

智能决策方法与 智能决策支持系统

■ 杨善林 著



科学出版社
www.sciencep.com

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 N. 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>

新蕾印刷厂 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〈新欣〉)

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	187
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	238
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将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小组^[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。