

智能决策方法与智能 决策支持系统

杨善林 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从定性推理、粗糙集理论、证据理论等方面研究了新的智能决策方法,提出了基于这些新方法的智能决策支持系统体系结构以及相应的设计与实现方法;研究了群体定性推理方法和群体决策智能集结方法,提出了基于群体推理及群体层次分析法的群决策支持系统结构,并研究了设计和实现中的若干问题;研究了企业级智能决策支持系统,探讨了决策方法的选择及融合问题,提出了基于 Multi-Agent 的 EDSS 体系结构及基于构件的企业级智能决策支持系统体系结构;研究了企业级智能决策支持系统中生产库存模型和决策方法,为智能决策支持系统运用于企业决策打下了必要的基础。

本书可供相关领域研究人员阅读,也可作为相关专业研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能决策方法与智能决策支持系统 / 杨善林著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014958-0

I. 智… II. 杨… III. 智能决策-决策支持系统 IV. TP399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008063 号

责任编辑:马长芳 / 责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 1 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2005 年 1 月第一次印刷 印张:21 3/4

印数:1—3 000 字数:425 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

前 言

决策是决策者通过运用领域知识,控制某些可控变量以达到特定目标,从而实现最大效用的方案选择过程。在决策过程中,人们所面临的数据往往具有不确定性、不完整性和定性的特点,从这类数据中发现知识,将不确定、定性知识进行融合和推理是一个难题;随着决策理念的变化,决策建模与智能决策支持系统体系结构也发生了深刻变革。在信息量巨大、决策所面临的环境日益复杂、新的决策理念不断涌现、知识越来越表现出不确定性的条件下,关于智能决策方法与智能决策支持系统的研究具有重要意义。

1971年,Scott Morton第一次提出计算机对于决策的支持作用;20世纪中后期,决策支持系统作为专有名词在该研究与应用领域被广泛认同;80年代初,研究者们更加注重决策支持系统对于提高决策有效性的作用;80年代中后期,随着人工智能技术特别是专家系统和知识工程的思想和方法的引入,人们越来越强调系统的柔性;90年代以来,随着计算机与通信技术的发展、新的决策理论与方法的出现、系统科学领域中的数据组织和编程方法论方面新概念与新方法的涌出,决策支持系统得到了长足的发展,如应用远程通信技术将支持个人决策的决策支持系统运用于支持群体决策而形成了群决策支持系统;将定性推理、粗糙集、证据理论等理论与方法应用于决策支持系统而形成了智能决策支持系统;Multi-Agent 协同支持原理为分布式决策支持系统的数据获取、辅助建模及交互模式的研究带来了广阔的前景。同时,随着决策支持系统智能化过程的不断演进,智能决策支持系统的研究也面临着挑战:在决策理念和决策需求的驱动下,经典数学模型与人工智能中的某些方法必须经过实质性的改进,才能成为智能决策方法;新的决策理念与智能决策方法集成于智能决策支持系统中,使智能决策支持系统体系结构发生了深刻的变化。研究并解决上述问题对于智能决策支持系统的发展一定会起到积极的促进作用。

本书共分7章。第1章综述了智能决策支持系统的研究现状,分析了研究中存在的问题,介绍了我们的研究成果;第2,3,4章分别从定性

推理、粗糙集理论、证据理论等方面研究了新的智能决策方法,提出了基于这些新方法的智能决策支持系统体系结构以及相应的设计与实现方法,并应用于不同的领域;第 5 章研究了群体定性推理方法和群体决策智能集结方法,提出了基于群体推理及群体层次分析法的群决策支持系统结构,并研究了基于群体层次分析法的群决策支持系统设计和实现中的若干问题;第 6 章以企业决策为背景研究了企业级智能决策支持系统,探讨了决策方法的选择及融合问题,提出了基于 Multi-Agent 的 EDSS 体系结构及基于构件的企业级智能决策支持系统体系结构;第 7 章研究了企业级智能决策支持系统中生产库存模型,根据决策环境变化和决策理念的更新,提出了相应的库存决策模型,为智能决策支持系统运用于企业决策打下了基础。

参加相关专题研究和书稿撰写工作的有刘心报、周永务、梁昌勇、刘业政、朱卫东教授,任明仑、马溪骏副教授。在这个过程中,参考了国内外有关研究成果,在此对所涉及文献的作者表示衷心感谢。

智能决策方法与智能决策支持系统是一个复杂的研究领域,加上我们的水平所限,疏漏甚至错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2004 年 12 月 18 日于合肥

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 智能决策支持系统的研究现状	2
1.1.1 决策数学模型与智能决策方法	2
1.1.2 智能决策支持系统的智能化过程	8
1.1.3 智能决策支持系统的体系结构	12
1.2 智能决策支持系统研究中存在的问题	13
1.2.1 决策数学模型与智能决策方法	13
1.2.2 智能决策支持系统体系结构	16
1.2.3 智能决策支持系统开发与应用	17
1.3 智能决策支持系统研究进展	17
1.3.1 智能决策方法研究	18
1.3.2 智能决策支持系统体系结构研究	18
1.3.3 决策问题分解、结构化模型与群决策模型研究	19
1.3.4 智能决策支持系统应用研究	19
参考文献	19
第 2 章 基于定性推理理论的智能决策支持系统	24
2.1 概述	24
2.1.1 问题的提出	24
2.1.2 定性推理理论主要内容和推理方法	26
2.1.3 定性推理理论与决策支持	28
2.2 智能决策支持系统中的定性推理集成机制	29
2.2.1 高层管理决策复杂问题递阶分解思想	29
2.2.2 基于定性推理系统的智能决策支持系统结构	31
2.2.3 定性模型和定量模型的集成模式	35
2.2.4 定性和定量之间的映射关系	37
2.3 定性仿真方法	39
2.3.1 定性仿真理论和 QSIM 算法	40
2.3.2 QSIM 算法完备性及其处理方法	48

2.3.3 基于序列因果关系和目标搜寻的 QSIM 算法	51
2.4 复杂决策的定性模型分解推理方法	55
2.4.1 定性模型的分解和推理过程	55
2.4.2 定性模型的分割算法	58
2.4.3 系统仿真算法	64
2.4.4 SRSQM 算法完备性讨论	72
2.4.5 模型分解仿真验证	72
2.5 基于 QSIM 算法的智能决策支持系统设计与实现	74
2.5.1 工作流程分析	75
2.5.2 系统功能结构	76
2.5.3 系统主要功能模块设计	78
2.5.4 基于 QSIM 算法的智能决策支持系统实例仿真	83
参考文献	85
第 3 章 基于粗糙集数据分析的智能决策支持系统	89
3.1 概述	89
3.1.1 问题的提出	89
3.1.2 数据挖掘概念及其过程	91
3.1.3 数据挖掘中的不确定性问题	93
3.1.4 粗糙集理论	94
3.2 数据挖掘的粗糙集模型;粗糙集数据分析	95
3.2.1 经典粗糙集模型及计算方法	95
3.2.2 粗糙集理论的可变精度微差关系模型	104
3.3 数据预处理	109
3.3.1 基于 GA 的连续属性集离散化分析	110
3.3.2 基于粗糙集理论的概念泛化分析	114
3.3.3 基于对象相似的空值估算	115
3.4 知识约简与决策算法	119
3.4.1 基于属性上下文敏感度的启发式约简算法	119
3.4.2 决策规则求解与评价	123
3.4.3 决策分析	125
3.5 基于粗糙集数据分析的智能决策支持系统的应用	126
3.5.1 系统总体结构	127
3.5.2 系统功能结构	128
3.5.3 应用背景	128
3.5.4 数据采集与表示	129

3.5.5 实验结果	130
参考文献	132
第4章 基于证据理论的智能决策支持系统	136
4.1 概述	136
4.1.1 问题的提出	136
4.1.2 证据理论概述	138
4.2 证据合成方法	143
4.2.1 相关证据的合成方法	143
4.2.2 重要性、可靠性相异的证据的合成方法	148
4.2.3 冲突证据的合成方法	149
4.2.4 基于综合修正系数优化的重要性、可靠性不同的冲突证据合成	150
4.3 基于神经网络的证据合成方法及其性质	151
4.3.1 基于神经网络与 Dempster 合成规则的证据合成方法	152
4.3.2 基于神经网络与 Dempster 合成规则的证据合成方法的三个性质	155
4.4 聚类分析、协同专家选择与基于证据理论的决策	157
4.4.1 不同的证据源可信度的聚类分析	157
4.4.2 协同学理论与合成证据源的选择	160
4.4.3 基于证据理论的决策方法	165
4.5 基于粗糙集理论的证据获取与合成方法	168
4.5.1 引言	168
4.5.2 决策表分解	168
4.5.3 证据获取	170
4.5.4 证据合成及决策分析	172
4.5.5 实证研究	174
4.6 面向Internet基于证据理论的证券投资智能决策支持系统设计 与实现	174
4.6.1 基于神经网络与证据理论的证券市场专家群体预测方法	174
4.6.2 面向 Internet 基于证据理论的证券投资智能决策支持系统设计与实现	177
参考文献	188
第5章 基于群体推理与群体层次分析法的群决策支持系统	192
5.1 概述	192
5.1.1 问题的提出	192
5.1.2 群决策支持系统发展展望	195
5.2 基于群体推理及群体层次分析法的群决策支持系统结构	196

