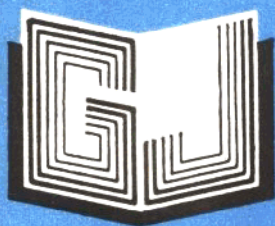
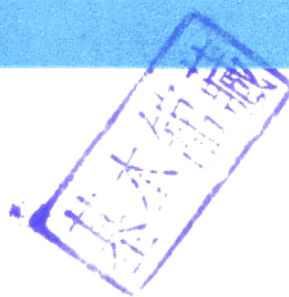


974504

T46
3420



高等学校教材



专家系统及其在发电厂变电所中的应用

贵州工学院 谢维廉 施怀瑾 合编



高等学校教材

专家系统及其在
发电厂变电所中的应用

贵州工学院 谢维廉 施怀瑾 合编

04

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

专家系统(ES)是人工智能(AI)的一个重要分支,是近年来发展较快的一门软科学。

本书介绍人工智能的基本概念,专家系统的组成与原理,对专家系统中的知识及知识表示,专家系统的推理机制与控制策略,机器学习的概念都有较全面的叙述。对目前使用最多的LISP及PROLOG两种人工智能语言作了深入浅出的讲述。简明叙述了建造专家系统的基本问题及如何利用专家系统外壳(工具)建造专家系统。书的最后以较大的篇幅对专家系统在发电厂、变电所中的应用实例作了比较详细的介绍。

本书可作为电力系统自动化专业以及电力类相关专业的选修课教材,也可以作为电力部门技术人员继续教育的教材及参考读物。

高 等 学 校 教 材

专家系统及其在发电厂变电所中的应用

贵州工学院 谢维廉 施怀瑾 合编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京樱花印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.25印张 184千字

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数0001—1570册

ISBN 7-120-00212-0/TM·518

定价3.90元

前 言

本书是根据1988年5月在武汉召开的高等学校电力工程专业教学委员会发电厂教学组提出的1990~1992年编写出版规划及1989年3月在贵阳召开的发电厂教学组会议上审定的编写大纲编写的。本书可作为电力系统自动化专业的选修课教材,也可供相关专业的师生及广大工程技术人员的参考。

人工智能,简称AI,是当代三大尖端技术之一,是人类进入高科技时代的重要标志。专家系统则是人工智能技术的一个重要分支。专家系统,简称ES,它实质上是一个基于人类专家知识的计算机软件。在专家系统中储存大量的相关领域专家的经过形式化处理的知识,并且可以运用这些知识模仿专家对实际的问题进行判断、决策或处理。例如一个中医的肝病诊疗专家系统就可以象一个老中医那样通过对话询问病情,最后根据病情运用知识对病人作出诊断并开出处方。显然,专家系统是一个很有吸引力的新兴技术。

从本世纪60年代开始,专家系统已经在国防、化学、医疗、地质、法律等多个领域中获得广泛的重视与应用。近十年来,专家系统在电力系统的各个领域中的应用也日益广泛,并已取得显著的社会与经济效益。

本书着重在介绍人工智能及专家系统的原理,对专家系统的语言及工具也作了简要的叙述。对专家系统在发电厂、变电所中的应用,尽可能选用国内的资料以期更好地结合我国的国情。编者的意图是通过这本教材使读者对当前迅速发展的专家系统技术及其在电力部门的应用有一个全面的了解,若要深入的研究则需要参考有关的专著及工具书。

在本书编写过程中参考了国内外大量的资料,特别是国内高等学校同行们在这方面的研究成果及已发表的资料,对此我们表示深切的谢意。

全书共分八章,一~四章由贵州工学院谢维廉副教授编写,五~八章由施怀瑾副教授编写。本书承华北电力学院北京研究生部高曙副教授担任主审,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有漏误之处,恳请读者批评指正。

