

〔美〕F·海斯罗斯等编辑

王申康等译

何志均校

建立专家系统

● 四川科学技术出版社 ●



建立专家系统

〔美〕F·海斯罗斯等编

王申康等译

何志均 校

四川科学技术出版社

一九八六年·成都

责任编辑：崔泽海 解励诚
封面设计：朱德祥
技术设计：翁宜民

建立专家系统
王申康等 译

四川科学技术出版社出版
(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行
成都印刷一厂印刷

统一书号：15298·281

1986年11月第一版 开本787×1092毫米1/16
1986年11月第一次印刷 字数 474 千
印数 1—2,000册 印张 19.75 插页 5
定价：3.74 元

译 者 的 话

专家系统是人工智能发展的三大前沿（模式识别、专家系统和智能机器人）之一。它在医学、化学、地质，教育，军事，生物等领域的应用已取得巨大的经济效益和社会影响。专家系统作为第五代计算机的核心更是令人神往。尽管专家系统是发展中的学科，也无完善的理论基础，但它把人类专家的经验知识融合于计算机之中，使计算机能依照人的思维方式进行推理来完成过去只有专家才能完成的高级任务。这种把人工智能的实验性研究变成解决真实世界问题的能力，使专家系统的研究得以迅速发展，同时也促进了人工智能学科的发展和知识工程的开发。

由美国著名专家系统权威海斯·罗斯、瓦特曼、利纳特等编辑的这本书是专家系统的第一本教科书。该书从专家系统的基本概念、专家系统的结构和推理方法出发，以一典型事例贯串全书、系统地阐述了专家系统的各种知识表达和推理策略，分析比较各种建立专家系统工具和语言的特点及其应用方法。每章后面还有一些研讨性习题，可供读者进一步理解有关内容。

本书由浙江大学计算机科学与工程系王申康和研究专家系统应用的自动化专业博士研究生李平、归桢华、龚建平、褚健以及徐承伟同志翻译，何志均教授校阅。参加本项工作的还有王劭伯、蒋炯、杨永耀、钱大群等同志。

本书在翻译过程中，得到了国内从事专家系统研究的专家的多方面的协助，在此表示感谢！

由于译者水平所限，译文中难免有错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

译 者

1986年11月

内容简介

本书系统地论述人工智能领域中专家系统的原理、构造和设计方法。全书通过一个典型事例剖析,阐述各种建立专家系统工具的应用方法。

全书分十章,内容包括专家系统的基本概念、专家系统的结构、建立专家系统的工具、专家系统的评价和知识工程的语言和工具等。全书以美国有毒化学物质溢出危机遏制为例,系统地论述建立专家系统的设计思想和方法。每章末附有研讨性习题。

本书可作计算机学科研究生教材、也可供从事计算机科学、人工智能等方面工作的科技人员、高等院校有关专业师生参考。

275261/03

目 录

译者的话

原序

第一篇 引论	1
第一章 专家系统概况.....	3
第二章 什么是专家系统.....	20
第三章 建立专家系统的基本概念.....	38
第二篇 建立专家系统	57
第四章 专家系统的结构.....	59
第五章 构造专家系统.....	82
第六章 建立专家系统工具的研究.....	107
第三篇 评价专家系统	139
第七章 关于推理的推理.....	141
第八章 评价专家系统：问题及事例研究.....	155
第四篇 专家系统工具	179
第九章 知识工程的语言和工具.....	181
第五篇 一个专家系统的典型问题	229
第十章 内陆地区油和有毒化学物溢出的紧急情况处理： 一个知识工程的事例研究.....	231
附录	251
几个溢出危机管理应用的原型专家系统运行说明.....	253
术语词汇.....	265
英汉名词对照.....	268
参考文献.....	290
推荐读物.....	303

引 论



第一章

专家系统概况

Frederick Hayes-Roth, Donald A. Waterman, Douglas B. Lenat

本章主要介绍人工智能的发展并着重于人工智能中的一个主要领域即基于知识的专家系统和有关的知识工程领域。缺乏知识的机器似乎命中注定要智能地来执行一系列琐细的任务。那些体现知识并熟练地使用知识的机器看来能够等同、甚至超过人类专家最好的行为。知识提供了工作的能力，知识工程也就是使得知识成为有价值的工业产品的一门技术。

