

〔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

22963

FP3-43
2

浆糊只粘点线之上用反面时对齐线贴下再黏

期 限 表

下列读后之日期本书必须归还

泽海 解励诚
德祥
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，以一典型事例贯穿全书、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、归桂华、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

序 言

作为一个急剧发展并令人振奋的领域的第一本教科书——《建立专家系统》，需要一种别具一格的引言。

起因

1979年初我和Don Waterman开始设想举办一个专家系统研讨会，这主要还是趁着我们一九七七年在夏威夷主办产生式系统研讨会的兴致。这个研讨会聚集了致力于规则基系统的大多数有影响的研究者，他们照惯例准备并发表了学术论文，其中最好的文章被汇编成书，书名为《模式制导推理系统》(Waterman and Hayes-Roth, 1978)。虽然其他人认为这个研讨会是重要的，这本书也是有价值的，我却对这两点都有保留。这反映了一般人对这种努力的看法：他们泛泛地将一个课题当前各种各样不成熟的思想收集起来，而不是促使对这个课题的科学地位进行深入的理解。

当专家系统课题出现时，我建议以大不相同的方式来组织打算举办的研讨会。我们的专家系统研讨会将召集所有积极的研究者来综合这一领域的知识。为此必须完成几项任务。首先，我们必须制订出总结知识的当前状况的大纲。然后，我们将研讨会的参加者组织成与各个子领域有关的一些小组。每一个这样的小组负责阐明一些特别的技术知识。

与此同时，我们需要一种对知识工程的软件工具和方法论的有比较的评价。由于从来没有人用两种不同的工具来完成同一个任务，因此这个领域缺少真正比较的基础。为改变这种情况，我悄悄找了个“神秘专家”和他的同事(Carroll Johnson and Sara Jordon)，把他们带到研讨会。他们精心准备了有关对专家系统的要求的论点(摘要见第十章)。到这个研讨会开始时，我已经说服了每一种重要的知识工程工具的开发者会见“神秘专家”，并参加一个为时一周的活动来开发解决“神秘问题”的专家系统的简单但有价值的实验性版本。

这本书代表了这个研讨会的基本成就。自然，许多人在组织这个研讨会和出版这本书的工作中发挥了决定性的作用。Don waterman大胆地接连三次向政府提出为研讨会费用提供资金。他在申请资金中的坚定立场和杰出表现理所当然地应得到赞扬。衷心感谢国家科学基金会的Eamon Barrett以及防务高级研究计划署的Bob Engelmores和Bob Kahn，他们在曲折复杂的争取华盛顿基金过程中对这些建议一直予以关照。曾经对我们夏威夷会议的安排进行过有力批评的Doug Lenat也顺利地加入了这个新研讨会管理班子并始终给我们以帮助。这个研讨会还依仗于许多人的大力合作，包括各章的作者，SAI的Lee Baumann以及兰德公司的Mary Shannon。

动力

本书的作者们为自己设定了一些目标。我们为了广泛、有效地进行科学评议，打算模仿

在一个瞬息万变的领域中的概念的综合。我们打算提供一种将对智能综合产生极大激励的境况。我们希望看到我们所期望的大批未来知识工程师借助那种综合努力运用这种新技术的结果。同时，我们还打算鼓励打破传统上区域的、院校的和方法论的界限，大家团结合作起来。

本书的目的是传播那些现在被认为与建立专家系统有关的知识。它确定了一个工程师或技术管理人员将需要了解的许多不同的要点。

- 专家系统的概况，说明什么是专家系统，它从何处来，以及它意味着什么(第一章)。对专家系统与传统的软件程序，特别是实验室的人工智能(AI)程序，以及与熟练地执行任务的人类有何区别的分析(第二章)
- 对影响设计和实施的AI和知识工程的基本概念的解释(第三章)。
- 对在建立专家系统时面临的结构选择的分析，包括对不同任务的特定设计规范(第四章)。
- 对把专家知识放入机器中所需的知识获取演化过程的检验(第五章)。
- 基于在同一问题上运用八种不同技术的经验，对现有的知识工程工具优缺点的分析(第六章)。
- 对系统为理解和应用知识以得到强壮性，意识性和可扩展性所需要的大量重要方法的讨论(第七章)。
- 对估价人造专家知识的重要需求所引起的危险和良机的讨论(第八章)。
- 对大部分广泛使用的知识工程工具的检验，着重强调其技术来源和能力(第九章)。
- 一个危机处理问题的陈述，这个陈述以其复杂性和对知识处理需求，举例说明了一大类已经产生建立专家系统之需要的可能的应用背景(第十章)。
- 危机处理者和各种专家系统原型之间对话的实例，这些专家系统原型是知识工程师们解决研讨会的“神秘问题”时建立的(附录)。

成就

这本书标志着科学的一个主要领域的青春期和一种新的工业——知识工程的诞生。它所分析的专家系统，讨论的方法论以及介绍的技术，提供了这种技巧的一种易于理解的画面。许多解决问题的方法给出来了，虽然意见很不一致，但中心问题也引出了。这个领域将从此向前发展，而这本书将为这种进步提供了一个坚实的基础。

在最后的编辑中，我重读了这本书，被它所包含的许多重要思想吸引住了。这反映了作者们完成的任务范围；阐明知识的本质及其与专家知识的机器体现的联系。最后，我期望有许多其他书籍，将更为深入地讨论本书所介绍的许多重要思想。

作者们已经作了很有价值的工作。他们综合了目前所理解的状况，为知识工程的学生提供了一本基础教材，并指出了将来的研究领域。他们的工作还为向知识基专家系统王国的进一步深入探索提供了动力。在这个王国里，知识是一种自然能源，而知识工程师则将这种可能转变为现实。

弱点

这本书雄心太大了。它的作者们显然打算同时全面评述、教授和推进知识工程领域的知识。这三个目标中的任何一个都是很难达到的，而三个同时达到在我看来则是不可能的。因

此。我对这本书的目的有不同的解释。这本书能够而且已经做到的是在一块新大陆上建立了第一个落脚点，所有成功的旅行者在向更远的新开拓区进发之前，能够在此落脚休息。

为了易于理解，我们已经尽力放弃了可以增强说服力和简练程度的努力。不过看来专家系统这个新领域也不可能简化成为一些简单、完美的概念。在本书中我们毕竟没有告诉读者怎样去建立一个专家系统，也不应该指望这一点。采用诸如“毫无痛苦地改造你的家园”，“设计一个后院水力发电厂”，以及“为危机处理建立一个专家系统”之类的标题作为书名将使人瞠目。建立专家系统的人已经学过人工智能，做过知识工程实验，并在他们的实验室和领域系统中辛劳多年了。这本书也许将使读者少花一二年时间去得到这类专门知识。这将使我们这些为本书诞生工作过的人心满意足了。

Frederick Hayes—Roth

Palo Alto, California

1983年1月

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

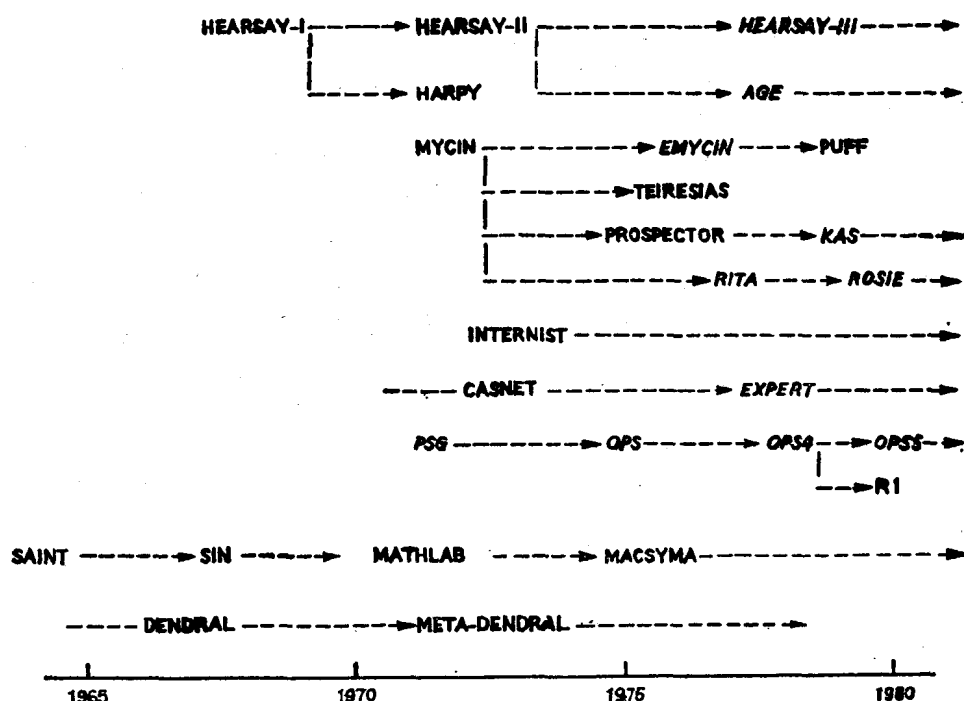


图1.1 部分专家系统和建立专家系统语言的演变过程。(斜体字表示建立专家系统语言)

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Mitchell 1977, 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TEIRSIAS可以用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Gilligly 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发展开的, 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。

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。

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。

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