，专家系统必须有两个主要模块：知识库和推理机。图 1.6 表示专家系统的简化结构图。

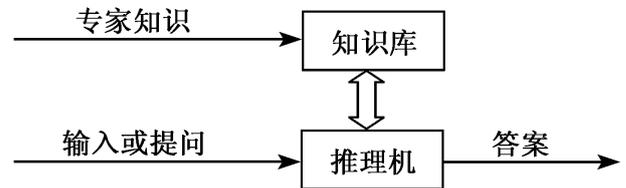


图 1.6 专家系统简化结构图

专家系统将专家的领域知识集中存储在知识库模块中。

定义 1.4 知识库是专家系统包含领域知识的部分。

定义 1.5 工作内存是专家系统包含执行任务时发现的问题事实的部分。

定义 1.6 推理机是专家系统的知识处理器，它将工作内存中的事实与知识库中的领域知识相匹配，以得出问题的结论。推理机处理工作内存中的事实和知识库中的领域知识，以提取新信息。它搜寻约定与工作内存里的信息之间的匹配规则。当推理机找到匹配时，它就把规则的结论加入到工作内存中，并继续扫描规则，寻求新的匹配。

图 1.7 为理想专家系统的结构图。由于每个专家系统所需要完成的任务和特点不相同，其系统结构也不尽相同，一般只具有图中部分模块。

接口是人与系统进行信息交流的媒介，它为用户提供了直观方便的交互手段。接口的功能是识别与解释用户向系统提供的命令、问题和数据等信息，并把这些信息转化为系统的内部表示形式。另一方面，接口也将系统向用户提出的问