5.2.1	基于群体推理及群体层次分析法的群决策支持系统结构	197
5.2.2	基于 GDSSBGRGA 结构的群决策支持系统的决策程序	202
5.3	群决策支持系统环境下的群体推理方法研究	203
5.3.1	基于粗糙集理论的群体推理方法	203
5.3.2	群决策支持系统环境下的 QSIM 定性推理算法	207
5.4	群决策支持系统环境下的群体层次分析法	214
5.4.1	层次分析法解决问题的基本思想	215
5.4.2	群决策支持系统环境下复杂问题决策因素结构化方法	215
5.4.3	群决策支持系统环境下判断矩阵集结的两种方法及其性质	216
5.4.4	判断矩阵凸组合系数的优化原理	223
5.4.5	基于粗糙集理论的判断矩阵构造方法	226
5.5	基于群体层次分析法的群决策支持系统的开发与应用	228
5.5.1	系统的开发环境及工作流程	228
5.5.2	系统功能结构	230
5.5.3	系统在人口增长因素分析中的应用	231
	参考文献	234
第 6 章	企业级智能决策支持系统	237
6.1	概述	237
6.2	决策过程支持系统	238
6.2.1	决策过程支持	239
6.2.2	基于 Multi-Agent 的企业级决策支持系统体系结构	240
6.2.3	基于 Multi-Agent 的能力规划系统	246
6.3	基于数据的决策支持系统	251
6.3.1	企业级决策的信息结构与环境	251
6.3.2	数据驱动的企业级决策系统	256
6.4	企业级决策的方法选择及融合	260
6.4.1	最优化决策方法	261
6.4.2	智能决策方法的选择	262
6.4.3	决策方法的融合	269
6.5	基于构件的企业级智能决策支持系统体系结构	271
6.5.1	基于构件的智能系统体系结构模型	271
6.5.2	基于构件的企业级决策支持系统平台	275
6.5.3	基于 Agent 的企业级决策支持系统构件	278
	参考文献	282
第 7 章	企业级智能决策支持系统中的生产库存模型	285

7.1 概述	285
7.2 带有预防性维修中断的复合制造系统的生产库存模型	286
7.2.1 问题的提出	286
7.2.2 模型建立	287
7.2.3 应用实例	292
7.3 柔性制造系统的生产库存模型	293
7.3.1 问题的提出	293
7.3.2 模型建立	294
7.3.3 应用实例	298
7.4 考虑人类学习现象的生产库存模型	299
7.4.1 问题的提出	299
7.4.2 模型建立	299
7.4.3 应用实例	305
7.5 线性时变需求情形下制造系统的生产库存模型	307
7.5.1 问题的提出	307
7.5.2 模型建立	308
7.5.3 应用实例	312
7.6 带有一般时变需求的变质性产品的生产库存模型	313
7.6.1 问题的提出	313
7.6.2 模型建立	314
7.6.3 应用实例	320
7.7 缺货要补的制造系统的连续生产库存模型	321
7.7.1 问题的提出	321
7.7.2 模型建立	322
7.7.3 应用实例	327
7.8 制造商与销售商联合生产库存模型	330
7.8.1 问题的提出	330
7.8.2 模型建立	331
7.8.3 应用实例	334
参考文献	336

第 1 章 绪 论

传统的决策支持系统(decision support systems, DSS)是通过数据和数学模型的应用,辅助决策者解决半结构化和非结构化决策问题的人机交互系统。由于定量模型的局限性,传统的 DSS 支持的仅仅是决策过程中结构化和具有明确过程性的问题。随着决策环境日益复杂,DSS 在决策支持中的局限性也日趋突出:其一,DSS 采用静态模型,通过模型对数据进行操作,要求决策者不仅具有决策问题领域知识,还要有数据和模型的相关知识,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^[1,2];其二,DSS 在决策者的主导下采用模型求解,要求决策问题具有过程性和明确的可计算性^[3,4],对决策中普遍存在的非结构化问题无法提供决策支持;其三,DSS 以数学模型为基础,对决策中常见的定性问题和不确定性问题缺乏相应的支持手段^[5,6]。

智能决策支持系统(intelligent decision support systems, IDSS)综合运用 DSS 定量模型求解与分析及人工智能(artificial intelligence, AI)技术定性分析和不确定推理的优势,充分运用人类在问题求解中的经验和知识,通过人机对话的方式,为解决半结构化或非结构化问题提供决策支持。近年来,人工智能在定性推理(qualitative reasoning, QR)技术、粗糙集理论(rough sets theory, RST)、证据理论(evidence theory, DST)等方面取得了大量研究成果,这些理论与方法被应用于决策领域,形成一系列新的智能决策方法。智能决策方法的应用不仅改善了 IDSS 的智能水平,提高了 IDSS 分析、解决半结构化或非结构化问题的能力,而且深刻影响着 IDSS 的体系结构,甚至对决策支持系统的概念也产生了深刻的影响。人工智能与决策支持系统的结合直接体现在决策支持系统各个部件的智能化上,如与人机对话部件的结合,与数据库、模型库、知识库和方法库及其管理系统的结合等^[7~12],人工智能与决策支持部件的结合提高了各部件的功能,无疑能够大大提高决策支持能力。近年来,随着研究的深入,人工智能技术已经渗透到 IDSS 的体系结构、问题求解等各个方面,对决策方法和过程产生了重要影响。智能决策支持系统的研究也逐渐由过去的决策部件功能的扩充发展到部件的综合集成,由过去的定量模型发展到基于知识的智能决策方法,使 IDSS 的理论与方法逐渐成熟。20 世纪 90 年代后期,智能决策支持系统与数据仓库和 OLAP 技术紧密结合,充分利用历史数据和智能决策技术,形成了支持企业管理决策的企业级决策支持系统(enterprise wide decision support systems)^[13],把决策支持系统的应用从桌面系统发展到整个企业范围,从单一业务的专家知识支持发展到对企业战略决策和战

术决策的综合集成支持。

1.1 智能决策支持系统的研究现状

在 IDSS 的研究中,从纯粹决策数学模型的应用到决策数学模型与智能决策方法的融合是 IDSS 智能化过程的一部分。由于决策者所面临的决策环境、决策领域存在差异,管理模式因管理对象、管理认识的变化而变革, IDSS 中的决策数学模型也是进化着的。IDSS 发展的过程是 IDSS 智能化逐步深入的过程。新的智能决策方法能够进一步改善 IDSS 的智能水平,提高 IDSS 解决半结构化或非结构化问题的能力,同时也引起了 IDSS 体系结构的变化。下面从决策数学模型与智能决策方法、IDSS 的智能化过程及 IDSS 体系结构等方面综述 IDSS 的研究现状。

1.1.1 决策数学模型与智能决策方法

决策数学模型因其精确性和可计算性,一直是决策理论和决策支持系统研究的重要内容。在智能决策支持系统中,基于数学模型的决策模型仍然占有重要位置,在定量决策领域具有不可替代的优势。随着决策对象、决策环境的不断变化,定量决策模型也随之不断改进;也正是因为这种变化,智能决策方法越来越多、越来越深入地应用于 IDSS 中,以解决决策过程中频繁出现的大量定性的、不确定性的半结构化、非结构化问题,从而促进了智能决策方法研究的不断深入。

1. 决策数学模型

第二次世界大战前夕,英国科研人员在研究探测入侵英国的敌机的雷达系统运作问题时,开创了运筹学研究。第二次世界大战期间,英国成立了以著名物理学家 P. M. S. Blackett 教授为首的运筹学小组,把运筹学应用到军事的各个领域,成功地解决了大批军事人员的转移和大量军事物资的运送等问题;美国军方也应用了类似的方法解决战时发生的战术问题。第二次世界大战以后,以线性规划的应用及计算机的发明为契机,运筹学中的定量决策模型被成功地应用到军事以外的很多领域,如管理科学、经济学等领域。运筹学中的决策数学模型可以根据参与决策的专家数目和目标数目分为单人单目标、单人多目标、群体单目标、群体多目标等四种类型。传统的线性规划、非线性规划、动态规划、图论、排队论、库存理论以及 Markov 链中所涉及的模型属于单人单目标模型。多准则决策(multiple criteria decision making)、目标规划、多目标决策中所涉及的模型属于单人多目标决策模型。重大问题的决策需要由一个群体来完成,支持群体对特定问题(单目标)决策的模型属于群体单目标决策模型,由于团队目标的一致性,团队理论被归结为多人单目标决策的范畴。在群体决策的场合,如果每个人都有多个目标,就需要用到群体

偏好集结和冲突消解技术,群体层次分析法可用于群体偏好集结,博弈论可用于群体冲突消解。运筹学中的决策数学模型还可以按决策面临自然状态的确定性与否分为确定型决策模型、风险型决策模型和不确定型决策模型。这两种分类反映了决策数学模型在决策需求的驱动下随着决策环境的复杂化处于不断地演化之中。

