

复杂决策任务的建模

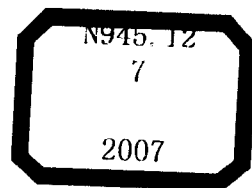
与求解方法

◆ 杨善林 胡小建 著



科学出版社

www.sciencep.com



复杂决策任务的建模 与求解方法

杨善林 胡小建 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对复杂决策任务的概念、分类以及求解方法等进行了系统阐述;在分析 Agent 模型、MAS 系统分析、系统设计以及面向复杂决策任务系统 MAS 模型的基础上,研究了基于 Agent 的复杂决策任务系统的建模方法;在分析贝叶斯网结构和扩展模型的基础上,研究了面向复杂决策任务的贝叶斯网建模过程和方法;系统地研究了决策 Agent 及其任务规范分解的形式化方法、任务分解与优化分解方法以及基于遗传算法分解方法;研究了面向复杂决策任务地协同求解机制以及近似推理机制。

本书可作为管理科学与工程、决策科学、系统科学、控制工程以及计算机应用技术等学科高年级的本科生、研究生用书,也可供相关研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂决策任务的建模与求解方法/杨善林,胡小建编. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-018599-0

I. 复… II. ①杨… ②胡… III. ①人工神经网络-建立模型 ②人工神经网络-问题求解 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 021857 号

责任编辑:马长芳 毛 莹 / 责任校对:张小霞
责任印制:张克忠 / 封面设计:卢秋红

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

*

2007 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—3 000

字数:310 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈安泰〉)

前 言

“正确决策是各项工作成功的前提”，在经济全球化的今天更加凸显科学决策的重要性。全球化环境下现代企业生产经营管理过程中常遇到大型复杂的非结构化的决策问题，对复杂决策任务的建模与求解方法的研究正是为了更好地解决这类问题。复杂决策任务的建模与求解方法是涉及决策科学、系统科学、管理科学以及计算机科学等领域研究的重要问题，而知识的爆炸性及其变化的快捷性、系统的分布性与复杂性为复杂决策任务的建模与求解提出了新的挑战，使决策任务的建模与求解变得更加具有不确定性、复杂性、动态性与协同性。

多 Agent 与贝叶斯网等技术为这种复杂决策任务的建模与求解提供支持。Agent 具有自主性、协作性、反应性、能动性和智能性等优良特性，利用 Agent 的优良特性实现分布式环境下复杂决策任务建模与求解系统之间的交互及协同工作；贝叶斯网作为不确定性与不完全信息情况下知识表示的重要方法，为复杂决策任务的表示与分解提供了重要的工具。利用贝叶斯网对复杂决策任务进行分析，建立基于贝叶斯网的复杂的决策任务模型，通过贝叶斯网的分解实现决策任务的分解，根据依赖关系将贝叶斯网分解成若干个子网，每个子网表示分解后的子任务。通过对复杂任务建模与任务分解，把一个复杂的决策任务分解成一系列子任务，每个子任务分配到相应网络结点的一个称为 Agent 组织进行推理、协作决策与求解，这样复杂任务的决策就转化为由不同 Agent 组织对分布式子任务的决策。研究并解决上述问题对复杂任务的建模与求解一定会起到促进作用。

本书在相关理论的基础上，重点阐述作者在复杂决策任务建模与求解方面的研究成果。全书共分 7 章。第 1 章介绍了复杂系统与复杂决策任务的概念，综述了复杂决策任务的建模与求解的一般方法，介绍了复杂决策任务建模与求解的新技术；第 2 章分别从 Agent 形式化模型、Agent 结构模型、MAS 系统分析与系统设计、面向复杂决策任务系统的 MAS 模型，研究了基于 Agent 的复杂决策任务系统的建模方法与求解支持的分布式模型；第 3 章详细介绍了贝叶斯网的概念与特性，在分析贝叶斯网概念与结构基础上，研究了动态贝叶斯网、面向对象的贝叶斯网、决策网、带权重的定性贝叶斯网等扩展模型，研究了面向复杂决策任务的贝叶斯网的建模原则、建模流程、建模流程分析与简化方法；第 4 章研究了面向复杂决策任务的贝叶斯网建模方法，系统研究了贝叶斯网的结构学习方法与参数学习方法，提出了基于 ACO 的贝叶斯网结构学习方法与算法，研究了知识和数据融合的结构建模方法以及基于案例和规则推理的贝叶斯网建模方法；第 5

