

广义专家系统



General
Expert System

程伟良 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

广义专家系统

程伟良 著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统论述了广义专家系统的理论和应用开发方法,特别是当前较已成熟的模糊专家系统、神经网络专家系统和模糊神经网络专家系统。全书共分六章,内容包括:专家系统的起源与发展;经典专家系统的基本特征与结构、知识表示方法、推理机制与搜索策略;模糊专家系统的数学基础、基本特征、知识表示和推理机制;神经网络专家系统的知识库、推理机制和解释机制;模糊神经网络专家系统的知识表示和推理方式;专家系统开发工具 VP-EXPERT 的功能与特点和编程方法等;专家系统开发工具 CLIPS 的基本组成和语法等。各部分还有专家系统在诸多领域的应用专题和部分程序。

本书可供几乎所有工程应用领域,如管理工程、航空航天、能源动力、机械、电力、交通等诸多行业的专家系统研究人员、工程技术人员学习和参考,也可用作高校各专业学生学习专家系统的教材或教学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

广义专家系统/程伟良著. —北京:北京理工大学出版社,2005.2

ISBN 7-5640-0402-9

I. 广… II. 程… III. 专家系统-研究 IV. TP319

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 002926 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 418 千字

版 次 / 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1-3000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换



作者简介

程伟良 陕西咸
阳人，华北电力大学责任
教授。长期从事热工理论
基础与热力设备方面的
教学和科研工作，研究方
向为智能专家系统的理
论及应用、网络热力学与
热经济学分析、强化传热
及节能技术。发表论文 40
余篇，被国际三大检索工
具 (SCI, EI 和 ISTP) 收
录 10 余篇。承担多项国
家自然科学基金和国家
“973” 重点基础发展规划
研究项目。

前 言

随着计算机及其相关技术的发展,信息网络的触角已经伸向社会生活的各个角落,人工智能的各研究领域也得到了迅速发展,展示出人类改造自然、建设信息社会的美好前景。

根据专家系统的发展和实际应用现状,从传统观点来看,专家系统似乎停滞不前,但从广义角度观察,专家系统正以纵横交叉的全方位网络化渗透方式,丰富着人工智能的内容,推动了人工智能的发展。通过对专家系统各理论比较全面的整理和对比研究,结合专家系统的发展现状和应用特点,本书提出了相应统一的理论和方法,完善了传统专家系统的各方面内容,并突出了多学科综合的发展特征,因此本书称之为广义专家系统也就不足为怪了,它包括除经典专家系统之外的延伸部分,如模糊专家系统及神经网络专家系统等,这些不同形式的专家系统在智能控制、故障诊断、模式识别和图像处理等诸多领域发挥着越来越大的作用。

围绕人工智能中的专家系统,当前所做的研究甚多,取得的成绩也令人瞩目。力图囊括并总结当前专家系统的发展成果,特别是神经网络及模糊逻辑等围绕专家系统理论或者以专家系统为骨架所获得的研究成果,是本书的主要目的之一。

凭着以前所学和对该领域的浓厚兴趣,通过对专家系统进行了长期不懈地研究并高度关注其研究和发展状况,结合现场连续进行的许多课题探索,加上勤奋努力和不断地教学实践,十年的积累终于使我有了总结和展示自己心得的基础和自信。把自己探索的一些心得介绍给读者是本书的另一重要目的。

本书在绪论中简单介绍了专家系统的发展及其在国际国内的应用,并探讨了专家系统的几个发展方向,这里把传统的专家系统改称为经典专家系统,以便与后面的介绍进行比较。神经网络专家系统、模糊专家系统及模糊神经网络专家系统是当今专家系统的主流,成果斐然,本书对其进行了总结并简述其应用。最后介绍了当今流行的专家系统开发工具 VP-EXPERT 和 CLIPS,并加入了相关的研究专题和详细论述。

本书的特点是体现了学科的交叉性和系统开发的多样性。本书力求体系明晰,章节紧凑连贯,并将开发过程尽可能详细地呈现给读者,但愿对专家系统感兴趣的、正在学习或研究以及进行工程应用的同仁都能成为本书的朋友。希望本书能为同行专家、学者及广大科研和工程技术人员提供一定的参考或给予一定的启

发,同时也希望能成为大学各年级学生的教材或参考教材。

作者特别感谢在成书以前及成书过程中提供无私帮助的同志,感谢我的学生吉林热电厂的王岩同学,白城发电厂的谢生伟同学,内蒙准格尔电厂的刘海军同学,锡林浩特电厂的马树栋同学,本校的毕业生陈维民、张琳、韩建华、高国领、汤民、张俊超及高海波等同学,对他们在搜集和归纳整理资料、编制程序及调试完善系统等方面的工作表示深深的感谢。同时感谢国内外在专家系统方面发表专著、教材、许多高水平期刊论文的作者们,本书采用或参考了这些丰富的材料和相关研究成就,使得本书的写作得以顺利进行,在此特别予以感谢。