自六十年代中期以来，人工智能在专家系统领域的发展中取得了相当可观的成功。在人工智能(AI)的这一领域人们已把精力集中于组织求解特定专业领域问题的高性能程序，这一研究迫使人们注重于构成人类专业基础知识的研究，并且逐步降低了对和领域无关的问题求解理论的表面意义的要求。一组新的原理、工具、手段和技术已经出现，并成为知识工程的基础。

在专家系统范畴内，研究了用特定问题求解的专门知识来构成人机系统的方法和技术。专门知识由以下几个方面构成：关于特定领域的知识，对这一领域问题的理解；以及求解这些问题中某一部分的技巧。任何专业的知识通常都有两种：公共的和私有的。公共的知识包括公共的定义、事实和理论，它们由在这一领域中的专业书和参考文献组成。但是，专门的知识还不仅仅包含这样一些公共的知识。人类专家通常还具有私有的知识，它在公开发行的文献书籍中无从寻觅。这种私有的知识大部分是由所谓启发式的根据实际经验得出的规则构成。启发式保证人类专家能在必要的时候进行合理的猜测；能对各种问题的认识约定一种方法；也可以有效地论述或处理那些有错或不完全的数据。解释和再生这样一些知识是建立专家系统的中心任务。

这一领域内的研究者提出了许多理由来说明他们的着重点放在知识本身上，而不是放在一般的推理方法上。首先，由于许多重要的问题的开发都存在复杂的社会或物理的关系，所以绝大多数困难而又让人感兴趣的问题无法得到易处理的算法解。这就阻碍了对一个问题的清楚描述和严密分析。规划，法律推理，医疗诊断，地质勘探，以及军事情报分析都反映出了这一问题。还有，符号推理和数学推理现有的方法在专家系统中的应用受到限制，它们不能为以下的问题提供手段：如表达知识，多级抽象问题的描述，设置问题求解的资源，控制联合过程，将完全不同的知识源集中于一个推理过程中。如此种种功能主要取决于描述一个问

题和有选择地使用若干相关知识块的能力，目前的数学方法对这样的任务却无能为力。

注重知识而不注重常规推理的第二个理由是从实用角度出发的。人类专家的行为之所以能获得显著的效果，是因为他们有知识。如果计算机程序能包含并使用这一知识，那么，它们同样能得到高性能的行为。从专家系统发展短短的历史中就反复地证明了这一事实。在以下几个任务中，系统已达到专家级了：探矿 (Duda等, 1979; Gaschnig 1980a)，计算机配置 (McDermott 1980 c, b)，化学结构解释 (Buchanan和Feigenbaum 1978; Feigenbaum, Buchanan和Lederberg 1971; Feigenbaum 1977; Lindsay等, 1980)，符号数学 (Martin和Fateman 1971)，博弈 (Wilkins 1979, 1980)，医疗诊断和治疗 (Clancey 1979; Clancey, Shortliffe和Buchanan 1979; Fagan等1979; Kulikowski 1980; Pauker等 1976; Pople, Myers和Miller 1975; Pople 1981; Shortliffe 1976; Weiss, Kulikowski和Safir 1978a,b; Weiss和Kulikowski 1979)，以及电子学的分析 (Stallman和Sussman 1977; Sussman 1977)。

将精力集于知识的第三个理由是认识了它的真正的价值。知识是一个不完善的资源，但通过对它的提炼和再生却能产生价值。按传统的观点，将一个专家的知识传授给一个培训人员需要好多年的学习和实习。将人类的知识抽象取出来并写成可计算的形式，则可以大大降低知识再生和知识开发的费用。同时，通过使私有的知识有效地用于公共的测试和评价，能够加速知识的提炼过程。

总之，专家的水平完全取决于专家的知识。因为知识是求解关键问题的关键要素，所以它有十分可贵的特征：证明可能是昂贵的发掘的合理性；需要有效的技术以变为产品；并且使综合地将它进行再生的手段由幻想变为现实。