章研究了决策 Agent 及其任务规范分解的形式化概念,系统地研究了决策 Agent 及其任务规范分解的形式化方法、任务分解与优化分解方法以及基于遗传算法分解方法;第 6 章研究了面向复杂决策任务的多 Agent 之间基于任务分担协作与结果共享协作的基本机制,提出并研究了基于博弈论多 Agent 之间的协作模型与求解机制;第 7 章系统研究了贝叶斯网推理方法,研究了基于连接树的贝叶斯网的推理机制、推理模型以及基于粗糙集的近似推理方法。

参加相关专题研究和书稿撰写工作的有:合肥工业大学胡笑旋博士和马溪骏副教授;此外,付超、马壮、石文刚、罗贺、方芳、程飞等同志做了大量有意义的工作。本书得到国家自然科学基金项目“面向复杂决策任务基于 Agent 组织的分布式智能决策支持系统研究”(项目编号:70471046)与教育部博士点基金项目“面向复杂决策任务基于 Agent 组织的决策机制研究”(项目编号:20040359004)资助。在专题研究过程中参考了大量的国内外研究成果。在此一并表示衷心感谢!

复杂决策任务的建模与求解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。

作 者

2006 年 3 月于合肥

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 复杂系统与复杂决策任务	1
1.2 决策任务的概念与分类	2
1.2.1 决策任务的概念	2
1.2.2 决策任务的分类	4
1.3 决策任务建模与求解的一般方法	6
1.3.1 决策数学模型与智能决策方法	6
1.3.2 决策问题结构化模型与群决策模型研究	12
1.3.3 决策支持系统	12
1.4 复杂决策任务建模与求解的新技术	13
1.4.1 多 Agent 技术	13
1.4.2 贝叶斯网技术	21
1.5 复杂决策任务的建模与求解特征与要求	29
1.6 本章小结	31
参考文献	31
第 2 章 基于 Agent 的复杂决策任务系统的建模	40
2.1 引言	40
2.2 Agent 模型	41
2.2.1 形式化模型	41
2.2.2 组织模型	50
2.2.3 结构模型	51
2.3 MAS 系统分析	59
2.3.1 引言	59
2.3.2 G/A 矩阵	60
2.3.3 个体 Agent 的识别方法	61
2.4 基于组件的 Agent 框架和 MAS 系统设计	67
2.4.1 面向对象的设计 (OOD) 和面向 Agent 的设计 (AOD)	67
2.4.2 基于 Agent 的系统设计	68
2.5 面向复杂决策任务系统的 MAS 模型	76

2.5.1 复杂决策任务系统的模型结构	76
2.5.2 复杂决策任务求解支持的分布式模型	78
2.6 本章小结	82
参考文献	83
第3章 面向复杂决策任务的贝叶斯网建模过程	85
3.1 引言	85
3.2 贝叶斯网	86
3.2.1 定义与结构	86
3.2.2 贝叶斯网的扩展模型	88
3.2.3 带权重的定性贝叶斯网	91
3.3 贝叶斯网建模原则	98
3.4 贝叶斯网建模流程	98
3.5 建模流程分析	100
3.5.1 问题分析阶段	100
3.5.2 模型设计阶段	101
3.5.3 模型测试阶段	104
3.6 建模中的简化方法	105
3.7 本章小结	106
参考文献	106
第4章 面向复杂决策任务的贝叶斯网建模方法	108
4.1 引言	108
4.2 贝叶斯网结构的学习	108
4.2.1 基于评分函数的方法	109
4.2.2 基于约束的方法	111
4.3 参数学习	111
4.4 基于 ACO 的贝叶斯网结构学习	113
4.4.1 蚁群优化算法	113
4.4.2 蚁群优化算法的改进	118
4.4.3 蚁群优化算法的结论	125
4.4.4 基于 ACO 的贝叶斯网结构学习	125
4.5 知识和数据融合的结构建模方法	132
4.5.1 知识和数据的融合方法	133
4.5.2 实证研究	136
4.6 基于案例和规则推理的贝叶斯网建模	137
4.6.1 基于知识的建模	138

