

文章编号: 1001-0920(2006)09-0961-08

决策支持系统理论与方法研究综述

陈曦, 王执铨

(南京理工大学 自动化学院, 南京 210094)

摘要: 针对经典决策支持系统理论与实际决策问题之间存在鸿沟, 难以对复杂环境和复杂问题进行有效的决策支持和求解的缺陷, 指出当前实际决策支持理论和方法存在的一些问题和需要考虑的各种因素, 列举了主要的决策支持系统的方法和典型应用, 并指出各种方法的优缺点. 在与综合集成型决策支持系统进行比较后, 提出只有构建综合集成型决策支持系统才能有效地解决复杂问题的决策支持. 最后, 总结了决策支持系统今后的研究方向和工作建议.

关键词: 复杂问题; 决策支持系统; 综合集成型决策支持系统

中图分类号: TP393; TP391 **文献标识码:** A

Overview of Theory and Methods of Decision Support Systems

CHEN Xi, WANG Zhi-quan

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China Correspondent: CHEN Xi, E-mail: doctor_chan@163.com)

Abstract: To the existence of the gap between classical decision support system (DSS) and practical decision making problems, especially for complex decision making problems, which are difficult to solve by using general decision making methods, some existing problems and factors to be addressed in handling practical decision making problems are specified. Various methods for solving decision making problems and some typical application of these methods are listed, and their advantages and disadvantages are also indicated. Based on the comparison between Meta-synthetic DSS (MSDSS) and current DSS, it proposed to establish MSDSS to resolve the complex decision making problems. Finally, several future research trends of DSS are summarized, and proposals for the future research work are presented.

Key words: Complex problems; Decision support system; Meta-synthetic decision support system

1 引言

20世纪70年代以来,人们对决策支持系统(DSS)^[1]进行了大量的研究,决策支持问题的研究已逐步受到管理科学、经济学、应用数学、工程技术、信息科学等领域的重视^[2-5].学者们研究各种决策分析方法,通过多学科的交叉并结合新近发展的人工智能技术、网络技术、通信技术和信息处理技术,解决了一系列具有代表意义的决策支持问题^[6-11].决策支持正朝着规范化、科学化的方向发展.

决策支持是在管理科学和运筹学的基础上发展起来的,在于运用模型辅助决策^[5],早期是单模型决

策,随着时代的发展和需要解决问题的逐步复杂,决策所需建立的模型越来越多,同时也无法单纯地依靠人力来解决模型的联合与协调.计算机技术发展起来后,可以实现由计算机自动组织的多模型协调运行和对数据库、模型库进行高效管理,大大提高了辅助决策能力,同时促进了DSS的形成和发展^[12].但是,同样受到计算机技术发展的影响,目前在研究各类DSS大都与计算机技术紧密关联,对计算机依赖程度过高,从而产生了很多局限,且不能解决或有效提供对于复杂巨问题^[5,13]的决策支持.

本文对目前正在研究的各类DSS进行了分析,

收稿日期: 2005-01-24; 修回日期: 2006-01-05

基金项目: 国家十五国防预研基金项目(413040501); 武器装备预研基金项目(51404010103BQ02).

作者简介: 陈曦(1977—),男,江苏南通人,博士生,从事网络技术、决策支持系统技术等研究; 王执铨(1939—),男,武汉人,教授,博士生导师,从事大系统的理论与应用、优化控制等研究.

论述了各类DSS的优点和不足之处,指出只有建立综合集成型DSS才能有效地解决复杂系统的决策支持问题

2 DSS的起源和发展现状

20世纪70年代初,Scott首先提出DSS的概念,它不同于管理信息系统的数据处理,也不仅仅是模型的数值计算,它是两者的集成,既具备数据处理功能,又具备数值计算功能。Keen对DSS的定义为: DSS是“决策”、“支持”、“系统”三者汇集成一体,通过不断发展的计算机技术建立系统,来逐步扩展支持能力,达到更好的辅助决策。Sprague提出DSS除了对结构化决策提供支持外,同时应当对半结构化和非结构决策提供支持, Sprague给出了DSS的一般结构,并指出DSS只能为决策者提供辅助决策的有用信息,但不能制定决策,决策是由人来制定的。早期的DSS受该论断的影响较大,同时由于计算机和相关信息技术的成熟,在最终的决策支持上,人的影响占主要地位。

传统DSS采用各种定量模型,在定量分析和处理中发挥了巨大作用,它也对半结构化和非结构化决策问题提供支持^[2,6],但由于它通过模型来操纵数据,实际上支持的仅仅是决策过程中结构化和具有明确过程性的部分。随着决策环境日趋复杂,DSS的局限性也日趋突出,具体表现在:系统在决策支持中的作用是被动的,不能根据决策环境的变化提供主动支持^[14,15],对决策中普遍存在的非结构化问题无法提供支持,以定量数学模型为基础,对决策中常见的定性问题、模糊问题和不确定性问题缺乏相应的支持手段^[16-19]。

在新兴的研究领域,如人工智能、各种分布式技术、数据仓库和数据挖掘、联机分析处理^[20,21]等技术发展起来后,迅速与DSS相结合,形成了智能决策支持系统(DSS),分布式决策支持系统(DDSS),基于数据仓库、联机分析处理与数据挖掘的决策支持系统,群/组织决策支持系统(GDSS/ODSS)和智能、交互式、集成化的决策支持系统(IDSS)等。

新技术的运用增强了DSS的效能,提高了决策支持的质量,极大丰富了DSS的信息存取和信息处理手段,同时也使DSS在军事、政府、工程规划、制造等领域受到越来越多的关注。与传统的DSS比较,现有的DSS除了在定量分析支持上有提升外,对于决策中的半结构化和非结构化的问题也提供一定的定性分析支持^[22]。但是在与信息处理技术和智能技术紧密融合的同时,经典DSS在发展过程中期望将更多的甚至全部的决策工作都由计算机来实现,试图利用DSS的智能和相关的信息技术来替代

人的作用并实现最终的决策,但根据目前各种智能技术的发展状况来看,无法完成全部的定性分析支持,更无法处理复杂问题的决策支持^[13]。

复杂问题是指问题所处的环境复杂,涉及范围广,内容多,难以用常规的系统工程方法来解决的问题,如政治系统中的国家安全战略、国家发展战略;经济系统中的宏观经济决策、可持续发展问题;军事领域的武器装备发展战略、作战指挥决策等^[13,23]。

对复杂问题建立决策支持模型很困难,并且对任何复杂系统和复杂问题的分析都不能仅依赖决策系统取代决策者自动完成决策任务。对问题观察而导致的建模,都是对问题的一种近似描述,不具有普适性,同时对问题的观察而建立的模型,要满足可以在计算机上编码和计算的条件,编码的近似又导致对已获得模型的又一次近似,而且人类专家所具备的知识中,有很多只能意会不可言传的经验性知识根本不可能借助于形式化的表达来描述,纳入计算机中的知识只能限于形式上能够符号化的知识,形式化的过程又会使许多有效的信息被筛选掉。很多问题是系统无法自动求解的,尤其是复杂巨系统的问题,在这个方面人的作用是巨大的^[24,25]。

下面综合论述目前具有代表性的几种DSS

2.1 DSS

DSS是DSS和人工智能相结合的产物,是DSS研究的一个热点,初期综合了传统DSS的定量分析技术和专家系统的不确定推理的优势,较原来的DSS能够更加有效地处理半结构化与非结构化问题^[26-29],通过专家系统的支持,能够解决决策支持中的部分定性分析问题^[30],但是,到目前为止专家系统对定性知识处理能力依旧较弱,尚无法解决很多不确定性分析问题,并且专家系统实际运行时,存在很多不如人意的地方:如专家系统一般采用直接操纵界面,而随着任务复杂性的增加,用户的操纵过程将越来越繁琐,直接影响问题的求解;专家系统一般不是从传感器而是从用户那里获得信息,但是现实中用户常常与专家系统的构建假设不一致,使专家系统无法正确发挥其作用;专家系统解决问题时,为了保证求解问题的有效性,提供了以符号逻辑为基础的严密推理过程,但这些限制使得系统无法处理很多例外情况,降低了系统的适应性,使基于专家系统的智能决策系统适用范围狭窄^[17,31-33]。

由于专家系统的缺点,在人工智能领域Agent技术^[34-36]出现并发展后,DSS逐步与Agent技术结合^[37,38]。Agent技术在一定程度上确实可以避免专家系统的很多缺点,如Agent通过传感器获取信息,通过传感器和用户一起讨论问题,提供解答或求

解的启发性信息,用户可以通过自然Agent身份成为系统的一部分,参与实现系统的功能,Agent通过提供一些建议来帮助和补充人类问题求解过程,这些建议无需精确定义,只要用户能清晰提炼即可,再由用户将建议配入问题求解。一个好的建议往往比一个正确的解答更有效,因为前者包含了更多的协作和灵活的内容,Agent之间以协作的方式解决问题有利于系统对问题更加全面的了解。但Agent内部仍然采用专家系统的推理和学习机制来实现其智能性,所以对定性问题、非结构化问题和不确定性问题的支持力度依旧较弱,难以有效地实现复杂问题的决策支持。

基于神经网络、遗传算法、自然语言处理等技术的DSS^[28, 39-41]在目前发展阶段同样也无法实现复杂问题的有效决策支持。DSS的研究重点放在模型的自动选择和自动生成以及模型库和知识库的结合运行上,忽视了群体专家的作用,难以有效建立复杂决策问题模型。当然DSS的研究者也意识到了DSS存在的缺点,目前的研究倾向于如何提高系统的柔性,从而提高系统的易修改性、适应性和问题求解的灵活性,在一定程度上可以增强系统处理复杂问题的能力。史忠植的课题组研制并完成的“智能决策系统开发平台DSDP”在这方面作了很多努力。

2.2 DDSS

DDSS是对传统集中式DSS的扩展,由多个物理上分离的信息处理节点构成了计算机网络,网络的每个节点至少含有一个DSS或具有若干决策支持功能。DDSS将传统集中式DSS发展为在网络环境下的分布或分布加上并行处理的方式^[16, 42],这样使DSS支持在网络环境中的决策处理,它以计算机网络通信技术为信息交互基础,通过网络连接的工作平台和分布式数据库、模型库提供的各种格式的数据、信息和工具,支持分布在各地的DSS彼此交互,从而使它们共同地为决策问题提供正确及时的决策支持。DDSS可进一步分为支持Internet和支持Intranet的两种类型,当然两种技术也可综合运用,以满足企业多方面的决策需求^[12]。已获得应用的系统有: InterAction, Tcbworks, BrainWeb等。

DDSS的优势在于它通过成熟的网络技术支持庞大的信息库和数据库,较DSS更能处理复杂问题,支持分布的模型库共享,并且可以调用外部决策网所提供的服务。实际应用中,DDSS可划分为若干子系统,每个子系统针对一个专门的领域提供决策支持,这样可以提高系统整体的决策支持能力,同时系统的灵活性和可扩充性也较好。但是与集中式DSS一样,DDSS在系统的决策支持上较大地依赖

于量化的模型、方法等手段来辅助决策,无法有效地处理定性知识和提供对复杂问题的全面决策支持。

2.3 基于数据仓库、联机分析处理与数据挖掘的DSS

数据仓库、OLAP和数据挖掘等新技术为DSS开辟了新途径^[43-45]。传统数据库技术一般以单一的数据库为中心,进行联机事务处理(OLTP)和决策分析,很难满足数据处理多样化的要求。DSS中经常会访问大量的历史数据,而且这种处理以分析为主,与OLTP有很不相同的性质,比如在性能方面OLTP要求每次操作的处理时间短,而在分析处理环境中,对每次分析数据的时间要求并不严格,事实上某个DSS应用可能需要连续运行几个小时,所以分析型处理及其数据必须与操作型处理及其数据相分离,这样就形成了数据仓库的概念,由Immon于1992年首次提出,用于解决DSS中对大量数据分析和访问需求。数据仓库将分布的和不同历史时期的数据集成到一起,这种集成可以方便用户对信息的访问,更可以使决策人员对一段时期内的数据进行分析 and 研究走势。

在越来越多的关键数据被存入数据仓库后,需要有高效的数据分析工具来利用其中的数据^[46, 47]。OLAP是Codd于1993年提出的一种软件技术,帮助分析人员迅速、一致、交互地从各个方面观察信息,达到对数据的深入理解。OLAP以数据仓库为基础,通过OLAP的基本功能如切片、切块、钻取与旋转、模型计算等,实现对数据的多维分析和处理。数据挖掘是应用各种挖掘算法和知识从数据仓库和数据库中提取模式的过程。从数据仓库的角度,数据挖掘可以看作是OLAP的高级阶段,通过知识库和数据挖掘引擎的支持,数据挖掘比汇总型分析处理具有更强的功能。数据挖掘结合了人工智能技术和机器学习方法,利用信息论、统计分析和模糊论、粗集方法等对数据进行归类、预测、评价和决策^[12]。

目前数据挖掘还扩展到各类信息存储上,如研究比较集中的Web数据挖掘等。Business Object(BO)推出的决策支持工具BO 4.0是以OLAP技术为主体,集查询和报表为一体的DSS开发工具。该工具的一个重要特点是提出了“语义层”和“语义动态对象”的概念。语义层将数据库中的列按决策主题重组为面向用户的对象,对象可以是数据库中的表、列、连接和对多列进行运算的表达式。语义动态对象对已经定义的语义层对象进行任意组合后形成决策需要的新表,并将表中的数据以可视化的方式在屏幕上显示出来或以报表的形式打印出来。

数据仓库解决了DSS中数据存储的问题,OLAP和数据挖掘对数据仓库中的数据进行有效的分析,从而为决策提供帮助。基于数据仓库、OLAP和数据挖掘技术的DSS的应用提高了决策分析支持的能力,但它仍以计算机的模型处理为主,无法成为全面解决复杂决策问题的有效途径。

2.4 GDSS/ODSS

决策环境复杂度的增加使面向个体的DSS逐渐显示出其局限性,此时的决策一般不能由单一的决策者完成,需要多个决策者协作才能做出正确的决定。GDSS/ODSS即在此背景下出现,它是指多个决策者通过彼此间的通信和协作产生决策方案,并最终通过协调和评估形成决策。GDSS/ODSS的研究一般集中在如何实现对群体决策的支持上,包括对群体提供更好的信息共享、交流和通信渠道,研究群体间的协作机制、意见综合集成等。研究主要基于各种通信技术的发展,通过网络支持实现电子会议、电子投票、视频音频交流等。在群体意见处理和协作机制方面,典型的群技术包括名义群体法、步阶法、头脑风暴法、辩证询问法、社会评价分析法等,这些技术从不同角度改善群体决策水平,提高决策绩效,确保群体成员意见都能充分表述,同时集成各成员间的不同意见,在解决复杂决策问题时有一定的效果^[5,48,49]。目前波音、BM等已将GDSS/ODSS投入到应用中,并取得了较好的成效。

GDSS/ODSS与上述几种典型的DSS有较大的差别,它为群体决策人员提供工作环境,有组织地指导信息交流、讨论形式、决议内容等,从而提高群体决策的效能^[5]。该系统考虑到群体专家的智慧,提供了人发挥处理定性问题和非结构化问题能力的决策环境,但是在重视人的作用的同时,虽然考虑到提供结构化决策分析技术来改善群体决策过程,提高决策的效率和质量,但GDSS/ODSS的重心依然是对群体决策中信息交流的支持和对群体协作的支持。而且目前实际应用的GDSS/ODSS提供的定量分析决策工具较少甚至没有,部分GDSS/ODSS虽然利用了一定的智能技术,提供一定的推理和定量分析功能,但是很少联合利用其他的决策支持技术,如OLAP和数据挖掘技术等,所以GDSS/ODSS虽然在非结构化问题的支持上有较大的进步,但与其他DSS相比,提供的定量分析能力较弱,不能高效处理复杂决策问题。

2.5 IDSS^[50~53]

IDSS的提出和实际应用考虑到单独运用某些DSS难以适应越来越复杂的决策环境,所以IDSS综合采用系统分析、运筹学方法、计算机技术、知识

工程、专家系统等技术,并使之有机结合。IDSS注意利用智能决策支持能力和提高系统的人机交互能力来面向规模较大的决策问题,充分发挥联合运用的优势——集成化来解决该类问题,可以说IDSS是DSS进入新的历史阶段的标志。

IDSS考虑到综合运用现有的决策支持技术,考虑的重点是人机交互的支持,对于群/组织决策支持考虑的人人交互支持,即如何充分发挥专家群体的智慧来解决复杂问题涉及得不够,但即使如此, IDSS依然是DSS发展过程中一个重要的里程碑。

通过以上分析,不难发现单独使用上述任何一个现有的决策支持环境都不能解决复杂决策问题,但若综合各种决策支持技术和成就,就有可能成为处理复杂决策问题的有效途径和技术路线。钱学森于90年代提出开放的复杂巨系统及方法论,即“定性定量综合集成法”,后又发展到“从定性到定量综合集成研讨厅”,其实质是将专家体系、数据、信息体系和计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人/机结合、人/网结合的体系,该体系能够将人的思维过程、思维成果、经验、知识与各种情报、资料和信息统统集成起来,充分利用人类在过程分析、逻辑推理和认知、学习以及知识创新方面的优势,使系统的辅助决策能力超越了推理和学习的阶段,可以对复杂结构的决策问题提供有效的支持。

上文为了论述的清晰,将DSS作了分类,实际应用时上述各种DSS可以相互结合以提高系统的灵活性和决策支持力度,如DSS可以同DDSS结合、同数据挖掘等数据处理技术结合来提高分析决策支持的适应性等,但是一般而言这种联合是局部的、临时的,与综合集成研讨环境有本质区别。

3 综合集成型DSS

开放复杂巨系统具有以下特点:系统本身与周围环境有物质、能量和信息的交换,所以是开放的;系统包含的子系统成千上万甚至上亿万,所以是巨系统;子系统的种类繁多,有几十甚至几百种,所以是复杂的^[13]。钱学森提出的综合集成理论可以对复杂巨系统的复杂决策问题进行指导研究,构建综合集成型决策支持系统(MSDSS),已成为DSS发展的一个新方向。MSDSS支持专家之间的协同交互,提供人/人交互环境,非结构化的直觉思维问题最终必须依靠群体专家作决定,发挥和展示群体的科学理论、经验、智慧,从不同层次、不同方面和不同角度来研究复杂问题,提出经验性假设,形成定性判断。MSDSS同时提供完善的人/机交互支持,结构化的逻辑思维问题仍然必须依赖机器的推理和计算,以便快速产生定量分析的结果,提高解决复杂决策问

题的性能

从定性到定量、综合集成、研讨是M SDSS 的三个关键主题。从定性到定量是将专家的定性知识同模型的定量描述有机地结合起来,实现定性变量和定量变量之间的相互转化。对于复杂巨系统问题,需要对各种分析方法、工具、模型、信息、经验和知识进行综合集成,构造出适于问题的决策支持环境解决复杂问题。对于结构化很强的问题,主要用定量模型来分析;对于非结构化的问题,主要通过定性分析来解决;对于既有结构化特点、又有非结构化特点的问题,采取紧耦合式的定性定量相结合的方式。综合集成是指集成系统的各种资源,包括专家群体头脑中的知识、系统中的模型库、数据库和知识库。研讨是指分析问题人员的群体协同工作,充分利用定性定量模型和数据库等工具,实现人/机的有机结合。研讨过程既是分析人员的知识同计算机系统的数据库、模型和知识的不断交互过程,也是研讨人员群体智慧的结合和综合^[13,54]。

钱学森提出的综合集成理论是一种指导思想,并没有规定M SDSS 的具体实现方式,所以实际应用中可根据具体情况来构建综合集成研讨环境,许多学者在这方面作了研究和实际应用。陈文伟^[5]提出了一种综合DSS 的结构,联合了数据仓库、联机分析处理、数据开采、模型库、数据库、专家系统技术,在处理复杂决策问题上有很大的帮助。清华大学自动化系的研究人员把综合集成研讨厅体系框架应用于电力系统的调度,华中理工大学系统工程研究

所把综合集成研讨厅体系框架用于三峡工程散装水泥/粉煤灰调运支持上,中科院自动化所、航天工业总公司710所、清华大学计算机系、中科院系统所把综合集成研讨厅体系框架用于支持宏观经济决策,建立一个多功能的支持宏观经济决策研讨的技术环境与工作空间,这些应用研究都取得了非常好的效果,实践证明,综合集成研讨的体系框架是处理复杂大系统的有效方法。

4 M SDSS 应用实例

在理解开放的复杂巨系统理论的基础上,以定性定量综合集成法思想为指导,以系统工程理论和决策支持理论为基础,采用面向对象的设计思想,充分运用成熟的信息技术、人工智能技术、分布式交互技术、群DSS 技术、数据仓库、数据挖掘等各种决策支持新技术和成就,着重体现专家依据知识与经验的判断和计算机技术的结合,构建M SDSS,将定性定量相结合的综合集成方法初步应用到复杂产品虚拟样机仿真支撑平台^[55]的决策支持中,构建了一个复杂产品虚拟样机综合集成型决策支持系统(V PM SDSS),为复杂产品虚拟样机设计问题提供一个人机紧密结合的综合集成研讨和决策支持环境^[56]。V PM SDSS 的体系结构如图1所示。

系统按照M SDSS 的要求提供了如下交互环境:

- 1) 人/人交互,定性分析功能支持。针对一般性的专家研讨,在计算机上实现了系统分析领域的一般分析方法,采用问卷生成器和调查分析表等实用

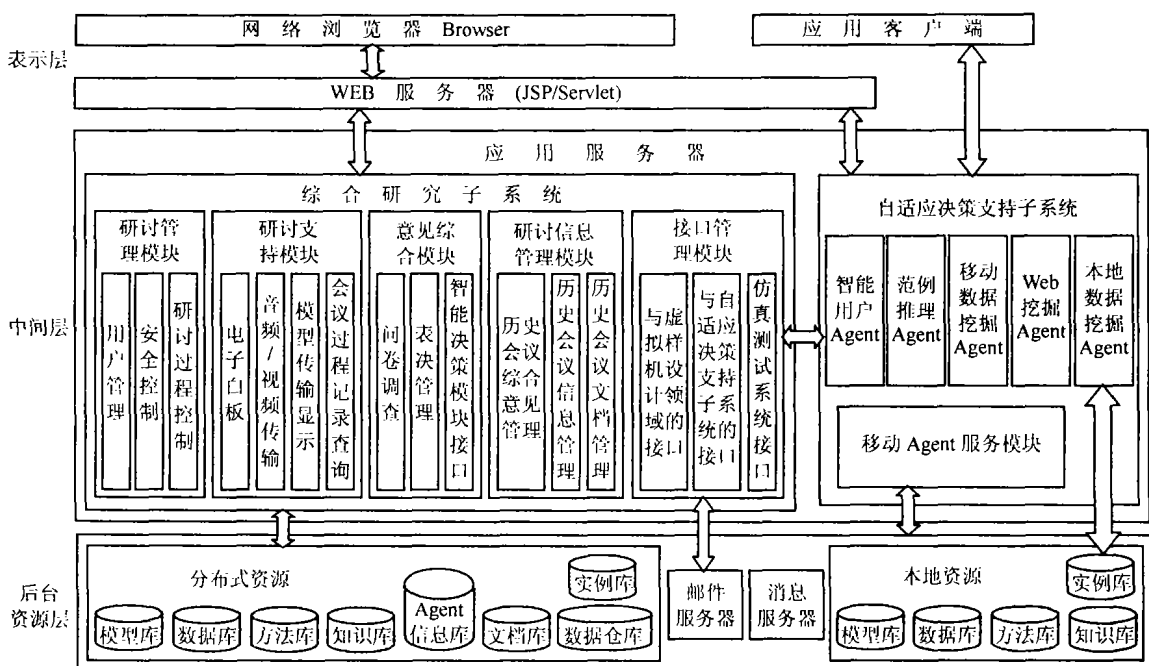


图1 VPM SDSS 的体系结构

方式汇总专家意见,提高专家研讨的质量和效率。能够在资源共享的网络环境中主持会议、发表意见、查询和浏览专家的公开意见,实现发言内容的记录和显示,完成专家意见的收集和电子表决功能,并充分利用各种系统工程方法、信息资源、定性模型等,实现对复杂问题定性分析的支持。

2) 人/机交互,定量分析功能支持。系统为设计专家提供辅助定性分析的定量分析决策环境,主要提供基于智能技术和分布式技术的推理系统以及高效的数据挖掘工具,利用系统的数据库、模型库和知识库进行模型决策、范例推理和Web挖掘等,辅助专家形成观点和看法,通过系统中的自适应决策支持子系统实现对复杂问题的定量分析支持。

5 结 语

在DSS的发展过程中,各种新兴技术与DSS不断结合,使DSS的功能和可发挥的作用越来越强,能够处理问题的范围也越来越广。本文综述了典型的DSS和它们的优缺点以及研究进展,指出DSS应向着综合化和集成化的方向发展,综合利用各种技术,以综合集成思想为指导,构建MSDSS,给出了MSDSS的体系结构和应用实例。从定性到定量综合集成研讨环境是研究复杂巨系统决策支持问题的有效方法,但该环境不是一朝一夕能全面建成的,文中提到的只是一个初步原型系统,还需要进一步研究以实现和建立更有效的、更全面的综合集成研讨环境。

在DSS方面,需要进一步研究如何更有效地进行知识表示和知识处理的技术,研究各种不确定性推理技术,如证据理论、贝叶斯网络等来寻找更为一般的知识表示和推理算法,使DSS能在不完备、不确定的情况下做出正确的决策。DSS中从整体上采用多代理技术的DSS也有待于进一步研究,总之对人类决策的理解是建立更高智能的DSS的长期研究任务。

在DDSS方面,需要借助各种分布式技术的发展,研究如何更好地将分散在Internet/Intranet环境里的分析、决策模型、各种数据同分离的DSS进行高效集成和实现并行处理与决策,并进一步研究DDSS在协同完成决策任务时任务的分配和调度等问题。

在基于数据仓库、联机分析处理与数据挖掘的DSS方面,引入时间、空间等多维准则,优化和改进利用联机分析处理技术的决策过程,提高决策效果是需要进一步研究的问题,数据挖掘的各种仿生物算法和解决挖掘的语义问题也是值得研究的方向。

在GDSS/ODSS方面,集成的研究与开发的关

键是实现学科上与技术上交叉的组织合作问题,这也是复杂环境下决策问题研究的重要组成部分,GDSS/ODSS与各种分布计算技术、CSCW技术、基于先进的多媒体技术支持下的智能接口技术的融合和提高系统对定量分析的支持是需要进一步深化和完善的问题。DSS系统各部件之间的信息交互和部件之间的工作协调问题的解决也是一项需要长期研究的课题。

此外,除了在对原有的各种DSS作深入研究,以建立更完善的综合集成型DSS以外,DSS的可视化交互建模方面也值得深入研究,其实质是虚拟现实技术与DSS相结合,使管理者可通过智能化、多通道界面进行信息输入,并且通过可视化的模型观察来为决策提供依据,使决策支持的过程更加直观,结论更加可靠。

参考文献(References)

- [1] Gorry G A, Scott Morton M S. A Framework for Management Information System [J]. *Sloan Management Review*, 1971, 13(1): 55-70.
- [2] ERM C. Decision Support Systems: A Summary, Problems and Future Trends [J]. *Decision Support Systems*, 1988, 4(4): 355-363.
- [3] Sean B Eom. The Intelligent Development and Structure of Decision Support System [J]. *Omega Int J Management Science*, 1998, 26(5): 639-657.
- [4] June M Danato, Jack C Schryver. Mining Multi-dimensional Data for Decision Support [J]. *Future Generation Computer Systems*, 1999, 15(3): 433-441.
- [5] 陈文伟. 决策支持系统及其开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
(Chen W W. *Decision Support System and Its Development* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.)
- [6] 蔡自兴, 徐光. 人工智能及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
(Cai Z X, Xu G. *Artificial Intelligence: Principles and Applications* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996.)
- [7] 史忠植. 高级人工智能[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
(Shi Z Z. *Advanced Artificial Intelligence* [M]. Beijing: Science Press, 1998.)
- [8] Jarke M, Rademacher F J. The AI Potential of Model Management and Its Central Role in Decision Support [J]. *Decision Support Systems*, 1998, 4(4): 387-404.
- [9] Fraser M M, Hipel K W. An Architecture for Integrating Expert Systems [J]. *Decision Support Systems*, 1989, 5(3): 263-276.

- [10] Turban E. Implementing Decision Support System: A Survey [A]. *IEEE Conf on Systems, Man and Cybernetics* [C]. Beijing: IEEE Press, 1996: 2540-2545
- [11] Carlsson C, Turban E. Decision Support System: Directions for the Next Decade [J]. *Decision Support Systems*, 2002, 33(2): 163-176
- [12] 张玉峰. 决策支持系统[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004
(Zhang Y F. *Decision Support System* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004)
- [13] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. *自然杂志*, 1990, 13(1): 3-10
(Qian X S, Yu J Y, Dai R W. A New Discipline of Science: The Study of Open Complex Giant System and Its Methodology [J]. *Nature J*, 1990, 13(1): 3-10)
- [14] Manheim M L. An Architecture for Active DSS [A]. *21st Int Conf on System Science* [C]. Hawaii: IEEE Computer Society Press, 1988: 356-365
- [15] Gottinger H W, Weimann P. Intelligent Decision Support Systems [J]. *Decision Support Systems*, 1992, 8(4): 317-332
- [16] Bringsjord S. Computationalism is Dead; Now What? [J]. *J of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 1998, 10(4): 393-402
- [17] Ribeiro R A, Powell P L, Baldwin J F. Uncertainty in Decision-making: An Abductive Perspective [J]. *Decision Support Systems*, 1995, 13(2): 183-193
- [18] Fetzer J H. People are not Computers: Though Processes are not Computational Procedures [J]. *J of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 1998, 10(4): 371-391
- [19] Hamsher W, Kiang M Y, Lang R. Qualitative Reasoning in Business, Finance and Economics: Introduction [J]. *Decision Support Systems*, 1995, 13(2): 183-193
- [20] 王珊. 数据仓库技术与联机分析处理[M]. 北京: 科学出版社, 1999
(Wang S. *Data Warehousing and On-line Analytical Processing* [M]. Beijing: Science Press, 1999)
- [21] Dimitri Theodoratos, Timos Sellis. Designing Data Warehouses [J]. *Data and Knowledge Engineering*, 1999, 31(3): 279-301
- [22] 孟波. 计算机决策支持系统[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001
(Meng B. *Computer Decision Support Systems* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001)
- [23] 操龙兵, 戴汝为. 综合集成与决策[J]. *计算机研究与发展*, 2003, 40(4): 531-537
(Cao L B, Dai R W. On Metasynthesis and Decision Making [J]. *J of Computer Research and Development*, 2003, 40(4): 531-537)
- [24] 戴汝为, 王钰. 关于智能系统综合集成若干问题的讨论 [A]. *第3届中国人工智能联合会议论文集* [C]. 北京: 清华大学出版社, 1994: 6-14
(Dai R W, Wang Y. Discuss about Problems in Intelligent Systems Integration by Metasynthesis [A]. *Proc of the 3rd Chinese Joint Conf on Artificial Intelligence* [C]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994: 6-14)
- [25] 宫铁峰, 韩慧君, 吴健中. DSS 智能化的思考[J]. *决策与决策支持系统*, 1997, 7(1): 30-34
(Gong T F, Han H J, Wu J Z. Study on Intelligentizing of DSS [J]. *J of Decision Making and Decision Support Systems*, 1997, 7(1): 30-34)
- [26] Alter S. A Taxonomy of Decision Support Systems [J]. *Sloan Management Review*, 1977, 19(1): 39-56
- [27] Bonezek R K, Holsapple C W, Whinston A B. *Foundation of Decision Support Systems* [M]. New York: Academic Press, 1981
- [28] Holsapple C W, Jacob V S, Zaveri J S. Learning by Problem Processors: Adaptive Decision Support Systems [J]. *Decision Support Systems*, 1993, 12(1): 79-91
- [29] Mirchandani D, Pakath R. Four Models for a Decision Support System [J]. *Information and Management*, 1999, 35(1): 31-42
- [30] Kuhnmann T, Lamping R, Massow C. Intelligent Decision Support [J]. *J of Materials Processing Technology*, 1998, 76(1-3): 257-260
- [31] 陈曦, 吴慧中. 复杂产品虚拟样机概念设计技术研究 [J]. *系统仿真学报*, 2005, 17(9): 2150-2153
(Chen X, Wu H Z. Research on Conceptual Design of Virtual Prototyping for Complex Products [J]. *J of system simulation*, 2005, 17(9): 2150-2153)
- [32] Viktor H L, Cebete I. Inductive Learning with Computational Network [J]. *J of Intelligent and Robotic Systems*, 1998, 21(2): 131-144
- [33] Dutton D M, Conroy G V. A Review of Machine Learning [J]. *The Knowledge Engineering Review*, 1996, 12(4): 341-367
- [34] Lander S E. Issues in Multiagent Design System [J]. *IEEE Expert (Intelligent Systems and Their Applications)*, 1997, 12(2): 18-26