本书承我校自动化系白焰教授审阅,感谢白老师于百忙中抽出时间,对本书在整体安排、文字润色、内容取舍及技术指导等方面提出的宝贵意见和给予的无私帮助。

书中的一点一滴,无不浸透着许多人的汗水和辛勤。在付梓之前,每一个错误和不足的发现,也令我欣喜和深感不安,欣喜的是可以及时更正并提高之,而万一类似的错误留给读者,将使我寝食难安。

尽管如此,因时间仓促,多遍的修改和校对后也不可避免还有这样或那样的缺陷和错误,恳切希望各位专家和学者及广大同行不吝指教。

华北电力大学

电站设备状态监测与控制教育部重点实验室

程伟良

于北京清河

2004年8月

目 录

绪论	(1)
第一章 经典专家系统	(8)
1.1 专家系统分类	(8)
1.2 专家系统的基本特征	(9)
1.3 专家系统的基本结构	(10)
1.4 专家系统的工作过程	(12)
1.5 知识表示方法	(14)
1.6 逻辑推理与搜索策略	(28)
1.7 似然推理	(43)
1.8 专家系统的开发和评价	(48)
第二章 模糊专家系统	(54)
2.1 经典专家系统的不足	(54)
2.2 模糊专家系统的数学基础	(55)
2.3 模糊专家系统基本原理	(59)
2.4 室内空气品质的模糊专家系统诊断	(70)
附: IAQ 模糊专家系统程序	(75)
第三章 神经网络专家系统	(83)
3.1 神经网络简述	(83)
3.2 神经网络的模型及结构	(84)
3.3 经典专家系统与神经网络专家系统的比较	(88)
3.4 基本结构	(89)
3.5 知识库	(91)
3.6 推理机	(91)
3.7 解释机制	(93)
3.8 基于神经网络专家系统的锅炉故障诊断	(94)
第四章 模糊神经网络专家系统	(98)
4.1 模糊逻辑与神经网络的区别	(98)
4.2 模糊逻辑和神经网络的结合	(98)
4.3 知识表示和推理方式	(99)
4.4 空调系统的模糊神经网络专家系统	(100)
第五章 开发工具 VP-EXPERT 及应用	(106)

5.1	专家系统开发工具	(106)
5.2	开发工具 VP-EXPERT	(110)
5.3	知识库的编程	(112)
5.4	推理机制	(130)
5.5	外部文件交互	(137)
5.6	汽轮机启动故障诊断专家系统	(150)
	附 1: 汽轮机启动专家系统知识库程序	(159)
5.7	电厂凝汽器故障诊断专家系统	(179)
5.8	汽轮机调速系统故障诊断	(183)
	附 2: 汽轮机调节系统故障诊断知识库程序	(189)
5.9	锅炉启动故障诊断专家系统	(193)
	附 3: 锅炉启动故障诊断专家系统的知识库程序	(195)
第六章	开发工具 CLIPS 及应用	(199)
6.1	CLIPS 开发工具简述	(199)
6.2	CLIPS 的基本组成	(200)
6.3	CLIPS 基本语法	(200)
6.4	空调器故障诊断专家系统	(202)
	附 1: 空调器故障诊断专家系统程序	(213)
6.5	人事管理决策专家系统	(220)
	附 2: 人事管理决策专家系统程序	(228)
6.6	企业效益评价专家系统	(234)
	附 3: 企业效益评价专家系统程序	(239)
6.7	旋转机械故障诊断专家系统	(246)
	附 4: 旋转机械故障诊断专家系统程序	(253)
	参考文献	(268)

绪 论

一、专家系统的起源与发展

在 1981 年召开的第七届国际人工智能会议上,美国斯坦福大学的人工智能研究所所长 N.J. Nilsson 认为:人工智能中最接近实际应用、发展最快、效益最显著的当属专家系统,以后的很长一段时期将是专家系统大发展的时期。过去,专家的知识 and 经验主要靠口头传授和书本记载,现在可以专家系统作为载体,代替专家来解决专业问题,实现知识资源共享,长期保存并不断增添新的内容,这为人类知识的积累和继承提供了全新的方式,对扩大人类利用现有知识的能力,提高求解问题效率,促进生产力的发展,具有非常重要的意义。

专家系统(Expert System, 简称 ES)的产生是人工智能从理论研究向实际应用的一个转折点,是人工智能的实际应用的辉煌成果,其应用的良好效果引起了人们的高度重视,既推动了对专家系统的深入研究,又进一步促进了专家系统的商业应用。