管理信息学^[14]是一门研究管理中的信息运动规律的新兴学科,信息决策理论与方法将决策过程视为信息收集、加工、决策、产生新的信息、反馈的闭环系统。管理信息学所建立的信息决策模型,如基于信息的贝叶斯决策模型是决策支持的新型工具。

系统学模型被应用于 IDSS 的体系结构构建和实际的决策问题中。系统论分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统理论。简单系统学模型,如系统动力学模型、大系统模型、系统辨识模型等已应用于决策中,复杂系统理论与方法的研究还不够成熟,人脑系统的思维过程研究属于复杂系统的研究范畴,这方面的研究成果将会使 IDSS 的研究取得实质性的进展。

控制论模型也被广泛应用在决策领域,如哈密顿函数的作用量与经济系统的目标函数有相同的形式,从而被应用于最优经济系统的研究;极大值原理已被广泛应用在计划、库存、市场、广告和设备维修等各个方面;随机最优控制等也被广泛应用到管理决策领域^[15]。

随着决策环境日益复杂,决策对象的定性与不确定性日益明显,新的决策理论随之涌现,决策模型也在不断更新。系统结构化模型、大系统分解模型被用于半结构化、非结构化问题结构化中;群体优化集结模型被应用于群体智能集结中。在企业智能决策支持系统中,从经典 EOQ 模型发展而成的库存模型被用于物资库存控制决策中;在供应链管理的新的管理理念指导下,供应链条件下的库存控制模型也正在逐渐地应用于企业库存决策过程中。智能决策支持系统中的决策模型伴随着决策环境的变化和决策理论的创新而不断更新着。

2. 智能决策方法

IDSS 采用机器推理方法实现决策支持功能,而人类专家的知识总是有限的,能够以符号逻辑表示并用来推理的知识更是有限,人类很多专家知识并不是一开始就已经具备,很多是在决策过程中学习得到的。如何充分利用在大量决策过程中得到的知识,是人工智能和决策支持系统研究的重要内容。目前,机器学习、软计算方法、数据挖掘(data mining, DM)、基于范例的推理(case-based reasoning, CBR)等智能决策方法不同程度地应用于 IDSS 中。

机器学习通过在数据中搜索统计模式和关系,把记录聚集到特定的分类中,产生规则和规则树。这种方法的优势在于不仅能提供关于预测和分类模型,而且能从数据中产生明确的规则^[16,17]。如常用的递归分类算法,通过逐步减少数据子集的

熵(entropy),把数据分离为更细的子集,从而产生决策树。决策树是对数据集的一种抽象描述,可以作为知识进行推理使用。最著名的两种机器学习算法是 ID3 和 CART。ID3 通过数据在独立变量上的分类,形成具有一定特征的数据子集,可以用来产生分类树。CART 算法通过数据聚类距离的最大化,减少数据子集的无序性,可以产生分类树和回归树,是回归分析、聚类分析等统计分析方法的自然延伸。由于递归分类算法根据数据的统计特性进行数据的分类,在有大量噪声数据的情况下具有较好的鲁棒性。除此之外,神经网络、模糊逻辑、遗传算法、粗糙集理论等也被广泛应用于机器学习^[18~21]。

软计算方法是一类方法的集合,主要包括模糊逻辑、神经计算、概率推理、遗传算法、混沌系统、信任网络及其他学习算法,其本质与传统的智能计算方法不同之处在于适应现实世界普遍的不确定性。软计算方法通过与传统的符号逻辑完全不同的方式,解决那些无法精确定义问题的决策、建模和控制。如神经计算是受神经生物学研究的启发,采用并行计算结构模拟人的大脑结构,通过映射实现知识处理过程的一种方法^[22~24]。遗传算法(genetic algorithm,GA)的思想来源于生物进化过程。20 世纪 60 年代,Holland 把进化过程中的信息遗传机制和优胜劣汰的自然选择法则引入到机器学习过程中,通过一个种群的许多代进化适应,设计出具有自然系统的自适应特征的人工系统。遗传算法把复杂的结构用简单的位串编码表示,通过位串的复制、变异、杂交、反转等遗传算子的操作改变这种结构,使系统通过多次变换达到理想的结果。GA 方法的求解过程简单,不受搜索空间的限制性假设的约束,能从离散、多极值、有噪声的多维问题中通过随机搜索和优化找到全局最优解,对已知系统目标但无法确知求解过程的决策问题非常适用^[25,19]。

数据挖掘是一个从大量数据中析取有用的、前所未有的和最终可理解的知识的过 程。20 世纪 90 年代中期以后,国内外研究者逐渐将研究重点转移到数据驱动的知识发现方法,利用人工神经网络、决策树、机器学习等方法,发现已知和未知的知识,使 DM 成为不需人工干预的自动过程^[19]。目前这种方法往往与知识工程相结合,通过 DM 获得知识,再把知识放入知识库中用于推理,IBM 的 Neggets 就采用了这种方式。这种方法尚不成熟,需要与用户驱动的知识发现结合使用。数据仓库(data warehouse,DW)和 DM 直接从历史数据中获得对决策至关重要的信息,所以又称为数据驱动的决策支持方法。

基于范例推理是从过去的经验中发现解决当前问题线索的方法。过去事件的集合构成一个范例库(case base),即问题处理的模型。当前处理的问题成为目标范例,记忆的问题或情境成为源范例。CBR 处理问题时,先在范例库中搜索与目标范例具有相同属性的源范例,再通过范例的匹配情况进行调整。CBR 是对过去的求解过程的复用,简化了知识获取的过程,提高了问题求解的效率,对有些难以通过计算推导来求解的问题,可以发挥很好的作用^[22,25,26]。

近年来,人工智能研究在定性推理、粗糙集理论、证据理论等方面取得了尤为突出的研究成果,研究者们正在探索性地最新研究成果应用于 IDSS 中,并对由此产生的新的 IDSS 结构及 IDSS 的应用进行研究,形成了 IDSS 的新的研究方向。下面简要综述定性推理、粗糙集理论、证据理论等方面的研究动态。

(1) 定性推理

定性推理起源于对物理系统的研究,最初是期望解决 AI 中物理常识知识推理和因果性解释问题。定性推理理论的创始人之一 D. G. Bobrow^[27]对定性推理的定义是:从物理系统结构的定性描述中得到系统机制行为和功能定性描述的过程。AI 研究者希望利用它有效地解决 AI 中的常识知识的获取、表示和处理以及对物理行为进行因果解释等问题。

1977 年, C. Riege 和 M. Gringberg 提出了定性推理机制 (qualitative reasoning about mechanisms)^[28]; 1979 年, P. T. Hayes 认为^[29]应当把最重要的有关日常物理世界中的物体、形式、空间、运动、物质、时间等等常识形式化,并首先使用了朴素物理 (naive physics) 的概念; 1983 年, Brown 和 de Kleer 发表了论文“A Qualitative Physics Based on Confluence”^[30], 真正引起了人们对定性推理的研究兴趣; 1984 年, K. D. Forbus 提出了定性进程理论 (qualitative process theory, QPT)^[31], 《人工智能》杂志出版了第一本专辑《Special Volume on Qualitative Reasoning about Physics System》, Bobrow 在序言中总结了这方面的研究成果, 认为该专辑的出版反映了定性推理已开始作为一个新的研究领域, 显示出人们对物理系统的定性推理问题日益增长的兴趣和关注。在此之后, 众多 AI 研究人员投入到定性推理的研究中, 经过 20 多年的大力研究, 取得了丰硕的成果, 物理系统定性建模及推理思想和方法逐渐形成并得到了大量的应用。1986 年美国学者 Benjamin Kuipers 在“Qualitative Simulation”一文中提出了动态仿真算法 (qualitative simulation for imprecise models, QSIM)^[32], 使定性仿真接近于实用。从 1987 年开始起, 每年都举行定性推理的国际研讨会, 在国际上引起巨大反响。其应用范围已从最初的物理领域迅速扩展到自动控制、生理、经济和商业等方面。

中国科技大学白方周教授课题组^[33~35]从并行推理的角度研究定性推理的有关算法, 并将定性推理方法应用到动态系统环境中; 天津大学刘豹教授^[36,37]从状态空间的角度研究定性推理的推理规则; 西安交通大学万百五教授从事定性控制理论的研究^[38,39], 将定性推理理论应用到控制论中。

定性推理理论由于其处理不完全、不确定知识和模糊数据的突出能力, 在管理科学等领域受到了关注^[28,40,41], 许多学者开始将定性推理方法和思想应用于预测^[42~44]、分析^[45~47]、控制和辅助决策^[48~52]。Daniels H A M, Feelders A. J. 提出了一个商业行为分析的定性仿真模型^[53], 荷兰的 AMRO 银行在此基础上进行深入的研究^[35]; Bailey. A. 则致力于商业行为的计划、控制和评估等领域的研究^[45], 他

运用 QSIM 算法,对商业票据流通系统进行建模、仿真,以帮助市场人员预测和分析,并使用故障模型找出流通过程的问题所在;Paul Alpar 和 Werner Dilger 运用定性推理理论建立市场定性模型,以诊断和预测市场占有率的变化,该模型还能对全国整体市场的总体趋势做分析^[46];Michel Benaroch 和 Vasant Dhar 运用定性推理 QSIM 算法等技术,控制投资决策的复杂性^[47]等;Farley A., Lin K. P. 使用 QSIM 算法对市场发展预测进行研究,并建立了定性仿真模型^[54],他们首先应用 QSIM 算法建立了饮料市场的定性模型并进行分析预测。

根据定性推理的建模能力和应用情况的分析,我们认为定性推理在决策支持系统特别在支持高层决策的智能决策支持系统中将有重要的应用前景,这种符合人们正常思维习惯的推理方法在 IDSS 中将起到如下作用:

- 1) 提高 IDSS 对定性问题的分析、处理能力。
- 2) 拓展 IDSS 的应用范围。
- 3) 提高 IDSS 对高层决策者的决策支持效率。

(2) 粗糙集理论

粗糙集理论作为一种处理不精确、不确定与不完全数据的新的数学理论,最初是由波兰数学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出的^[93]。近几年来,由于在机器学习与知识发现、数据挖掘、决策分析等方面的广泛应用,粗糙集理论逐渐被研究者们所关注。1992 年在波兰 Kiekrz 召开了第一届国际 RST 研讨会,这次会议着重讨论了集合近似定义的基本思想及应用,其中 RST 环境下机器学习的基础研究是这次会议的 4 个专题之一;1993 年在加拿大 Banff 召开了第二届国际 RST 与知识发现研讨会,这次会议积极推动了国际上对 RST 与应用的研究,由于当时基于数据库的知识发现(knowledge discovery in database, KDD)成为研究的热门话题,一些著名 KDD 学者参加了这次会议,并且介绍了许多应用以扩展 RST 的知识发现方法的系统研究;1995 年,ACM Communication 将其列为新浮现的计算机科学的研究课题;1996 年第四届国际研讨会(The Fourth International Workshop on Rough Sets, Fuzzy Sets, and Machine Discovery, RSFD '96)在日本东京召开,推动了亚洲地区对 RST 与应用的研究;1998 年,国际信息科学杂志为 RST 的研究出版了一期专辑。2001 年 5 月在重庆举行第一届中国 RST 与软计算学术研讨会。

近年来,出现了有关 Rough 函数的研究,如 Rough 函数的各种近似运算、Rough 函数的基本性质的研究等。关于 Rough 函数的 Rough 连续、Rough 极限、Rough 可导、Rough 积分、Rough 稳定性、Rough 函数控制及建立由 Rough 实函数控制的离散动态系统都是典型的研究问题。这些问题的研究将有助于定性推理理论与方法的研究。

RST 具有许多重要的优点:可以不依靠任何专家用于知识发现的数据中隐藏的知识;在数据约简时能发现最小的数据集;能评估数据的价值;可以从数据中产

生最小规则;对处理结果提供简明、易理解的解释。由于 RST 的上述优点,所以它被广泛地应用于决策中。决策表的约简、决策规则的生成一直是 RST 研究的重要内容。

在 IDSS 中,知识库中的知识是用规则形式给出的。数据库中隐含着大量未发现的知识;在决策过程中特别是在群决策环境下,由于各个专家的背景、知识结构、审视问题的角度都具有差异,因此他们给出的规则也是具有差异的。为了进行知识约简和产生新的知识,RST 很自然地被应用于 IDSS 中,RST 在机器决策中发挥着越来越大的作用。

(3) 证据理论

1976 年,Shafer 出版了《证据的数学理论》,标志着 DST 的诞生。A. P. Dempster 曾经给出过上、下概率的概念^[55],第一次明确给出了不满足可加性的概率;1968 年,Dempster 探讨了统计推理的一般化问题,针对统计问题给出了两批证据合成的原则^[56]。Shafer DST 的核心内容是将 Dempster 证据合成规则推广到一般的情形,为了纪念 Dempster 对该理论的贡献,也称 DST 为 Dempster-Shafer 理论。D. Dubois 和 H. Prade 从数学形式上研究了信度函数,得出了信度函数是一模糊测度的结论^[57];在信度理论与可能性理论联系的研究中也得出了许多有益的结果;他们以集合论观点分析、研究了证据,得到了证据的并、交、补以及包含等概念^[58]。模糊数学的创始人 L. A. Zadeh 建议除去 Dempster 合成法则的归一化常数,将真值范围拓广到框架之外^[59];他还研究过 DST 与可能性的关系。P. Smets 是另一位对 DST 做出过贡献的人,他将信度函数推广到框架 Θ 的所有模糊子集上,得出了许多有益的结果^[60],并将模糊集和信度函数用于医疗诊断中^[61]。

DST 强调依据证据为一个命题赋予真值,为一个命题赋予一个真值本身可以看成一种决策模型,因此证据理论可以看成是根据证据做决策的理论。

对一个特定的决策问题,决策者的经验、知识以及对该问题的观察、研究都是他用来做决策的证据。根据这些证据,他可以在决策框架上产生一个信度函数,从决策状态混合概率中分解出各个自然状态的概率,通过一般风险决策方法可以得出一个满意的决策结果。

一个人的知识、经验等是有限的,为此可考虑向多个专家进行咨询,克服向某个专家咨询做出决策的局限性,依据集体的指挥做出正确的决策。Dempster 合成法则为我们综合多个专家的意见提供了有力的工具。假设决策者向多个专家进行咨询,那么他就可以根据多批证据在决策框架上得到多个基本可信度分配,依据 Dempster 合成法则可求得这多个基本可信度分配的直和,从而可以利用证据决策方法得到一个决策结果。该决策结果综合多个专家的经验 and 知识,反映了多个专家的意见和建议,因此可以作为最后决策的结果。这种决策方法为 DST 在群决策中的应用提供了可能。

1.1.2 智能决策支持系统的智能化过程

决策支持系统产生以来,由于专家系统技术在管理决策领域的巨大潜力,国内外研究者进行了大量研究,把计算机科学、人工智能等的工具、方法与人的决策过程集成起来,出现了各种结构和功能的智能决策支持系统。Clyde W. Holsapple 等总结了系统的学习能力和对决策过程的支持能力,把 IDSS 分为 4 类^[62]:无自适应性,被动支持;无自适应性,能提供主动支持;自适应,被动支持;自适应,主动支持。Dinesh Mirchandani 等从知识系统进化的角度讨论了 IDSS 模型^[63],从系统的知识、学习和进化能力来看,系统的智能在逐步加深。

1. 主动决策支持系统

传统的决策支持系统通过提供相应的数据和模型,由用户自主选择相应的方法和模型,决策过程完全由用户控制,系统只是完成辅助计算功能。智能决策支持系统由于引入了领域专家知识,具有部分人类智能,因而具有了主动支持决策的能力。主动型决策支持系统(active decision support systems, ADSS)可以随用户的决策过程改变自身的行为,因而是决策支持系统研究中的一个重要里程碑,是智能决策支持系统产生的标志。

主动决策是 IDSS 的重要特征,ADSS 通过建立人类认知模型,能够在不同的问题求解阶段,给决策者提供一个不同的选择,从而构成不同的问题求解路径。M. L. Manheim 等最早提出了 ADSS 的概念,并给出了系统的框架^[2]。ADSS 强调人机交互中的互动性,也称为共生型(symbiotic)决策支持系统,这种系统不仅能随决策过程改变自身行为,而且嵌入了人的认知模型,能够根据用户的认知能力和决策方式,提供适合用户特点的决策方法,系统和决策者之间是一种共生、互动的关系。由于用户决策过程模型难以获得,这类系统的开发较困难^[62]。

H. Raghav Rao 等采用菜单驱动的方式记录决策者的认知过程,实现了一类这种系统^[64]。从知识结构和认知能力方面来看,主动型决策支持系统仍然是静态的,实际上是根据用户过去的决策经验,根据事先计划好的用户行为,自动触发预先定义的内部过程,从而改变自己的决策过程,可以看作一种反应系统,并不是系统本身自主的智能行为。

2. 自适应决策支持系统

ADSS 主要依赖于人的先验知识,系统运行环境是静止的,决策所需要的领域知识和推理知识是事先知道的。事实上,决策环境通常是多变的,问题求解的过程与决策环境密切相关,人类拥有并能用以推理的知识也是有限的,因而上述 ADSS 知识结构和功能上都有很多局限。自适应决策支持系统(adaptive decision support

system, AdDSS)是向着更好的支持决策迈出的重要一步。自适应性是根据系统的环境变化,提高系统处理问题能力的性质。为了克服 ADSS 在知识结构上的局限,采用数据挖掘、数据仓库、基于范例推理等数据驱动的决策支持方法和机器学习技术,采用 ANN、GA、ROUGH SET 等算法,试图从大量历史数据和过去的经验中发现对决策至关重要的知识,使系统具有随时间和决策过程变化调整自身行为的能力,这样就产生了 AdDSS^[62,65]。

AdDSS 除了具有传统的过程计算和其他推理形式,还采用了归纳推理方式,实现了动态知识系统。归纳推理是一种非单调推理,能够从有限、不完全的知识状态推出完全的知识状态。通过归纳学习,AdDSS 具有一定的创新能力,可以把归纳断言作为知识使用,当出现与之矛盾的新命题时,可以推翻由归纳推理得到的知识,从而保持知识的一致性^[66,18]。

