

专家系统研究现状与展望*

杨 兴¹, 朱大奇¹, 桑庆兵²

(1. 江南大学 控制科学与工程研究中心, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 回顾了专家系统发展的历史和现状。对目前比较成熟的专家系统模型进行分析, 指出各自的特点和局限性。最后对专家系统的热点进行展望并介绍了新型专家系统。

关键词: 专家系统; 知识获取; 数据挖掘; 多代理系统; 人工神经网络

中图分类号: TP391.7 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2007)05-0004-06

Research and Prospect of Expert System

YANG Xing¹, ZHU Da-qi¹, SANG Qing-bing²

(1. Research Centre of Control Science & Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi Jiangsu 214122, China; 2. School of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

Abstract: The history and recent research of expert system was reviewed. Several well-researched expert system models were introduced respectively, and their features and limitations were analyzed. Finally, the hotspot of expert system was overlooked and future research direction of expert system was discussed.

Key words: expert system; knowledge acquisition; data mining; multi-agent system; artificial neural network

近三十年来人工智能(Artificial Intelligence, AI)获得了迅速的发展, 在很多学科领域都获得了广泛应用, 并取得了丰硕成果。作为人工智能一个重要分支的专家系统(Expert System, ES)^[1]是在 20 世纪 60 年代初期产生并发展起来的一门新兴的应用科学, 而且正随着计算机技术的不断发展而日臻完善和成熟。1982 年美国斯坦福大学教授费根鲍姆给出了专家系统的定义: “专家系统是一种智能的计算机程序。这种程序使用知识与推理过程, 求解那些需要杰出人物的专门知识才能求解的复杂问题。”一般认为, 专家系统就是应用于某一专门领域, 由知识工程师通过知识获取手段, 将领域专家解决特定领域的知识, 采用某种知识表示方法编辑或自动生成某种特定表示形式存放在知识库中; 然后用户通过人机接口输入信息、数据或命令, 运用推理机构控制知识库及整个系统, 能像专家一样解决困难的和复杂的实际问题的计算机(软件)系统。

专家系统有三个特点: 启发性, 能运用专家的知识 and 经验进行推理和判断; 透明性, 能解决本身的推理过程, 回答用户提出的问题; 灵活性, 能不断地增长知识, 修改原有知识。

1 专家系统的产生与发展

专家系统按其发展过程大致可分为三个阶段^[2~4], 即初创期(1971 年前)、成熟期(1972—1977 年)和发展期(1978 年至今)。

1.1 初创期

人工智能早期工作都是学术性的, 其程序都是用来开发游

戏的。尽管这些努力产生了如国际象棋、跳棋等有趣的游戏^[5], 但其真实目的在于在计算机编码中加入人的推理能力, 以达到更好的理解。在此阶段的另一个重要领域是计算逻辑。1957 年诞生了第一个自动定理证明程序, 称为逻辑理论家。20 世纪 60 年代初, 人工智能研究者便集中精力开发通用的方法和技术, 通过研究一般的方法来改变知识的表示和搜索, 并且使用它们来建立专用程序。到了 20 世纪 60 年代中期, 知识在智能行为中的地位受到了研究者的重视, 这就为以专门知识为核心求解具体问题的基于知识的专家系统的产生奠定了思想基础。

1965 年在美国国家航空航天局要求下, 斯坦福大学成功研制了 DENRAL 系统^[6]。DENRAL 的初创工作引导人工智能研究者意识到智能行为不仅依赖于推理方法, 更依赖于其推理所用的知识。该系统具有非常丰富的化学知识, 可根据质谱数据帮助化学家推断分子结构, 被广泛应用于世界各地的大学及工业界的化学实验室。这个系统的完成标志着专家系统的诞生。在此之后, 麻省理工学院开始研制 MACSYMA 系统^[2]。它作为数学家的助手使用启发式方法变换代数表达式, 现经过不断扩充, 能求解 600 多种数学问题。其中包括微积分、矩阵运算、解方程和解方程组等。同期, 还有美国卡内基-梅隆大学开发的用于语音识别的专家系统 HEARSAY^[7]。该系统表明计算机在理论上可按编制的程序与用户进行交谈。20 世纪 70 年代初, 匹兹堡大学的鲍波尔和内科医生合作研制了第一个用于医疗的内科病诊断咨询系统 INTERNIST^[8]。这些系统的研制成功使得专家系统受到学术界及工程领域的广泛关注。

收稿日期: 2006-04-29; 修返日期: 2006-06-25 基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2004021); 总装备部国防预研基金资助项目(413170203); 教育部科学技术研究重点资助项目(105088)

作者简介: 杨兴(1981-), 男, 江苏镇江人, 硕士研究生, 主要研究方向为专家系统、人工神经网络等; 朱大奇(1964-), 男, 安徽安庆人, 教授, 博士, 主要研究方向为智能故障诊断与容错控制、人工神经网络及应用等(zdq367@yahoo.com.cn); 桑庆兵(1973-), 男, 安徽明光人, 讲师, 主要研究方向为人工神经网络、软件开发方法学。

1.2 成熟期

到 20 世纪 70 年代中期, 专家系统已逐步成熟起来, 其观点逐渐被人们接受, 并先后出现了一批卓有成效的专家系统。其中, 最具代表性的是肖特立夫等人的 MYCIN 系统^[9]。该系统用于诊断和治疗血液感染及脑炎感染, 可给出处方建议(提供抗菌剂治疗建议), 不但具有很高的性能, 而且具有解释功能和知识获取功能。MYCIN 系统是专家系统的经典之作, 它的知识表示系统用带有置信度的 IF-THEN 规则来表示, 并使用不确定性推理方法进行推理。MYCIN 由 LISP 语言写成, 所有的规则都写成 LISP 表达式。它是一个面向目标求解的系统, 使用反向推理方法, 并利用了很多启发式信息。

另一个非常成功的专家系统是 PROSPCTOR 系统^[10]。它用于辅助地质学家探测矿藏, 是第一个取得明显经济效益的专家系统。PROSPCTOR 的性能据称完全可以与地质学家相比拟。它在知识的组织上, 运用了规则与语义网相结合的混合表示方式, 在数据不确定和不完全的情况下, 推理过程运用了一种似然推理技术。除了这些成功实例外, 在这一时期另外两个影响较大的专家系统是斯坦福大学研制的 AM 系统和 PUFF 系统^[8]。AM 是一个用机器模拟人类归纳推理、抽象概念的专家系统。而 PUFF 是一个肺功能测试专家系统, 经对多个实例进行验证, 成功率达 93%。诸多专家系统的成功开发, 标志着专家系统逐渐走向成熟。

1.3 发展期

20 世纪 80 年代初, 医疗专家系统占了主流, 主要原因是它属于诊断类型系统且开发比较容易。但是到了 20 世纪 80 年代中期, 专家系统发展在应用上最明显的特点是出现了大量的投入商业化运行的系统, 并为各行业产生了显著的经济效益。其中一个著名的例子是 DEC 公司与卡内基-梅隆大学合作开发的 XCON-R1 专家系统^[2]。它用于辅助数据设备公司(DEC) 计算机系统的配置设计, 每年为 DEC 公司节省数百万美元。专家系统的应用日益广泛, 处理问题的难度和复杂度不断增大, 导致了传统的专家系统无法满足较为复杂的情况, 迫切需要新的方法和技术支持。

从 20 世纪 80 年代后期开始, 一方面随着面向对象、神经网络和模糊技术等新技术的迅速崛起, 为专家系统注入了新的活力; 另一方面计算机的运用也越来越普及, 而且对智能化的要求也越来越高。由于这些技术发展的成熟, 并成功运用到专家系统之中, 使得专家系统得到更广泛的运用。在这期间开发的专家系统按其处理问题的类型可以分为解释型、预测型、诊断型、设计型、规划型、监视型、调试型、修正型、教学型和控制型^[11]。其应用领域也涉及到农业、商业、化学、通信、计算机系统、医学等多个方面, 并已成为人们常用的解决问题的手段之一。

2 专家系统的研究现状

目前已研究的专家系统模型有很多种。其中较为流行的有基于规则的专家系统、基于案例的专家系统、基于框架的专家系统、基于模糊逻辑的专家系统、基于 D-S 证据理论的专家系统、基于人工神经网络的专家系统和基于遗传算法的专家系统等。

2.1 基于规则的专家系统

基于规则推理(Rule Based Reasoning, RBR) 的方法是根据

以往专家诊断的经验, 将其归纳成规则, 通过启发式经验知识进行推理。它具有明确的前提, 得到确定的结果。RBR 是构建专家系统最常用的方法, 这主要归功于大量的成功实例和工具的出现。早期的专家系统大多数是用规则推理的方法, 如 DENDRAL 专家系统、MYCIN 专家系统、PROSPECTOR 专家系统等。在转换为机器语言时, 用产生式的 IF... AND(OR) ... THEN...表示。因此这种系统又称为产生式专家系统。

基于规则的方法容易使知识工程师与人类专家合作, 易于被人类专家理解。规则库中的规则具有相同的结构, 即 IF... THEN...结构, 这种统一的格式便于管理, 同时便于推理机的设计。但它也有诸多缺点, 如规则间的相互关系不明显, 知识的整体形象难以把握、处理效率低、推理缺乏灵活性^[12,13]; 对于复杂系统难以用结构化数据来表达, 如果全部用规则的形式来表达, 不仅提炼规则相当困难, 而且规则库将十分庞大和复杂, 容易产生组合爆炸; 在实时处理方面的应用也已被证明比较困难。速度是实时性能最根本的要求, 而产生式系统在处理实时任务时, 其搜索、匹配时间要占全部计算时间的 90%。

基于规则的专家系统的特点决定适合的领域为: 系统结构简单, 有明确的前提和结论, 问题仅仅用有限的规则即可全部包含; 问题领域不存在简洁统一的理论, 知识是经验的; 问题的求解可视为一系列相对独立的操作, 或从一个状态向另一个状态的转换; 一个操作或转换可以被有效地表示为一条或多条产生式语句。

2.2 基于案例的专家系统

基于案例推理(Case Based Reasoning, CBR) 的方法就是通过搜索曾经成功解决过的类似问题, 比较新、旧问题之间的特征、发生背景等差异, 重新使用或参考以前的知识和信息, 达到最终解决新问题的方法。它起源于 1982 年美国学者 Roger Schank(关于人类学习和回忆的动态存储模型的研究工作)。第一个真正意义上的基于案例的专家系统是 1983 年由耶鲁大学 Janet Kolodner 教授领导开发的 CYRUS 系统。它以 Schank 的动态存储模型和问题求解的 MOP(Memory Organized Packet) 理论为基础, 做与旅行相关的咨询工作。这种类比推理比较符合人类的认知心理。

基于案例的专家系统具有诸多优点: 无须显示领域知识; 无需规则提取, 降低了知识获取难度; 开放体系、增量式学习, 案例库的覆盖度随系统的不断使用而组建增加^[14]。基于案例的推理方法适用于领域定理难以表示成规则形式, 而容易表示成案例形式并且已积累丰富案例的领域(如医学诊断系统)^[15]。它的难点还在于案例特征的选择、权重分配以及处理实例修订时的一致性检验(特征变量间的约束关系) 等问题。传统的基于案例的方法难以表示案例间的联系, 对于大型案例库案例检索十分费时, 并且难以决定应选择哪些特征数据及它们的权重^[16]。

2.3 基于框架的专家系统

框架(Frame) 是将某类对象的所有知识组织在一起的一种通用数据结构, 而相互关联的框架连接组成框架系统。1975 年, 美国麻省理工学院著名的人工智能学者明斯基提出了框架理论, 并把它作为理解视觉、自然语言对话及其他复杂行为的基础。在框架理论中, 框架被视为表示知识的一个基本单位。它把要描述的事务各方面的知识放在一起, 通过槽值关联起来。框架的顶层是代表某个对象的框架名, 其下为代表该框架

某一方面属性的若干个槽,槽由槽名和槽值组成。槽下还可分为若干个侧面(由侧面名和侧面值组成)。

一个框架系统常被表示成一种树型结构,树的每一个节点是一个框架结构,子节点与父节点之间用槽连接。当子节点的某些槽值或侧面值没有被直接记录时,可以从其父节点继承这些值。框架系统中可以推理出未被观察到的事实,它将通过以下三种途径实现^[16,17]: 框架包含它所描述的情况或物体的多方面信息。这些信息可以被引用,就像已经直接观察到这些信息一样。框架包含物体必须具有的属性。在填充框架的各个槽时,要用到这些属性。建立对某一情况描述要求先建立对此情况的各个方面的描述。与描述这个情况的框架中各个槽有关的信息可用来指导如何建立这些方面的描述。框架描述它们所代表的概念的典型事例。如果某一情况在很多方面与一个框架相匹配,只有少部分相互之间存在不同之处,这些不同之处很可能对应于当前情况的重要方面,也许应该对这些不同之处作出解答。

框架表示法最突出的特点是善于表达结构性的知识,且具有良好的继承性和自然性。因此,基于框架的专家系统适合于具有固定格式的事物、动作或事件。

2.4 基于模糊逻辑的专家系统

模糊理论的概念由美国加利福尼亚大学教授扎德在其《Fuzzy Sets》和《Fuzzy Algorithm》等论著中首先提出。模糊性是指客观事物在状态及其属性方面的不分明性,其根源是在类似事物间存在一系列过渡状态,它们互相渗透、互相贯通,使得彼此之间没有明显的分界线。模糊性是客观世界中某些事物本身所具有的一种不确定性,它与随机性有着本质的区别。有明确定义但不一定出现的事件中包含的不确定性称为随机性,它不因人的主观意识变化,由事物本身的因果规律决定。而已经出现但难以给出精确定义的事件中包含的不确定性称为模糊性,是由事物的概念界限模糊和人的主观推理与判断产生的。模糊逻辑理论则是对模糊事物相互关系的研究。

基于模糊逻辑的专家系统的优点在于^[18]: 具有专家水平的专门知识,能表现专家技能和高度的技巧以及有足够的鲁棒性; 能进行有效的推理,具有启发性,能够运用人类专家的经验 and 知识进行启发性的搜索、试探性的推理; 具有灵活性和透明性。但是,模糊推理知识获取困难,尤其是征兆的模糊关系较难确定,且系统的推理能力依赖模糊知识库,学习能力差,容易发生错误。由于模糊语言变量是用隶属函数表示的,实现语言变量与隶属函数之间的转换是一个难点。

2.5 基于 D-S 证据理论的专家系统

D-S 证据理论是由 Dempster 于 1967 年提出的。他首先提出了上、下界概率的定义,后由 Shafer 于 1976 年加以推广和发展,故人们也把证据理论称为 D-S 理论。证据理论可处理由不知道因素所引起的不确定性,它采用信任函数而不是概率作为度量,通过对一些事件的概率加以约束以建立信任函数而不必说明精确的难以获得的概率。当约束限制为严格的概率时,它就成为概率论^[19]。

基于 D-S 证据理论的专家系统的优点在于^[20]: 既能处理随机性所导致的不确定性,又能处理由于模糊性所导致的不确定性; 系统可以依靠证据的积累,不断缩小假设集; 能在不同层次上组合证据。D-S 理论具有较强的理论基础,它能将“不知道”和“不确定”区分开来。但它也存在明显的不足,当

证据冲突度较高时,经过其组合规则得到的结论常常有悖于常理; 另外,基于 D-S 理论的专家系统在数据较多时,具有潜在的指数复杂度和推理链较长的缺点。

2.6 基于人工神经网络的专家系统

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)仿效生物体信息处理系统获得柔性信息处理能力。它从 20 世纪 80 年代后期开始兴起(有理论研究阶段发展到应用阶段)。它是从微观上模拟人脑功能,是一种分布式的微观数值模型,神经网络通过大量经验样本学习知识。更重要的是,神经网络有极强的自学习能力,对于新的模式和样本可以通过权值的改变进行学习¹记忆和存储,进而在以后的运行中能够判断这些新的模式。

神经网络模型从知识表示、推理机制到控制方式,都与目前专家系统中的基于逻辑的心理模型有本质的区别。知识从显示变为隐式表示。这种知识不是通过人的加工转换成规则,而是通过学习算法自动获取的。推理机制从检索和验证过程变为网络上隐含模式对输入的竞争。这种竞争是并行的针对特定特征的,并把特定论域输入模式中各个抽象概念转换为神经网络的输入数据。神经网络很好地解决了专家系统中知识获取的瓶颈问题,能使专家系统具有自学习能力。神经网络技术的出现为专家系统提供了一种新的解决途径。特别是对于实际中难以建立数学模型的复杂系统,神经网络更显示出其独特的功效。

然而,神经网络专家系统也存在固有的弱点: 系统性能受到所选择的训练样本集的限制,训练样本集选择不当,特别是在训练样本集很少的情形下,很难指望它具有较好的归纳推理能力; 神经网络没有能力解释自己的推理过程和推理依据及其存储知识的意义; 神经网络利用知识和表达知识的方式单一,通常的神经网络只能采用数值化的知识; 神经网络只能模拟人类感觉层次上的智能活动,在模拟人类复杂层次的思维方面还有不足之处。

目前较为常用的神经网络有误差反传网络(BP)、小脑网络(CMAC)、自组织特征映射网络(SOM)、自适应共振理论(ART)和径向基网络(REF)等。基于神经网络的专家系统的具体应用形式可以根据实际情况选择不同的神经网络模型,能够实现不同的用途。因此,基于神经网络的专家系统是目前最流行的专家系统。

2.7 基于遗传算法的专家系统

遗传算法(Genetic Algorithms, GA)是一种基于自然选择和基因遗传学原理的优化搜索方法。它由美国 John H. Holland 教授于 1975 年提出的。遗传算法将问题的求解表示成染色体,从而构成一群染色体。将它们置于问题的环境中,根据适者生存的原则,从中选择出适应环境的染色体进行复制。通过交换、变异两种基因操作产生出新的一代更适应环境的染色体群,这样一代一代地不断进化,最后收敛到一个最适合环境的个体上,求得问题的最优解^[21]。

遗传算法是模拟自然选择和遗传机制的一种搜索和优化算法。与一般的寻优方法相比,遗传算法具有很多优点: 从许多初始点开始进行并行操作,克服了传统优化方法容易陷入局部极点的缺点,是一种全局优化算法; 对变量的编码进行操作,可以替代梯度算法,在模糊推理隶属度函数形状的选取上具有更大的灵活性; 由于具有隐含并行性,可通过大规模

并行计算来提高计算速度; 可在没有任何先验知识和专家知识的情况下取得次优或最优解。

遗传算法作为优化搜索算法, 一方面希望在宽广的空间内进行搜索, 从而提高求得最优解的概率; 另一方面又希望向着解的方向尽快缩小搜索范围, 从而提高搜索效率。如何同时提高搜索最优解的概率和效率, 是遗传算法需要进一步探索的问题。

3 专家系统的研究热点

目前, 专家系统的研究不再满足现有的各种模型与专家系统的简单结合, 形成基于某种模型的专家系统了, 而是在不断向深层次方向发展。针对专家系统的核心知识表示和知识获取, 探索更方便、更有效的方法, 解决困扰专家系统的知识获取瓶颈、匹配冲突、组合爆炸等问题; 针对现在数据多、知识少的特点, 将数据挖掘引入专家系统之中; 将多 Agent 技术用于专家系统, 以提高专家系统的性能。

3.1 知识的表示和获取

知识就是人类通过实践(包括学习、模仿、试验、生理等实践活动) 认识到客观世界的规律, 是信息经过加工、整理、解释、挑选和改造而形成的。知识表示就是为描述世界所作的一组约定, 是知识符号化的过程。这种描述或约定表达了计算机可以接受的人类智能行为。知识表示是专家系统的关键点之一, 一个专家系统建造的成功与否和采用的知识表示方法能否充分反映该领域知识有直接关系。知识获取又称机器学习, 是将客观世界中知识转换为专家系统中知识的过程。它是专家系统不可缺少的一部分。如何获取足够、完整和明确的知识是专家系统的另一个关键点。

知识的表示可以分为表层表示、深层表示和混合表示三种。混合知识的表示是目前研究的一个热点方向。在专家系统的实际开发中, 所采用的方法和知识的表示都不会是单一的, 往往需要将多种知识表示方法有机地结合起来, 解决单一知识表示无法解决的问题。

知识的自动获取一直是专家们感兴趣的研究方向, 也是一项十分困难的研究任务。由于现在开发的专家系统向大规模系统和通用型系统发展, 越来越希望机器能够自动获取知识, 减少开发人员的手动或半自动开发工作量。随着神经网络的蓬勃发展, 传统的符号学习与连接机制已经被逐步取代。基于进化学习系统和遗传算法, 因吸取了归纳学习与连接机制的长处而受到重视。数据挖掘、计算机数据库和计算机网络的发展都为提取有用知识提供了新的方法。

3.2 数据挖掘技术的应用

数据挖掘(Data Mining) 就是从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的数据中, 提取隐含在其中的、人们事先不知道的, 但又是潜在有用的信息和知识的过程。它是近几年兴起的一个极有发展前途又有广泛应用前景的新领域。

数据挖掘作为一个交叉学科领域, 受多个学科的影响, 包括数据库系统、统计学、机器学习、可视化和信息科学等。依赖于所挖掘的数据类型或应用领域, 数据挖掘可能集成空间数据分析、图像分析、模式识别、Web 技术、信息检索、心理学等领域的技术。主要的数据挖掘技术与方法有聚类、分类、决策树、粗糙集、神经网络、回归分析、遗传算法、偏差检测等。从数据库

中挖掘的规则可以有多种表达形式: 关联规则、特征规则、异常规则、转移规则、序列规则、分类和聚类等。数据挖掘的应用对象是大规模数据库, 目标是发现数据库中规律性的知识。数据挖掘提取的知识可以表示为概念、规律、模式、约束和可视化^[22]。

在知识获取技术方面, 基于数据挖掘的专家系统可以极大缓解专家系统的知识瓶颈问题。它不再是知识工程师从领域专家中提取规则, 将其转换为知识, 而是从领域专家提供的大量数据中自动获取知识。数据挖掘中的数据预处理模块可以在知识的获取中减小噪声数据的影响, 提高知识获取的正确性。知识会随着挖掘的过程不断被学习到系统当中, 这样既大大加深和拓宽了知识获取的深度与广度, 又会使获取的知识越来越完善、越来越精确。

在推理技术方面, 数据挖掘技术是以数据库系统、数据仓库统计学等为基础的。而数据仓库主要特点就是: 它是面向主题的, 库中的数据是多维的。也就是说, 库中的每一维度可以对应设备运行时的一个状态参数, 不同的运行状态参数就存放在不同的维度空间中。数据挖掘器在推理时可以根据不同需要将不同维度内的运行状态参数综合起来一起分析计算, 即运用数据挖掘算法来进行全方位推理。这可以克服传统推理机制具有单一方面的高精确度而忽视了其他方面影响的缺点; 可以增强其推理的合理性, 提高其推断结果的可靠性^[6]。

在数据挖掘中尽可能地引入人对该应用领域的先验知识是非常必要的。数据挖掘是一个人机交互、不断重复的过程。专家的领域知识或背景知识的应用对挖掘过程具有补充和促进作用, 经常用来引导发现过程以避免无意义的结果^[23]。另外, 一般数据挖掘方法仅仅在数据库内容上产生规则, 规则难以理解, 领域知识或背景知识的应用可以产生易理解的规则。利用专家的领域知识的意义, 不仅在于约简、表达和评估规则, 更重要的是通过评估获得处理结果与应用需求之间的偏差, 并以此作为反馈, 去修正以前的各个步骤^[24]。

3.3 多 Agent 技术的运用

Agent 是一个具有自主性 1 反应性 1 主动性和社会性的基于硬件或软件的计算机系统, 通常还具有人类的智能特性, 如知识、信念、意图和愿望等。Agent 理论与技术研究源于 20 世纪 80 年代中期的分布式问题求解。由于分布式并行处理技术、面向对象技术、多媒体技术、计算机网络技术, 特别是 Internet 和 Web 技术的发展, 使 Agent 成为当今人工智能与软件工程中的研究热点, 引起了科学界、教育界及工业界的广泛关注^[25, 26]。多 Agent 系统(Multi-Agent System, MAS) 是指由多个自主构件组成的所有类型的系统, 它是一个松散耦合的问题求解器网络, 其目标是为了解决那些超出每个问题求解器的单独能力或知识的问题。这些问题的求解器就是 Agent, 它们是自主的, 并可能是异构的。

多 Agent 系统的表现通过 Agent 的交互来实现, 主要研究多个 Agent 为了联合采取行动或求解问题, 如何协调各自的知识、目标、策略和规划。在表达实际系统时, 多 Agent 系统通过各 Agent 间的通信、合作、协调、调度、管理及控制来表达系统的结构、功能及行为特性。由于在同一个多 Agent 系统中各 Agent 可以异构, 多 Agent 技术对于复杂系统具有无可比拟的表达力, 它为各种实际系统提供了一种统一的模型, 从而为各种实际系统的研究提供了一种统一的框架, 其应用领域十分广

阔^[27]。

将多 Agent 的方法引入到专家系统中,将有利于解决传统的单个专家系统与应用场所、应用环境难以沟通的问题;能够比较容易地适应用户的知识结构、思维习惯;能够比较方便地与系统中的其他 Agent 进行协调、交流以达到系统的整体目标^[28]。

对于复杂问题的求解,通常可以将专家系统看作一个 Agent。但是实际上两者有较大的区别,在一个大型的复杂系统中,从系统功能分解理论出发,可以把整个系统分解成几个子系统,如果只用单纯的专家系统或者 Agent 模块都有很大的局限性。要实现各个模块的协商和协作,在专家系统之间很难实现,而由多个 Agent 就可以传递各个模块的协作,但只采用 Agent 技术,又难以保证任务执行的速度。因此,采用集成专家系统和多 Agent 技术是一种比较不错的方法^[29]。集成专家系统和多个 Agent 系统主要由完成特定功能的专家系统和 Agent 模块组成,专家系统模块利用经验历史知识和对象当前运行状态信息以严格高效的逻辑推理。Agent 模块则主要利用 Agent 间的合作来实现动态不完全信息,从而提高系统对环境的适应能力。这样能够充分弥补两者各自的不足,增强系统的能力,整体上提高系统的实时性和准确性。

4 专家系统的发展趋势

近年来,发展专家系统不仅要采用各种定性的模型,而且要将各种模型综合运用,以及运用人工智能和计算机技术的一些新思想和新技术,如分布式和协同式。这些都是专家系统的发展趋势。

4.1 通用性专家系统

专家系统的开发需要领域专家和知识工程师共同努力,而领域专家绝大多数只对自己领域范围的知识了解,这就导致现阶段开发的专家系统只适用于某一特定问题领域。用户越来越希望有一种以用户为中心的通用性专家系统^[30]。这就需要通用性专家系统具有各种不同的并行算法和知识获取模块,能够采用多种推理策略。

通用性专家系统作为一种新型专家系统,其特点如下:集成多种模型的专家系统,根据用户的需要,可以选择其中的任何一种或多种,形成某一类型的专家系统;通过多种模型的综合运用,提高了专家系统的准确率和效率;经过长期使用,可以探索出针对某一问题的最佳模式(多种模型的综合运用),获得最优的专用专家系统。

4.2 分布式专家系统

分布式专家系统具有分布处理的特征,其主要目的在于把一个专家系统的功能经分解后分布到多个处理器上并行工作,从而在整体上提高系统的处理效率^[2]。这种专家系统比常规的专家系统具有更强的可扩展性和灵活性,将各个子系统联系起来,即使不同的开发者针对同一研究对象也可以有效地进行交流和共享。随着 Internet 的发展与普及,建立远程分布式专家系统可以实现异地多专家对同一对象进行控制或诊断,极大提高了准确率和效率^[14]。

分布式专家系统作为一种新型专家系统,其特点有^[31]:系统数据的所有来源,分门别类地对不同数据来源的数据进行管理,同时系统的数据完整、准确、实用性强;系统开发工具

多样,开发环境与应用环境分离,使开发完善过程与应用过程可以独立地异步进行;可以同时完成多用户、多个并发请求的推理;借助辅助数据库,对推理过程可以进行有效的控制与监测,并能整合推理结果,以多种形式反馈给用户。

4.3 协同式专家系统

协同式专家系统的概念目前尚无一个明确的定义。一般认为,协同式专家系统是能综合若干相关领域(或一个领域)多个方面的单一专家系统互相协作共同解决一个更广领域问题的专家系统,这样的系统亦可称之为群专家系统^[2]。在系统中,多个专家系统协同合作,各专家系统间可以互相通信,一个或多个专家系统的输出可能成为另一个专家系统的输入,有些专家系统的输出还可以作为反馈信息输入到自身或其先辈系统中去,经过迭代求得某种稳定状态。

协同式专家系统作为一种新型专家系统,其特点有:将总任务合理地分解为几个分任务,分别由几个分专家系统来完成。把解决各个分任务所需要知识的公共部分提炼出来形成一个公共知识库,供各子专家系统共享;而分专家系统中专用的知识,则存放在各自的专用知识库中。为了统一协调解决问题,有一个供各个分专家系统讨论交流的平台。

目前将分布式专家系统与协同式专家系统相结合,提出了一种分布协同式专家系统。分布协同式专家系统是指逻辑上或物理上分布在不同处理节点上的若干专家系统协同求解问题的系统。现实中,有很多复杂的任务需要一个群体(一些专家)来协同解决问题,当单个专家系统难以有效地求解问题时,使用分布协同式专家系统求解是一个有效的途径^[32]。

5 结束语

专家系统是从 20 世纪末开始的重大技术之一,是高技术的标志。专家系统的近期研究目标是建造用于代替人类进行智能管理与决策的系统,而远期目标是实现具有更新概念、更佳技术性能和更高智力水平的决策与咨询系统。本文总结了专家系统发展的历史和现状,对目前比较成熟的专家系统模型进行分析,指出各自的特点和局限性。随着专家系统研究的不断深入与发展,必将进一步推动科技的发展和社会的进步。

参考文献:

[1] EIGENBAUM E A. Panel: history of AI research, 1956-1961: proc. of the 6 th IJCAI[C] . Tokio: [s. n.] , 1979: 1103-1105.

[2] 蔡自兴,约翰·德尔金,龚涛.高级专家系统:原理、设计及应用[M] .北京:科学出版社,2005: 2-7.

[3] 敖志刚.人工智能与专家系统导论[M] .合肥:中国科技大学出版社,2002: 14-19.

[4] 王永庆.人工智能原理与方法[M] .西安:西安交通大学出版社,1998: 5-8.

[5] 李毅得,杜鹃.不确定性人工智能[M] .北京:国防工业出版社,2005: 5-12.

[6] BUCHANAN B G. Heuristic DENDRAL: a program for generating expiator hypotheses in organic chemistry: Machine Intelligence[C] . Edinburgh: Edinburgh University Press, 1969: 209-254.

[7] ERMAN L D, HAYES-ROTH F, LESSER V R, et al. The HEARSAY speech-understanding system: integrating knowledge to resolve uncertainty[J] . **Computing Surveys**, 1980, 12(2) : 213-253.

[8] 许化东.基于故障树分析法的汽车故障诊断专家系统的研究[D] .合肥:合肥工业大学,2002: 1-2.

[9]

SHORTLIFFE E H. Computer-based medical consultation: MYCIN [M] . New York: American Elsevier, 1976.

[10]

DUDA R O. Development of a computer-base consultant for mineral exploration Annual Report[R] . [S. l.] : SRI Project, 1977: 5821-5824.

[11]

武波, 马玉祥. 专家系统[M] . 北京: 北京理工大学出版社, 2001: 17-20.

[12]

曲明, 郝红卫. CBR 与 RBR 相结合的实时专家系统设计与实现 [J] . 计算机工程, 2004, **30**(18) : 144-146.

[13]

杨奕飞, 瞿元新. 基于 CBR 和 RBR 的航天测控设备故障诊断专家系统[J] . 飞行器测控学报, 2005, **24**(3) : 27-31.

[14]

吴明强, 史慧, 朱晓华, 等. 故障诊断专家系统研究的现状与展望 [J] . 计算机测量与控制, 2005, **13**(12) : 1301-1304.

[15]

张代胜, 王悦, 陈朝阳. 融合实例与规则推理的车辆故障诊断专家系统[J] . 机械工程学报, 2002, **38**(7) : 91-95.

[16]

黄德浩, 杨宗源, 黄海涛. 基于框架表示的组件库模型[J] . 计算机工程, 2002, **28**(7) : 111-123.

[17]

付炜. 基于框架网络结构的专家知识表示方法研究[J] . 计算机应用, 2002, **22**(1) : 3-6.

[18]

孙增国. 神经网络和模糊专家系统在故障诊断中的应用[D] . 大连: 大连理工大学, 2004: 31-32.

[19]

许丽佳. D-S 证据理论在信息融合中的改进[J] . 系统工程与电子技术, 2004, **26**(6) : 717-720.

[20]

李冲祥. 神经网络和证据理论集成的数据融合故障诊断方法研究[D] . 秦皇岛: 燕山大学, 2003: 37-42.

[21]

梁戈超. 基于遗传算法和神经网络的模拟电路故障诊断理论与方法[D] . 长沙: 湖南大学, 2004: 30-33.

[22]

朱明. 数据挖掘[M] . 合肥: 中国科技大学出版社, 2002: 1-5.

[23]

ESTER M, PETAL K H. Knowledge discovery in large spatial dat-
amining: focusing techniques for efficient class indertification: proc.
of the 4th Symp. SSD '95, Advances in Spatial Database[C] . Berlin:
Springer-Verlag, 1995: 67-82.

[24]

CHAATTRATICHAT J, DARLINGTON J, GHANEM M. Large scale
data mining: the challenges and solution: KDD[C] . [S. l.] : [s. n.] ,
1997.

[25]

MICHAEL W. Agent-based software engineering[J] . **IEE Proc. on
Software Engineering**, 1997, **144**(1) : 26-27.

[26]

WOOLDRIDGE M, MULLER J P, TAMBE M. Intelligent agents : a-
gent theories, architectures and languages[M] . Amsterdam: Springer-
Verlag, 1995.

[27]

KADAR B, MONNSTORI L, SZELKE E. An object-oriented frame-
work for developing distributed manufacturing architecture [J] . **Jour-
nal of Intelligent Manufacturing**, 1998, **9**(2) : 173-179.

[28]

JENNINGS N R, SYCARA K, WOOLDRIGE M. A roadmap of agent
research and development in autonomous agents and multi-agent sys-
tems [M] . Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.

[29]

FAN Ycuping, CHEN Yunping, SUN Wansheng. System description
and petri nets model for reconfiguration of fault diagnosis multi-im-
mune agent: the 5th World Congress on Intelligent Control and Auto-
mation[C] . [S. l.] : [s. n.] , 2004.

[30]

杨兴, 朱大奇, 等. 智能故障诊断专家系统开发平台研制[J] . 控
制工程, 2005, **12**(增刊) : 180-182.

[31]

陈锐, 李连生, 郭齐胜. 构建基于 Internet 的分布式专家系统[J] .
计算机工程与应用, 2001, **43**(21) : 76-77.

[32]

龙光正, 雷英杰, 邢清华. 分布协同式专家系统研究[J] . 空军工
程大学学报: 自然科学版, 2003, **4**(2) : 67-69.

(上接第 3 页)

[15]

YLER M, HAASE S, KACZMAREK K, *et al.* Development of an
electrotactile glove for display of graphics for the blind: preliminary re-
sults: Joint Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Bio-
logy Society and the Biomedical Engineering Society[C] . Houston:
[s. n.] , 2002: 2439-2440.

[16]

YU Wai, KANGAS K, BREWSTER S. Web-based haptic applica-
tions for blind people to creavte virtual graphs: proceeding of the 11 th
Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleo-
perator System[C] . Los Angeles: [s. n.] , 2003: 318-324.

[17]

YU Wai, RAMLOLL R, BREWSTER S. Haptic graphs for blind com-
puter users: Human-Computer Interaction Workshop[C] . Glasgow:
[s. n.] , 2000: 41-51.

[18]

HARDWICK A, FURNER S, RUSH J. Tactile access for blind people
to virtual reality of the world wide web[EB/OL] . [2006-04-15] . ht-
tp: //citeseer.ist. psu. edu/hardwick97tactile. html.

[19]

CALLE S. Designing haptic computer interfaces for blind people: In-
ternational Symposium on Signal Processing and Its Application[C] .
Kuala Lumpur: [s. n.] , 2001: 68-71.

[20]

SALISBURY K. Introduction to haptics[EB/OL] . [2006-04-15] . ht-
tp: //hci. stanford. edu/seminar/abstracts/99- 00/990924-salisbury.
html.

[21]

BULATOV V. Visualization by people without vision [EB/OL] .
[2006-04-15] . http: //dots. physics. orst. edu/ publications/ visual.
html.

[22]

FRITZ J, BARNER K. Design of a haptic data visualization system for
people with visual impairments [J] . **IEEE Trans. on Rehabilitation
Engineering**, 1999, **7**(3) : 372-384.

[23]

MAGNUSSON C, RASSMUS-GROHN K, SJOSTROM C, *et al.* Navi-

gation and recognition in complex haptic virtual environments reports
from an extensive study with blind users: proceedings of Eurohaptics
[C] . Edinburgh: [s. n.] , 2002.

[24]

PHILLIPS J, JOHNSON K. Tactile spatial resolution (i): two-point
discrimination, gap detection, grating resolution, and letter recognition
[J] . **Journal of Neurophysiology**, 1981(46) : 1177-1191.

[25]

MACLEAN K E. Designing with haptic feedbackProceedings of IEEE
Robotics and Automation[C] . San Francisco: [s. n.] , 2000: 783-
788.

[26]

GOODWIN A W, MACEFIELD V G, BISLEY J M. Haptic interfaces
and devices: proceeding of the Fourth Annual Symposium on Haptic
Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems[C] .
[S. l.] : [s. n.] , 1998: 727-734.

[27]

IWATA H, YANO H, NAKAIZUMI F, *et al.* Project FEELEX: adding
haptic surface to graphics: proceedings of the ACM SIGGRAPH Con-
ference on Computer Graphics[C] . New York: [s. n.] , 2001: 469-
475.

[28]

郭卜乐. 空间视觉 [EB/OL] . [2006-04-15] . http: //www. zgxl.
net/cptoday/nous/shijue. htm.

[29]

KACZMARK K A, WEBSTER J G, BACK-Y-RITA P. Electrotactile
and vibrotactile displays for sensory substitution systems[J] . **IEEE
Transactions on Biomedical Engineering**, 1991, **38**(1) : 1-16.

[30]

PARK J G, NIEMEYER G. Haptic rendering with predictive represen-
tation of local geometry: the 12th International Symposium on Haptic
Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems[C] . Chi-
cago: [s. n.] , 2004: 331-338.

[31]

MINSKY M. Computational haptics: the sandpaper system for synthesi-
zing texture for a force feedback display[D] . Cambridge: Massachu-
setts Institute of Technology, 1995.