专家系统是一个(或一组)能在某特殊领域内,以人类专家的水平去解决该领域中困难问题的计算机程序。这个程序系统内部具有大量专家的领域知识与经验,它能利用仅人类专家可用的知识和推理方法来解决这些问题,并且得到与专家相同的结论^[1]。这个定义有三层意思:其一,我们要解决的是一个复杂问题,这样的问题需要由特定领域的专家来解决;其二,专家系统是以专家的知识为基础的,所以它常常被称做知识基系统;其三,专家系统解决问题的途径和所得结论的性质。

计算机从 1946 年出现以来,其应用主要是数据处理,程序设计人员对问题的处理需深入研究,提出逐步循进的求解算法,然后用特定的程序设计语言编程,计算机按程序描述的具体步骤结合输入的初始数据,执行求解,这即是所谓的传统程序设计方式。随着问题的扩展和复杂化,有些问题没有达到深入研究的地步,没有相应的算法求解;有些即使有算法,由于时间和空间的限制也无法实现,这样就出现了人工智能。它用启发式方法提供一种提示和估计,不强调查问题是否有严密的理论推导,而注重问题求解的行之有效的经验^[2]。

1965 年,以化学数据推断分子假设的 DENDRAL 专家系统研究的开始标志着专家系统的诞生^[3],从此有了许多成功的专家系统并取得了巨大的商业效果。

DENDRAL 是世界上第一个计算机专家系统,由美国斯坦福大学研制成功的。它的具体任务是:在已知某些有机化合物的分子式及其质谱特征的前提下,确定它的分子结构式。这项工作一般是由化学家做的,他们根据专业知识和自己的经验,分析质谱的结果,最后对该化合物的分子结构作出正确解释。DENDRAL 是计算机工作者在化学家的配合下,把专家的知识 and 经验提取出来,存入计算机中,让计算机运用这些知识和经验按专家的推理方式解决问题。后来这个系统在世界各地的大学和工业界的化学实验室使用多年。实践证明,这个系统达到了与化学家同等的工作水平。

20 世纪 70 至 80 年代,美国许多公司和大学相继建造了一批优秀的专家系统。其中包括斯坦福大学建造的对细菌感染疾病进行诊断和治疗并提供咨询的计算机咨询专家系统

MYCIN;斯坦福国际人工智能研究中心(SRI)设计的找矿勘探解释系统 PROSPECTOR;DEC 公司研制的配置计算机系统的 RI 和 CON;卡内基-梅隆大学研发的语音理解系统 Hearsay-II。它们的应用带来了极大的经济效益和社会效益。例如,1982 年美国一家公司用 PROSPECTOR 在华盛顿州发现一个矿床,其价值为几百万至上亿美元,而形成鲜明对照的是,该公司勘探专家一致认为这个地方没有矿床存在。20 多年来,正是由于这些获得成功的专家系统的推动,各种专家系统如雨后春笋般波及各个专业领域。

从 70 年代后期开始,专家系统处于大发展时期,渗透到工业和生活的各个领域。日本计划从不同范围的选题中拟订了三种专家系统,实现以其应用技术为核心的第五代超越冯·诺依曼计算机计划,企图使信息处理过渡到知识处理。我国也有了不少专家系统研发和应用的实例,国家在一些重大科技发展和规划研究中对专家系统、知识渗透与扩展、学科交叉和融合给予了充分的支持和重视,在农业咨询、天气预报、故障诊断和中医诊疗等方面出现了一批实用的专家系统^[4]。我国的第一个专家系统是 1977 年由中国科学院自动化研究所涂序彦领导的课题组研制的,名为“关幼波肝病诊断治疗专家系统”,也是世界上第一个中医治疗专家系统。该中医治疗专家系统用模糊条件语句表达知识,搜集整理中医理论和关幼波教授病理治疗经验和法则进行知识形式化、组织和层次的描述。经验证,该专家系统可以代替专家辅助治病和开处方,效果喜人。1988 年,北京理工大学人工智能研究所和中央气象局合作开发的暴雨预报专家系统 IMFOS,在一些地方应用成功,比较准确地预报了一些灾难性的大暴雨,取得了十分显著的经济效益和社会效益。另外,中国科学院数学研究所陆汝衿领导的科研组也曾研制了一个作为国家“七五”攻关项目的专家系统开发工具——天马。该系统包括常规推理机、规划推理机、演绎推理机及近似推理机四部推理机,知识库管理系统、机器学习及知识求解三个知识获取工具,窗口、图形、菜单和自然语言四个方面的人机接口生成工具。整个专家系统共有 11 个子系统,可以管理和操作规则库、框架库、数据库、过程库、实例库及接口库,并有和磁盘操作系统(DOS)、数据管理系统、绘图工具软件 AUTOCAD 的接口功能。专家系统在农业生产方面也有着比较成功的应用。美国伊利诺斯大学 1978 年开发了大豆病虫害诊断专家系统 PLANT/ds,1982 年开发了玉米螟虫害诊断专家系统 PLANT/cd;日本千叶大学 1983 年开发了西红柿病虫害诊断专家系统 MICCS。随后,农业专家系统从单一的病虫害诊断转向生产管理、经济分析决策及生态环境等方面。国际上著名的农业专家系统为美国农业部和美国棉花委员会研制的 COMAX/GOSSYM,该系统 1986 年投入商业应用,用于向棉花种植者推广棉花管理措施,是基于模型的专家系统。该系统有一个模拟棉花生长发育过程和水分营养在土壤中传递过程的模型 GOSSYM,可给出施肥灌溉的日程表和落叶剂的合理使用及棉花生产最佳管理方案,在美国主要产棉区密西西比三角洲和南卡罗林纳海滨等地使用获得很大成功。我国也是农业专家系统研究较早的国家,近年有了长足的进步。1985 年 10 月中国科学院合肥智能研究所与安徽农业科学院土壤肥料研究所共同研制成功了砂姜黑土小麦施肥专家系统,开始了专家系统在我国农业方面的应用和发展,该成果荣获国家科技进步二等奖。“七五”期间,合肥智能研究所开发了施肥专家系统,中国农业科学院作物研究所开发了品种选育专家系统,中国农业科学院植物保护研究所开发了黏虫测报专家系统,华中理工大学开发了园艺专家系统,浙江大学与中国农业科学院蚕桑研究所共同开发了蚕育种专家系统,河北省农业厅与廊坊市农林局开发了冀北小麦专家系统,辽宁省农业科学院开发了水稻新品种选育专家系统,宁夏农林科学院应用 VP-EXPERT 开发工具研制成功春小麦条锈病预测专家系统,

