

专家系统 建造原理及方法

张全寿 周建峰 编著



中国铁道出版社

73.92
593

专家系统建造原理及方法

张全寿 周建峰 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1992年·北京

(京)新登字 063 号

D023/15
内 容 简 介

本书以专家系统的原理、技术和应用三方面,全面系统地介绍专家系统的原理、开发工具及方法,并以经典的专家系统 MYCIN 作为主要实例贯穿全书。

全书分三部分。第一部分为专家系统的基本原理。系统地介绍专家系统的概念、基本思想和结构,专家系统的基本知识,知识表示法,推理技术,知识获取,机器学习和解释方法。第二部分是专家系统的建造工具。重点介绍人工智能语言 LISP、PROLOG;通用知识表示语言 OPS83;专用于开发专家系统的骨架系统 M.1 等四种开发工具。第三部分论述专家系统的开发方法,同时介绍专家系统的评价、现状及展望。

本书可作为从事人工智能、专家系统和知识工程研究的科技人员的参考书,也可作院校师生的教材、教参。

专家系统建造原理及方法

张全寿 周建峰 编著

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 崔滨九 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:850×1168 毫米 1/32 印张:14.5 字数:332 千

1992 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—2500 册

ISBN7-113-01095-4/TP·111 定价:8.40 元

前 言

电子计算机的出现是人类科学技术发展史上的一个重要里程碑。自 1946 年第一台电子计算机问世以来,不到半个世纪,计算机已成为人类不可缺少的现代科学工具。计算机的应用也从简单的数值计算、数据处理,发展到信息管理、决策支持,进而发展到智能问题的处理。如果说电子计算机的问世是计算机的第一次革命,那么,智能计算机的研究堪称第二次计算机革命。而在智能计算机研究中扮演关键性角色的则是人工智能(Artificial Intelligence,简称 AI)。

AI 的研究不只局限于计算机科学,它还涉及到哲学、思维科学、逻辑学、认知科学、心理学、生物学等等诸多领域。AI 不仅是包括原子能技术和空间科学在内的本世纪三大科技成就之一,而且是其中的核心科学。世界各国对 AI 的研究极为重视,竞相投入了大量的人力和财力,人工智能被誉为下世纪的带头学科。所谓谁能首先掌握人工智能,谁就能在下一世纪的竞争中处于领先地位,并非耸人听闻。

专家系统(Expert System,简称 ES)则是随着 AI 应用的研究而产生,并反过来大大促进了 AI 技术发展的一门新兴学科。ES 与自然语言理解、机器人一起构成了 AI 的三大研究课题。ES 的产生使得“知识”真正在计算机上占据了主导地位。知识工程、知识系统的概念也就应运而生。

鉴于国内目前尚缺少全面、系统地介绍 ES 的书籍。笔者在研究 AI 和 ES 的基础上,编写了此书,旨在使读者在了解 ES 原理的同时,能具体地掌握如何开发实际的 ES。本书从 ES 的原理、技术

和应用三个方面,全面、系统地介绍了 ES 的基本原理、开发工具及研制过程,并以典型的专家系统 MYCIN 作为主要实例贯穿全书。

全书共分三大部分:

第一部分:专家系统的基本原理

共分六章(第一章—第六章)。系统地介绍专家系统的概念、基本思想和结构,专家系统的基础知识,知识表示法,推理技术,知识获取与机器学习,以及解释方法。

第二部分:专家系统建造工具

共分五章(第七章—第十一章)。在概述了各类 ES 开发工具后,着重介绍了 LISP、PROLOG、OPS83 和 M.1 四种开发工具。LISP 和 PROLOG 是常用的两种人工智能语言。OPS83 是一种通用知识表示语言。M.1 则是一种专用于开发专家系统的骨架系统。

第三部分:专家系统的建造与展望

共分二章(第十二章—第十三章)。从问题的确定;可行性分析;知识获取;模型建立、实现、测试及评价几个方面论述了 ES 的开发过程,最后讨论了专家系统的现状及展望。

由于笔者水平及其它方面的限制,书中难免有不妥之处或错误,欢迎读者批评指正。

目 录

第一篇 专家系统的基本原理.....	1
第一章 绪 论.....	1
1.1 什么是专家系统	1
1.2 专家系统的产生和发展	3
1.3 人工智能、知识工程与专家系统.....	6
1.4 专家系统的基本设计思想和结构	7
1.5 一个典型的专家系统实例—MYCIN 系统	13
第二章 专家系统的基础知识	15
2.1 知识的定义.....	15
2.2 知识的分类.....	16
2.3 元知识的分类.....	18
2.4 知识的结构.....	22
2.5 MYCIN 中的知识	25
2.6 TEIRESIAS 中的元知识.....	32
第三章 知识表示法	39
3.1 概 述.....	39
3.2 逻辑表示法.....	41
3.3 语义网表示法.....	45
3.4 概念从属表示法.....	53
3.5 框架表示法.....	60
3.6 脚本表示法.....	64
3.7 其它知识表示法.....	69
3.8 MYCIN 中的知识表示	71

第四章 推理技术与控制策略	77
4.1 概 述	77
4.2 基于谓词逻辑的推理	80
4.3 基于概率论的推理技术	83
4.4 模糊逻辑推理技术	100
4.5 非单调逻辑	102
4.6 控制策略	106
4.7 控制与推理效果和效率	114
4.8 MYCIN 中的推理技术和控制策略	116
第五章 机器知识获取	126
5.1 概 述	126
5.2 知识获取方法	133
5.3 机械学习	134
5.4 传授学习	136
5.5 实例学习	138
5.6 通过观察和发现学习	159
5.7 MYCIN 中的知识获取	165
第六章 解释方法	170
6.1 概 述	170
6.2 预制文本和执行跟踪法	173
6.3 策略解释法	176
6.4 自动程序员法	181
第二篇 专家系统建造工具	185
第七章 专家系统开发工具	185
7.1 概 述	185
7.2 EMYCIN	187
7.3 KAS	189
7.4 EXPERT	190
7.5 S.1	192

7.6	ROSIE 和 HEARSAY III	193
7.7	AGE	194
第八章	LISP 语言	196
8.1	LISP 语言的特点	196
8.2	符号表达式	197
8.3	基本函数	200
8.4	函数定义	207
8.5	LISP 程序设计	210
第九章	PROLOG 语言	242
9.1	PROLOG 语言的特点	242
9.2	基本概念和问题求解	244
9.3	内部谓词	250
9.4	PROLOG 程序设计	257
第十章	通用型 ES 工具 OPS83	290
10.1	概述	290
10.2	OPS83 知识表示语言	291
10.3	OPS83 的内部工作过程	326
10.4	一个基于规则的程序示例	335
第十一章	骨架系统 M.1	353
11.1	概 述	353
11.2	M.1 的知识表示语言	357
11.3	M.1 的预定义项	364
11.4	M.1 的推理机	369
第三篇	专家系统的建造与展望	374
第十二章	专家系统的建造	374
12.1	概 述	374
12.2	问题的确定与可行性分析	380
12.3	知识获取	382
12.4	模型建立	383

12.5	实现.....	401
12.6	测试和完善.....	402
12.7	专家系统的评价.....	404
第十三章	专家系统的现状及展望.....	412
13.1	概 述.....	412
13.2	知识表示的研究现状.....	413
13.3	知识获取技术的研究现状.....	416
13.4	推理技术的现状.....	418
13.5	开发环境的研究.....	422
13.6	建造专家系统的专家系统.....	429
13.7	新一代专家系统的结构.....	430
13.8	分布式知识库系统.....	432
附录 1	MYCIN 运行实例	436
附录 2	TEIRESIAS 运行实例	443
	主要参考文献.....	455

第一篇 专家系统的基本原理

第一章 绪 论

本章主要介绍专家系统的概念,特征,基本设计思想及组成结构。前两节讨论什么是专家系统和专家系统的发展历史。第三节阐述了人工智能、知识工程与专家系统的关系。第四节将论述专家系统的基本设计思想及组成结构。最后给出了一个典型的专家系统实例——MYCIN系统。

1.1 什么是专家系统

谈到专家系统(Expert System,简称ES),也许人们会问到什么样的人才算是我们这里所谈到的“专家”。顾名思义,专家是某一专业领域内其专业知识及解决问题的能力达到一定水平的学者。从事多年人类专家行为研究的科学家 Pauly E. Johnson 曾这样详细地描述了专家的特征:“专家是这样的一类人,因为他们经过了训练和积累了经验,从而能够做一些其他人不能做的事。专家不仅技艺娴熟,而且工作稳妥高效。他们拥有大量的知识,而且具有将他们所知道的知识运用到具体问题和任务中的诀窍和避开失误的方法。他们擅长于从许多不相关的信息中发现本质问题。同样他们也擅长把所遇到的问题归结为已熟悉的问题类型。专家行为的基础是称为专业知识的有效的知识实体,因此,有理由这样假设:当我们需要表达那些使专家能成为专家的专门知识时,我们必须求助于这些专家”。

何谓专家系统?对此目前尚无一个精确的、全面的、公认的定

义。存在着各种不同类型的专家系统。一般认为：专家系统是一种计算机程序，它在某些特定领域内，能以人类专家的水平去解决该领域中的问题，在某些方面甚至可能超过人类专家。

一般讲，专家系统具有如下一些特点：

- 象人类专家一样甚至比单个人类专家更好地解决困难的问题，因为它除速度高以外，还可以取众(专)家之长。

- 根据专家们凭经验认为是有效的规则进行启发式推理，即以知识为基础。

- 以适当的方式与人进行对话，包括使用自然语言，类似于专家的行为。

- 基于符号描述进行操作和推理。

- 规则能处理有错误的数据和不确定的判断。

- 同时考虑多个不同的假设。

- 对它们提出的问题做出解释。

- 证明得出的结论。

不过，与人类专家相比，目前的 ES 显得“狭隘”、“浅薄”和“脆弱”，它缺少人类专家知识面的广度和对基本原理的理解。很显然，它不能象人那样思考：抓住重点，分析、判断得出结论，从不同的角度考察同一问题。更恰当的描述是，今天的 ES 只能大体上模仿专家的思考方法。它是通过从专家那里得到的许多相关的判断或猜测而做出主要决策的。与专家不同，ES 还不能有效地依靠最初的原理推理，不能类推及依靠常识推理，也不能学习过去的经验。

比起数据处理系统，ES 似乎更专门、更特殊。传统的数据处理系统是通过从算法上对大量的数据进行累积和处理，使费时的事务员的工作自动化，而 ES 通常是完成那种典型的要由具有专门知识的人在几分钟或几小时内完成的量大而性质相对重要的任务，如翻译、诊断、订计划、排时间表等等。为了完成这些任务，ES 有选择地利用数据进行推理。与基于算法的数据处理方法中所出现的问题相反，ES 通常要考察大量的可能性，或者说动态地建立

解决问题的方法。因此,ES 具有广阔的发展前途。这就是为什么 ES 会被称为第二次计算机革命。

1.2 专家系统的产生和发展

专家系统是在 AI 的研究过程中产生的一门新兴的学科。

自从 1956 年,人工智能诞生之后,AI 的研究者们做了大量的工作。AI 的发展从侧重解决问题方面来讲可以分为三个阶段:一般问题求解,知识表示和搜索,专家系统。在 AI 产生的初期,研究者出于一种朴素的考虑,认为 AI 作为一门科学也应该象数学、物理等学科那样能够有自身的定理、定律。这些规律就构成了人类所有智能行为的特点。发现这些规律就可以方便地利用机器模拟人类智能行为,从而解决各个领域的问题。所以,AI 工作者最初是致力于研究一种通用问题求解程序 GPS(General Problem Solver),试图寻找一般的方法来模仿复杂的思维过程。然而,尽管取得了一些进展,但没有实质性突破。成果也主要表现在一些具体问题的解决上,如 1956 年 A. Newell、J. Shaw 和 H. A. Simon 编制的 LT(Logic Theorist)系统实现定理证明,A. L. Samuel 研制的西洋跳棋程序(Checkers)等。因此,到 60 年代初,AI 的研究便转向较具体的问题上,集中力量开发通用的方法或技术,主要是研究一般的方法来改进知识的表示和搜索,并使用它们来建立专用程序。到 60 年代中期,AI 工作者已开始认识到:问题求解能力不仅取决于它使用的形式化体系和推理模式,而且取决于它所拥有的知识。1965 年 Stanford 大学计算机系的 Feigenbaum 就提出要使程序能够达到很高的性能,以便付诸实际使用,就必须把模仿人类思维规律的解题策略与大量的专门知识相结合。基于这种思想,他与遗传学家 J. Lederberg,物理化学家 C. Djerassi 等人合作研制出了根据化合物的分子式及其质谱数据帮助化学家推断分子结构的计算机程序系统 DENDRAL(1968 年基本完成)。此系统获得极大成功,解决问题的能力已达到专家水平,某些方面甚至超过同领域的化学专家。

DENDRAL 系统的出现,标志着 AI 研究开始向实际应用阶段过渡;同时也标志着 AI 的一个新的研究领域——专家系统的诞生。

对于专家系统的发展,一般讲,大致可分为孕育(1965 年以前)、产生(1965—1971)、成熟(1972—1977)和发展(1978—)四个阶段。把 DENDRAL 系统和与之同时开发的数学专家系统 MAC-SYMA 称为第一代专家系统,因为比起后期开发的 ES,这两个系统,一则高度专门化,不易用于其它领域;二则它们只注意系统的性能,而忽视了系统的透明性、灵活性等问题。

70 年代被称为 ES 的成熟期。ES 的观点逐渐被人们广泛接受,从而先后出现了一批卓有成效的 ES,尤其突出的是在医疗领域。其中较具代表性的 ES 有 MYCIN、CASNET、INTERNIST、AM、HEARSAY、PROSPECTOR 等。

MYCIN 系统是 E. H. Shortliffe 等人 1972 年开始研制的用于诊断和治疗感染性疾病的医疗 ES。于 1974 年基本完成,以后又经过不断地改进和扩充,成为第一个功能较全面的 ES。MYCIN 不仅能对传染性疾病做出专家水平的诊断和治疗选择,而且便于使用、理解、修改及扩充。在 MYCIN 中还第一次使用了目前 ES 中常用的知识库(Knowledge Base,简称 KB)的概念。

几乎与 MYCIN 同时开发的 CASNET 系统是 Rutgers 大学的 S. M. Wiss 和 C. A. Kulikowki 等人研制的,用于诊断和治疗青光眼疾病。这是最早设想把一个 ES 用于多个不同领域的系统。1974 年 Pittsburgh 大学的 H. E. Pople 等人研制出用于诊断内科疾病的专家系统 INTERNIST(现称为 CADUCEUS)。这是目前知识库最大的 ES。

1976 年 Stanford 大学的 D. B. Lanet 研制出了用机器模拟人类归纳推理、抽象概念的 AM 系统。Carnegie Mellon 大学的 L. D. Erman 等人设计出了能听懂连续谈话的 HEARSAY 系统。1972 年完成了 HEARSAY-I,1977 年完成了 HEARSAY-II。在自然语言的理解上达到了较高水平。1976 年 Stanford 国际研究所(SRI)的 R.

O. Duda 等人研制了用于矿藏勘测的专家系统 PROSPECTOR。1982 年美国一家地质勘探公司利用它发现了华盛顿州的一处钼矿,估计这个矿的开采价值在一亿美元以上。而该公司的地质专家们在这一区域找矿时居然没有发现此矿藏。

与第一代 ES 相比,这一时期的 ES 主要在以下几方面有所改进:

- 大多数系统都使用自然语言对话,方便了用户。
- 多数系统具有解释功能。这样既增强了系统的透明性,同时也有利于发现错误,修改知识。较好的透明性也有助于提高用户对系统的信赖程度。
- 许多系统采用了似然推理技术,增强了系统的表达能力。
- 许多系统把具有一定普遍意义的推理方法与大量同领域有关的专门知识结合起来,从而使这些系统具有一定的通用性。

随着 ES 的逐渐成熟,其应用领域迅速扩大。70 年代中期以前的 ES 多属于数据信号解释型(如 DENDRAL、PROSPECTOR、HEARSAY 等)和故障诊断型(如 MYCIN、CASNET、LINTERNIST 等)。它们所处理的问题基本上是可分解的问题。70 年代后期出现了其它类型的 ES,如设计型、规划型、控制型等(见表 1.1)。与此同时,为了方便知识获取和缩短 ES 的研制周期,出现了各种知识获取工具和 ES 开发工具。不过在 70 年代研制的 ES 多属于研究性质,到 80 年代出现了商品化的 ES。

从 ES 获取知识和解决问题的能力来看,现有的 ES 基本上是基于经验性知识之上的。系统本身不能从领域的基本原理来理解这些知识。这样知识的获取就尤为重要,成为开发 ES 的“瓶颈”问题。也有把这类系统称为第一代 ES。由于这一代 ES 基本上是基于规则的系统,因此也称为产生式系统(Production System)。第二代 ES,就是能够从具体领域的基本原理出发去分析、推理、解决具体问题的 ES,目前还处于研究阶段。

专家系统的应用分类

表 1.1

分 类	处 理 的 问 题
解 释	根据输入信息对情况进行解释分析
预 测	根据已知情况推断出可能结果
诊 断	根据观察情况诊断系统故障
设 计	根据约束条件给出目标配置
规 划	设计行动步骤
监 视	将观察情况与计划安排对照比较
调 试	按计划目标进行调试纠正故障
修 正	执行为纠正错误而制定的计划
教 学	诊断和改正学生行为
控 制	解释、预测、修正和监测系统行为

1.3 人工智能、知识工程与专家系统

从人工智能、知识工程和专家系统这三个名词可以看出,它们反映了智能问题求解中的三个非常重要的方面:智能、知识和专家。对于智能,有着各种不同的解释,但其中最重要的三大因素是推理、学习和联想。

知识工程(Knowledge Engineering,简称 KE),是 E. A. Feigenbaum 教授 1977 年在第五届国际人工智能会议上提出的。他认为:“知识工程是人工智能的一种技艺。它运用人工智能的原理和方法,对于那些需要专家知识才能解决的应用难题提供求解的手段。恰当地运用专家知识的获取、表达和推理过程的构成与解释,是设计基于知识的系统的重要技术问题。”70 年代后期,ES 已基本成熟,围绕着开发 ES 而展开的一整套理论、方法、技术等各方面的研究形成了“知识工程”这门新兴学科。开发 ES 的人员被称为知识工程师(Knowledge Engineer)。

基于知识的系统(简称知识系统)是一个比 ES 更广泛的概念。它是一切基于知识而建立起来的系统的总称,而不局限于某一

具体领域的知识所构成的系统,其中包括:

- 决策支持系统 利用知识和模型,通过计算机分析或模拟,协助解决多样化和不确定性问题以进行辅助决策的系统。

- 知识库系统 把人类具有的知识以一定形式表示存入计算机,按照需要,进行知识的管理和问题求解的系统,以提供知识的共享。

- 专家系统

- 自然语言理解 使计算机能够理解人们日常使用的语言,改善人机通信的条件。

- 智能机器人 具有感觉、识别和某些决策功能的机器人,也称智能自动机。

- 智能计算机 在知识库支持下,能识别图象、声音、理解自然语言、具有推理和学习功能的计算机系统。

AI、ES 和 KE 都属于新兴学科,还没有形成自己的完整的理论体系。在概念上也没有一个精确、全面、公认的定义。所以在讨论某一学科的内容时相互间也有所交叉。

1.4 专家系统的基本设计思想和结构

人类专家之所以能成为某一领域中的专家,关键就在于他掌握了关于该领域的大量的专门知识(Expertise)。在这些知识中,一部分是他从书本上或向他人学来的,但主要的还是他在长期实践中逐渐积累起来的。正是那些在实践中积累起来的经验性知识,才使他在处理问题时比别人技高一筹。

计算机要想和专家一样处理问题,它首先必须去获得那些知识,然后把它有效地组织和存贮起来以便利用。A. Barr 和 E. A. Feigenbaum 就曾精辟地指出:“专家系统的性能水平主要是它拥有的知识数量和质量的函数。”一个 ES 所知道的知识越多、质量越高,它解决问题的能力就有可能越强。所以,ES 实际上是通过在系统中存储大量与应用领域有关的专门知识来取得高水平的问题求

解能力的。这也说明为什么知识在 ES 中才真正占据了主导地位。可以说计算机到此才真正体现了英国伟大的哲学家 E. Bacon 的一句名言：“知识就是力量”。

1.4.1 ES 的基本设计思想

一般应用程序是把问题求解的知识隐含地编在程序中,而专家系统则将其应用领域的问题求解中的知识单独分开组成一个叫知识库的实体。知识库的处理是通过独立于知识库的、易识别的控制策略来进行的。也就是说,一般的应用程序将其知识组织成两级——数据级和程序级,而大多数专家系统则将知识组织成三级——数据级、知识库级和控制级。

专家系统的主要特征是有一个巨大的知识库,存储着某个专门领域(如医学、化学、探矿等)的知识。而系统的控制级,通常表达成某种推理规则。整个系统的工作过程是从知识库出发,通过控制推理,得到所需的结论。

对一般传统的应用程序系统来讲,系统的工作过程是在程序(或数据)的控制下,按规定的步骤逐条执行程序指令的过程。专家系统有所不同,它是在环境控制下的推理过程。它比前者能更及时、更灵活地反映环境的变化。由于 ES 的工作过程是一种推理过程,因此它“理解”自己的行为的目的,“知道”为什么采取某个步骤的缘故,所以它比传统程序系统具有更高的智能水平。

综合上述,ES 的基本设计思想就是将知识和控制推理策略分开,形成一个知识库。ES 在控制推理策略的导引下,利用存储起来的知识分析和处理问题。这样,在解决问题时,用户为系统提供一些已知数据,然后从系统中获得专家水平的结论。

1.4.2 专家系统的结构

不同领域的 ES,其功能、结构都不尽相同。有些可以作为用户的“顾问”来解答其提出的某个专门领域的问题;有些可以作为专