编 者

1991年于贵州工学院

64003/13

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 人工智能的概念	1
第二节 知识与知识工程的概念	2
第三节 专家系统的概念	3
第四节 专家系统的发展历史及应用概况	4
第五节 专家系统在电力系统中的应用及其前景	5
思考题	7
第二章 专家系统的组成与原理	8
第一节 专家系统的组成	8
第二节 一个简单的专家系统示例	12
思考题	16
第三章 知识的表示方法	17
第一节 产生式系统	17
第二节 谓词逻辑表示法	19
第三节 框架结构表示法	26
第四节 语义网络	30
第五节 其它知识表示法简介	35
思考题	40
第四章 推理机制与控制策略	41
第一节 推理方式概述	41
第二节 控制策略概述	42
第三节 数据驱动策略——正向推理	43
第四节 目标驱动策略——反向推理	45
第五节 混合驱动策略——正反向混合推理	47
第六节 搜索策略	48
第七节 冲突仲裁策略	50
第八节 估价函数策略	51
第九节 非精确推理	52
思考题	60
第五章 机器学习	61
第一节 概述	61
第二节 学习系统的简单模型	62
第三节 机器学习的方法	63
思考题	67

第六章 专家系统语言	68
第一节 概述	68
第二节 LISP语言简介	70
第三节 PROLOG语言简介	79
思考题	87
第七章 建造专家系统的基本问题	88
第一节 专家系统与领域专业知识	88
第二节 建造专家系统的基本步骤	89
第三节 建造专家系统的工具	93
第四节 如何选择专家系统建造工具	97
第五节 利用专家系统外壳开发专家系统实例	98
思考题	101
第八章 专家系统在发电厂变电所中的应用实例	102
第一节 概述	102
第二节 操作票专家系统	104
第三节 故障诊断专家系统	111
第四节 规划设计专家系统	121
参考文献	126

第一章 绪 论

本章介绍人工智能、专家系统的基本概念及其发展历史,重点说明专家系统与常规程序的区别及其特点,实现专家系统的技术经济意义,以及在现代电力系统中应用专家系统的必要性。

第一节 人工智能的概念

一、什么是人工智能

人工智能(Artificial Intelligence),简称AI,是计算机科学的一个重要组成部分。它的任务是:让计算机模拟人类的智能活动,使之具有运用知识、通过逻辑推理、解决实际问题的能力。

什么是智能?目前尚无确切定义。通常认为:智能是与人的大脑所具有的推理、学习、联想三大功能分不开的。具有上述三大功能的计算机,就是新一代的人工智能计算机。

人工智能、空间技术、能源技术为当今世界的三大尖端技术,是人类进入高科技时代的重要标志。从这一侧面,可见人工智能地位的重要。

二、实现人工智能的目的

人类已经历了三次工业革命。第一次工业革命是纺织机械的发明,第二次工业革命以蒸汽机为标志,第三次工业革命是电的发明与使用。这三次工业革命的特点是:让机器大量代替人的体力劳动,扩大和发展了人手的功能,极大地提高了社会生产力,有力地推动了社会的进步与发展。

现在进行的第四次工业革命,或称以人工智能为主要标志的新技术革命,是让计算机代替人类的脑力劳动、延长和发展人脑的功能,目的是为人类社会带来生产力的新的飞跃。

三、人工智能的内容

人工智能的研究,始于1956年,是从所谓难题求解开始。早期的问题,大都限于下棋、猜谜等游戏和数学定理证明之类的简单领域。目前人工智能的研究,几乎涉及所有学科,其主要包括以下几个方面:

1. 专家系统 让计算机模拟人类专家的决策过程,求解那些无法建立数学模型而必须依靠专家经验来解决的实际问题。目前已有许多十分成功的专家系统付诸应用。

2. 决策支持系统 通过计算机的推理、判断,对某些多元的、非精确的或不确定的难题进行辅助决策。

3. 自然语言理解系统 使计算机能够理解人类的语言、改善人机联系条件。

4. 知识库系统 把人类已掌握的知识, 用一定的规则形式表示出来, 即经过形式化处理存放于计算机中, 为用户提供知识共享。

5. 智能机器人 使机器人具有人的手、眼、脑的功能, 不仅会做、会看、还会思考, 并能根据环境条件决定自己的行为。智能机器人已在航天、核工业、冶金、机械、化工等各个领域开始部分代替人类的工作。

6. 智能计算机 在知识库的支持下, 能识别声音、图象, 自动进行程序设计, 具有推理、学习等功能的新一代计算机(日本已于1991年推出商用样机)。

此外, 还有一些其它研究领域, 如模式识别、机器视觉、组合与调度等, 此处就不逐一介绍。

应当说明的是, 上述人工智能所解决的问题完全局限在人的逻辑思维所能解决的问题之内, 纯属一种逻辑思维的模拟, 故称上述人工智能为传统人工智能。

实际上人脑的智能活动除逻辑思维外, 还有形象思维与逻辑表象等, 因而单靠传统的人工智能不能很好地模拟思维, 另外, 对于无法形式化的问题, 亦难以用人工智能来求解。