北京农业大学研制成作物病虫害预测专家系统和农作制度专家系统,中国农业科学院畜牧研究所开发了畜禽饲料配方专家系统,中国农业科学院农业气象研究所研制的玉米低温冷害防御专家系统,南京农业大学和安徽农业科学院合作研究出的水稻害虫管理和稻纵卷叶螟管理专家系统等。专家系统的研究和开发无论是在广度上还是在深度上都有了很大进展,有不少项目列入国家“八六三”重点和重大课题。同时也有了在农业方面应用的专家系统开发工具,如中国科学院合肥智能研究所的雄风专家系统开发工具。该工具在全国 20 多个省份推广应用,取得了一定的效果。

随着专家系统的应用不断深入和广泛,出现了专家系统开发工具。对一个已成熟应用的具体专家系统,去掉其解决专业问题的领域知识,剩下与原领域知识无关的基本骨架部分,这就是骨架型专家系统开发工具^[5]。可利用它在其他领域进行专家系统开发,这时不需要设计知识的表示方法、推理机及人机界面,原有的专家系统在知识的获取、组织及使用上提供了大量经验,其知识获取子程序为专家系统的建立提供了方便,大大减少了专家系统开发的难度,提高了开发效率。如著名的经典专家系统——治疗传染病专家系统 MYCIN,由它衍生出一个开发工具 EMYCIN 已发挥了一定的作用。但原有的骨架型专家系统具有局限性,因此,通用型专家系统开发工具应运而生,它不是由别的专家系统演变而来的,而是专家系统的设计人员即知识工程师(knowledge engineering,简称 KE),在考虑专家系统专门性、灵活性及透明性要求的基础上,不针对某具体领域知识而编制的通用开发工具。它不含有领域知识,具有灵活而开放的人机界面及知识获取和推理机制,如 OPS、VP-EXPERT 及 CLIPS 等开发工具。其知识库的建立随编程的语言设计而灵活多变,知识的增加、修改、完善和调试比较容易,对用户的解释机制更加人性化^[6]。

在专家系统的建造过程中,知识的整理、归纳及形式化是专家系统的主要任务,其工作量要占专家系统建造工作量的 90%,这是专家系统建造的“瓶颈”。传统专家系统主要通过两种方法来获取知识。一种是领域知识,先由知识工程师从领域专家那里获得(通过两者的反复交谈或者前者对后者实际操作的观察),再由知识工程师输入到知识库中,这种方法造成知识失真的可能性有两方面:一方面,领域专家自己也很难描述自己所拥有的知识,对于具体问题,他们往往只知道如何去解决,却说不出采用这种解决方法的理由,而且,有时他们的知识也有错误成分;另一方面,不同领域专家的知识可能不一样,甚至相互矛盾,在这种情况下,知识工程师往往显得束手无策。第二种知识获取的方法是机器学习,但是直到目前为止,机器学习能力是很弱的,尽管在这方面许多人已付出了艰苦的努力,但目前还是处于探索和研究阶段。

当前,随着专家系统解决问题难度的增加、涉及范围的扩大,以及系统性能的提高和功能不断完善,知识的组织和管理问题日益突出。专家系统的知识量有几百条、几千条,甚至上万条,知识的层次性特征(如常识性知识、原理性知识、经验性知识及元知识等)不容忽视,所以需要有相关的知识库管理技术来处理。另外,处理比较大的问题时,可把一个问题分解为几个小的问题,分别求解以达到求解整个问题的目的,这主要适合于解释型专家系统和故障型专家系统等;对于设计型的专家系统,其处理的问题难以分解,或子问题互相制约,需进行求解问题的规划才能处理。

随着计算机技术和互联网技术的发展和广泛应用,专家系统的发展大致有以下几个趋势^[7]:

(1) 专家系统与神经网络技术的结合,正好取长补短,相得益彰。这样,专家系统主要模拟逻辑思维,实现判断及推理等功能,完成高层次的决策与控制;神经网络主要进行形象思维,

实现识别、联想和学习等功能,负责对外部环境的感知和交流。

(2) 随着一些新思想、新理论和新技术的出现,产生了交叉、融合和协同处理的趋势。模糊技术、遗传算法、进化程序设计、混沌理论及人工生命等的涌现,为专家系统的发展提供了机遇,使专家系统的渗透和应用能力大大增强。

(3) 专家系统与当前实际应用的结合越来越紧密,实际需要也促进了专家系统的发展。在第二届世界专家系统大会上,专家系统创始人费根鲍姆曾撰文指出了专家系统的具体发展方向,今天专家系统的发展也说明了这些观点的合理性,如:

① 功能的集成化:它将造就新一代大型化专家系统,从独立学科、单一功能及专业领域面狭窄的小型专家系统,向多学科、功能齐全及综合性的大型化专家系统发展。其所求解的问题高度复杂,具有多方面的集成功能,集多领域专家的知识 and 经验,并行协同推理求解,并采用多种技术,如模型、方法、软件和接口等,基于分布式、开放性软硬件及网络环境实现专家系统知识的共享和互动。

② 技术的集成化:除了不放弃原有的知识获取、表达、组织及推理搜索技术外,在问题描述模型及求解方法、程序设计及软件实现等方面渗透融合了神经网络、面向对象方法、遗传算法和模糊理论,达到模型方法技术的集成,最终形成集成化及混合型的专家系统。

③ 智能的集成化:出现了人性化的专家系统,知识库、推理机、人机界面和神经网络等同当前计算机的多媒体及网络等最新技术的结合,无疑将出现全面以人为本、界面更加优秀的自适应、自组织、自学习、声图文并茂的高智能专家系统。

二、新型专家系统

在过去的 20 多年中,专家系统的研究和开发虽然取得了很大的进展,但随着其应用领域的不断扩大和计算机技术的飞速发展,人们对它的要求也越来越高,因此专家系统存在的缺陷也逐渐暴露出来。有一种观点认为专家系统需要采用各种定性模型,如物理的、感知的、认知的和系统的模型;另一种观点认为专家系统除采用各种定性模型外,还要运用人工智能和计算机技术的一些新思想与新技术,如分布式、协同式和学习机制等^[8~10]。

一般来说,新型专家系统应具有以下主要特征:

- 并行分布式处理;
- 多专家协同工作;
- 高级语言和知识语言描述;
- 学习功能;
- 引入新的推理机制;
- 纠错和自我完善能力;
- 先进的智能接口;
- 其他技术的介入和融合。

如果要求一个专家系统完全实现上述特征,则是一个相当困难的任务,并非短时期内能够做到。为此,下面简要介绍几种在单项指标上满足上述特征要求的专家系统设计思想。

1. 分布式专家系统

分布式专家系统(Distributed Expert System,简称 DES)具有分布处理的特征,其目的在于把一个专家系统的功能分解以后,分布到各个处理机上去并行工作,以缩短问题求解的时间,从而在总体上提高系统的效率。为设计一个分布式专家系统,一般需要解决下述问题:

(1) 功能分布

把系统功能分解为多个子功能,并均衡地分配到各个处理结点上。每个结点上实现一个或两个子功能,各结点合在一起作为一个整体完成一个完整的任务。每个结点代表一台处理机,其完成分配任务的时间包含两部分:用于推理求解的时间和与其他结点所处理任务之间需交换信息的时间。因而,就有一个所处理任务的大小问题,该任务划分得越细,则结点数越多,各结点间传递信息的时间越长,而每个结点所处理分解任务的时间越短;反之,任务划分得粗,结点少,结点之间传递信息所用时间少,而结点本身完成任务时间将增加。所以,任务的划分应综合考虑,因为它直接决定了该任务解决的结点数,即时间。