专家系统在其重要技术方法上既不同于通常的数据处理系统，也不同于人工智能在其他分支上开发的系统。和普通的数据处理系统相比，人工智能系统通常具备若干卓著的特色，其中包括符号的表达，符号推理和启发式搜索。实际上，以上每一特色就是人工智能领域中一个深入研究的核心课题，并且一个简单的人工智能任务常常就是产生一个解决这些核心问题的正式方法。但是专家系统在有些方面又不同于概括地分类的人工智能任务。第一，它能用专家水平的技能来执行一个困难的任务。第二，它比较通用的人工智能“弱方法” (Newell, 1969) 更侧重于特定范围内问题求解的策略。第三，它能用自身的知识对自身的推理过程进行推理，并对产生的结论进行解释和调整。最后，专家系统能求解一般属于如下范畴中的问题：解释，预测，诊断，查错，设计，规划，监控，维修，教育，以及控制。作为这些不同作用的结果，专家系统表现为人工智能研究的一个领域，它包含一些范例，工具和系统开发策略。

当前人们对专家系统的极大兴趣 (Feigenbaum 1977; Duda和Gaschnig 1981; Michie 1979; Yasaki 1981; F. Hayes-Roth 1981; Webster和Miner 1982; Edelson 1982) 促使了这本书的问世。专家系统是年青的人工智能领域的一个范畴，它已具有一些成功应用的记录，同时，它也是对工业生产和政府具有最直接意义的范畴。下面就是它取得的成就的一个不完全统计表。

- PROSPECTOR系统已经发现了一个钼矿，它的使用价值大概将超过 100,000,000 美元，(私人函件, John Gaschnig, SRI International)。
- R1系统按用户要求配置数字设备公司 (Digital Equipment Corporation) 生产的VAX

计算机系统，尽管这方面的专家认为这是做不到的。

- 许多年以前已证明具有超人行为的 DENDRAL 系统，它每日为上百个国际用户提供化学结构解释服务 (Lindsay等1980)。
- CADUCEUS系统拥有比任何人都多的内科知识并能正确地对一些专家都感到棘手的复杂病案作出诊断 (Pople, Myers和Miller 1975; Pople 1981; Miller, Pople和Myers, 1982)。
- PUFF系统用一个预先开发好的与领域无关的专家系统集聚了肺功能疾病的知识用于诊断咨询，现在在加利福尼亚医疗中心提供专家分析 (Feigenbaum1977)。

这些和还有其他一些专家系统领域的成就表明，这一领域正在迅速地成熟起来。不过，能支持这一领域的科学技术基础知识只取得了十分有限的一点进展。尽管一些基本原理和系统化的方法已经形成，但每一项新的应用却都需要开创性的工作。从这一点上看，专家系统是一没有什么理论方法的高度实验性技巧的领域。尽管如此，其核心问题都已经摆出来了，并且名目繁多的手段和技术现在也能将一个应用成果移到另一问题中去。

1.1 历史回顾

在1977年的人工智能国际会议上，Feigenbaum在一篇特约文章中有一段关于专家系统的关键观点。他指出，专家系统的动力来自它所具有的知识，而不是来自它所采用的特定形式和推理方式。这一观点概括了多数人工智能领域工作者对前景看法的主要变化。简要地回顾一下早期的思想可以帮助我们评价这一新的前景的意义。最初的人工智能研究受着一种朴素信念的支配，即通过一些推理的定律和强有力的计算机联接起来将产生专家和超人的性能。但随着经验的产生，通用目的的问题求解策略由于受到严格的限制，因此导致认为它们对一些复杂问题无能为力的观点 (Newell 1969; Newell和Simon 1963)。因此，许多探索者在发现了这些通用性策略的局限性之后，便开始将工作移到在很狭窄范围内定义的应用问题上。

到七十年代中期有几个专家系统已经开始形成。少数研究者认为要先认识这些系统中知识的核心作用然后再开始工作。他们致力于开发理解知识表达的理论和相关通用系统 (Bobrow和Winograd 1977; Minsky 1975; Brachman 1977; Szolovits, Hawkinson和Martin 1977)。短短几年中，很快就表明这些努力也如同早先的通用性问题求解方法的命运那样，同样限制了它成功的可能。作为研究目标的“知识”是多而广的，求解知识基问题的努力通常来说也显得太早了。另一方面，几种不同的知识表达的方法在采用它们的专家系统中被证明是充分的。最后，从这些经验中所得到的教训，就如Feigenbaum指出的：专家的知识是构成专家性能的关键，而知识的表达和推理的方法则提供了应用的机理。尽管对源知识和一般知识的表达的探索显而易见是需要的，但它们却没有任何经验规律。