- [35] Object Management Group-Agent Platform Special Interest Group. *Agent Technology Green Paper* [EB/OL]. <http://www.objs.com/agent/index.html>, 2000
- [36] Rao A S, Georgeff M P. Modeling Rational Agents within a BD Architecture[A]. *In Proc of the 2nd Int Conf on Principles of Knowledge Representation and Reasoning* [C]. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1991: 473-484
- [37] 梁义芝, 刘云飞. 基于Multi-agent 技术的决策支持系统[J]. *计算机科学*, 1999, 26(8): 50-52
(Liang Y Z, Liu Y F. Decision Support System Based on Multi-agent Technology [J]. *Computer Science*, 1999, 26(8): 50-52)
- [38] Tung Bui, Jintae Lee. An Agent-based Framework for Building Decision Support Systems [J]. *Decision Support Systems*, 1999, 47(2, 3): 75-87.
- [39] Pawlak Z. AI and Intelligent Industrial Applications: The Rough Set Perspective [J]. *Cybernetics and Systems: An Int J*, 2000, 31(1): 227-252
- [40] Feng S, Xu L D. An Intelligent Support System for Fuzzy Comprehensive Evaluation of Urban Development [J]. *Expert Systems with Application*, 1999, 16(1): 21-32
- [41] Schocken S, Ariav G. Neural Networks for Decision Support: Problems and Opportunities [J]. *Decision Support Systems*, 1994, 11(5): 393-414
- [42] Mayer M K. Future Trends in Model Management System: Parallel and Distributed Extensions [J]. *Decision Support Systems*, 1998, 22(4): 325-335
- [43] Rastogi R, Shim K. Mining Optimized Association Rules for Categorical and Numeric Attributes[A]. *Int Conf on Data Engineering* [C]. Orlando, 1998: 503-512
- [44] M allach E G. *Decision Support and Data Warehouse Systems* [M]. New York: McGraw-Hill Companies, 2000
- [45] Han J, Kamber M. *Data Mining: Concepts and Techniques* [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001
- [46] Clemen R T. *Making Hard Decisions with Decision Tools* [M]. Belmont: Duxbury, 2000
- [47] 俞文彬, 谢康林, 张忠能. 基于数据仓库的决策支持系统框架研究[J]. *上海交通大学学报*, 2000, 34(6): 810-812
(Yu W B, Xie K L, Zhang Z N. Architecture Research on Decision Support System Based on the Data Warehouse [J]. *J of Shanghai Jiaotong University*, 2000, 34(6): 810-812)
- [48] 琚春华. 基于 Internet 的群体决策支持系统研究与应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2001, 21(2): 21-25
(Ju C H. The Research on Group Decision Support System Based on Internet [J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2001, 21(2): 21-25)
- [49] Hatcher M. Introduction to Multimedia Supported Group/organizational Decision Systems [J]. *Decision Support Systems*, 1995, 15(3): 179-180
- [50] Christer Carlsson, Efram Turban. DSS: Directions for the Next Decade [J]. *Decision Support Systems*, 2002, 33(2): 105-110
- [51] 黄梯云. *智能决策支持系统* [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
(Huang T Y. *Intelligent Decision Support Systems* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001.)
- [52] Shaw M J. Machine Learning Methods for Intelligent Decision Support: An Introduction [J]. *Decision Support Systems*, 1993, 10(2): 79-83
- [53] 危辉, 潘云鹤. 从知识表示到表示: 人工智能认识论上的进步[J]. *计算机研究与发展*, 2000, 37(7): 819-825
(Wei H, Pan Y H. The Progress in Epistemology of AI: From Knowledge Representation to Representation [J]. *J of Computer Research and Development*, 2000, 37(7): 819-825)
- [54] 于景元, 涂元季. 从定性到定量综合集成法——案例研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(5): 1-7.
(Yu J Y, Tu Y J. *Meta-synthesis-study of Case* [J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2002, 22(5): 1-7.)
- [55] 柴旭东, 李伯虎, 熊光楞, 等. 复杂产品协同仿真平台的研究与实现[J]. *计算机集成制造系统*, 2002, 8(7): 581-584
(Chai X D, Li B H, Xiong G L, et al. Research and Implementation on Collaborative Simulation Platform for Complex Product [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2002, 8(7): 580-584)
- [56] 钱学森. *创建系统学* [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2001.
(Qian X S. *Creating Systems Science* [M]. Shanxi: Shanxi Science and Technology Press, 2001.)