(2) 知识分布

根据功能分布的情况,把有关知识合理划分后分配到各个处理结点上。推理使用的知识在各结点间的分布也很重要,一个结点上的程序访问本地知识所用的时间比以通信方式访问其他结点上的少得多。所以,一方面应尽量减少各结点知识的冗余,避免由于知识的更新产生不一致性;另一方面,也要留有一定的余地,存在一定的知识冗余可支持各任务程序推理的需要,尽量减少对其他结点的知识调用时间。

要获得分布式专家系统的最佳性能,需综合权衡功能分布和知识分布。

各部分之间的接口设计要相对独立,接口要易于同步。系统结构与问题本身的性质及硬件环境有关。

(3) 驱动方式

系统各模块之间的驱动方式有以下几种:控制驱动,即当需要某个模块工作时,直接将控制转到该模块,或将它作为一个过程直接进行调用;数据驱动,即当一个模块的输入数据齐备后,该模块就自动启动工作;要求驱动,也称为目的驱动,即从最顶层的目标开始逐层驱动下层的子目标;事件驱动,即当且仅当一个模块的相应事件集合中的所有事件都已经发生时,才驱动该模块开始工作。

2. 协同式专家系统

当前现存的专家系统一般为单个专家的系统,其解决问题的领域很窄,很难获得令人满意的应用结果。协同式专家系统是克服单专家系统局限性的一个重要途径。协同式专家系统(Cooperative Expert System,简称CES)也称为群专家系统,是一种能综合若干个相近领域或一个领域的多个方面的分专家系统相互协作,共同解决一个更广领域问题的专家系统。

协同式专家系统和分布式专家系统有一定的共性,协同式专家系统通常采用计算机网络作为开发平台,组成协同式专家系统的各分专家系统是分布式的,但更强调的是各分专家系统之间的协同合作,而不是看重功能的分布和知识的分布。协同式专家系统旨在研究分散的、松耦合的一组知识处理实体或处理机结点协同进行问题求解的方法。要设计协同式专家系统,一般需要解决以下问题:

(1) 分解任务

根据领域知识,将确定的总任务合理地划分为若干个子任务(各个子任务间允许有一定的重叠),每个子任务对应着一个分专家系统。

(2) 公共知识库

把各子任务所需知识的公共部分分离出来形成一个公共知识库,供各分专家系统共享。

(3) 讨论方式

把“黑板”(即设在内存的一个可供各专家系统随机存取的存储区)作为各分专家系统进行讨论的园地。黑板一般放在一个主结点上。

(4) 裁决方法

所谓裁决方法是指如何由多个分专家系统来决定某个问题。其解决方法与问题的性质有关,若为选择问题,可采用少数服从多数的方法;若为评分问题,则可采用加权平均法等方法;若为互补问题,则可采用互相配合的方法。

(5) 驱动方式

驱动方式与分布式专家系统中所采用的驱动方式基本相同。在分布式专家系统中介绍的驱动方式同样可用于协同式专家系统。

3. 层次专家系统

层次专家系统也叫深层知识专家系统,主要是基于知识特征的,这时领域专家知识具有几方面的特征,即常识性、原理性、经验性及元知识等,也就是说,这样的知识不但具有专家经验性表层知识,而且具有深层次的专业性知识。这样在知识丰富多样的前提下,专家系统的推理判断更加准确可靠。

4. 模糊专家系统

采用模糊技术来处理不确定性问题的专家系统即是模糊专家系统。模糊技术是指建立在模糊集合理论、可能性分布理论和模糊逻辑推理上的一类工程技术。模糊逻辑建立在模糊集理论基础上,利用模糊隶属函数和模糊规则通过模糊关系矩阵来进行模糊化分析,推理的物理概念明确、直观。模糊专家系统的基本结构与专家系统的类似,由人机接口、数据库、知识库和推理机及知识获取模块等组成,只不过各部分都要重点考虑知识的模糊性。它可以解决含有模糊性数据、信息或知识的复杂问题,也可以把信息或数据模糊化,利用模糊推理方法来处理非模糊的复杂问题^{[11],[12]}。

5. 神经网络专家系统

神经网络在自学习、自适应、分布存储、联想记忆、并行推理、鲁棒性和容错能力等方面的优势,恰好克服了专家系统的知识获取及适应领域狭窄、智能水平低、联想及推理功能弱等带来的弊端。所谓鲁棒性(Fault-Tolerance and Robustness),是指当不确定性在一定的范围内发生变化时,必须保证系统的品质不因不确定性的存在而遭到破坏的特性。神经网络专家系统是通过领域专家提出的示例进行神经网络训练,获得神经元的互连及相应的权值分布,使得在同样输入条件下尽可能获得与样本接近的输出。这种方法把知识融在网络之中,推理过程就是沿着网络的计算过程,每层网络的结点之间是完全并行的,对于整个网络是并行推理。在推理过程中,可根据学习算法对网络参数进行训练和适应性调整,这种并行推理也是一种自适应推理。它集成了专家系统的逻辑推理和神经网络的知识获取优势,在分类、诊断、智能控制和优化求解等方面有着良好的应用前景^[13~15]。

6. 模糊神经网络专家系统

这是将模糊技术与神经网络技术相结合直接应用于专家系统的结果,其功能与一般的神经网络专家系统大体相同,只增加了输入的模糊化和输出的解模糊。运行时,它需存储并运用网络的权值和结点的隶属度,这些隶属度和权值对应着模糊规则和隶属函数。模糊技术与神经网络技术的有机结合,大大增强了专家系统的自学习能力、不确定知识处理及推理能力,是近期专家系统发展的热点之一^[16]。

7. 智能专家系统

智能专家系统也可称为组合式专家系统,或称为融合专家系统。它是以专家系统的基本理论为基础,以专家系统的基本结构为最基本框架,引入机器学习、遗传算法、神经网络、融合理论及模糊理论等形成的专家系统。智能专家系统各部分之间的设计相互独立,又相互协作,模块组合特性及数据融合处理机制,用于完成复杂、大型、高度自动化的工业系统问题的推理和解释^[17~19]。

同前面介绍的几种专家系统相比,智能专家系统更具有真正意义上适应高度自动化和智能化系统的要求,符合专家系统的灵活性、透明性和启发性特征,而其他正在发展的上面介绍的专家系统新形式主要是用别的理论来实现专家系统的功能,完成专家系统的任务,或者只能说是该理论在专家系统方面的一个应用。如用神经网络来实现专家系统任务即形成所谓的神经网络专家系统。

本人以为智能专家系统是将来专家系统发展的必然趋势,无论现在还是将来,它都将有着诱人的理论研究价值和应用前景。

三、广义专家系统

经长期的专家系统研究追踪、文献搜集与整理、对比和归纳,重新审视了传统专家系统的理论和方法,提出了修改和扩大后的广义专家系统理论体系和方法论。广义专家系统继承和发扬了传统专家系统的基本理论,囊括了现有专家系统综合应用的辉煌成就,并就专家系统的进一步发展提供了理论支持导向和相应技术解决策略。

广义专家系统是经典专家系统与其它技术综合方法论的统一理论体系,由两部分组成。第一部分是经典专家系统,它是对传统专家系统的完善和整理形成的,其基本内容是相对稳定的。自从专家系统发展成熟以来,其基本部分无重大变化,已具有经典特色。第二部分是经典专家系统与人工神经网络、模糊理论、基值统计、粗糙集及模拟进化算法等综合交叉的结果形成了广义专家系统的延伸部分,近年发展神速,研究成果斐然,其应用已深入到社会生活的各个领域,产生了巨大的经济效益和社会效益,大大丰富了专家系统的理论和方法,为专家系统的发展注入了强大的活力,使专家系统再次展现出强大的生命力,为专家系统进一步发展提供了强有力的理论基础保障。作为广义专家系统的第二部分,其研究和应用发展很快,学术思想活跃,具有很强的动态特色。

综上所述,广义专家系统分为经典部分及其延伸部分,具有很强的动静结合特点。其经典部分也并非一成不变,如近年出现的面向对象的知识表示方法等。专家系统通过不断与其它新技术的结合形成新的方法论来促进自身的完善,并在实践中不断壮大和发展,因此这两部分相辅相成,缺一不可,所以说,广义专家系统的产生是专家系统发展的必然。

本书就广义专家系统的理论和方法分四部分论述,第一部分是经典专家系统;第二部分是经典专家系统的开发评价方法、开发工具 VP-EXPERT 和 CLIPS 的介绍;第三部分是广义专家系统的延伸部分,即已发展成熟的模糊专家系统、神经网络专家系统和模糊神经网络专家系统等;第四部分是广义专家系统的应用研究成果部分。相信随着人工智能、模拟进化算法和计算机技术等的发展,广义专家系统会得到不断发展和完善,在理论研究和实际应用中发挥越来越大的作用。

第一章 经典专家系统

人工智能(artificial intelligence 简称 AI)是计算机科学中涉及智能存取系统的一个分支,这些系统具有人类智能行为,如理解语言、学习、推理和解决问题等有关特性。目前它已在许多学科中得到了重视,研究和应用领域极其广泛,成为一门新兴的边缘性学科。人工智能包括的主要内容有:问题求解、逻辑与定理证明、自然语言理解、自动程序设计、学习、专家系统、机器人学、机器视觉、智能检索系统、组合和调度问题、系统与表达语言等。其中,专家系统是应用人工智能理论和方法最成功和最有效的一个分支学科。与专家系统进行咨询对话,就像与特定领域的专家对话一样。在许多领域中,如化学、地质、计算机结构、建筑工程和医疗诊断等方面,专家系统的质量已经达到很高的水平,发挥了很大的作用,成为人类专家与用户之间的良好信息处理与沟通媒介,促进了特定领域中理论研究和实际应用的发展。

1.1 专家系统分类

按照所解决问题的性质,专家系统主要可分为以下几种类型。

1. 诊断型专家系统

诊断型专家系统由观察现象得到的信息数据(或称事实)对一个出现功能故障的对象系统(如机械、人体及设备等进行分析,从而推断出产生故障的原因。这类专家系统的应用范畴包括对医疗、电子、机械、软件等领域的故障进行诊断。例如,汽轮机启动故障诊断系统。一个诊断系统必须首先了解它要诊断的对象及对象所包含的子对象之间的关系和相关影响,然后将观察得到的数据所表明的行为——故障,同可能的故障原因进行比较,从而找出真正的故障所在。

2. 预测型专家系统

预测型专家系统根据从过去和现在得出的模型而推断将来可能发生或出现的情况。这类系统的范畴包括交通预测、天气预报、人口预测及经济预测等。例如,预测未来 24h 的天气情况;预测关于时间的推理,通过过去和现在的数据拟合模型的基本参数,以建立动态的预测模型。这些模型必须能反映各种可能引起现行环境随时间改变的因素和这些因素的变化方式。从模型推理出来的结果形成预测的基础,因为预测是规划和决策的基础,有些规划型专家系统和决策型专家系统中也含有预测子系统。

3. 解释型专家系统

解释型专家系统是根据可得到的数据分析这些数据所支持的结论或状态。这类专家系统的范畴包括监测数据分析、化学结构说明、信号解释、图像分析及口头语言解释等。例如,由分子的质谱数据分析物质分子的化学结构。解释的要求是:对于给定的数据找出一致性和正确性问题的性质。只有充分的数据作为证据能够排除某一种出现的问题时,才能放弃这个问题。解释型系统可能遇到的关键问题是:得到的数据常常带有噪声和误差,它们可能不完全、有错

或者带有与问题无关的、甚至相互矛盾的数据。

4. 规划型专家系统

规划型专家系统是为了达到一定的目标(可能不止一个)而进行动作步骤的设计。这类专家系统的范畴包括自动程序设计、机器人动作、实验步骤规划及军事规划等。例如,分子遗传学的实验步骤规划,规划系统的目标是在给定的约束条件下,利用尽量少的资源构造一个实现给定目标的动作序列。如果目标间存在冲突,规划系统应能区别各目标间的优先程度;如果规划的约束条件或目标可规划的数据不完全或者随时间变化,规划系统应能有相应的处理能力。

5. 设计型专家系统

设计型专家系统是按照给定的要求,为制造的产品构造出规格说明。这类系统的范畴包括建筑设计、线路设计和预算编制等。例如数字电路的设计,在给定的条件下,设计型专家系统为产品构造出产品的描述,这个描述包括产品中各个构造及其相互关系,有时构造过程还需要优化成本或其他方面的目标函数。

6. 监视型专家系统

监视型专家系统用于不断地监视对象的行为,并在需要的时候发出警报。监视系统的范畴很广,如核电站监视、飞机飞行高度监视及疾病报告等。

7. 教学型专家系统

教学型专家系统用于诊断和修正学生的行为。这类系统的范畴包括用于各门课程计算机辅助教学(CAI)系统,但是大多数 CAI 系统目前还没有达到专家系统的水平。

8. 决策型专家系统

决策型专家系统是根据已经制定的多个目标,在预测和规划的基础上,对各种可能的决策方案进行综合评价和优化,选取一个最优的或接近最优的方案。这类专家系统的范畴也很广,包括经济、科技和社会政策或业务活动各项方案的选择。

专家系统除以上介绍的类型外,还有排错型专家系统、控制型专家系统和修理型专家系统,但它们基本上还没有达到专家系统实用的要求。

上述这些专家系统类型的划分方式不是很严格的,也不是唯一的。有些专家系统可能同时含有两类甚至两类以上专家系统的功能。

1.2 专家系统的基本特征

专家系统必须具备下述基本特征。

(1) 启发性

人类专家掌握大量专门知识,真正使他比一般专业人员技高一筹的大都是在他长期实践中累积起来的宝贵经验。这些知识通常没有严谨的理论依据,很难保证其在各种情况下的普遍正确性,但在一定条件下能很好地解决问题,它们往往简洁而有效,能够有效地化简问题或快速求解问题,具有这种特点的知识称为启发性知识(heuristic knowledge),而把能够确保其正确无误的知识称为逻辑性知识(logical knowledge)。例如,质因子分解唯一性定理:

如果 N 是自然数,那么 N 有唯一的质因子分解。

这是一条逻辑性知识,它对任意自然数来说都是正确的。而下面一条知识: