

专家系统工具ESTA 及其应用

基于Visual Prolog 及 Internet / Intranet

崔奇明 李友红 崔舒婷 李琦诺 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press

专家系统工具 ESTA 及其应用

基于 Visual Prolog 及 Internet /Intranet

崔奇明 李友红 崔舒婷 李琦诺 编著

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 崔奇明 李友红 崔舒婷 李琦诺 2010

图书在版编目 (CIP) 数据

专家系统工具 ESTA 及其应用 / 崔奇明等编著. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2010.6
ISBN 978-7-81102-822-5

I. ①专… II. ①崔… III. ①专家系统 IV. ①TP319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 112960 号

内容简介

本书系统地介绍了专家系统原理、专家系统工具 ESTA 等, 并给出了较多的示例。全书共分三部分: 第一部分(第 1 章)简述人工智能、专家系统、专家系统工具、诊断问题求解、知识表示、Visual Prolog 语言; 第二部分(第 2~4 章)论述专家系统工具 ESTA 及 ESTA 应用范例分析; 第三部分(第 5~9 章)介绍基于 Visual Prolog 的专家系统、基于 Web 的专家系统的应用研究、ESTA 汉化及定制过程、基于 ESTA 的专家系统、学习和研究 ESTA 的示例——专家系统和人工神经网络的结合应用、Visual Prolog 的应用示例——基于高压分析的变电设备故障诊断专家系统、基于 Windows 与基于 Web 的 ESTA 应用咨询过程图例等。

本书需要读者具有 Prolog 或 Visual Prolog 的基础知识, 可作为高等院校计算机、自动化、信息管理等相关专业本科生或研究生专家系统及应用的教学参考书, 也可供电力系统等其他专业的师生以及科研和工程技术人员自学或参考。

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印刷者: 沈阳市市政二公司印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 16

字 数: 410 千字

出版时间: 2010 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 郭爱民 石玉玲

责任校对: 王延霞

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-822-5

定价: 35.00 元 (含 CD-R 一张)

前 言

人工智能从诞生发展到今天走过了一条漫长的路,许多科研人员为此不懈努力。信息处理的智能化与信息社会对智能的巨大需求是人工智能发展的强大动力。人工智能研究曾取得过许多令人瞩目的成果,也经历过不少挫折。近几年来,随着计算机与网络通信技术的迅猛发展,特别是 Internet/Intranet 的普及应用,人工智能研究再度活跃起来,并向更为广阔的领域发展。

专家系统是当前人工智能研究最活跃的一个分支,由于越来越多的具体的专家系统问世,使人工智能的应用越来越广。所谓专家系统,其实就是一类程序系统,从功能上可把它定义为“一个在某领域具有专家水平解题能力的程序系统”,它能像这个领域的专家一样工作,能运用专家们多年积累的经验与专门知识,在很短的时间内对问题作出高水平的解答。例如一个专科的医疗专家系统,它在诊断某类疾病时,可以达到专科医生们的水平,从而至少可以作为医生的助手,帮助诊断。从结构上讲,还可把专家系统定义为“由一个专门领域的知识库,及一个能获取和运用知识的机构构成的一个解题程序系统”,这里从结构上强调了其中存放知识的知识库与运用知识的机构之间的独立性。一个专家系统的优劣在很大程度上取决于它所具有的“专家知识”的多少与水平。

专家系统工具提供推理机、知识表示模式、知识获取工具、丰富的开发接口和用户接口,是简化建造专家系统工作的结构化的软件包,用户不必了解专家系统是如何实现的,而主要工作是提供领域知识。

Prolog 语言是人工智能与专家系统领域最著名的逻辑程序设计语言,Visual Prolog 是基于 Prolog 语言的可视化逻辑程序设计语言,是 Prolog 开发中心 PDC (Prolog Development Center)推出的基于 Windows 平台的智能化编程工具。Visual Prolog 非常适合于专家系统、规划和其他人工智能相关问题的求解。ESTA4.5 (Expert System Shell for Text Animation 4.5)是 PDC 随 Visual Prolog5.2 提供的一个优秀的专家系统外壳(工具),使用 ESTA 可以高效率、高质量地开发出相关领域的专家系统。

作者多年从事专家系统的应用研究。国内在人工智能与专家系统的研究与应用方面与国外相应领域的差距较大,人工智能与专家系统方面的参考书籍较少,专家系统领域的相关软件介绍及指导具体实践方面的书籍(尤其在 Windows 及 Internet/Intranet 平台应用方面)几乎看不到。因此,引进、消化、学习研究

国际上已经广泛流行的功能强大的智能程序语言、专家系统外壳等，对于我国开发智能应用系统、专家系统，提高其应用水平十分必要。当前，国家电网公司正加快公司信息化进程，在整个公司内实施“SG186 工程”和 ERP 应用，并提出建设统一坚强智能电网。这将带动电网生产运行、经营管理、客户服务以及社会能源利用模式的重大变革。因此以智能化、数字化和信息化为特征的智能电网必将逐步引领我国电网的建设与发展。智能电网是一个完整的信息架构和基础设施体系，实现对电力客户、电力资产、电力运营的持续监视，利用随需应变的信息，来提高电网公司的管理水平、工作效率、电网可靠性和服务水平。实现更精细化和智能化的运行和管理需要高级分析应用的理论与技术支撑。

鉴于此，本书系统介绍了专家系统原理，向人们推荐了一个优秀的专家系统工具——ESTA，并给出一些应用范例，与大家共同学习、交流。希望对我国在这一领域从事教学、研究及应用开发的同行有所帮助，为提高专家系统在我国的应用水平、建设国家电网公司统一坚强智能电网作一份贡献。

由于编者水平所限，本书难免有错误之处，真诚希望读者谅解并给予批评指正。

作 者
2010 年 3 月于鞍山

目 录

第 1 章 人工智能与专家系统概述	1
1.1 人工智能简述	1
1.1.1 人工智能发展基本回顾	1
1.1.2 人工智能技术主要应用	2
1.1.3 认知科学的两个方面——专家系统和神经网络	2
1.1.4 智能诊断和智能规划	3
1.2 专家系统简述	3
1.2.1 专家系统应用与现状	3
1.2.2 专家系统的组成	4
1.2.3 专家系统的分类及特点	4
1.2.4 专家系统存在的问题及主要发展方向	5
1.2.5 专家系统的形式描述	6
1.2.6 专家系统的推理与不精确性的处理	6
1.3 专家系统工具	7
1.3.1 专家系统工具简述	7
1.3.2 专家系统工具研究特点	8
1.4 诊断问题求解.....	10
1.4.1 求解诊断问题的思维框架.....	10
1.4.2 诊断问题求解的方法及策略.....	11
1.4.3 演绎推理诊断问题求解的方法.....	11
1.5 知识表示.....	12
1.5.1 知识表示简述.....	12
1.5.2 常用知识表示方法的能力及比较.....	12
1.6 Visual Prolog 简述	14
第 2 章 ESTA 概述	15
2.1 ESTA 基本特点	15
2.1.1 专家知识何时能显示出差异.....	15
2.1.2 使用 ESTA 的意义	16
2.2 ESTA 应用开发导例	18

2.2.1	ESTA 中知识库的书写	18
2.2.2	ESTA 导例	21
第 3 章	ESTA 介绍	28
3.1	ESTA 运行环境	28
3.1.1	ESTA 目录结构	28
3.1.2	ESTA 系统生成	28
3.1.3	ESTA 主窗口构件	30
3.2	ESTA 节	30
3.3	ESTA 参量	31
3.3.1	分类参量	32
3.3.2	布尔参量	33
3.3.3	文本参量	33
3.3.4	数值参量	34
3.4	ESTA 域	35
3.4.1	解释域	35
3.4.2	提问域	35
3.4.3	规则域	36
3.4.4	定义域	37
3.4.5	图片域	37
3.5	ESTA 行动	38
3.5.1	Do-section-of 行动	38
3.5.2	指派行动	39
3.5.3	退出行动	39
3.5.4	链接行动	39
3.5.5	调用行动	39
3.5.6	执行行动	40
3.5.7	停止行动	40
3.6	ESTA 表达式	41
3.6.1	BNF 表示法	41
3.6.2	布尔表达式	42
3.6.3	文本表达式	43
3.6.4	数值表达式	43
3.7	ESTA 文件	45
3.7.1	对话文件	45
3.7.2	文本文件	45
3.7.3	知识库文件	45

3.8	ESTA 图片数据库	47
3.9	ESTA 其他定义	47
3.9.1	标 题	47
3.9.2	名 称	47
3.9.3	忠 告	48
3.9.4	串	48
3.9.5	数	49
3.9.6	Showpic 过程	49
3.9.7	Unknown(不知道)的使用	49
3.10	ESTA 菜单键盘命令	50
3.10.1	ESTA 启动	50
3.10.2	文 件	50
3.10.3	编 辑	51
3.10.4	咨 询	53
3.10.5	参 数	54
3.10.6	节	56
3.10.7	标 题	57
3.10.8	图 片	57
3.10.9	其 他	60
3.11	ESTA 其他编辑命令简介	60
3.11.1	光标移动命令	60
3.11.2	编辑器命令	61
第 4 章	ESTA 应用范例分析	63
4.1	汽车故障诊断专家系统知识库简介	63
4.2	汽车故障诊断专家系统知识库	64
4.3	汽车故障诊断专家系统知识库节名列表 (括号内给出汉字说明)	79
4.4	汽车故障诊断专家系统知识库参量列表 (括号内给出汉字说明)	80
4.5	汽车故障诊断专家系统知识库控制流基本分析图	81
4.6	汽车故障诊断专家系统咨询过程图例	86
第 5 章	基于 Visual Prolog 的专家系统	93
5.1	GENI (小型分类专家系统外壳)	93
5.1.1	GENI 脚本示例	94
5.1.2	GENI 知识库示例	99
5.1.3	对 GENI 的简单分析	99
5.1.4	GENI 咨询过程示例	103

5.2 GENI(Web 版)(小型分类专家系统外壳)	105
5.2.1 GENI 脚本示例	105
5.2.2 GENI 知识库示例	114
5.2.3 GENI 知识库咨询过程示例	118
5.2.4 GENI 咨询流程分析	120
5.3 基于 Web 专家系统的应用研究	121
5.3.1 基于 Web 的非精确反向推理专家系统	121
5.3.2 基于 Web 的非精确正向推理专家系统	126
5.3.3 基于 Web 的贝叶斯专家系统	130
5.4 基于 Web 与汉语自然语言处理的地理信息系统应用研究	133
5.4.1 研究背景	133
5.4.2 基于英语自然语言处理的系统模型 Geobase	134
5.4.3 Geobase 模型的汉化研究及实现	135
5.4.4 处理汉语句子的算法及程序脚本	136
5.4.5 有关语言集、数据库举例	138
第 6 章 ESTA 的汉化及定制过程	139
6.1 提示信息、解释信息等常规用语的汉化	139
6.2 菜单的汉化	140
6.3 分类参量(category)类型值的汉化	142
6.4 对话框中按钮图标的汉化	143
6.5 自定义的过程或函数	147
6.6 ESTA 与数据库连接的应用研究	148
6.6.1 利用 ODBC 与数据库连接	148
6.6.2 利用 DDE 与 Excel 交互实现与数据库的连接	149
6.6.3 利用数据文件与数据库连接	149
6.6.4 基于 Web 的 ESTA 与数据库的连接	150
6.7 其他应用经验简介	150
第 7 章 基于 ESTA 的专家系统	151
7.1 测试 ESTA 中 Excel 与 DDE 连接的例子	151
7.2 学习和研究 ESTA 的实例——专家系统和人工神经网络的结合应用	154
7.2.1 设计及实现思想	154
7.2.2 知识表示举例	154
7.2.3 人工神经网络模型样本训练(部分)形式举例	155
7.2.4 故障诊断咨询过程图示	155
7.2.5 知识库示例	159

7.3 基于 ESTA 的电力设备状态评估专家系统的应用研究	166
7.3.1 状态评估基本过程框架描述	166
7.3.2 状态综合指数	166
7.3.3 知识库设计	168
7.3.4 评分基本准则及实例分析	168
第 8 章 Visual Prolog 的应用示例——基于高压分析的变电设备故障诊断专家系统	171
8.1 设计及实现思想	171
8.2 故障诊断咨询过程图示	172
8.2.1 变压器绕组绝缘电阻咨询过程图示	173
8.2.2 变压器绕组介质损耗咨询过程图示	175
8.2.3 变压器绕组泄漏电流咨询过程图示	176
8.2.4 变压器绕组直流电阻咨询过程图示	178
8.3 故障诊断咨询基本结构层次图示	179
8.4 知识库示例	181
8.5 菜单命令程序调用示例	184
8.6 知识库中规则参数处理程序示例	185
第 9 章 基于 Windows 与基于 Web 的 ESTA 应用咨询过程图例	188
9.1 基于 Web 的 ESTA 应用咨询(冠心病风险评估)过程图例	188
9.2 基于 Windows 的 ESTA 应用咨询(电力设备状态评估)过程图例	196
9.3 基于 Web 的 ESTA 应用咨询(电力设备状态评估)过程图例	198
9.4 基于油浸式变压器状态检修及状态评价导则的 ESTA 应用研究	203
9.4.1 油浸式变压器(电抗器)状态评价导则基本内容	203
9.4.2 油浸式变压器(电抗器)状态检修导则基本内容	205
9.4.3 ESTA 应用研究图例	205
附例 基于汉化及扩展 ESTA 的变压器状态评估专家系统知识库样本	212
参考文献	241

第 1 章 人工智能与专家系统概述

1.1 人工智能简述

1.1.1 人工智能发展基本回顾

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是用计算机模拟专家思维和推理过程,于 20 世纪 50 年代兴起的一个综合性很强的边缘学科,它是由控制论、信息论、计算机科学、电子学、生物学、神经学、生理学、数学、语言学和哲学等多种学科相互渗透而形成的。专家系统(Expert System, ES)、模式识别(自然语言理解)和智能机器人是人工智能领域的三大分支。人工智能也包括:主体技术、机器学习、自动推理、数据挖掘、知识工程、语义 Web 服务、语义网络、决策支持系统、图像处理、信息检索等。人工智能主要研究用人工的方法和技术,模仿、延伸和扩展人的智能,实现机器智能。有人把人工智能分成两大类:一类是符号智能;一类是计算智能。符号智能是以知识为基础,通过推理进行问题求解,即传统的人工智能。计算智能是以数据为基础,通过训练建立联系,进行问题求解。人工神经网络、遗传算法、模糊系统、进化程序设计、人工生命等一般都属于计算智能。

20 世纪 70 年代许多新方法被用于 AI 开发,著名的如 Minsky 的构造理论;另外 David Marr 提出了机器视觉方面的新理论,例如,如何通过一幅图像的阴影、形状、颜色、边界和纹理等基本信息辨别图像,通过分析这些信息,可以推断出图像可能是什么;同时期另一项成果是 1972 年提出的 Prolog 语言。70 年代的另一项进展是专家系统,专家系统可以预测在一定条件下某种解的概率。专家系统的市场应用很广,常被用于股市预测,帮助医生诊断疾病,以及辅助确定矿藏位置等。专家系统因其效用被广泛使用,像杜邦、通用汽车公司和波音公司都大量依赖专家系统。80 年代,人工智能技术发展更为迅速,并更多地进入商业领域。在 90 年代及进入 21 世纪,人工智能技术也应用在 Internet 上,如信息搜索等。

在我国,智能模拟纳入国家计划的研究始于 1978 年。1984 年召开了智能计算机及其系统的全国学术讨论会。1986 年起把智能计算机系统、智能机器人和智能信息处理(含模式识别)等重大项目列入国家高技术研究 863 计划。1997 年起,又把智能信息处理、智能控制等项目列入国家重大基础研究 973 计划。进入 21 世纪后,在最新制订的“国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)”中,“脑科学与认知科学”已列入八大前沿科学问题之一。我国科技工作者已在人工智能领域取得了具有国际领先水平的创造性成果。其中,尤以吴文俊院士关于几何定理证明的“吴氏方法”最为突出,已在国际上产生重大影响,吴文俊因此荣获 2001 年国家科学技术最高奖励。现在,我国已有数以万计的科技人员和大学师生从事不同层次的人工智能研究与学习。人工智能研究已在我国深入开展,它必将为促进其他学科的发展和我国的现代化建设作出新的重大贡献。

1.1.2 人工智能技术主要应用

人工智能技术的主要应用包括如下几方面。

(1) 案例推理

人工智能的一项应用是案例推理(Case Based Reasoning, CBR), CBR 就是对案例存储系统中的各个案例进行研究, 对案例进行分类, 当需要对某一新的事件进行分析时, 可以在案例库中抽取类似案例进行类比, 参考早期案例的解决方案, 选择当前事件的最佳解决方案。CBR 的一个重要应用是自动的客户支持系统。

(2) 智能过滤引擎

人工智能的另一个重要应用是交互操作中的数据过滤引擎, 从某方面说, 该功能可以“占卜”用户的爱好和行为, “占卜”的基础是其他许多人的行为表现。

美国新思公司公布了一种新的汉字输入系统, 该系统的使用者只需要在电容式触摸板上写出汉字的前三画或前四画, 计算机就可以判断使用者想输入的汉字集合, 然后由输入者确认。这就是利用数据过滤技术的成功案例, 这种技术正广泛地被应用在网络服务中。

(3) 专家系统

专家系统可能是人工智能技术要求最繁杂、应用要求最高的一个发展领域, 基于判定规则的专家系统以大量经验判断为基础, 当某一用户的数据输入到系统中时, 系统在规则和知识库的帮助下利用布尔逻辑来进行判断, 并提出相关的建议或预测。

现在, 大量的专家系统算法被内建在各种不同的系统中, 对大量实际问题提供决策分析。比如在航空领域, 飞机在故障或恶劣天气环境下的飞行路线决策支持就是一个重要应用。此类系统在地面站的支持下, 综合来自机场分布数据库的数据和实时的环境信息, 对用户提出的假设选择进行分析后, 显示预测的结果: 可以抵达、空中相撞或油料耗尽, 同时提供应该选择的最佳路线和降落机场。此类算法还可以帮助机场管理飞机降落、飞机调动计划和跑道分配, 英国剑桥 Ascent 公司的 ARIS 软件系统是这一领域的高手, 世界上许多航空公司都在使用它的系统, 其客户还包括美国国防部。在当前的网络中, 内建的专家系统正在网络资源分配、网络故障环境下的负载分配重构、不同优先级的邮件通路选择等方面发挥作用, 在用户毫无察觉的情况下, 它已经将大量工作悄悄完成了。

(4) 人工神经网络

人工神经网络也是人工智能发展的一个方向。人工神经网络具有分布式存储信息、并行地处理信息和进行推理, 以及自组织学习等特点, 解决了众多用以往方法很难解决的问题。

人工神经网络用于分类、聚类、特征采掘、预测和模式识别。人工神经网络模仿生物神经网络, 本质上是一个分布式矩阵结构, 它通过对训练数据的采掘逐步计算网络连接的权值。

1.1.3 认知科学的两个方面——专家系统和神经网络

回顾认知科学的发展, 有所谓符号主义和联结主义两大流派。符号主义从宏观层次上, 撇开人脑的内部结构和机制, 仅从人脑外在表现出来的智能现象出发进行研究。例如, 将记忆、判断、推理、学习等心理活动总结成规律, 甚至编制成规则, 然后用计算机进行模拟, 使计算机表现出各种智能。20 世纪 70 年代的专家系统和 80 年代日本的第五代计算机研究

计划就是其主要代表。联结主义则与其不同,其特点是从微观出发。联结主义认为符号是不存在的,认知的基本元素就是神经细胞(神经元),认知过程是大量神经元的联结,以及这种联结所引起的神经元的不同兴奋状态和系统所表现出的总体行为。80年代再度兴起的神经网络和神经计算就是这种联结主义的代表。

1.1.4 智能诊断和智能规划

第一代传统的诊断专家系统具有很强的设备依赖性,如何从专家那里获取必要的诊断知识是维护和发展系统的“瓶颈”。基于模型的诊断是一种为了克服第一代诊断系统的严重缺陷而出现的新型智能诊断推理技术,主要根据设备的结构和运行原理来进行诊断,被人工智能专家誉为诊断理论和技术上的革命。

智能规划是人工智能研究的一个重要领域。实际上,它是一种问题求解技术,从某个特定问题的初始状态出发,寻找达到解决该问题的目标状态的动作序列。近年来,国内外的智能规划研究工作主要集中于现实问题的知识表示和启发式策略。

人工智能的研究在很大程度上落实于各类知识处理技术的研究。而“知识科学—知识工程—知识产业”形成了知识处理研究和应用的完整链条。现今最大的知识来源是万维网,包括浏览器、语义网、知识网络、海量知识库、普及科学的 e-Science、e-Learning 等,这些都是该链条上的有力工具。人工智能将由此找到服务于社会的最有力切入点。

人工智能虽然不是万能灵药,却也不是无端妄说。人工智能能否发展到可以匹敌自然智能(人类智能)的地步是一个颇有争议的问题。一些学者建议把人工智能和自然智能结合起来,形成威力更大的智能组合,这个想法是有益和可行的。事实上,科学家们早已开始这样做了。

1.2 专家系统简述

1.2.1 专家系统应用及现状

专家系统,其实就是一类程序系统,从功能上可以把它定义为“一个在某领域具有专家水平解题能力的程序系统”,它能像领域专家一样工作,能运用专家们多年积累的经验与专门知识,在较短的时间内对问题给出高水平的解答。例如一个专科的医疗专家系统,它在诊断某类疾病时,可以达到专科医生们的水平,从而至少可以作为医生的助手,帮助诊断。从结构上讲,还可把专家系统定义为“由一个专门领域的知识库,及一个能获取和运用知识的机构构成的一个解题程序系统”,这里从结构上强调了其中存放知识的知识库与运用知识的机构之间的独立性。一个专家系统的优劣在很大程度上取决于它所具有的“专家知识”的多少与水平。

第一个问世的专家系统是 DENDRAL(1965),它用于分子结构的光谱分析,由斯坦福大学的费根鲍姆在诺贝尔化学奖获得者利德伯格的支持、鼓励与配合下完成。继 DENDRAL 之后,一批著名的专家系统如 MYCIN(用于血液分析,1976),PROSPECTOR(用于探矿,1979),XCON(用于计算机配置)等雨后春笋般地涌现出来,并且成为实用的商品,在软件产业中占有了重要地位。在电力行业,Hydro-Quebec(IREQ)在几十年里积累的几万组溶解

气体分析数据的基础上,建立专家系统,用于分析电力设备的故障类型,作出关于设备状况、取油样周期和维修决定等的建议。

由于专家系统的重要意义和巨大潜力,世界各国的计算机软件公司和研究机构竞相研制开发。我国科技工作者也开发了一些具有中国特色的专家系统。早在 1977 年,中国科学院自动化研究所就基于关幼波先生的经验,研制成功了我国第一个“中医肝病诊治专家系统”。1985 年 10 月,中科院合肥智能研究所熊范纶建成“砂姜黑土小麦施肥专家咨询系统”,这是我国第一个农业专家系统。中科院计算研究所史忠植与东海水产研究所等合作,研制了“东海渔场预报专家系统”。其他比较著名的专家系统有国防科技大学的 YHW、浙江大学的 ZDEST-1 与 ZDEST-2 等。

1.2.2 专家系统的组成

虽然专家系统的构造方法很多,但从很多专家系统的内部结构上看,它们大体上分为如下几个部分。各部分之间的关系如图 1.1 所示。

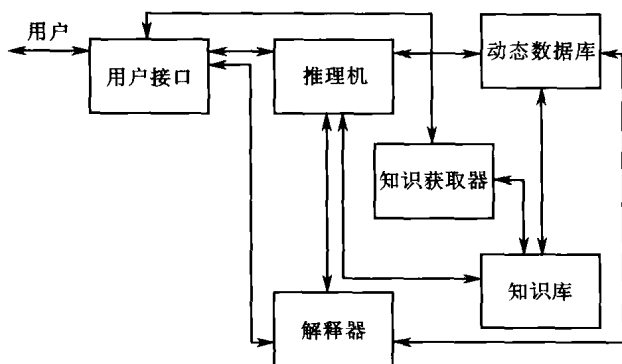


图 1.1 专家系统示意图

① 知识库：存放着领域的专门知识(包括事实和启发性知识)、一般常识和普适规则。

② 推理机：进行各种推理或搜索等功能的程序模块。

③ 用户接口：专家系统与用户间的基于声、文、图、像的接口。

④ 动态数据库(又称黑板)：这是专家系统在执行与推理过程中用以存放中间结果或证据等工作存储器，“黑板”的内容动态地控制着专家系统的工作过程。

⑤ 知识获取器(或学习模块)：它的功能或者是根据系统运行的经验自动地不断修正和补充知识库的内容(即所谓自学习)，或者是能将专家或书本所提供的知识(以某种形式语言表示的)经过理解编译成需要的内部形式作为新知识加入知识库。

⑥ 解释器：它是解答用户对专家系统的行为询问“为什么”或“如何”之类问题的一个程序模块。

1.2.3 专家系统的分类及特点

从专家系统本身求解问题的特点,可将专家系统归纳为三大类。

① 诊断型。其特点是解空间中解是唯一的,即所研究的对象的有关状态是已经确定的,但是要求出此唯一解,必须充分计算干扰数据(如时变数据和噪声数据)。这种类型包括解释

型、诊断型和监视型。

② 设计型。其特点是在解空间中解很多，甚至无穷。从而有一系列困难，如大的决策空间、多目标性、多约束性，但无干扰数据的干扰。它包括规划型和设计型。

③ 控制型。其特点介乎前两者之间，解不唯一，但也不多，也存在一些干扰数据，包括控制型和预测型。

专家系统具有以下三个特点：

- ① 启发性，它能使用判断性知识及已确立理论的形式知识进行推理；
- ② 透明性，它能够解释其推理过程并对有关它的知识的询问作出回答；
- ③ 灵活性，它能够把新的知识不断地加入到已有的知识库中。

建造一个专家系统的过程可以称为“知识工程”，它是把软件工程的思想应用于设计基于知识的系统。知识工程包括以下4个方面：

- ① 从专家那里获取系统所用的知识(即知识获取)；
- ② 选择合适的知识表示形式(即知识表示)；
- ③ 进行软件设计；
- ④ 以合适的计算机编程语言实现。

1.2.4 专家系统存在的问题及主要发展方向

专家系统存在的技术问题如下。

① 目前，大多数专家系统只能用已有的经验知识去解释问题，很少能用解决问题的根本原因去解释，因而专家系统中除了经验知识外，还要加入基于机理的深层知识，进行因果推理。

② 因为专家系统需要因果推理，因而需要发展一些混合推理知识，这些混合推理知识可由知识工程师产生或系统本身产生。

③ 现有知识库中，知识有限。开发知识库是技术性的工作，因此知识库的合理性和完整性是两个重要方面。合理性包括矛盾规则、冗余规则，以及更复杂的相互兼容性，还要考虑控制策略，完整性保证了规则在所有可能的情况下都能提出合理的解决办法。

④ 知识获取是一个“瓶颈”问题。期望在此方面有所突破。

目前，国外专家系统主要发展方向包括以下几方面。

① 模糊技术。为使专家头脑中所进行的思考与决策能实现自动化，模糊技术将起重要作用。因此将传统的专家系统与模糊技术结合起来的模糊专家系统是专家系统的发展方向之一。

② 实时专家系统。它是专家系统应用发展到一个新阶段的重要标志，与传统的专家系统不同的是它必须实时地操作，现国外已开始建立无人工厂或半无人工厂(晚上无人)，用实时专家系统去控制整个生产过程。

③ 专家系统与神经网络。它们都是人工智能的产物，都是AI专家们模拟人类智慧促进生产和高科技发展的手段和方法，两者各有优缺点。近年来，有人将这两者联合起来，充分利用其优点，这也是专家系统发展的一个趋势。

④ 专家系统与开发工具。20世纪70年代中期的第一代专家系统是以符号、表处理语言及有关技术为工具开发的，末期的专家系统则是以专家系统外壳，即骨架型系统为工具开发

的。80 年代初期又产生了通用知识表示语言和组合开发工具，中期又出现了专家系统计算机辅助软件工程及信息学的开发环境。为提高专家系统性能，缩短研制周期，使其具有良好的移植性、嵌入性，扩大应用范围，90 年代至 21 世纪出现了 Visual Prolog, Amzi Prolog 等专家系统开发语言及基于 Java 的 Jess、基于 Visual Prolog 及 Web 的 ESTA 等专家系统工具。

1.2.5 专家系统的形式描述

此处仅是初步的描述。

定义 1.1 知识库 KB 是一个关系集：

$$KB = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$$

$R_i = \{(a(x), b(y), c) \mid a(x), b(y) \in \text{谓词集} \cup \text{符号集}, x, y \in \text{常量} \cup \text{变量}, c \in \text{实数集} \cup \text{语义集}\}$

数据库(充当事实库) DB 也是一个关系集：

$$DB = \{(A(X_0), C) \mid X_0 \in \text{常量集}\}$$

定义 1.2 设 $I(d, m)$ 为推理机制，则 $I(d, m)$ 可视为从 DB, KB 到 DB, KB 的一个二元映射：

$$DB \times KB \xrightarrow{I(d, m)} DB \times KB$$

其中： d 为推理方向； m 为控制方式。

定义 1.3 $p_1(x)$ 为一个过程，表示在 ES 内对一个信息块 x 进行一次存取，时间为 $t_1(x)$ ，其中 x 可以是数据、知识或子任务； $p_2(x)$ 为一个过程，表示在 ES 内对 x 进行一次操作(如推理、匹配等)，时间为 $t_2(x)$ ； $p_3(x)$ 为一个过程，表示在 ES 内对 x 进行一次传送，时间为 $t_3(x)$ 。

定义 1.4 ES 是建立在 $(KB, DB, I(d, m))$ 三元组上的，从初始状态到目标状态的一个程序系统：

$$ES = \{(p_1(x_1), p_2(x_1), p_3(x_1)) \rightarrow (p_1(x_2), p_2(x_2), p_3(x_2)) \rightarrow \dots\}$$

其中：“ $\rightarrow$ ”表示从一个状态到另一个状态。

1.2.6 专家系统的推理与不精确性的处理

推理是指从已有事实推出新事实(或称结论)的过程。推理过程主要解决的问题是：在问题求解的每一状态(包括初始状态)下如何控制知识的选择和运用。知识运用称之为推理方式，知识的选择过程称之为控制策略，它是控制推理过程如何进行下去以及在何种情况下采取哪种推理方式的一套控制方法。

推理一般可分为正向推理和反向推理。正向推理有时也称做“正向链”，其基本思想是按向前的方向检查每一条规则——先看它的前提，而结论部分直到它的前提被确定为真时才加以考虑。反向推理又称为“反向链”或“面向目标”的推理。其基本思想是反向考虑规则——先看规则的结论而不是它的前提，推理过程的任一时刻，推理机集中精力试图建立某一具体未知变量的值，这称为当前目标变量。人类专家有时需要在不精确的情况下进行推理，寻求专家建议的人对于自己在咨询中向专家提供的信息可能无法具有百分之百的确信。类似地，人工智能技术中有将各级置信度融入专家系统完成推理过程的手段，如通过所谓置信因子来实现。

1.3 专家系统工具

1.3.1 专家系统工具简述

如前所述,专家系统是一类智能程序系统。一个具体的专家系统就是面向某个具体领域的问题求解程序,它们基于某种领域知识,在相应领域内其解题的能力和质量具有领域专家的水平,故程序显示出一定的智能行为。在专家系统研制的初期(即20世纪六七十年代),研究者都致力于建立针对这种特定应用领域的专家系统,并取得了巨大的成功。这一时期的主要工作以DENDRAL, MYCIN和PROSPECTOR三个系统为代表。在研制专家系统的过程中,人们遇到了从系统结构设计到具体知识的获取、整理和建库直至最后调试过程的一系列困难,以及领域专家与知识工程师的艰难合作,系统研制周期长等问题,这些问题促使人们寻求一种更加行之有效的开发ES的方法。与此同时,虽然不同的专家系统都有其各自的特性,但各种专家系统之间又具有很多共性,包括体系结构、控制流程、运行方式、推理及知识表示模式等,这些共性使得建造各种专家系统开发与生成工具成为可能。进入20世纪80年代后,为克服上述困难,研究者开始研制专家系统工具(EST)以实现系统结构设计与应用领域内容的分离,这种分离至少有两点好处:

- ① 使计算机科学家、知识工程师致力于研究ES的形式化体系和辅助开发工具;
- ② 使应用领域专家不加培训或稍加培训就能独立构造ES,缩短建造ES的周期。

历史上第一个EST是EMYCIN(1981),它是MYCIN独立于应用领域的骨架系统。

与计算机程序设计语言的发展作类比,专家系统工具(EST)相当于高级语言的地位,它提供推理机、知识表示模式、知识获取工具、丰富的开发接口和用户接口,是简化建造ES工作的结构化的软件包,用户不必了解ES是如何实现的,而主要工作是提供领域知识。

对专家系统工具可以从不同的角度进行分类:

- ① 从应用问题领域看,可分为诊断、监控、设计、规划、调度等;
- ② 从工具提供的知识库规模看,可分为小型(500条规则)、中型(501~1500条规则)和大型(1500条规则以上,大量对象和大量语义网);
- ③ 从工具的推理基础看,可分为规则基(Rule-based)和逻辑基(Logic-based)工具;
- ④ 从工具的实现技术看,可分为简单规则基型、结构化规则基型、归纳型和混合型。

归纳型工具其实是由机器学习的实验导出的一种知识获取工具,它从用户提供的例子中产生出规则,例子有Rule Master, TIMM, Super Expert, Expert-Ease等。

简单规则基型工具是一个最基本的产生式系统,以IF-THEN规则表示知识,没有语境树(Context-tree,又称上下文树)。所有规则不再分类而被统一地存放在一个知识库中,这适用于产生较简单的小型专家系统,一般都是在个人计算机上实现。例如,EST, M.1, NExpert等。

结构化规则基型工具主要以EMYCIN为蓝本,进行修改与补充,在基于结构化规则的工具中,也采用规则的形式表示知识,与简单规则基型不同之处是全部规则被分解成一组构成层次结构的规则集,即开发者可设计一棵树,然后把各规则集分装到树的各个节点上,并且处于子节点上的规则可以继承父节点上规则的有关信息,这样分类以后组织的规则库称为