近年来实现人工智能的另一途径是加速人工神经网络模型(Artificial Neural Network缩写为ANN)的研究, ANN又称连接机制模型或并行分布处理模型, 是由大量的简单元件有机连接而成的, 用以模拟人脑的复杂网络。研究这一网络模型的根本目的是进一步探索人脑对信息储存、处理的机制, 使人工智能技术向更高层次发展。

人工智能系统还构成了新兴的知识工业, 它将为新技术革命提供重要的工具, 为变革人类的生产和生活方式作出巨大的贡献。

第二节 知识与知识工程的概念

一、知识

在人工智能中所涉及到的知识, 根据用途大致分为三类:

1. 陈述性知识 用于说明需要求解的问题及其相关的事实, 相当于常规程序中的数据。这类知识通常存放于智能系统的数据库中。

2. 过程性知识 用来提供问题的解答, 即用过程性知识处理陈述性知识, 相当于常规程序中对数据的运算。这类知识存放于智能系统的知识库中。

3. 控制性知识 用于执行智能系统的控制策略及协调问题的求解过程, 相当于常规程序中对各步运算的流程控制。这类知识存放在智能系统的推理机中。

二、知识工程

智能系统所涉及的以上各类知识均需经过技术处理, 方能为计算机所接受。知识工程就是一门以知识为研究对象的新兴学科, 它是人工智能的理论基础, 为智能系统的建立提供原理和方法。

知识工程的核心内容是: 研究人类知识的表达、知识的应用和知识的获取方法, 还涉及智能系统知识库以及推理机的建造原理。

对人工智能系统来讲,对知识的表达和处理恰当与否,是决定该系统性能是否优越的关键所在。

1. 知识表示 就是研究如何用计算机能够接受并能处理的图形、符号和规则来表示人类的知识。常用的知识表示方法有:逻辑模式、产生式系统、语义网络、框架结构和与/或图等。

2. 知识应用 就是研究如何运用知识库中的知识来对问题求解。这涉及各种形式的推理机制与控制策略,对精确知识的推理有演绎推理(如特殊到一般)和归纳推理(从一般到特殊);对非精确知识的推理有似然推理和模糊推理。在推理过程中,对知识的选用还应具有一套控制策略,以加速推理过程的聚焦或收敛。

3. 知识获取 就是研究智能知识库如何得到知识,如何扩充、修改、完善知识。知识获取是建立智能系统最为困难的一个环节(瓶颈),这是因为知识工程师(计算机工作者)和领域专家通常不是由同一人担任,而专家们的许多知识和经验也并非都是知识工程师能够理解的。另外,同一领域的不同专家可能有不同的经验,这些经验可能相互矛盾,从而使知识工程师难以辨别孰是孰非。出现这种情况的原因可能是由于专家处理问题并不仅靠逻辑推理,而这正是传统AI技术的基础。

解决知识获取问题有两条途径:一是通过专门的编译系统或自然语言理解技术,使领域专家直接与计算机对话,使知识的输入和修改过程变得更有效、更方便。但要做到这一点并非轻而易举。另一途径是研制机器学习系统,当把领域知识输入计算机后,由学习系统归纳、整理、分类、编排。常用的学习方法有:机械学习、指导学习、实例学习、类推学习等。机器学习是实现自动获取、生成知识的重要途径。但用传统的AI技术实现学习也是很困难的。

人工神经网络不同于传统的AI技术,它主要模拟人类的形象思维,因而具有更优化的学习功能。它不仅可以有导师学习,也可以无导师学习,且能联想记忆,因而AI专家已把知识获取系统的改进寄托于人工神经网络的应用。

综上所述,知识工程的根本任务是:在研究知识的表示、知识的应用、知识的获取的基础上,开发智能系统,延长和扩大人脑的功能,创造人机共同思考、共同决策的新时代。

具有广泛应用价值的知识工程,无疑会极大地增强人类认识世界和改造世界的能力,深化对人类自身的认识,推动知识工业的发展。

第三节 专家系统的概念

一、专家系统的概念及其功能

专家系统(Expert System)是人工智能中的最成功和最有效的分支,也是第五代计算机的核心技术。所谓专家系统,它实际上是一个基于知识的计算机智能程序系统。在这个系统内,储存有某一领域人类专家大量的知识和经验,并能象专家一样运用这些知识和经验,对用户提出的该领域范畴内的问题,通过推理、判断,然后作出结论性的解答。专家系统具有和人类专家一样的决策功能,它能模拟人类专家的思维决策过程,对问题求解