4.6.2 基于案例推理	142
4.6.3 基于案例和规则推理的建模过程	146
4.7 本章小结	157
参考文献	158
第5章 基于贝叶斯网的复杂决策任务的表示与分解	162
5.1 引言	162
5.2 决策 Agent 及其任务规范分解的形式化定义	163
5.3 任务规范的分解方法及其性质	164
5.3.1 基于 GDF 的任务规范的分解判据及其性质	164
5.3.2 基于 BN 的任务规范表示及分解	166
5.4 任务规范的优化分解	169
5.4.1 优化分解问题的提出	169
5.4.2 优化分解方法	169
5.4.3 案例分析	171
5.5 基于遗传算法的贝叶斯网分解	174
5.5.1 BN 分解概述	174
5.5.2 遗传算法概要	177
5.5.3 遗传算法设计	188
5.5.4 实验结果及分析	191
5.6 本章小结	193
参考文献	194
第6章 面向复杂决策任务的协同求解机制	196
6.1 引言	196
6.2 多 Agent 之间协作的基本机制	197
6.2.1 多 Agent 之间的协作方式	197
6.2.2 任务分担的协作	198
6.2.3 结果共享的协作	199
6.2.4 基于协作的问题求解过程	200
6.3 基于博弈论的多 Agent 之间的协作	202
6.3.1 基于博弈论的多 Agent 协作模型	202
6.3.2 任务协作的 MAID 表示	205
6.3.3 MAID 与博弈树	207
6.3.4 任务协作的 MAID 的均衡策略的求解	209
6.4 本章小结	215
参考文献	216

第 7 章 面向复杂决策任务的近似推理机制	218
7.1 引言	218
7.2 贝叶斯网的概率推理方法	219
7.2.1 变量消去法	220
7.2.2 超树的推理方法	221
7.2.3 割集的推理方法	222
7.2.4 连接树的推理方法	223
7.2.5 仿真与搜索的推理方法	225
7.3 基于联结树的贝叶斯网的推理结构	226
7.3.1 BN 推理概述	226
7.3.2 在 BN 及 SS 上概率推理的等价性	227
7.3.3 从 BN 的 G 到 SS 的 JT 的转变结构及构造算法	228
7.3.4 案例分析	234
7.4 基于赋值代数的贝叶斯网概率推理的局部计算模型	236
7.4.1 赋值代数概述	236
7.4.2 赋值代数	236
7.4.3 推理结构及其赋值代数	237
7.4.4 概率推理的局部计算的赋值代数模型	238
7.4.5 案例分析	243
7.5 多 Agent 之间基于 Rough set 的近似推理	245
7.5.1 粗糙集概述	245
7.5.2 多 Agent 推理的近似空间	246
7.5.3 多 Agent 之间的近似推理	247
7.5.4 案例分析	249
7.6 本章小结	250
参考文献	251

第 1 章 绪 论

1971 年 Scott Morton 首次提出“决策支持系统”的概念,标志着利用计算机与信息辅助支持决策进入一个新阶段。从此以后,决策支持系统经历了结构化的决策支持系统(DSS)、智能决策支持系统(IDSS)、群体决策支持系统(GDSS)与分布式智能决策支持系统(DIDSS)四个阶段。然而,制约 DSS 的进一步研究、发展以及应用的瓶颈因素是,决策环境所对应的系统的复杂适应性以及伴随的决策任务的复杂性。因而复杂系统、复杂决策任务成为计算机科学、决策科学、系统科学以及管理科学等领域研究的重要问题,而复杂决策任务的建模与求解是实现科学决策的关键问题。

1.1 复杂系统与复杂决策任务

系统^[1]是指相互联系有相互作用的元素之间的有机结合,它包括实体、属性与活动三个要素。实体是组成系统的具体对象元素,属性是实体的状态、参数的特征,活动表示对象随时间推移而发生的状态变化。

系统按系统的规模分为:①小系统。构成系统的子系统的数目为几个、几十个。②大系统。构成系统的子系统的数目为几十个、上百个。③巨系统。构成系统的子系统数目为成千上万个、上百亿个。

按系统内子系统之间的关联程度分为:①简单系统。系统内的子系统间的关联程度比较弱。②复杂系统。系统内的子系统之间的关联程度比较高。

按系统与外界环境的联系情况分为:①孤立系统。孤立系统与外界环境之间没有任何物质、能量和信息的交换,随着时间的推移,其内部状态从有序趋向无序。②开放系统。开放系统与环境之间不断进行物质、能量和信息的交换,这种交换使系统可能从外界环境输入负熵,从而使系统的总熵减少,结果是增加了系统的有序性。

复杂系统的研究是 1999 年 4 月 2 日由美国 *Science* 杂志出版的《复杂系统》专辑而兴起,复杂系统的出现与复杂的决策问题有密切关系^[2,3]。复杂问题的提出起源于奥地利,1928 年贝塔朗菲(Bertalanffy)在他的《生物有机体系统》论文中首次提出复杂性问题^[4]。此后的 20 年,复杂性问题研究的主要贡献有:麦卡洛克(McCulloch)和皮茨(Pitts)的神经网络^[5]、冯·诺伊曼(Von Neumann)的元细胞自动机^[6]和复杂性,以及诺伯特·维纳(Norbert Wiener)的

控制论^[7]。中国科学院外籍院士司马贺 (H. A. Simon) 在他的著作《人工生命》中讨论了复杂性的构造^[8]。1984 年美国国家洛斯阿拉莫斯实验室建立了圣菲研究所 (Santa Fe Institute) 专门致力于复杂性科学的研究, 为复杂性问题的建模与仿真作出了突出贡献^[9]。

20 世纪 80 年代, 钱学森先生发表了《系统科学、思维科学与人体科学》的论文。1990 年他及其合作者在《自然》杂志上发表了论文《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》^[10]。1991 年在中国科学院院长周光召主持下, 举行了“复杂性科学学术讨论会”, 1994 年 9 月, 在北京香山又举行了题为“开放复杂系统方法论”的学术会议, 1997 年 1 月再次在北京香山召开题为“开放复杂巨系统的理论与实践”的讨论会。这三次会议有力地推动了复杂性科学的研究。

与简单系统相比, 复杂系统具有显著的特点是开放性、复杂性和层次性, 同时具有突现性、不稳性、非线性、不确定性、不可预测性以及病态结构等特征。面对这样的复杂系统, 人们是如何进行分析和研究的呢? 一种方法是利用计算机仿真的方法通过模拟复杂系统中个体的行为, 让一群这样的个体在计算机所营造的虚拟环境下进行相互作用并演化, 从而让整体系统的复杂性行为自下而上的“涌现”出来。这就是圣塔菲 (Santa Fe) 研究所研究复杂系统的主要方法。我们不妨称这种方法为自下而上的“涌现”方法。另一方面, 人脑面对复杂系统可以通过有限的理性和一些不确定信息做出合理的决策, 得到满意的结果, 因此, 研究人脑面对复杂系统是如何解决问题的则是一种“自上而下”的解决问题的方法, 我们不妨称这种方法为“控制”方法。

复杂决策任务更多来源于复杂的决策环境所在的复杂系统, 决策环境的复杂性决定着复杂决策任务的描述方式与求解进程。现代企业、经营与管理模式, 如 CIMS (计算机集成制造)、并行工程、虚拟企业、电子商务、供应链管理、企业流程再造等都是些复杂系统, 它们具有复杂系统所具有的特征, 这种复杂性决定着复杂系统中决策任务的复杂性^[11]。

1.2 决策任务的概念与分类

1.2.1 决策任务的概念

决策任务是指决策者或决策群体在一定的条件下为了达到某种目的, 寻求适当的执行者和达到途径的所有工作的总称。

要解决的决策问题是包括在一个决策任务中的, 是决策任务的重要组成部分。知识环境下的决策任务往往具有复杂性与不确定性, Zigurs 和 Buckland 研究指出^[12], 决策任务的复杂性包括结果的多样性、解决方案的多样性、结果与

方案之间的冲突性以及结果之间与方案之间的不确定性。根据现代决策理论,决策的实质就是抉择,即在多个被选方案中比较选择一个最优的方案,要得到最优的决策方案,就必须针对一个决策目标提出多种实施方案,然后通过对多种方案的比较最终选择出最优的方案。而在决策的过程中决策主体会感到不同的环境和因素对方案实施的影响,以及方案实施可能遇到的各种问题,前者称为影响决策的约束条件,后者称为要解决的决策问题。Bui 和 Bodart 从行动资源的角度,给出了一种在给定的约束条件下详细的决策问题的定义^[13]:一个决策问题可以看作是决策者在决策过程中为达到某种目的所要采取的行动、这些行动涉及的资源和问题现有的约束条件等。因而一个决策任务下的决策问题包括四个要素:被选方案、决策准则、资源和行动。决策任务的特征要素包括基本要素和附加要素,基本要素包括决策主体、行为主体、决策目标、决策问题和约束条件,附加要素包括备选方案、准则、资源和行动,如图 1.1 所示。

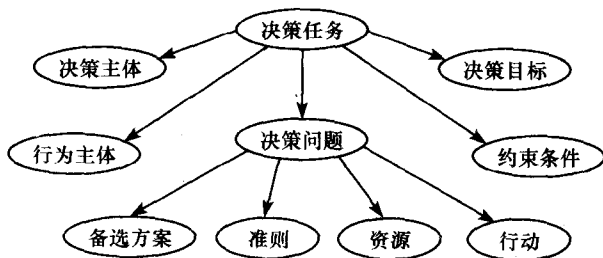


图 1.1 决策任务组成要素

决策任务的复杂性包括任务构成的复杂性、协调的复杂性和动态的复杂性以及不确定性。为了有效地对决策任务进行建模与求解,一个科学、有效、可行的结构化求解过程显得非常重要,如果将决策任务结构转化成一个层级结构的或树状的子任务图,在分析过程中任务分解、组织、排序,然后被分配给要执行这些任务的人或代理者,则其构成的复杂性就可以通过任务分解过程而降低。

从决策任务的求解方面来看,通常一个决策任务也称决策问题,随机性或者不确定性决策任务中决策人可以从各种可能的行动中进行选择。我们把决策任务中决策人无法控制的所有因素,即凡是能引起决策任务的不确定的因素,称作自然状态。

决策任务求解的要素:

1) 行动集,也称方案集,记作 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$,用来表示决策人可能采用的所有行动的集合,在有观测值时也称策略集或者策略空间,记作 Δ 。

2) 自然状态集,也称为状态空间或参数空间,用来表示所有可能的自然状态,记作 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 。

3) 结果集, $C = \{c_{ij}\}$, 决策任务的各种可能结果 c_{ij} 的集合, c_{ij} 用来表示决策人采取行动 a_i 、在自然状态 θ_j 时的结果, 即 $c_{ij} = c(a_i, \theta_j)$ 。

4) 信息集, 也称样本空间或观测空间、测度空间。在决策时, 为了获取与自然状态 θ 有关的信息以减少其不确定性, 往往需要进行调查研究, 调查所得的结果是随机变量, 记作 x 。信息集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_s\}$ 。

1.2.2 决策任务的分类

R. Descartes 说过, 分类是使研究对象条理化的方法, 应该将试图解决的决策任务, 尽可能按照你便于解决的需要划分许多问题。为了讨论方便, 按照笛卡儿的观点对决策任务进行分类。

1. 按容易区分的因素划分

如果按决策问题涉及的决策人数量, 可以把决策任务分成单人决策和多人决策两类。若按决策问题涉及的目标数量, 可以把决策问题分成单目标决策与多目标决策两类。还可以按决策问题的求解步骤, 把一次性求得问题的解的过程称作单步决策, 而把需要多次求解、根据前次求解的结果或执行的情况再做一次决策的过程称作多步决策。按决策时所掌握的信息的完备程度, 可把决策问题分为确定性决策、风险性决策、严格不确定性决策、模糊决策等。

2. 按决策所要解决问题的性质划分

按决策所要解决问题的性质决策任务可分为战略决策、战术决策(管理决策)与业务决策。

战略决策是具有一定的组织机构、为了自身与变化的环境相适应或谋求发展的决策, 战略决策具有总体性、重大性和目标长远的特点, 通常由组织中的最高管理者负责。战术决策也称管理决策或行政决策, 是为了实现战略而进行的计划、实施、控制与管理的决策。业务决策则是具体部门为了提高工作质量与效益进行的决策。

3. 按决策问题的结构化程度划分

对于决策问题一般用“结构化”这个概念来描述。结构化程度是指对某一过程的环境和规律, 能否用明确的语言(数学的或逻辑学的, 形式的或非形式的)给予清晰的描述(定量的或推理的)。决策问题按结构化程度可划分为结构化问题、半结构化问题与非结构化问题。

决策过程包括确定目标、设计方案及评价方案三个基本过程。结构化问题是指能够描述清楚的问题, 决策过程的三个基本阶段都能使用确定的算法或决策规

则。非结构化问题是指不能够描述清楚，而只能凭直觉或经验作出判断的问题，决策过程的三个基本阶段都不能使用确定的算法或决策规则。半结构化问题是介于结构化问题与非结构化问题两者之间的问题，决策过程的三个基本阶段中一个或两个阶段能够使用确定的算法或决策规则。

图 1.2 为管理决策层次金字塔。在底层的日常控制层，一般遇到的问题是特定的，环境要求是很容易定义的，即所谓的结构化问题，因此可以用精确的数据模型、算法或规则来求解，并且该问题经常是重复的，其决策任务可容易地委托给机器处理。事实上，有较大一部分现有的支持系统是帮助低层的管理者。

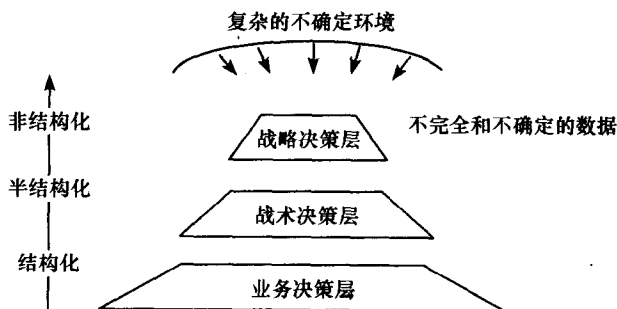


图 1.2 管理决策层次金字塔

随着决策层次的提高，决策问题越来越趋向于半结构化、非结构化，决策者使用的知识变得越来越抽象，使用的数据不能再用低层的数据形式。

对于半结构化问题，问题领域仍然是局部的，仍然可以建立数据模型，可以获取和利用下层的有关记录数据，数字模型在这些水平上是必需的。事实上，许多中层管理者对决策的数据化存在着偏见，当必须设定一个产品的价格时，需精确到几元几分，这也是为什么这些管理者认为，任何支持系统必须能提供精确的数据支持，期望 DSS 能提供数据的原因之一^[4]。

对于高层管理，管理决策问题表现与中低层决策问题有着更大的差异，表现为不同形式，决策问题涉及的范围更大更广了，决策环境多为动态多变的，决策目标更多是模糊和不确定的，当然，涉及的数据是高度浓缩抽象的和定性的。显然，数据模型在这种情况下难以解决问题。在这种情况下，高层管理者需要对决策环境有一个全局的观点，决策者需要通过定性分析、定性推理来抽象系统的特征，把握事物的发展方向，而不太注意细节信息，当然，若决策者对某些关键的因素十分感兴趣，则需细化建立数量模型进行详细的分析。有一点需强调，高层决策者决策的结果是下级决策的行动指南，下层决策者必须遵循上级决策的目标，在此基础上优化本级的决策行为，本级的决策行为又为本级的下级决策提供行动指南。

1.3 决策任务建模与求解的一般方法

决策问题按结构化程度不同分为结构化决策问题、半结构化决策问题,以及非结构化的决策问题。决策任务的建模与求解某种意义上是对决策问题的建模与求解。这样决策任务的建模与求解涉及数学模型方法、智能决策方法以及决策支持系统,特别是智能决策支持系统的研究与发展对半结构化、非结构化的决策问题的建模与求解提供有力的支持。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决策任务建模与求解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,决策任务的建模与求解的决策数学模型也在不断进化。建模与求解的发展过程是其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决策任务建模与求解的智能水平,提高其解决半结构化或非结构化问题的能力。

1.3.1 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,一直是决策任务建模与求解和决策支持系统研究的重要内容。在智能决策支持系统的建模中,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决策任务的建模与求解中,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、非结构化的问题,从而促进了智能决策方法研究的不断深入。

1. 决策数学模型方法

二次大战前夕,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。二次大战期间,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。二战以后,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、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智能决策支持系统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智能决策支持系统的研究取得实质性的进展。

控制论模型也被广泛地应用于决策领域,如哈密尔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于计划、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于管理决策领域^[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、非结构化问题的结构化中;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。

2. 智能决策方法

智能决策支持系统采用机器推理方法实现对决策任务的建模与求解的支持功能,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为有限,人类很多专家的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,是人工智能和决策任务建模与求解支持研究的重要内容。目前,机器学习、软计算方法、数据挖掘、基于范例的推理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。由于递归分类算法是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理论。其本质与传统的智能计算方法不同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(data mining, DM)是一个从大量数据中析取有用的、前所未知的和最终可理解的知识的过。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,使数据挖掘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,通过数据挖掘获得知识,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。数据仓库和数据挖掘直接从历史数据中获得对决策至关重要的信息,又称为数据驱动的决策支持方法。

基于范例推理(case-based reasoning, CBR)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