总之，每一领域的专家知识，对于开发一个专家系统既必须且又近乎充分。这一观点不过是经验的，而不能照搬。

图1.1表示了专家系统领域内的某些发展进程。这一过程延续了二十年，因为绝大多数

注：到一九八二年——译者

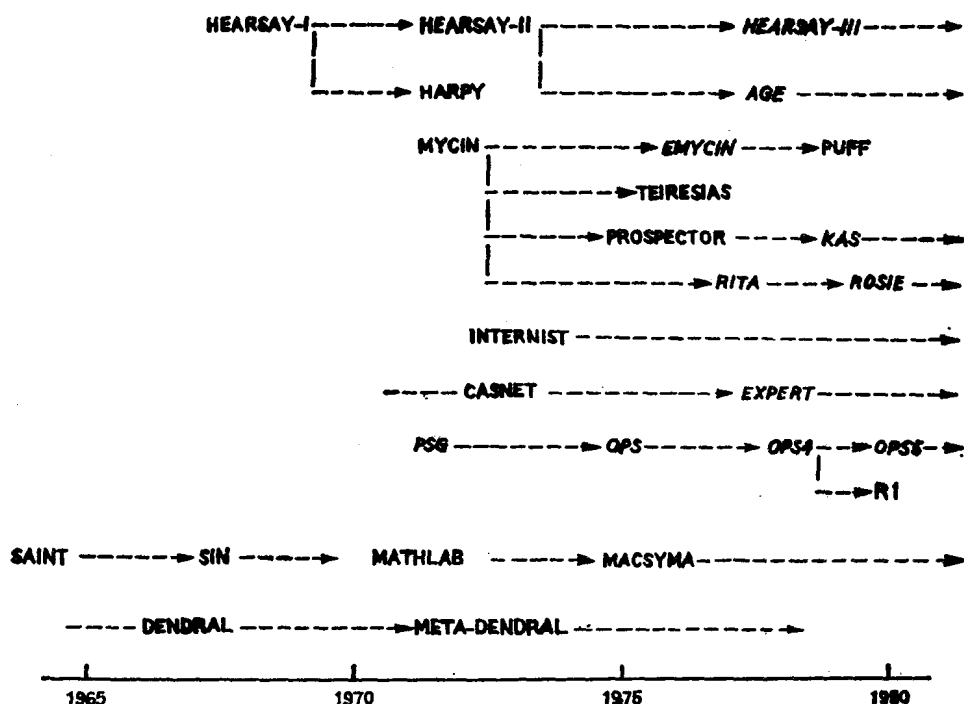


图1.1 部分专家系统和建立专家系统语言的演变过程。(斜体字表示建立专家系统语言)

课题持续了许多年，所以图中的确切时间的位置是近似的，并且还有许多专家系统没有表出。下面，将图中出现的那些专家系统简要地作些介绍。

在斯坦福大学，DENDRAL系统这一课题的研究到目前已进入第十六个年头了(注)这一课题建立了两个系统，DENDRAL和META-DENDRAL(Buchanan和Mitchell1977, 1978; Buchanan和Feigenbaum 1978; Feigenbaum, Buchanan 和 Lederberg 1971, Lindsay等1980)。DENDRAL能分析质谱图，核磁共振和其他化学试验数据，以推算未知化合物的可能存在的结构。DENDRAL在它的问题求解中采用了一种生成—测试(generate and-test)的有效方法。这种生成器能列举每一种可能的有机化合物结构，这些有机化合物结构通过系统地产生和数据一致的部分分子结构，随后用全部可能的方法来精选这些结构，使能满足数据给出的约束条件。通过迅速消去不可能为真的子结构，便可避免要以指数级膨胀的搜索。通过系统地产生全部可能为真的结构，它甚至找出那些人类专家往往会漏掉的候选结构。

在META-DENDRAL系统中，通过采用和选择了有机物结构的分块结构规则，比DENDRAL系统增加了对知识的分析。用保留下来的已被证明是相当有价值的假设规则，并通过检查试验数据，它便能产生和测试可能的分块结构。一个规则若频繁地使用，且很少预报一个错误的分块结构的话，那么我们说这一规则是有价值的。因此，DENDRAL在它所完成的任务中要优于所有的人，并且已经在化学研究中导致了人和机器作用的重新定义。

另一条线表明的发展是MIT(麻省理工学院)开发的一个符号数学专家系统：它从SAINT开始(Slagle 1961)，MACSYMA则是它发展的顶点。象DENDRAL一样，MACSYMA胜过绝大多数的专家。它可以进行微分和积分的符号运算，并擅长简化符号表达式。经过世界各地数学研究人员和物理学家们的大量使用，MACSYMA系统从应用数学

专家那里获得了几百条规则。每一个规则表示了将一个表达式转换为另一个等价表达式的另一种方法,而求解一个问题必须找出一条将原始表达式转换成适当简化形式的规则链。

EXPERT系统(Weiss, Kulikowski和Safir 1978; Weiss和Kulikowski 1979)是一种建立专家系统的语言。它由CASNET进化而来。CASNET是一个诊断和治疗青光眼的咨询专家系统。EXPEPT主要已用于建立眼科病、内分泌病、风湿病的咨询模型。

匹兹堡的卡内基—梅隆大学研究的CADUCEUS系统(Pople, Myers和Miller 1975; Pople 1981)和斯坦福大学研究的MYCIN系统(Shortliffe 1976)各自提出和描述了不同的医疗诊断问题。CADUCEUS由一个极大的表示内科疾病和症状之间关系的语义网络构成。到1982年,这个系统大约具有100,000条关系,表达了全部相关知识的百分之八十五。它还采用了一些复杂的策略,企图区别多种疾病。国家卫生组织现已对这种诊断的指导意义作出评价,并将决定其进一步推广的可行性。

MYCIN涉及了诊断和治疗传染性血液病的问题。其知识包含大约400条前提—结论型规则。在其问题求解中,MYCIN根据提供的数据或从内科医生处咨询问到的数据来测试一条规则的条件,如果满足的话,则试图从其他规则来推断这一条件真实与否。一个专家小组评价了某几个不同代表人物(包括医学专家,实习医师)以及MYCIN系统的行为,MYCIN的行为被认为是超过其他所有人的。

一个MYCIN的衍生系统叫TEIRESIAS,它是一个支持将专门知识从人类专家转换为知识库知识的巨大知识库构造程序(Davis, Buchanan和Shortliffe 1977; Davis和Lenat 1980)。在这里专家和TEIRSIA可以部分自然语言进行对话。

MYCIN系统使用简单的IF—THEN形式的独立规则激发了各种各样的相关系统。斯坦福研究所(SRI)的PROSPECTOR系统(Duda, Gaschnig和Hart 1979; Duda和Gaschnig 1981)使用模拟形式的知识表达方式建立矿藏关系。PROSPECTOR系统现已包括十二个不同类型矿藏的知识库。象MYCIN那样,它根据提供的每一先决条件的支持程度来决定最合理的推断。这一过程是递归地被采用的,直至全部相关条件的数据都问及并按启发的方式结合起来。在斯坦福大学,MYCIN的一个与领域无关的版本已经产生,称之为EMYCIN(Van Melle 1979)。除MYCIN系统的有关传染性血液病的知识以外,EMYCIN全盘继承了MYCIN的内容。EMYCIN系统方便了有关诊断问题系统的开发,比如PUFF系统(Freiherr 1980)。ROSIE*系统是兰德(Rand)公司开发的,它提供了一个建立专家系统的通用程序设计系统(Fain等1981, 1982; F. Hayes—Roth等1981)。ROSIE是由早期一个叫RITA的规划系统进化而来,RITA是兰德智能终端代理人(Rand Intelligent Terminal Agent)的缩写(R. Anderson和Gillogly 1976a, b)。它们都既从MYCIN的面向规则的知识表达方式的成功处获得自身发展的动力,又显出了对用户的面向英语解释的功能。ROSIE还将这些长处推广并组成更多的其它功能,象知识表达技术,用户和系统相互间的通讯,通用化规格化的英语编程,以及交互的编程环境。ROSIE是被设计来支持多种新的专家系统应用的第一个系统。

卡内基—梅隆(Carnegie—Mellon)大学对PSG系统的早期工作是研究和建立人类认识模型的产生式系统语言(Newell 1973; Newell和McDermott 1976),并导致开发了OPS

* 兰德公司的一个注册商标。

系列产生式系统语言 (Forgy 和 McDermott 1977; Forgy 1981) 和 R1 系统 (McDermott 1980a, b)。R1 是一个对 DEC VAX 计算机系统进行配置的专家系统, 它显示了 OPS 语言在建立专家系统中最成功的应用。

最后一条路线是从语言理解系统开展开的, 尤其是 HEARSAY—II 系统 (Erman 等 1980)。卡内基—梅隆大学开发的 HEARSAY—II 系统是最先能够理解 1000 个词汇组成的文章的两个系统之一。尽管它的技能能够和一个十岁的孩子匹敌, 但却不能满足前面为专家系统建立的高性能准则。因此, 语言理解大概是人工智能研究者在成功道路上最困难的课题。许多研究者承认, 和 HEARSAY—II 系统类似的通用思想也将在以后的专家系统中起一定的作用

(Erman 等 1980; 本书的第四章; Nii 和 Feigenbaum 1978)。HEARSAY—II 的基本功能包括组合协调专家的知识; 能进行不同抽象级的问题求解, 从抽象的、集中的问题到明确的局部的问题; 以及不断开发能随机地找到关键数据和知识的局部问题求解。基于 HEARSAY—II 系统的这些性质, 有两个课题在致力于开发建立专家系统的通用目的框架。它们是 Stanford 的 AGE (Nii 和 Aiello 1979) 和 ISI 的 HEARSAY—III (Balzer, Erman 和 London 1980)。

以上就是专家系统和专家系统语言所取得成就的历史回顾。参考文献还分别列举了几个其他系统的背景报导 (Clancey 1979; Clancey, Shortliffe 和 Buchanan 1979; Davis 和 Lenat 1980; Barr 和 Feigenbaum 1981; Barstow 1979; Bennett 和 Englemore 1979; Bobrow 和 Collins 1975; Bundy 1979; Carbonell 1970; Davis, Buchanan 和 Shortliffe 1977; Davis 1977; Davis 1980; Gelernter 等 1977; Reboh 1979; Stefik 1978a; Waterman 和 Hayes—Roth 1978; Waterman 1979; Waterman 和 Jenkins 1979; Winston 和 Horn 1981)。尽管这一回顾没有完全地描述所有这些系统, 但却包含了他们的主要意图。首先, 它解释并介绍了这一领域中心议题的动机, 即知识就是动力。这样, 对专家系统领域提出的任何一个通用性的原理都要归结为知识的应用。其次, 这一综述显示了这一领域在不到二十年的时间里研究的广度和意义, 也帮助人们坚信, 随着它的迅速成熟, 一定能在不远的年岁中取得更好的可观的进展。最后, 这个综述还介绍了许多专家系统中的技术思想和机理。在下面的一节中将介绍到目前为止的经验的通用化问题和更深一层地解释这些基础思想。

1.2 知识工程原理

专家系统领域的研究者们为了表述这一学科, 已经采用了“知识工程”这一术语, 它综合了科学、技术和方法学。知识工程原理认为, 专家的行为很难依从一些严格的算法过程, 然而这样一些行为确实在使它们本身屈从于一些计算方法。对专家知识的提炼、组合和计算机化也就构成了这一领域的基本任务。

1.2.1 知识和技巧

什么是给定域内的知识? 粗略地说, 知识由某一特定域的表达式, 关系和过程构成

(Bernstein1977)。一个知识库中能区分和识别不同对象和类型的表达式是用某种语言写成的句子。这种语言的基本成份包括一些原始的特性和概念。一个表达式系统,通常包括在特定应用问题中使用和解释表达式的规则或程序。知识库中还包含有特殊的表达式,称之为关系。它们表明了知识库中各项之间的依赖性和相关程度。这种关系特别描述了分类的、定义的、和经验的关联。另一方面,当试图对一个问题进行推理和求解时,过程则详细地说明了整个执行的操作过程。

实际上,知识不全以某种精炼的能完全适应这样的抽象分类的形式出现。在处于未开发和无定义的事物的情况下,知识以某种方式使得人类专家能求解艰难的问题。它采用了多种形式,经常采纳的一种形式由经验关系构成。例如,医生和地质学家都有许多这样的相关联的知识,它用因果关系的形式来描述观测数据。和知识相伴随出现的是专家采用启发式的方法来结合概率的、容错的以及不确定的数据和推断。许多专家还具有其它的知识形式,它们以左右他们所在领域内操作的概念、约束条件以及调整方法的形式出现(Waterman和Peterson1980,1981)。他们也可以采用所研究系统的因果模型以及用这些模型进行推理来预测、诊断、计划、或进行状况分析(Fagan等1979; Brown, Burton和Bell1974; Brown和Burton1975; Borning1979; Director等1981; de Kleer等1979b, Rieger和Grinberg1977; Sussman和Steele1980; Wipke1976)。总括起来说,知识由下面两个方面构成:(1)一定域内表征定义了的和经验的关系的符号表达式;(2)执行、使用这些表达式的过程。

为了认识专家的行为,就要考虑到知识和技巧之间的差异。某些任务的熟练的行为常常包括许多不存在于虽很熟悉,但又不熟练的行为中的特性。这些特性包括高速或高效,减少误差、降低认识的负担(附加需要),以及提高适应性和强壮性。这些特殊性反映了知识和工程的双重性。熟练或技巧意味着具有正确的知识和有效地使用它(Lenat, Hayes—Roth和Klahr1979a)。

知识工程提出建立有技巧的计算机系统的问题,首先它以集聚专家的知识为目标,然后在一个有效的实施过程中来组织它。几个已有的普通的专家系统一般都有这些成分。

1.2.2 专家系统的类型

绝大多数的知识工程应用分为几个不同的类型,可概括于表1.1中。

1. 翻译系统从可观测的事物中推出状况说明,这类系统有监视、语音理解、图象分析、化学结构说明、信号翻译、以及种种智能分析。翻译系统用设定观测数据的符号意义来解释这些数据,这些符号的意义描述了所涉及数据的情况或系统状态。

2. 预测系统多半从已知状况中产生可能的结果,这类系统有天气预报、人口预测、交通预测、庄稼收成预测、军事预报。预测系统典型地采用由适应给定情形的参数值得出结论。通过忽略概率估计,预测系统能产生大量的可能的结果。

3. 诊断系统从可观测事物中推出系统的故障。这类系统有医学、电子学、机械和软件诊断等。诊断系统是典型地将所观测的不正常行为与潜在的原因相联系的系统,它使用了下面二种技术之一。一种方法基本上是采用行为和诊断的一个相关表。另一种是将关于设计、实施或

表1.1

知识工程应用的类型

种 类	表 征 的 问 题
翻 译	由传感器数据推出状况描述
预 测	由给定情形推断可能结果
诊 断	由观测事物推导出系统的故障
设 计	满足约束条件的目标方案
规 划	设计行为动作
监 控	巡查观察指出规划的不足之处
调 试	指出故障的补救方法
维 修	执行一个规划来完成一个指出的补救方法
教 育	诊断、检查和修正学生的行为
控 制	解释、预测、修订和监控系统的行为

组合成分中的潜在瑕疵的知识和系统设计的知识相结合，以产生和观测相一致的候选故障。

4. 设计系统开发满足设计要求的目标方案。这类问题包括电路设计、建筑设计和预算的编制。设计系统根据各目标间的相互关系，构成各目标，并证明这些方案和提出的要求相一致（Eastman1981；Fenves和Norabhoompipat1978；Freeman和Newell1979；Grinberg1980）。另外，许多设计系统试图使一个目标函数达到极小，这个目标函数用以度量设计方案的成本和其他一些不希望有的性能。这一设计问题的设想能包含目标搜索行为以及用目标函数来度量达到目标值的程度。

① 规划系统设计一些动作。这类系统着重于有关对象的行为作用的设计问题。它们包括自动程序设计以及机器人、计划、路途、通讯、实验、和军事等规划问题（Stefik1981a, 1；B. Hayes—Roth和F. Hayes—Roth1978；Sacerdoti1973, 1975）。规划系统采用动作者行为特征模型来推论所规划的动作者活动的作用。

② 监控系统是对系统行为的观测与对得到成功的规划结果极为重要的特性进行比较。这些颇为重要的特性，或称之为敏感点，对应于规划中潜在瑕疵。通常监控系统用两条途径判别其敏感点。其中一类敏感点相应于一个假设条件。若违背了这些假设条件就将使规划的基本理论无立足之处。另一类敏感点是在规划的内在作用违背了规划要求的条件时出现。这些敏感点相当于预测状态下的故障。许多计算机辅助监控系统用于原子能工厂，航空、治病、调节，财政管理任务，然而这些课题的专家系统还都停留在实验室阶段。

③ 调试系统指出了对故障的补救。这类系统依靠规划、设计和预测的能力来产生正确处理某个诊断问题的指示或推荐方案。计算机辅助调试系统用于以智能知识库和文本编辑为形式的计算机程序设计（见第五章），但它还称不上一个专家系统。

④ 维修系统开发并执行一个规划来管理对某一诊断问题的治疗方法。这类系统综合了调试、规划和执行的能力。计算机辅助系统已出现在汽车、网络、航空、电子学和计算机维护等领域，然而专家系统才刚刚进入维修这一领域。

⑤ 教育系统能诊查学生的行为（Brown, Burton和Bell1974；Brown和Burton1975；

Clancey1979; clancey, Shortliffe和Buchanan1979; Sleeman和Brown1982)。这类系统综合了诊断和调试子系统，这些子系统将学生看作成主要的对象。最有代表性的就是这些系统一开始就构造一个学生知识的假设描述，它能解释学生的行为。然后找到学生知识的薄弱之处，并判断一个适当的补救方法。最后它订出具有指导作用的计划，将需要补救的知识传授给学生。

最后要提到的一类系统称之为控制系统。一个专家控制系统能自动地控制系统的全部行为。为了做到这一点，控制系统必须反复地解释当前的情况，预测未来，诊断预测到问题的产生原因、作出处理的计划、以及监督它运行以保证正常的操作。控制系统涉及的问题包括航空控制、商务管理、战场指挥、汽车变速箱控制。知识工程技术能管理许多控制系统，而这些问题用经典的数学方法是难以处理的。

1.2.3 专家系统成分

图1·2表示了一个理想化的专家系统。虽然没有一个专家系统包含有图示的所有成分，但在每一个专家系统中都会出现其中一个或更多的成分。下面依次介绍这个理想系统的每一个部分。

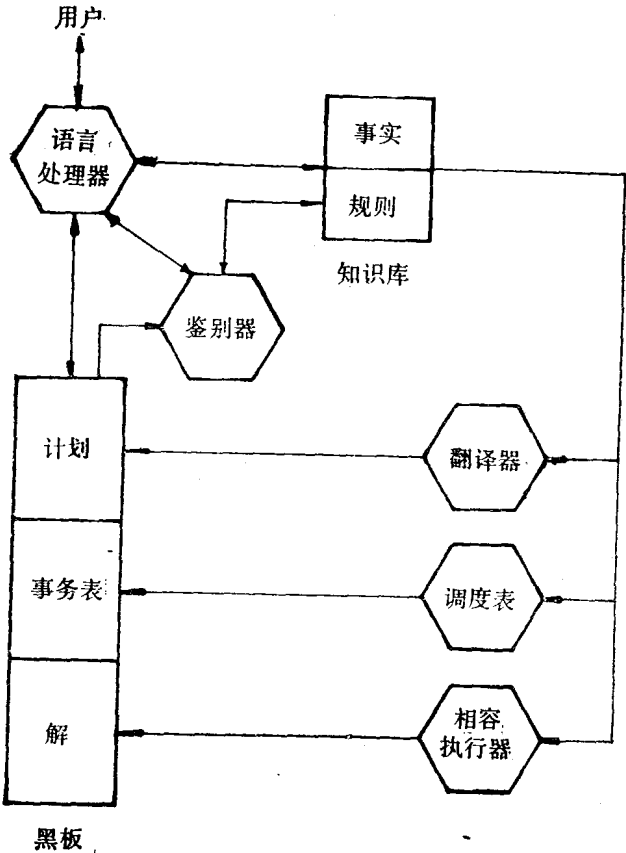


图1.2 一个理想专家系统的解剖