Ta-Tao Chung 等提出了一个 AdDSS 的概念模型,该模型由两层多个部件组成,包括自适应的人机界面、自适应问题领域知识库和自适应的帮助系统等,能根据决策者的需要调整自身行为,通过归纳学习自动维护知识库^[67]。

3. 决策专家系统

决策专家系统是利用专家技术建立的决策支持系统。长期以来,决策支持系统的研究者没有把专家系统(expert systems, ES)纳入 DSS 的研究领域。多数的研究者认为,决策支持系统只是一种辅助决策的工具,应能完成对决策过程的支持,即 DSS 应体现决策者在模型选择与使用中的主导地位,而 ES 通过不需要人工干预的推理过程,直接给出决策结论。事实上,即便是真正的人类专家,在决策中发挥的也仅仅是决策咨询作用,决策专家系统可以根据决策条件自动给出决策结论,完全可以看作一类特殊的决策支持方式。实际上,决策的自动化并不排斥决策者在决策过程中的作用,而是支持了更高级的决策过程。ES 与 DSS 所采用的技术与结构基本一致,但二者面向不同的使用者和不同性质的问题,ES 面向特定领域的用户,而 DSS 供管理决策人员使用,ES 智能决策支持系统的一种类型。

决策专家系统采用演绎推理,利用已有知识推导出结论,推导过程的正确性可以保证。这种系统存在的问题是需要一个完备的公理系统作为推理的基础。事实上,在面临不确定、突变和模糊信息的环境下,这种条件很难实现,因而只适合应用目标很明确的决策任务。近年来,人工智能和专家系统技术的进展似乎正在突破传统的决策专家系统的局限,非单调推理、定性推理技术的应用正在拓宽 ES 的应用范围^[66,68],与人的智能其他技术的结合也取得了一定进展^[19,25]。

4. 综合决策支持系统

综合决策支持系统(holistic decision support system, HDSS)是在自适应决策

支持系统和决策专家系统基础上发展起来的新一代决策支持系统。在人类专家决策的过程中,面临着不完备、不确定甚至有冲突的知识,人类思维方式也往往存在着非过程性,一般通过各种知识和过程的综合得到决策结果,HDSS 是为了模仿人类高级智能而出现的,可以充分利用人类在过程分析、逻辑推理以及认知、学习和知识创新方面的优势,从而使系统的辅助决策能力超越了事实、推理和学习的阶段,可以对病态结构的决策问题提供支持^[20, 22, 69]。这类系统实际上是更高级的专家系统,从功能上看类似于人类专家,既可以直接给出决策建议,也可以根据决策者需要,分析决策过程和决策依据。HDSS 的知识系统比较复杂,对一般的决策问题,并不一定需要这种系统。Tim Hill, CW Holsapple 等采用神经网络、遗传算法等实现了的系统^[16, 17, 22],在某种程度上体现了人类思维和决策过程的性质,目前这种系统只是部分的实现,完整的实现需要机器学习理论的进一步完善。

5. 基于数据仓库的 DSS

在企业决策领域中,为了实现正确的决策,需要关于企业内外部资源的全面信息,包括需求信息、竞争情报、管理信息、产品数据等。由于很多信息要从分布、异构的海量数据中挖掘而得到,传统的 DBMS 难以满足这一需求,因此基于数据仓库的 DSS 应运而生。DW 系统作为面向主题的、集成的、稳定的、时变的、用以支持企业或组织决策分析的数据的集合,可将来自各个数据库的信息进行集成,从事物的历史和发展的角度来组织和存储数据,供用户进行数据分析,并辅助决策支持,为决策者提供有用的决策支持信息与知识^[70]。DW 技术不是一种单一的技术或软件,它融合了数据库理论、统计学、数据可视化和人工智能技术等多个研究领域,在大量数据中发现有价值的知识,用于决策支持和预测未来。因此基于这一技术的决策支持系统为决策支持系统提供了可取的数据组织方式、为决策人员提供了强有力的支持工具,有力地推动了决策支持技术的发展。

基于 DW 理论与技术的 DSS 的研究与开发尚处于起步阶段,但已得到了众多学者的重视^[19, 70],其主要研究课题包括:① DW 技术在 DSS 系统建立中的应用以及基于 DW 的 DSS 的结构框架;② 采用何种数据挖掘技术或知识发现方法来增强 DSS 的知识源;③ DSS 中的 DW 的数据组织与设计及 DW 管理系统的设计。总的说来,基于 DW 的 DSS 的研究重点是如何利用 DW 及相关技术来发现知识以及如何向用户解释和表达知识,克服传统 DSS 中知识获取的瓶颈,为决策支持提供更有力的数据支持。

6. 分布与群体决策支持系统

分布决策支持系统(distributed decision support system, DDSS)与群体决策支持系统(group decision support system, GDSS)满足了现代组织在地域上的分布

性和制造上的虚拟化的要求,是20世纪80年代以来DSS研究与应用的热点。其中DDSS是对传统集中式DSS的扩展,是分布决策、分布系统、分布支持三位一体的系统^[71]。GDSS则是面向群体活动的,它为群体活动提供沟通支持、模型支持及机器诱导的沟通模式3个层次的支持。GDSS与DDSS既有区别又有联系,前者是对个人决策支持系统的扩展,后者则是相对于集中式DSS而言的,两者研究的重点和关注的焦点有所不同。GDSS对群体决策的支持既可以是集中式决策,也可以是分布式决策。但通常情况下,群体决策是在分布环境下实施的,这就决定了GDSS与DDSS有着非同寻常的联系。GDSS大多采用分布式和分散式结构,系统支持“水平方向”分布式处理,即支持对数据对象的远距离操作;系统还支持“垂直方向”的分散式处理,通过在用户和各应用层之间的接口,来实现各个应用领域的功能。

上述决策支持系统,前4种是面向个人的单一决策问题的决策支持系统,后两种则是面向整个组织的不同部门,决策资源和决策范围延伸到整个组织。除了上述结构,陈文伟等提出了一个多个决策主体的综合决策支持系统(synthetic DSS)体系结构框架^[72],集成了传统决策支持系统的数据库、知识库和数据挖掘部件等,但没有体现决策过程的复杂性,实际上是一种包含多种决策工具的集成决策支持系统。

7. IDSS 智能的比较

在上述几种类型的智能决策支持系统中,主动型决策支持系统要求系统具有随决策过程的不同改变自身行为的能力,这种系统不一定采用逻辑推理,但当预先定义的处理过程在某种方式下自动触发时,还是表现出了类似人的智能的行为;专家系统则使用推理技术自动进行推理,表现出更高的主动支持能力;自适应决策支持系统采用了归纳推理等方法,具有自动维护知识库的能力,可以处理不完备甚至冲突的知识,它的主动支持能力不是预先定义的,而是随环境变化自动形成的,反映了高级的智能特征;综合决策支持系统不依赖于预先定义的过程和基于规则的推理,而是从初级到高级的智能活动的综合。

智能决策支持系统是基于知识的系统,由于知识的管理仍是快速发展的领域,很难给出确定性的归纳。以上关于决策支持系统类型的讨论是根据系统的主要特征,从系统智能的发展角度展开的,几种类型之间是相互包含和补充的关系,更高级的模型反映了系统智能的进化,并不排斥其他类型的特征,例如,主动支持是所有智能决策支持系统的特征,自适应性是综合决策支持系统的基本要求。事实上,智能决策支持系统的研究正呈现出集成化的趋势,现有的系统一般都是由多种方法结合而形成的混合(hybrid)系统,同时具有几种类型的特征。表1.1从系统的学习能力、智能行为、决策方法等方面对几种IDSS进行了比较^[63,64,67]。

表 1.1 IDSS模型的比较

性能 IDSS 类型	知识库 类型	知识的 完备性	知识创 新能力	决策过 程理解	主要推 理方式	主要决策工具
主动决策 支持系统	静态	完备无 冲突	无	有	采用预先定 义的过程	模型、数据、 认知模型
决策专 家系统	静态	完备无 冲突	无	可以没有	演绎推理	知识库
自适应决 策支持系统	动态	允许不完 备和冲突	有	一般有	演绎和归 纳推理	数据、智能决 策模型、知识库
综合决策 支持系统	动态	允许不完 备和冲突	有	有	演绎、归纳、 基于范例推理	认知模型、智能 计算方法、机器 学习、知识库

1.1.3 智能决策支持系统的体系结构

1. 基于部件集成的体系结构

1980 年,R. H. Sprague 提出了基于两库的 DSS 框架,把 DSS 看作由用户接口、数据库管理系统、模型库管理系统三部件集成的结构。该结构对决策支持系统的研究产生了很大影响,后来的决策支持系统研究基本上沿袭了这一结构,并在这一结构基础上,相继提出了三库(数据库、模型库、方法库)等结构^[72,73]。Belew 等还研究了 DSS 的进化问题,在两库结构基础上增加了文本库和规则库,将这种四库结构称为可演进的决策支持系统^[73]。早期 ES 与 DSS 的结合主要采用这种结构,在二库结构基础上,增加了知识处理部件,形成四库(数据库、模型库、方法库、知识库)的智能决策支持系统。在这种体系结构中,传统的决策支持系统部件提供定量的数值计算,知识部件采用符号推理和模式识别等知识处理技术,进行定性推理和分析,通过增加系统部件,系统具有良好的可扩充性,可以随时集成新的决策技术。这种结构既发挥了传统 DSS 的数学分析能力,又发挥了专家系统在定性推理和符号处理方面的优势,显著增强了 DSS 的问题求解和决策支持能力。目前应用的决策支持系统基本上都采用这种结构。近年来,随着数据驱动的决策方法的进展,数据挖掘、OLAP 和数据仓库技术也被作为决策部件集成到决策支持系统中^[72]。

2. 基于问题处理模式的体系结构

Bonczek 提出的基于问题处理模式的 DSS 结构,由知识系统(knowledgement system)、语言系统(language system)和问题处理系统(problem processing system,PPS)三部分构成。其中语言子系统提供决策问题的表示方法及对决策结

构的解释;知识子系统负责管理与决策问题有关的知识;问题处理子系统从语言子系统接受决策问题,通过对知识子系统中相关知识的操作,产生合理的决策结果。这种结构采用统一的知识体系,有利于系统功能的扩充,可以认为是一种进化结构^[73]。

3. 其他 IDSS 结构

除了上述结构,Melanie L. Lenard, M. A. H. Dempster 等采用面向对象技术实现决策支持系统的各库及其管理系统^[74~76]功能,陈文伟等提出了有三个决策主体的综合决策支持系统的体系结构^[72],Youngohe Yoon, Selwyn Piramuthu 等分别提出了具有学习功能的系统结构^[77,78],Nial M. Fraser 等提出了多专家系统集成的框架结构^[79],Ta-Tao Chuang, H. Raghav Rao 等在 PPS 结构中增加了学习和知识维护模块^[64,67],田大钢等综述了 IDSS 结构的联结主义观点^[80],这些结构实际上是对各种部件功能的扩充,或者是 PPS 结构中知识系统功能的延伸,从本质上看都没能超出上述两种结构的框架。

近年来,基于 Multi-agent 技术的体系结构也引起研究者的重视,如梁义芝等提出了基于 Multi-agent 技术进行模型管理的决策支持系统^[81],采用 Agent 技术实现了部件的功能。Agent 技术为复杂软件系统的实现提供了新途径,但从整体上采用 Agent 技术的系统仍有待于继续探索。

1.2 智能决策支持系统研究中存在的问题

IDSS 的研究取得了丰富的研究成果,但也存在许多制约 IDSS 进一步发展的问題。这些问题主要表现在以下几个方面:其一,随着决策环境的变化,决策理念与模式不断更新,与之相适应的决策模型及其应用的研究相对滞后,智能决策方法研究应该进一步深入;其二,智能决策方法引入 IDSS 中,使得 IDSS 的体系结构发生了变化,由于缺乏对于基于智能决策方法的 IDSS 体系结构的系统深入研究,智能决策方法不能发挥应有的作用;其三,关于 IDSS 的研究主要集中于理论探讨和实验研究,设计与应用研究相对滞后,从而反过来制约着理论研究的进一步深入。下面从智能决策方法与决策数学模型、IDSS 体系结构及 IDSS 设计与应用方面阐述 IDSS 研究中存在的问题。

1.2.1 决策数学模型与智能决策方法

智能决策方法与决策支持系统相融合产生了 IDSS, IDSS 的发展极大地提高了其辅助决策的效率和能力,推动了决策支持系统的发展和应用。如前综述的那样,人们运用定性推理、粗糙集理论、证据理论等解决决策过程中的不确定的或定

性问题,在定性、不完全、不确定性知识的表示、推理、获取等方面取得了丰富的研究成果,这些成果的应用使得人们解决半结构化、非结构化问题的能力进一步增强;与此同时,在决策需求的驱动下,相关决策数学模型及智能决策方法存在的缺陷也日益显现出来,在研究、解决这些缺陷的过程中,促进了决策数学模型与智能决策方法研究的深入。

1. 决策数学模型

在 IDSS 理论及其应用的研究中,利用数学模型对决策问题进行抽象化,并设计可行的算法对决策问题进行求解,是 IDSS 的核心技术之一。因此,随着决策环境和决策需求的不断变化,建立适合解决相关决策问题的不断进化的数学模型,并构造、更新模型库,备受研究者们的关注。然而,决策问题的日益复杂化对数学模型的适用性、通用性和可计算性提出了越来越高的要求,建立解决复杂决策问题的适当的数学模型显得越来越困难。

传统的 IDSS 具有模型库的扩充功能,但这种扩充功能很难适应不断变化的复杂社会系统决策的需要,这就造成传统的 IDSS 适用性较差、二次开发困难。因此,研究数学模型的通用性及随意构造性等问题是 IDSS 研究的一项重要的工作。面向对象的计算机编程技术为实现数学模型的分解与组合创造了条件。

2. 智能决策方法

(1) 定性推理

定性推理理论与方法被成功地应用于描述决策领域的定性知识,对定性知识进行推理从而推导出新的知识。Kuiper. B. J. 于 1986 年在人工智能杂志上发表了题为“Qualitative Simulation”的论文,为定性推理的理论研究与应用奠定了基础。Kuiper B. J. 在总结 De Kleer, Forbus 等人研究工作的基础上,提出了著名的定性仿真算法(QSIM)。QSIM 在定性推理研究中具有重要的地位,是一种面向约束的算法,从一个定性约束集和一个初始状态出发,预测系统未来所有可能的行为,作为微分方程的定性抽象,QSIM 具有精确的数学语义,它被证明是在管理决策分析中对定性、不确定知识进行表示与推理的有效工具^[82,83]。但传统的 QSIM 算法在应用中暴露出如下问题:

1) 传统的 QSIM 算法不考虑因果变量的时变性,对于设定目标的定性推理缺乏一般方法。在复杂决策分析中,序列因果关系(sequential causality)是必须考虑的因素;决策者通过直觉或其他途径设定某一决策目标或事物发展的某一状态后,通过定性推理分析决策目标的实现条件是一般的决策思维过程。传统的 QSIM 算法不能实现上述决策思维过程。

2) QSIM 算法的定性不确定知识表示方法较为单一。QSIM 算法是基于物理

的逻辑推理算法,人们可以用区间数、模糊数等表示不确定性知识,因而它能在一定程度上进行不确定性知识推理。但区间数、模糊数都不能有效地描述普遍存在的事物本身是确定的而人们对事物的认识是未知的这样一类知识。况且在实际工作中参数之间的关系是因时因地变化的,从而出现了参数之间关系的不确定性,传统的 QSIM 算法不能对不确定性参数关系进行描述,给定性系统建模造成了困难。

3) QSIM 算法不能产生创新行为。QSIM 算法及其改进算法提高了 DSS 的定性推理能力,但是要真正实现 QSIM 算法与 DSS 的融合,使 QSIM 算法能够辅助复杂问题的决策,仅仅改善 QSIM 算法的物理逻辑推理能力是远远不够的。决策是一个总结历史、预测未来,依赖环境从若干个可行方案中抉择最优方案的过程,是一个创新的过程。它需要 QSIM 算法的依据物理事实而进行定性推理过程的支持,也需要专家们具有跳跃性思维特征的依据对该问题的经验而做出具有创意判断的支持,两者缺一不可。

4) QSIM 算法具有不完备性。传统的 QSIM 算法根据给定的初始值确定的系统初始定性状态,通过定性推理产生系统所有的真实行为,即 QSIM 算法是充分的。定性仿真可能产生多余的行为,这是由于定性模型里包含系统的不完全知识。我们在建立系统的定性约束方程时,将实际系统进行了抽象,并且用单调增、单调减等约束来描述系统的定性知识。由于单调增、单调减约束是一种弱的函数约束关系,从而导致了多余行为的产生。既然定性仿真施用于具有不完备知识系统的仿真,定性模型中又含有系统的不完全知识,所以定性仿真产生多余的行为是不可避免的。定性仿真的研究方向之一是如何减少这种实际系统中并不存在的虚假行为。

(2) 粗糙集理论

RST 提供了丰富的处理不确定问题的方法,对知识发现过程的各个阶段具有较强的支持。RST 假设信息系统仅包含精确(准确、可靠)数据,任何对象的任何属性都有一个唯一的精确值。实际情况并非总是如此,信息系统常包含一些不确定性信息,实践证明标准粗糙集模型在不确定性信息条件下的抗干扰能力方面存在缺陷。Slowinski^[84]等人分析了不确定性的四种因素:离散化处理、非精确数据、缺失值及多重描述符。Ziarko, Slowinski, Pawlak, Mohamed Quafafou 等人分别从不同角度提出了 RST 的拓展模型^[85~100]。Ziarko 的可变精度模型在一定程度上克服了噪声数据的干扰,Slowinski 的相似关系模型对分析描述模糊的数据或存在细微差别的数据有重要影响。但在信息系统中上述两种情况都存在,因此应该探讨新的基于 RST 的扩展模型来解决实际决策过程中广泛涉及的噪声数据及模糊或存在细微差别数据的处理问题。用 RST 进行决策表的属性约简和值约简,从而得出最小决策规则,被证明是一个 NP 问题,研究新的启发式约简算法是解决该问题的关键。RST 还缺乏有效的对属性值域为连续数据或值域很大的数据离散化或泛化的有效方法,在数据预处理方面仍然存在有待解决的问题。由于上述问题的存在,