并给出相当于专家水平的答案。

专家系统实质上突破了简单的逻辑运算,它把知识和推理结合起来,将逻辑思维和形象思维结合起来,成功而有效地运用专家的知识 and 经验去解决迄今只有专家才能解决的问题,因而对于那些难于建立数学模型的学科领域,专家系统有着广泛的应用前景。

一个专家系统通常具有以下功能:

1. 咨询功能 能回答用户提出的某领域的问题,解释其决策过程。
2. 学习功能 在专家的训练下,系统能不断扩充和完善自己的知识。
3. 教育功能 系统能回答用户的提问,达到培训新手的目的。

二、专家系统与常规程序的区别及特点

与普通的计算机程序(常规软件)不同,专家系统对领域知识的表达,不是数学模型与算法,而是诸如“规则”、“框架”一类的方法;它所处理的对象,不是简单的数值信息,而是用字符表示的有关知识;求解问题的方法,不是数值仿真,而是逻辑推理;影响结论可信度的因素不是数学模型与算法的精度,而是事实与规则的可信度。由于专家系统中,对信息的表达与处理,是明确分开的,对信息模块的修改、扩充要比常规程序容易得多,且有良好的解释功能和学习功能(常规程序没有),因而比普通程序有更好的人机界面。

与常规程序相比,专家系统还有以下三个显著特点:

1. 灵活性 由于专家系统的建造所需要的领域知识与问题求解的控制策略相互独立,这就非常便于人们增加、修改、删除知识库中的知识。这种新型的建造思想,是专家系统与常规程序的根本区别。

2. 透明性 专家系统能根据用户的要求,对自身的推理过程及其产生的结论作出相应的解释,使用户了解推理过程,并使结论为用户所理解接受。

3. 启发性 专家系统对问题的求解过程,是利用不同的推理机制与控制策略,对表达领域知识的符号、规则系统进行操作与处理,因而系统的求解过程是一个对符号的处理过程,同常规程序的数据处理过程相比,它并不总是遵循某一固定的程序求解,而是从一个或几个已知的事实出发,有选择性地运用知识库中的知识,逻辑地推导出一个结论,体现了人类具有的思维能力,因而具有鲜明的启发性。

第四节 专家系统的发展历史及应用概况

一、专家系统的发展历史

专家系统的研究始于20世纪60年代中期,当时斯坦福大学的费根鲍姆(美)博士和麻省理工学院研究员,首先推出了有机化学方面的DENDRAL系统和数学方面的MACSYMA系统,使专家系统在学科领域的具体应用上迈出了第一步。

70年代中期,一个用于细菌感染患者的医疗诊断系统(MYCIN)建成,它明确地提出了专家系统的基本组成及应当具有的功能,较成功地解决了一系列AI应用的技术问题,从而进一步推动了专家系统的发展。

从80年代开始,专家系统的研制蓬勃发展。1983年的统计资料表明,仅美国就建造了

50多个专家系统,其应用领域涉及到医疗、数学、化学、地质、法律、教育、工程技术、计算机科学、军事工程等各个方面,从事专家系统研究的机构,仅美、日两国就有70多个,且80%属于企业界,从而展示了人工智能应用的广阔前景。

经过20多年的探索与实践,对专家系统的建造,不仅在理论上和方法上都更趋成熟,而且人们还提出了许多新的设计思想和工具,使专家系统的应用领域越来越宽,在解决实际问题中所发挥的作用越来越大,充分显示了专家系统巨大的生命力和广阔的应用前景。

二、实现专家系统的社会、经济意义

专家系统之所以发展如此迅速,主要有以下三个原因:

(1)专家系统可以使专家的专长不受时空限制,扩大了专家对社会的发展与进步所起的推动作用。

专家的知识与经验,是人类最宝贵的财富,专家工作所创造的价值,难以用数值表示。但专家必竟是少数,且人总是要死的。因此,通过专家系统,把专家的知识与经验保存下来,就可以使专家的专长永远可用,到处可用,这无疑具有重大的社会经济意义。

(2)通过专家系统,对专家的知识与经验,进行系统的组织与应用,对该学科领域的发展,将会产生巨大的促进作用。

(3)专家系统的应用,使知识转化为生产力,已取得了显著的经济效益。著名的地质勘探专家系统PROSPECTOR,是由SRT国际人工智能研究中心负责研制的,该系统准确预测了华盛顿州31个钼沉积矿的位置,创造了1亿多美元的价值;美国DEC公司的RI系统,能代替工程师配置VAX—11系列计算机系统,使之每年获利数千万美元。

正是由于以上原因,才引起了人们对专家系统的极大兴趣,其研究范围已遍及各个领域。

第五节 专家系统在电力系统中的应用及其前景

一、电力系统中应用专家系统的必要性

电力系统在国民经济中占有极其重要的地位,掌握着国民经济的命脉。保证电力系统安全可靠优质地发电供电,是电力部门的神圣使命。

电力系统正朝着大容量、超高压、远距离方向发展。电网的结构越来越复杂,设备的种类、数量越来越多,运行方式的变化多种多样,电力系统中某一局部的故障常常会波及全系统,从而给国民经济造成不可估量的损失。这些特点给系统的规划设计、生产运行、监视控制、维护管理带来了一系列新的课题。而许多不确定的、非精确的因素,常常使问题的求解变得很困难。

困难在于电力系统中有许多问题,难于通过建立数学模型、运用数值计算的方法求解。比如电力系统中的事故诊断、事故警报处理、事故后的紧急恢复控制、调度决策、事故评估等等,都难于用常规的计算机程序去解决。这部份问题,目前还主要依靠电力工程师、运行调度人员的知识和经验,借助自动化技术去完成。

这些主要依靠人工来完成的重要工作,不但效率低,还会由于经验水平、环境、情

绪、记忆等因素而导致决策、操作的失误，造成更严重事故。

因此，根据全系统有关专家的智慧和经验，建立相应的专家系统，去解决上述那些重要的工程技术问题就显得十分必要。

实践证明，在电力系统中，应用专家系统技术，具有广泛的技术、经济意义。

(1) 应用专家系统组织汇集电力系统专家的知识 and 经验，不仅可以提高电力系统的技术水平，而且可以把这些知识和经验存贮于知识库中，以实现全系统知识共享。

(2) 专家系统常常是若干个专家知识和经验的总和，因此，它的决策水平肯定会在个别专家之上。

(3) 专家系统的工作，是由计算机完成的。它能快速、有效、不知疲倦地工作，且不受环境、情绪等因素的影响，决策一般不会出错，可靠性较高，可以避免人为失误造成的重大经济损失。

(4) 专家系统具有解释功能，可以担负起训练高级技术人员的任务，有利于电力系统人材的培养和素质的提高。

综上所述，将专家系统应用于电力系统不仅必要，而且意义深远，是一件势在必行、刻不容缓的工作。

二、专家系统在电力系统中的应用概况

根据CIGRE对15个国家的调查，迄至1987年5月为止，已有68个专家系统用于电力系统，其中美、日各占26.5%，加拿大占10.3%，意大利占7.3%，英国占5.9%，芬兰、法国各占4.4%，荷兰、瑞士各占2.9%，丹麦、西德、冰岛、挪威、瑞典以及ESA各占1.5%。

这些专家系统按其任务的分布情况见表1-1。

表 1-1 专家系统分布情况

分 类	规 划			监 视			控 制			系统分析		教育仿真		其 它
任 务	运行规划	装备设计	系统规划	故障诊断	警报处理	事故评估	正常控制	恢复控制	紧急控制	静态分析	动态分析	辅助教学	系统仿真	
百分比	10.2	3.1	1.0	13.3	13.3	9.1	11.3	12.3	4.0	12.3	1.0	1.0	2.1	
小 计	14.3			35.7			27.6			13.3		3.1		6.1

其中属于监视、控制类型的专家系统，占总数的63.3%。比重如此之大，一方面是由于电力企业界的迫切需要，另一方面是建立这一类专家系统相对易于实现。

对于电力系统监视、控制一类的问题，运行人员都难于借助某一确定数学模型用常规程序求解，而主要依据规程和自身的经验去解决，他们迫切希望建立相应的专家系统帮助决策。建立这样的专家系统所需要的知识（规程和经验）和前提事实（监视的数据）较易获得，求解目标的搜索空间（知识库）相对较小，推理机制与控制策略亦较容易实现，特别适合于产生式系统，因而这一类专家系统比例较高。

电力企业对规划类的任务要求也很迫切,但由于涉及的不确定因素较多,目标搜索空间较大,需用的深层次知识较难获取,因而这一类的专家系统目前还不是很多。

能进行系统分析、教学仿真类任务的专家系统,目前尚处在初步研究阶段。

三、专家系统在国内的研究现状

我国对专家系统的研究始于70年代,应用最多的是中医诊断系统,迄今已有70多个这样的系统应用于临床治疗,较著名的有北京关幼波的肝病诊断系统。之后,在地质勘探、纺织设计、军事工程、事务处理等领域亦相继出现了不少专家系统。

80年代,专家系统开始应用于我国电力系统中。首例是华北电力学院在1986年报道的日调度计划系统,之后该院又报道了火力发电厂、变电所的倒闸操作票系统及高压开关事故诊断系统。此外,还有上海交通大学的配电网操作及无功功率控制系统,福州大学的电网经济运行系统,东南大学的调度操作管理系统等,西安交通大学、贵州工学院等院校也都做了大量有益的研究工作。

除了上述高等院校的研究成果外,出自生产、科研部门的还有:南京自动化研究所的暂态安全分析决策支持系统,事故警报的压缩处理系统,黑龙江省调度所的无功优化系统,江西中心调度所的负荷预测系统等。

专家系统在我国电力系统中的应用,总的看来,尚处于襁褓时期,不少系统的功能还有待进一步完善,应用面也有待扩展,许多深层问题,如系统的设计构造原理、知识的表示与获取方法、目标的搜索与控制策略、智能推理与数值运算的接口等等,均有待进一步深入研究。但已建成的系统在实际应用中,已经显示了巨大的生命力,在帮助解决那些无法建立数学模型的实际问题中,正发挥越来越大的作用。预计90年代,专家系统将在我国电力系统中得到广泛应用。

综上所述,专家系统是一个基于知识的计算机智能系统。它能模拟人类专家的思维决策过程,能对求解问题给出相当于专家水平的答案。

专家系统属于人工智能的范畴。它的理论基础是知识工程。

专家系统与常规程序不同。专家系统=知识+推理,常规程序=数据+算法。专家系统最鲜明的特点是:具有透明性、灵活性和启发性,且具有解释功能、学习功能和更友好的人机界面。特别适用于求解那些无法建立数学模型的领域。

专家系统的应用,使知识转化为生产力,具有显著的社会经济效益,其应用领域已涉及人类创造的各个学科。

思 考 题

1. 何谓人工智能?它包括哪些范畴?
2. 何谓专家系统?它与常规程序有何不同?
3. 通过本章的学习,你能提出一些适合运用专家系统来解决问题的具体的例子吗?

第二章 专家系统的组成与原理

本章主要介绍专家系统的组成及各部分的作用，并通过一个专家系统实例，阐明系统的基本工作原理。

第一节 专家系统的组成

专家系统是在计算机中实现的。它由知识库、数据库、推理机、知识获取部分、解释部分共五个部分组成。其中知识库和推理机是系统的核心。各部分的关系如图 2-1 所示。在上述各组成部分中，知识库与推理机是专家系统不可缺少的组成部分。在某些应用领域中，可以缺少解释部分和知识获取部分，但一个完善的专家系统，应具备上述五个部分。

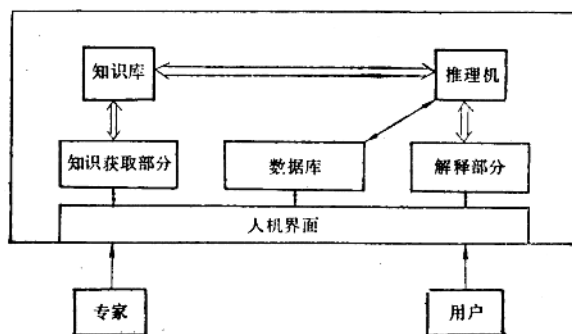


图 2-1 专家系统的组成

一、知识库 (Knowledge Base)

知识库是用来存贮领域专家知识和经验的地方。专家的知识只有用适当的数值、符号并通过一定的形式表示之后才能为计算机接受。因此，建立知识库的关键是如何准确、简明、有效地表示专家的知识。

知识表示的准确性就是要能确切地反映专家的知识，不能走样。

知识表示的简明性就是既要便于用户理解，又要方便改进，不能繁琐。

知识表示的有效性是使用起来既方便调用，又确实可用。

要在计算机中建立一个知识库，首先要从领域专家获取知识，其次是将专家的知识用适当方法表示出来，并用智能语言书写，然后再送入计算机中。

常用的知识表示法有如下几种：①逻辑模式；②产生式系统；③框架结构；④语义网络。此外还有决策树、与/或图、状态图、模糊关系及模糊逻辑等。以上这些方法，将在第三章中分别介绍。

知识库中存放的知识,在系统工作时,由推理机调用、处理,推理机经过推理产生的新的知识,又送到知识库中存贮。因此,知识库中的知识会不断自动扩展、创新,因而是动态的而不是静态的,这种动态结构的性能,是智能知识库与传统数据库的根本区别。

知识库还可以通过知识获取部分,与领域专家直接打交道,领域专家可以人为修改、删除、增添知识库中的知识。

一个有效的知识库的建立,需要领域专家与计算机工作者密切配合才能完成。

二、推理机 (Inference Engine)

推理机实际上是计算机中的一组智能程序,它包括推理机制与控制策略两个部分。其任务是运用给定的推理方法和控制策略,从知识库中选择有关知识,针对用户提出的问题,作出相应的解答。

(一) 推理

在专家系统中,推理有精确推理与非精确推理两大类型。其推理方式又分为正向推理、反向推理以及正反向混合推理。

1. 正向推理 (Forward Reasoning) 正向推理是一种从证据到结论的推理方法,所以又称为证据驱动策略,或称由底向上策略。

运用正向推理构成的推理机,至少应具备以下功能:

(1) 根据用户提供的前提事实,知道如何选用知识库中的知识。

(2) 将选用的知识及经过推理得出的结论,显示在用户窗口中,并将用过的知识记录下来,以备解释之用。

(3) 当用户提供的证据不充分、不足以得到相关结论时,可以向用户提问。

(4) 能判断何时结束推理。

2. 反向推理 (Backward Reasoning) 反向推理是一种从结论到证据的推理方法。它是根据用户的问题,先给出一个结论(假设),然后在知识库中去寻求支持这个假设的证据,如果证据存在,假设就成立,问题获解。

这种推理方式,由于是从结论到证据,所以又称为目标驱动策略,或称由顶向下策略。

运用反向推理构成的推理机,至少应具备以下功能:

(1) 能根据用户的问题,先提出假设,并能判断此假设目标的真假。

(2) 若假设为真(成立),记录下用过的知识以备解释之用,同时将此假设为真的结论告之用户。

(3) 若假设为假(不成立),系统再重新假设,再在知识库中搜索支持新假设的证据,若证据不充分,可向用户提问,看是否有新的证据补充。

(4) 能判断何时推理结束。

3. 正反混合推理 (Global Reasoning) 正反向混和推理则是一种从证据到结论、再由结论到证据的综合推理方法。即

证据→结论→证据→结论

其推理过程是:先根据用户提供的前提(证据)事实,通过正向推理,帮助系统提出

参考结论，再运用反向推理，进一步去寻求支持该结论的证据，如此反复循环，直到推理成功或失败为止。

不论是正向推理、反向推理，还是正反向混合推理，都有精确推理和非精确推理之分。

4. 精确推理 精推理是指经过推理得到的结论要么为真（肯定的），要么为假（否定的）。在这种推理过程中，运用到的知识或涉及的推理规则，都是客观世界中存在的必然事实，证据和结论之间，都有确定的因果关系。

例如，当发电机的负荷电流大于它允许的最大工作电流时，那就意味着发电机过负荷；当电力系统的频率下降到它允许波动范围的下限值（49.5Hz）时，就意味着系统有功率缺额。因果关系是非常明确的。

又如，已知A是C的父亲，B是C的母亲，问A和B是什么关系，结论一定是A和B是夫妻关系，且可推论出A是B的丈夫，B是A的妻子，其关系也是非常明确的。

5. 非精确推理（Inexact Reasoning） 非精确推理主要用于某些事实前提和因果关系都并非肯定的场合，这在诊断型、预测型的专家系统中常会用到。其共同的特点是：利用客观世界中某些不完善的、或不确切的事实和资料、以及不确定的因果关系进行推理，得出某些近乎合理的结论。

例如，一个患者有发烧、咳嗽的症状，问是感冒、肺炎、还是其它疾病引起的？仅根据这两个症状是肯定不下来的，医师只能参考其它病症迹象凭经验作出判断。

在电力系统事故诊断、负荷预测方面，也存在大量并非精确和不完善的证据，因而经过推理得到的结论，也不是完全肯定的，作为决策咨询，专家系统只能给出结论的可信度。

非精确推理的主要理论基础是概率论。由于在某些领域，尚未获得大容量的样本空间，以及其它一些原因，使得纯概率论的方法运用受到某些限制。为此，专家系统的建造者们提出了许多改进的理论模型与经验公式，以处理不确定性问题，其中有代表性的有如下五种方法。

- （1）MYCIN的非精确推理模型（又称确定性理论）；
- （2）主观BAYES方法（概率方法）；
- （3）模糊理论；
- （4）证据理论；
- （5）发生率计算（可能性理论）。

需要说明的是：非精确推理是专家系统的一个重要问题，人们尚处在探索阶段，对已提出的一些模型和推理方法亦有待进一步完善，本书将在第四章扼要介绍一些非精确推理方法。

（二）控制策略（Control Strategy）

控制策略主要指推理方向路线的控制及其推理规则的选择策略。单纯的、正向推理，在目标的搜索上常常具有较大的盲目性。在一个庞大的知识库中（样本空间），盲目地搜索问题的求解目标，将影响系统的工作效率。因此，对推理路线和推理的规则要求要

具有启发性,使之能有效缩短推理过程,加快目标的收敛聚焦速度。

在专家系统中,根据搜索空间的大小,目前有如下几种控制策略可供选用:

- (1) 深度优先策略;
- (2) 广度优先策略;
- (3) 冲突仲裁策略;
- (4) 估价函数策略。

本书将在第四章详细介绍这些基本方法。

三、解释部分 (Interpretation Part)

解释部分也是一组智能程序,它负责对系统的推理过程,并向用户解释推理得到的结论。否则,即使它的决策或建议是正确的,也难于让人们接受。

一个专家系统具有了解释部分,对于用户向系统学习以及对系统自身的维护都具有积极的意义。专家系统的教育功能,实际上是通过解释部分来实现的。

对于解释部分设计,应根据系统涉及的领域,先估计用户会提出哪些方面的问题,并针对有关问题,准备好相应的答案,然后编出相应的程序。这是一个完善的专家系统所不可缺少的组成部分。

四、知识获取部分 (Knowledge Acquisition Part)

知识获取部分的任务是实现知识源到知识库的转移。知识源一方面来自专家,另一面来自书本文献。对这些知识均需经过形式化处理并以编码的方式存入知识存中。

知识获取的方法有两种:人工的和自动的。早期的专家系统,其知识的表示、存贮、修改、扩充、删除,都是人工进行的,需要领域专家与智能工程师长期合作,并为此付出艰巨的劳动。

目前,一些专家系统已或多或少具有了自动获取知识的功能。自动获取知识包含两个方面的含义:一是对领域专家知识的自动获取,即系统可以不通过智能工程师就能与领域专家交流,并自动地将领域专家传授的知识作形式化处理,存放在知识库中;二是系统能在推理过程中生殖知识,通过总结成功和失败的经验,自动修改、扩充、完善自身的知识。

实现系统自动获取知识的功能,需要一套知识的编译程序,即要使计算机本身智能化,要做到这一点,并非是件容易的事,属于系统建造的“瓶颈”问题,目前正探索将人工神经网络应用于智能系统中。

知识获取部分在传统AI技术中是一个机器学习问题,以何种方式向系统提供知识,取决于采用何种机器学习系统,传统的AI技术有五种学习方式可供选用,即

- (1) 通过机械记忆学习;
- (2) 通过提问指导学习;
- (3) 通过书本资料学习;
- (4) 通过实际示例学习;
- (5) 通过归纳总结学习。

以上这些学习方法,将在第五章中介绍。