

# 专家系统

原理和实例研究



中国铁道出版社

## 内 容 简 介

本书对希望了解专家系统如何工作的读者是一本入门书，同时对需要着手建立专家系统的读者也是一本实用指南。

全书共13章分四部分。第一部分1至4章为背景情况，介绍了专家系统的基本概念、系统的组成、专家系统出现的历史背景、日本第五代计算机计划以及各国的竞争。第二部分5至6章为推理，介绍了在数据不准确和规则不完善的条件下，应用合适的推理策略对真值作出恰当的估计。第三部分7至9章为知识工程，介绍了如何用计算机表示专家知识，以及表示知识的3种软件工具。第四部分10至13章为机器学习，介绍了机器学习的基本概念和方法。

本书可供从事计算机工程和应用方面的科技人员学习参考，也可供高等院校有关专业师生学习参考。

JS403/04

### EXPERT SYSTEMS

Principles and case Studies

Chapman and Hall Ltd, 1984.

### 专 家 系 统

#### 原理和实例研究

〔英〕理查德·福西斯 等著

徐光佑 周曼丽 译

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 郭宇 封面设计 翟达

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092mm 1/32 印张：9 字数：195千

1989年1月 第1版 第1次印刷

印数：1—3000册 定价：3.35元

## 译者的话

专家系统是日前人工智能研究中最活跃的领域。许多性能可与训练有素的专家相媲美的专家系统的出现标志着人工智能研究正从实验室走向实际应用的广阔天地。近年来微处理机的性能不断提高，而硬件的价格则不断下降，这一变化使本来需要在大、中型机上才能运行的专家系统现在已在微处理机上实现了，这就为专家系统的广泛应用创造了良好的条件。目前我国微处理机的应用已有较大发展，并已建立了一些基于微处理机的专家系统。但与专家系统巨大潜力相比，这方面的工作仅仅是个开始。不少专家认为除了发展水平更高的专家系统以外，专家系统发展的一个主要趋势应是同各种自动化系统，甚至仪器相结合，构成性能更好、更便于使用的智能化系统和仪器。其普及程度应像目前在各种系统和仪器中广泛使用微处理机那样。因此，使更多原来不从事专家系统研究的工程技术人员了解和掌握这方面的知识，并在各自领域中实际运用，这将会极大地推动专家系统的应用和发展。本书是一本介绍专家系统如何工作的入门书，同时也是一本初步的实用指南。它不仅可以使读者了解专家系统的发展背景、工作原理和发展趋势，还将有助于读者着手在微处理机系统上建立自己的专家系统。

本书的1至2章和10至13章由清华大学徐光佑翻译，第3至9章由华中理工大学周曼丽翻译，全书由徐光佑校阅。

本书在翻译过程中得到国内从事专家系统研究的专家们

多方协助，在此表示感谢。

由于译者水平有限，译文难免有错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

译 者

1988年1月

## 前 言

许多人，不论他们是否从事计算机职业，但大都意识到计算机科学领域中正在发生某种重大事情，并希望通过自学能达到评价或有必要时能应用这种新技术。

本书通过向不熟悉最新研究进展的计算机使用者解释专家系统的概念来满足上述需要。本书被写成一本对希望了解专家系统如何工作的人们的入门书，而有别于高等院校的教科书，它是由在这个领域中积极开展研究的实际工作者写的实用指南。其目的是使读者了解计算机科学的这个生气勃勃的新领域中的发展。通过阅读本书，读者将能着手进行自己的实际知识工程项目。对想了解专家系统工作原理的人来说，这是一本入门指南。本书分成四部分。

第一部分是背景情况。它解释专家系统的基本概念，并介绍典型专家系统的组成。在第一部分中还介绍了专家系统出现的历史背景，并讨论了日本的第五代计算机计划和这个计划在西方国家产生的紧迫感（或有些人认为是引起了震惊）。

第二部分研究推理问题。所谓推理就是在数据不准确和规则不完善的条件下，应用合适的推理策略对真值作出恰当的估计。这是一个专家系统的设计者在计算实践中已取得突破的领域：基于知识的系统并不依赖无缺陷的软件工程。如果随机地从专家系统的知识库中除去一条规则，那么对系统的性能只有很小的影响。而如果从传统的程序中任意地去掉一条语句或什么别的东西，那么情况又会如何呢？众所周

知，这将是灾难。

第三部分主要介绍知识工程本身。在计算机中可恰当地表示专家知识吗？如果能表示，那么如何表示呢？这里我们采用实例研究的方法，也就是仔细地考察各种表示知识的方法，这些方法中有3种专门的软件工具使这样的任务有可能完成。这些工具是PROLOG（基于谓词逻辑的程序语言）；Micro Expert（一种可提供标准推理机和知识编码表示法的专家系统框架）；REVEAL（一种通用编程支持环境，它具有方便构造决策支持系统的性能）。

最后一部分介绍机器学习。在50年代这曾经是一个热门的题目，以后一度冷落，直到最近由于专家系统的需要又重新受到重视。专家系统的性能在很大程度上受系统的知识库的质量和范围的影响。然而知识不是从天上掉下来的，它必须很费劲地从专家那里吸取得来。知识获取是建立专家系统中最薄弱的一环，克服这个薄弱环节的一种方法是采用能根据实例数据库自动地发现新概念和新规则的自动归纳程序。

这就导致了以符号形式大量生产知识的概念。在把知识作为一种有价值的商品的意义上来说，一个完整的工业正在出现。在斯通（Stonier）教授撰写的最后一章中讨论了这样的发展所产生的社会和经济上的影响，并且提出我们如何能控制知识的工业化的问题。

**R. 福西斯**

## 作者简介

### A.G.布鲁金 (ANNIE G. BROOKING)

布鲁金是伦敦South Bank工业大学的“基于知识的系统中心”的创建者和主任。她的学术背景是系统设计方法论。在过去的两年里，她使基于知识的系统中心从计划变成一个繁荣的研究中心——欧洲的在智能的基于知识的系统方面最著名的中心之一。

### P.科克斯 (PHIL COX)

P.科克斯在数据处理工业方面已有长期的和多方面的工作经历。1961年他在蒙特利尔的Air Canada开始从事程序设计工作。60年代中期，他参加BOAC（英国海外航空公司）的Boadicea计划。从那以后，他专门研究实时程序设计和操作系统。在1971年离开SPL后，他和同事合作组成ISIS系统，现在他是这个系统的技术主任。他设计了Micro Expert（微型专家）软件包。这是一个可在小型桌上计算机运行的专家系统框架。他还为德国足球奖票编制了一个智能文件解释程序。

### R.福西斯 (RICHARD FORSYTH)

R.福西斯1970年在西雅图大学获心理学学士学位。1980年在City大学获计算机科学学士学位。从1979到1984他是North London工业大学的计算机科学方面的讲师，后来升为高级讲师。最近他离开大学，并创建了自己的公司，Warm

Boot有限公司，这是一个专门从事机器智能应用的软件公司，同时他还从事著作。

### **P.L.琼斯 (PETER LLEWELYN JONES)**

P.琼斯是一个计算机顾问、他同时为大西洋的西岸工作。1967年他在帝国学院获得科学学士学位。70年代初，他从事计算机辅助规划和决策支持系统研究。在这以前他曾做过产品经营工作，并是 Unilever 的经营顾问。1973年他成为 Online Decisions 国际公司的经营主任，这是一个专门研制基于大规模计算机的合作建模系统的咨询公司。在应用决策支持系统 (Dss) 方面的经验，使他强烈体会到在管理支持系统中结合知识和判断的重要性，并导致了在1981年开始研制 REVEAL 系统。现在 REVEAL 已由 Tymshare 推向国际市场。

### **C.内劳 (CHRIS NAYLOR)**

C.内劳在 Keele 大学获得心理学和哲学学位，在伦敦大学获得数学和统计学学位。他是英国心理学协会和数学与数学应用研究所的成员。目前他是专业作家、研究者和自由记者。他最近的著作有《建造你自己的专家系统 (Sigma 技术出版社)》。他还是计算机语音、实用计算 (Computer Talk 和 Practical computing) 和时代杂志等出版物的关于人工智能及有关主题的固定撰稿人。

### **R.雷达 (ROY RADA)**

R.雷达博士是 Wayne 州立大学 (底特律、密西根) 的计算机科学的副教授。1973年他在耶鲁大学获得心理学学士学位，1976年在休斯顿大学获得计算机科学硕士学位。1981年



在依利诺依斯大学获得计算机科学的博士学位。他还有资格行医（1977年 Baylor 学院，德克隆斯医学博士）。他特殊的研究兴趣是人工智能技术在医学中的应用。自1983年10月以来，他成为 ACM 的生物医学计算专门兴趣小组的业务通信编辑。

### **S.F. 史密斯 (STEPHEN F. SMITH)**

S.F. 史密斯博士是卡内基大学机器人研究所的智能系统实验室的研究科学家。他1975年在 Westminster 大学获得数学学士，1977和1980在匹茨堡大学分别获得计算机科学的硕士和博士学位。在1982年到机器人研究所工作前，他是 Southern Maine 大学的计算机科学的副教授。史密斯博士的研究兴趣包括机器学习、启发式的和分布式的问题求解，基于知识的系统和人工智能在工业任务中的应用。现在他参加通过应用自适应学习技术来改进性能的系统设计。目前其他的研究工作围绕发展在大的有矛盾的约束集的条件下有效地进行推理的方法。

### **A. 史蒂文斯 (ANTONY STEVENS)**

在从事 8 年技术计算工作后，于1979年史蒂文斯辞去他在伦敦城工业大学的高级讲师职务，并在伦敦医院医学院管理一个小的医学 DP 部门。1981年他成为医学研究的软件，Green Valley 的顾问。他的工作的一个分支是研制对统计提供建议的专家系统。他于1984年移居布拉齐尔，目前是以东海岸 Natal 为基地的自由职业的计算机顾问。

### **T. 斯通 (TOM STONIER)**

斯通教授是 Bradford 大学 (Yokshire) 的科学与社会

学院的院长,1950年他从Drew大学获得文学学士学位,1951年和1955年在耶鲁大学分别获得硕士和博士学位。作为一个英国后裔的纽约人,他在联合王国以研究技术对社会的影响的专家而闻名。他是一位高产的演讲家和作家,他最近的一本书是《信息的财富》,这是本信息经济学的专著。

### **M.耶士丹尼 (MASOUD YAZDANI)**

耶士丹尼生于伊朗,但自1975年以来住在英格兰。他1978年在Essex大学获得科学学士学位,然后到Sussex大学从事人工智能研究。自1981年以来他是Exeter大学计算机科学的讲师。他的研究兴趣包括教育计算和计算机创造力。他在许多国际学术会议上发表了大量论文,其中包括1982年欧洲人工智能会议,并以“Start Programming with the Electron”一书而闻名,在每台Acorn Electron微型计算机都带有这本书。

# 目 录

1	专家系统的奇迹	1
1.1	神经网络	2
1.2	启发式搜索	3
1.3	知识就是力量	5
1.4	下一步的发展	6
	参考文献	8
2	专家系统的结构	9
2.1	专家系统的特征	9
2.2	专家系统的组成	10
2.3	知识库	11
2.4	推理机	12
2.5	归纳策略	13
2.6	人-机窗口	15
2.7	谁需要专家系统?	15
2.8	语言问题	17
2.9	自己动手	19
2.10	结 论	19
	参考文献	20
3	第五代计算机竞赛	21
3.1	背 景	21
3.2	计划概述	22
3.3	目前的成果	25
3.4	英国的反应	26

3.5	欧洲的反应	32
3.6	美国的反应	36
3.7	结 论	39
	参考文献	41
4	<b>如何评价专家系统</b>	44
4.1	专家系统的社会影响	44
4.2	评价专家系统	50
4.3	结束语	57
	参考文献	58
5	<b>模糊推理系统</b>	60
5.1	模糊逻辑	60
5.2	置信度系数的用途	63
5.3	证据的加权	64
5.4	贝叶斯理论的要点	66
5.5	惊人的HULK	71
5.6	结 论	72
	参考文献	74
6	<b>如何构造推理机</b>	76
6.1	推理机和知识库	79
6.2	贝叶斯理论	82
6.3	用户应答中的不确定性	91
6.4	推理机	92
6.5	规则值的运用	94
6.6	结 论	97
	附录 一个知识库例子	100
7	<b>采用PROLOG形式的知识工程</b>	104
7.1	专家系统的来源	104
7.2	什么是基于知识的系统?	105

7.3	专家系统像什么样? .....	106
7.4	专家系统结构 .....	109
7.5	瓶颈和布雷区 .....	111
7.6	间接利益 .....	114
7.7	用PROLOG作为一个产生式系统 .....	115
7.8	PROLOG如何求出解答? .....	120
7.9	未来的趋势 .....	122
	附录A 动物识别程序的改进版本 .....	124
	附录B 读者的练习 .....	127
	参考文献 .....	128
8	如何建造微专家系统 .....	131
	参考文献 .....	154
9	REVEAL: 一个专家系统支持环境 .....	155
9.1	REVEAL作为决策支持工具 .....	158
9.2	在REVEAL中的模糊集 .....	164
9.3	REVEAL和知识工程 .....	169
9.4	REVEAL的总结 .....	175
	参考文献 .....	176
10	机器学习策略 .....	177
10.1	什么是机器学习? .....	177
10.2	学习示例 .....	178
10.3	描述语言 .....	180
10.4	特征矢量 .....	182
10.5	功能更强的语言 .....	183
10.6	通过搜索学习 .....	183
10.7	ID3 .....	184
10.8	INDUCE .....	185
10.9	HOLLAND的算法 .....	187

10.10	BEAGLE .....	188
10.11	EURISKO .....	191
	参考文献 .....	193
11	<b>自适应学习系统</b> .....	195
11.1	引 言 .....	195
11.2	遗传自适应算法 .....	198
11.3	遗传自适应算法在学习问题求解 启发式知识中的应用 .....	204
11.4	其他的基于遗传算法的学习模式 .....	215
11.5	结 论 .....	216
	参考文献 .....	217
12	<b>知识自动获取</b> .....	221
12.1	引 言 .....	221
12.2	AI 概述 .....	222
12.3	连贯性 .....	226
12.4	学习策略 .....	229
12.5	另一种知识提炼的方法 .....	234
12.6	结 论 .....	242
	参考文献 .....	244
13	<b>知识工业</b> .....	247
13.1	信息经济学 .....	247
13.2	信息工作者的出现 .....	250
13.3	知识工业的未来 .....	253
13.4	结论和警告 .....	263
	参考文献 .....	264
	<b>英汉名词对照索引</b> .....	266

# 1 专家系统的奇迹

近来专家系统突然成了热门的新闻。对某些人来说专家系统是信息技术的伟大福音，对其它的一些人来说它更像是当今的“黄祸”，因为日本人在我们前面进入了这个领域。还有另外的一些人认为整个专家系统的概念不过是旧货换上了新包装和一种粗俗的宣传。

本章是个导言，它的目的是通过把专家系统放在它出现的历史背景下介绍专家系统。为了理解专家系统“奇迹”，我们必须回顾和仔细研究产生专家系统的肥沃土壤——人工智能或简写为AI。

AI有漫长而曲折的史前期，它至少可追溯到皮格马利翁<sup>1</sup> (Pygmalion) 传说的时期。人类对人工智能持久的狂热是一个长久的，有时是令人毛骨悚然的关于可取下头颅的机器人和非常著名的弗兰克斯坦<sup>2</sup> (Frankenstein) 的怪物的故事 (见Aldiss 1975, Mc Corduck, 1979)。我们跳越AI的头2000年的历史，只选其20世纪50年代的历史，那时幻想终于显示出成为现实的迹象。这要归功于数字计算机。

表1.1是计算机时代中AI历史的概要。我把它大致归结

---

1 ——皮格马利翁是希腊神话中的塞浦路斯国王，他热恋自己所雕的少女像。

2 ——弗兰克斯坦是英国作家 Mary Wollstonecraft Shelley于1819年所著小说中的生理学研究者，他创作了一个怪物，而自己反被它毁灭。

成四个阶段(每个阶段大约10年),当然这是非常简化了的说法。不过,这样的分法突出了AI发展历史中的重要里程碑。

AI 的 简 史

表1.1

方	法	代 表 人 物	系 统
50 年 代	神经网络	罗森布莱特 (Roseblatt)	PERCEPTRON
60 年 代	启发式搜索	维纳 (Wiener), 麦克 卢西 (McCulloch)	GPS
		纽厄尔 (Newell) 和西 蒙 (Simon)	
70 年 代	知识表示	夏农 (Shannon), 图 灵 (Turing)	MYCIN
		肖特拉埃夫 (Short- Liffe)	
80 年 代	机器学习	明斯基 (Minsky), 麦 卡锡 (McCarthy)	EURISKO
		利纳脱 (Lenat) 塞缪尔 (Samuel), 霍勒特 (Holland)	

方法这栏中所列的是在那个时期一位从事 AI 研究的学者如果被询问 AI 研究是什么时所作的回答。作者这栏中列举了那个时期 AI 研究思想的代表人物(在列举主要代表人物或几位代表人物的下面的括弧中列出了奠定了他们的研究工作基础的思想家或理论家)。最后,在系统栏中列选了一个体现了基本潮流和风格的典型系统(不一定是最好的系统)。

### 1.1 神经网络

50年代的人工智能研究者试图通过模仿人脑来建造智能机器。事后来看他们的失败是不令人奇怪的:先不要说软件,当时的硬件根本不能满足任务的需要。

我们所选的代表系统是PERCEPTRON (Rosenblatt,



1957)。这是一个自动组织的自动机 (Self-organizing automation)，它可被看作是人眼中视网膜的粗糙模型。可以教这个系统识别模式，但如明斯基所指出的和由以后的论文 (1969) 证明的那样，它能识别的只是有限类别的模式。

当时普遍热衷于像罗申布莱特 (Rosenbatt) 所建立那样的系统，这些系统是以诺伯特·维纳和沃伦·麦克卢斯 (Norbert Wiener and Warren Mc Culloch) 关于抽象神经网络的开创性的仿生学概念为基础的。当时认为相互紧密连接的模拟神经系统可从一无所知开始，按照一个奖励和惩罚的训练程序，最后完成系统建造者所希望的工作。人的大脑包含100亿个神经元，而且每个神经元都可能像高速处理器那样地复杂，但这个事实被轻易地忽视了。

这样的盲目乐观的论点甚至在明斯基和帕潘脱 (Papert) 对PERCEPTRON的概念进行全面的理论批判以前就已烟散云消了。这类系统的实验结果确实不够理想，所以 AI 研究者另外的新思潮所吸引。

## 1.2 启发式搜索

这个新思潮的开路先锋是卡内基·梅隆大学的爱伦·纽厄尔和赫伯特·西蒙 (Allen Newell and Herbert Simen)，他们的研究成果集中在 GPS，即“通用问题求解器”之中 (Ernst and Newell, 1969)。

他们方法的中心思想是启发式搜索的概念。他们认为人的思考是通过像符号的比较、搜索和修改等这样的简单符号管理任务的组合来完成的，而这样的简单符号管理任务，计算机就可以完成。他们把问题求解看作是在帮助把搜索引向终点的启发式规则的引导下，在可能的求解空间中的搜索问题。