影响了 RST 与 IDSS 的融合。

(3) 证据理论

D-S 证据理论提出比概率要求更低(半可加性)的不确定性度量概念信度,信度是人在客观证据的基础上构造出他对某一命题为真的信任程度。这一定义与专家对不确定事件的判断更加贴近,个体专家的不确定性决策可用 DST 来表示。

Dempster 给出了将多个证据合成的公式,并且证明了合成得到的证据的信度仍然满足信度的属性。利用这个 DST 的合成公式,可将个体专家的决策意见合成为代表群体专家的决策意见。

但是,Dempster 证据合成公式要求合成的证据是相互独立的,并且对各个证据一视同仁、证据之间不能有较强的冲突,这些条件与群体专家决策时的实际情况相差较大,从而限制了将 DST 直接用于个体专家决策意见的合成。

段新生给出了两种决策方法:一种是利用似真度函数求各种系统状态的主观概率,然后求出各个决策方案的期望报酬来进行决策;另一种决策方法被称为 M 决策法,该方法的思想是先求出各焦元的报酬函数,然后用基本可信数作为主观概率,求出各决策方案的期望报酬作为决策依据。上述两种方法在应用时应注意每种方法的假设,第一种方法基于“似真度越大的状态其主观概率就越大”的假设,第二种方法基于“每个焦元内包含的各种状态因素其出现的概率相同”的假设。由于在一般决策过程中,上述两个假设并不成立,这使上述两种决策方法在实际应用上存在着局限性。

1.2.2 智能决策支持系统体系结构

基于部件集成的体系结构虽然有较强的问题求解能力,但随着研究与应用的深入,其结构也越来越复杂,在原来四库的基础上,又增加了文本库、图形库等,形成五库、六库等多库结构。近年来,随着数据驱动的决策方法的进展,数据挖掘、OLAP 和数据仓库技术也被作为决策部件集成到决策支持系统中,随着部件的增加,部件之间的协调控制过程变得很复杂,系统结构也越来越复杂,给系统的实现带来很多困难。

基于 PPS 的系统结构将专家系统中的问题处理技术引入到 DSS 体系结构中,克服了传统 DSS 缺乏知识的弱点,解决了对决策问题求解过程的控制问题。但模型沿用了专家系统的问题求解思路,未能充分体现决策者在模型构造、模型选择方面的作用。由于决策过程所需要的知识相当复杂,既有事实性知识,也有推理知识和决策问题领域的专家知识,上述结构中的知识系统不加区别地使用知识概念,使知识库缺乏特定领域问题的针对性。

新的决策模型与方法融入 IDSS 中,同时也融入了新的决策思想,使得 IDSS 的结构发生变化。近年来,关于决策方法特别是智能决策方法的研究取得了丰富的

研究成果,由于缺乏对相应的 IDSS 结构的研究,使决策方法难以通过 IDSS 得到实际的应用。

1.2.3 智能决策支持系统开发与应用

目前在 IDSS 的开发与应用中主要存在以下一些问题:

1) 对智能决策过程还缺乏明确的认识。对人类决策过程的理解是建立智能决策支持系统的关键,而对决策过程的理解实际上就是对人类智能的认识。目前仍没有更好的方法对人的思维过程进行准确模拟。

2) 缺乏智能决策方法综合和知识融合一般方法。IDSS 的核心是知识和知识处理,不同智能决策方法有其特点和适用范围,方法的综合成为提高系统决策能力的重要途径。同时,决策信息来源的多样性对信息融合也提出了新的要求,如何综合来自不同方面的信息为一个决策目标服务,则需要寻找更为一般的知识表示和推理算法。

3) 对决策的时空特性和多维性认识不足。目前,智能决策支持系统的研究大多集中在智能决策问题的求解过程方面,而决策行为总是与决策过程和决策环境的各个方面相联系,在决策过程中引入时间、空间等多维准则,可以突破时空限制,优化和改进决策结果。

4) 对复杂决策的并行求解问题解决得不够完善。随着技术进步和计算机网络的发展,决策环境也由集中式处理发展为分布式并行处理。从而,分布式数据仓库、分布式决策处理的研究以及分布式人工智能技术的应用、并行决策计算等逐渐成为 IDSS 研究与应用过程中所面临的问题。

5) 对智能部件的设计和实现缺乏有效手段。智能决策支持系统中智能部件的主要功能包括使模型库中的模型具有知识,以有效地将定性和定量分析相结合;使知识库有效地表示和获取知识;使数据仓库更有效地组织数据,采用有效的算法挖掘知识等。

6) 系统各部件交互效率不高、集成化水平较低。系统各部件之间的联系通过部件之间的接口来完成,如数据存取、模型调用、知识推理等。如何实现各个部件之间的高效交互,根据实际需要运用多种技术和方法进行系统综合集成,使系统各部件有机结合以形成完整实用的系统,是智能决策支持系统研究的一个关键问题。

1.3 智能决策支持系统研究进展

Scott Morton 提出了决策支持系统研究的 8 个方向:原型设计、方法构造、概念设计、实验研究、领域测试、总结归纳、案例研究、推断与思考。这些方面的研究目前仍是 DSS 研究的重要内容,研究的成果为 DSS 的发展提供了理论和实践基础。

随着决策环境的变化,人们所利用的数据往往具有不确定性、不完整性和定性的特点,如何表示这些数据,从这类数据中发现知识,将不确定、定性知识进行融合和推理是一个难题;把智能决策方法集成于智能决策支持系统中,使智能决策支持系统的体系结构产生了变革;随着决策环境日益复杂化,决策问题越来越表现为非结构化、半结构化的特点,研究决策问题结构化模型及群体决策模型来提高决策问题的结构化程度并消除个体主观因素的影响显得越来越重要;针对智能决策支持系统应用中存在的问题,结合一个领域研究智能决策支持系统的结构,深入研究该领域的决策模型与方法,探讨智能决策方法的综合和知识融合的有效机制和一般方法具有重要的理论及实践意义。为此,我们从以下若干方面对智能决策支持系统进行了研究并取得了进展:

1.3.1 智能决策方法研究

从粗糙集、定性推理、证据理论等方面研究了智能决策方法,提出了基于隶属度和微差距离的可变精度微差关系(VP-MD)模型,该模型克服了 Ziarko, Slowinski, Pawlak 等人提出的粗糙集模型的不足,不仅能够处理含有噪声的不完全信息系统,其结果还能反映大量数据所满足的统计规律;提出了基于属性上下文敏感度的启发式属性约简算法——CSBARK 算法;给出了 GDSS 环境下的基于粗糙集的群体推理方法。为了解决传统 QSIM 算法的不完备性问题,提出了基于序列因果关系和目标搜寻的 QSIM 算法;针对传统 QSIM 算法存在知识表示方法单一、不能产生创新行为的缺点,提出了 GDSS 环境下的 QSIM 算法。把神经网络学习过程与 Dempster 合成规则结合起来,提出了基于神经网络与 Dempster 合成规则的证据合成方法,理论及实验结果表明该方法比单纯的 Dempster 合成方法具有更好的效果。

1.3.2 智能决策支持系统体系结构研究

在智能决策支持系统中,数据、模型方法和知识需要在一定的体系结构的协调下才能发挥作用。为了使新的智能决策方法成功地集成于决策支持系统中,真正提高决策支持系统的智能化水平,我们研究并分别给出了基于定性推理、粗糙集数据分析、证据理论的智能决策支持系统体系结构。针对决策中大量存在的群体推理和群体 AHP 的结合以及多个专家决策结果的集结等问题,研究了基于群体推理与群体 AHP 的智能群决策支持系统体系结构,可以对群体决策过程和决策结果中专家意见进行优化集结,满足群体决策的需要。针对企业决策中既有定性方法与定量方法的结合也有数学模型和智能方法的结合等问题,我们研究了决策过程支持的体系结构,提出了基于层次化构件和 Multi-Agent 的系统体系结构,研究了不同层次构件的连接方式和组合方法,以及 Multi-Agent 系统中 Agent 的结构、功能与

协调调度问题,使得智能决策支持系统可以随问题规模、信息环境和决策性质,灵活选择合适的方法与过程。

1.3.3 决策问题分解、结构化模型与群决策模型研究

为了解决复杂的半结构化、非结构化决策问题,提出了复杂决策问题分解算法和一种基于群体决策的决策问题结构化方法。通过定义具有实际意义的矩阵“加法”、“乘法”、“指数”运算,定义了判断矩阵的“加法”凸组合及 Hadamard“乘法”凸组合的概念,给出了 GDSS 环境下判断矩阵的两种集结方法,提出了判断矩阵“加法”凸组合系数优化算法;从理论上证明了在群体 AHP 中判断矩阵的“加法”凸组合及 Hadamard“乘法”凸组合不仅能消除主观因素的影响,而且还能保持或改善判断矩阵的一致性。将粗糙集理论与层次分析法相结合,提出了一种基于粗糙集的构造具有完全一致性个体判断矩阵和综合判断矩阵的新方法。

1.3.4 智能决策支持系统应用研究

以企业决策为背景,研究了决策定量模型和智能决策方法的选择与综合运用问题,这些成果已经在工业、医疗等领域的决策中得到应用,取得了很好的效果。在企业级智能决策支持系统模型库的研究中,建立符合决策要求的管理和决策模型,对企业级决策具有重要意义。我们在决策支持系统应用实践中,通过对实际的库存系统、生产库存系统的深入分析与研究,在传统的经济订货量模型、生产批量模型、Newsboy 模型的基础上提出了新的库存模型,并对基于供应链的库存管理模型进行了深入研究,丰富和发展了库存控制理论。

参 考 文 献

- [1] Hans W Gottinger and Piter Weimann. Intelligent Decision Support Systems. Decision Support Systems, 1992, 8: 317~ 332
- [2] M L Manheim. An Architecture for Active DSS. 21st International Conference on System Science. Hawaii, 1988. 356~ 365
- [3] James H Fetzer. People are not Computers; (most) thought Processes are not Computational Procedures. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 1998, 10: 371~ 391
- [4] Selmer Bringsjord. Computationalism is Dead; Now What? Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 1998, 10: 393~ 402
- [5] Walter Hamscher, Melody Y Kiang and Reiner. Qualitative Reasoning in Business, Finance and Economics: Introduction. Decision Support Systems, 1995, 15: 99~ 103
- [6] Rita A Ribeiro, Philip L Powell and James F Baldwin. Uncertainty in Decision-making: An Abductive perspective. Decision Support Systems, 1995, 13: 183~ 193
- [7] Jarke and F J Radermacher. The AI Potential of Model Management and its Central Role in Decision Support. Decision Support Systems, 1988, 4: 387~ 404

-
- [8] Ai-Mei Chang, Clyde W Holsapple and Andrew B Whinston. Model Management Issues and Directions. *Decision Support Systems*, 1993, 9: 19~ 37
- [9] Robert W Blaming. Model Management Systems: an Overview. *Decision Support Systems*, 1993, 9: 9~ 18
- [10] Miall M Fraser, Keith W Hipel, etc. An Architecture for Integrating Expert Systems. *Decision Support Systems*, 1989, 5: 263~ 276
- [11] Georgios Doukidis. Decision Support Systems Concepts in Expert Systems: An Empirical Study. *Decision Support Systems*, 1988, 4: 345~ 354
- [12] A Beulenc and J Von Nunen. The Use of Expert System Technology in DSS. *Decision Support Systems*, 1998, 4: 421~ 431
- [13] 任明仑. 智能决策支持系统: 研究现状与挑战. *系统工程学报*, 2002, 10(5): 430~ 440
- [14] 杨善林, 刘业政. 管理信息学. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [15] 任明仑, 杨善林. 最优决策的极大值方法. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2001, 8: 463~ 469
- [16] Louis E Caporaletti, Robert Dorsey and John D Johnson. A Decision Support System for in Sample Simultaneous Equation System Forecasting Using Artificial Neural Systems, 1994, 11: 481~ 495
- [17] Clyde W Holsapple, Vanghese S Jacob and Jigish S Zaveri. A Genetic-Based Hybrid Scheduler for Generating Static Schedules in Flexible Manufacturing Contexts. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 1993, 4: 953~ 972
- [18] H L Wiktor and I Cloete. Inductive Learning with a Computational Network. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 1998, 21: 131~ 144
- [19] Vasant Dhar and Roger Stein. Intelligent Decision Support Methods. *The Science of Knowledge Work*. Printice Hall, 1997: 171~ 180
- [20] David M Dutton and Gerard V Conroy. A Review of Machine Learning. *The Knowledge Engineering Review*, 1996, 4: 341~ 367
- [21] Zdzislaw Pawlak. AI and Intelligent Industrial Applications: The Rough Set Perspective. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 2000, 1: 227~ 252
- [22] Tim Hill and William Remus. Neural Network Models for Intelligent Support of Managerial Decision Making. *Decision Support Systems*, 1994, 11: 449~ 459
- [23] Kar Yan Tam. Neural Networks for Decision Support. *Decision Support Systems*, 1994, 11: 389~ 392
- [24] Shimon Schocken. Neural networks for Decision Support: Problems and Opportunities. *Decision Support Systems*, 1994, 11: 393~ 414
- [25] 史忠植. 高级人工智能. 北京: 科学出版社, 1998
- [26] Someswar Kesh. Case-based Reasoning. *Journal of Systems Management*, 1995, 4: 14~ 19
- [27] Bobrow D G. Qualitative Reasoning about Physical System: an Introduction. *Artificial Intelligence*, 1984, 24: 1~ 5
- [28] Riege C, Gringberg M. The Declarative Representation and Procedural Simulation of Causality in Physical Mechanisms. *Proceedings of 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Cambridge, MA, 1977: 1~ 5, 23~ 31
- [29] Hayes P J. The Naïve Physical Manifesto. in: D. Michie (ed). *Expert System in Micro Electronic Age*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1979: 1~ 9
- [30] De Kleer J, Brown J S. A Qualitative Physics Based on Confluences. *Artificial Intelligence*, 1983, 24: 7~ 83
- [31] Forbus K D. Qualitative Process Theory. *Artificial Intelligence*, 1993, 59: 105~ 114
- [32] Kuipers B J. Qualitative Simulation. *Artificial Intelligence*, 1986, 29: 289~ 338
- [33] 白方周, 霍鑫, 鲍忠贵. 动态系统的定性推理: 定性模型的建立和定性仿真方法. *信息与控制*, 1995, 24

(4):222~ 229

- [34] 白方周, 鲍忠贵, 涂永忠等. 可信度增强的模糊定性防震. 自动化学报, 1998, 24(1): 147~ 151
- [35] 涂永忠. 基于 QSIM 算法的并行定性仿真方法的研究. 中国科学技术大学博士学位论文, 1998. 7~ 13
- [36] 关伟, 刘豹. 定性推理综述(1). 决策与决策支持系统, 1996, 6(2): 108~ 115
- [37] 关伟, 刘豹. 结合区间和时域信息的定性模拟方法. 系统工程学报, 1997, 12(2): 19~ 25
- [38] 夏常弟, 万百五. 线性系统的定性控制方法. 控制与决策, 1997, 12(11): 672~ 677
- [39] 刘林运, 万百五. 定性控制综述. 信息与控制, 1998, 27(1): 46~ 51
- [40] 石纯一, 陈见, 赵勇. 定性推理进展. 模式识别与人工智能, 1993, 6(2): 121~ 126
- [41] 白方周, 张雷. 定性仿真导论. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998
- [42] Brajnik G, Clancy D J. Control of Hybrid System Using Qualitative Simulation. In the 11th International Workshop on Qualitative Reasoning about Physical System. Cortona, Italy, 1997: 311~ 316
- [43] Massuyes L T. Application Oriented Qualitative Reasoning. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 181~ 204
- [44] Watter H, Melody Y K. Qualitative Reasoning in Business, Finance, and Economics, Introduction. Decision Support Systems, 1995, 15: 99~ 103
- [45] Bailey A D, Kiang Jr. Analytical Procedures and Qualitative Reasoning in Auditing. Application in Management. JAI Press, 1990: 321~ 326
- [46] Alpar P, Dilger W. Market Share Analysis and Prognosis Using Qualitative Reasoning. Decision Support Systems, 1995, 15: 133~ 146
- [47] Benaroch M, Dhar V. Controlling the Complexity of Investment Decision Using Qualitative Reasoning Techniques. Decision Support Systems, 1995, 15: 115~ 121
- [48] Kiang M Y, Hinkkannen A. Reasoning in Qualitative Defined Systems Using Interval-based Difference Equations IEEE, Trans. On SMC, July 1995, 25(7): 1110~ 1120
- [49] Martin J A. Qualitative Control, Diagnostic and Supervision of Complex Processes. in: Proceedings of Qualitative Reasoning and Decision Technologies. Barcelona, Spain, 1993
- [50] Forbus K D. Self-Explanatory Simulators: Making Computers Partners in the Modeling Process. Mathematics and Computers in Simulation, 1994, 36: 91~ 101
- [51] Herbert K, Bernhard R, Kuipers B J. Semi-quantities System Identification. Artificial Intelligence, 2000, 119: 103~ 140
- [52] Trave-Massuyes L. Qualitative Reasoning from Different Aspects and Potential Applications to Decision Support Systems. In: M. G. Singh and L. Trave-Massuyes (ed). Decision Support Systems and Qualitative Reasoning. Elsevier Science Publisher B V, 1991: 29~ 42
- [53] Daniels H A M, Feelders A J. Model-based Daignosis of Business Performance. Tilburg University, Institute for Language Technology and AI, Netherland, 1990: 174~ 187
- [54] Farley A, Lin K P. Qualitative Reasoning in Microeconomics: an Example. in: M. G. Singh and L. Trave-Massuyes (ed). Decision Support Systems and Qualitative Reasoning. Elsevier Science Publisher B V, 1991. 303~ 306
- [55] A P Dempster. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multi-valued Mapping. Annals of Mathematical Statistics, 1967, 38: 325~ 339
- [56] A P Dempster. A Generalization of Bayesian Inference. Journal of the Royal Statistical Society, 1968: