

面向复杂决策问题的 模型构造与管理方法

CONSTRUCTION AND MANAGEMENT METHOD OF MODEL
ORIENTING COMPLEX DECISION-MAKING PROBLEM

陈雪龙 著

面向复杂决策问题的模型 构造与管理方法

Construction and Management Method of
Model Orienting Complex Decision-Making Problem

陈雪龙 著

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

模型是 DSS 的核心。DSS 的运行是由模型驱动的,模型构造、表示与管理等模型相关理论对问题求解的研究起到至关重要的作用。本书基于对复杂决策问题求解过程的深入理解,探讨了诸如模型构造、表示、存储以及基于模型的复杂问题求解等模型相关理论与方法,其成果一方面促进了复杂问题求解方法论的研究,同时也丰富了决策科学中的模型相关理论。

图书在版编目(CIP)数据

面向复杂决策问题的模型构造与管理方法/陈雪龙著. —
天津:天津大学出版社,2013.7

ISBN 978-7-5618-4749-7

I. ①面… II. ①陈… III. ①决策模型—研究 IV. ①
C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 182650 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 天津大学出版社有限责任公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm×239mm
印 张 7
字 数 145 千
版 次 2013 年 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次
定 价 30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

问题求解是人工智能、管理决策等领域中的一个研究热点。在管理决策领域,主要是基于 DSS 进行问题求解理论的研究。DSS 是利用模型和数据以人机交互方式辅助决策者处理半结构化和非结构化问题的,是支持而不是代替管理者作出判断的,是提高决策的有效性而不是效率的基于计算机的系统。因此,DSS 的目的是辅助决策者解决问题。然而,解决问题必须依靠求解问题的模型,求解问题的数据需求也是由模型确定的。因此,模型是 DSS 的核心,DSS 的运行是由模型驱动的,模型构造、表示与管理等模型相关理论对问题求解的研究起到至关重要的作用。

随着科学技术和经济社会的巨大发展,决策问题变得越发复杂。复杂决策问题所具有的非线性、变结构和变参数等特性对模型相关理论的研究提出了更高的要求。已有的模型相关理论在用于日益复杂化的决策问题求解时,总是存在着这样或那样的不足。基于这一背景,本书在前人研究成果的基础上,对决策支持模型的构造、表示与管理等模型相关理论作了进一步深入的探讨。具体内容包括如下几个方面。

(1)探讨了复杂决策问题求解的一般过程,包括问题定义阶段、建模阶段、问题求解阶段以及解的解释与评价阶段。在复杂决策问题求解一般过程的基础上,给出了复杂决策问题求解过程的形式化描述,并初步提出了复杂决策问题求解过程中涉及的各种知识空间以及知识空间的映射关系。研究了定性知识与定量知识在复杂问题求解过程中的认识不完备性,提出了面向复杂决策问题求解的多元化模型体系,初步阐述了问题结构模型、问题关系描述模型以及问题求解模型的概念。

(2)借鉴 M-S 方法的基本思想,并基于对复杂决策问题求解过程的深入理解,提出了一种定性定量相结合的综合集成模型构造方法。该方法依据面向复杂决策问题求解的多元化模型体系,将模型构造过程分为 3 个阶段,分别对应问题结构模型、问题关系描述模型以及问题求解模型的构造过程。同时,综合运用领域知识,问题知识,模型知识,方法知识以及工具、算子类知识等指导 3 个阶段的构模过程,体现了定性定量相结合的综合集成思想。

(3)借鉴面向对象思想,给出了模型的层次化逻辑表示框架。框架从模型类型、模型实例、模型元件以及模型元素 4 个方面完整地给出了模型的表示方法。模型类型定义了模型分类体系以及建模过程的一般模式;模型实例是问题相关的模型,是特定问题的完整表示,与问题求解过程紧密相关,是模型类型的实例化;模型元件是指将模型实例分解而成的细小的模型单元,每一个模型元件都由模型变量及其相应的操作组成;模型元素包含了模型的所有细节,如变量、参数以及操作函数,它们是构造模型元件的基本对象。基于模型的层次化逻辑表示框架,探讨了基于模型元素的模

型元件的生成方法以及模型元件的集成方法;给出了基于深度优先搜索的模型求解链生成算法以及基于满意策略的模型选择算法。

(4)给出了基于关系型数据库的模型存储与管理层次化结构。该结构由基础模型层、构件模型层以及概念模型层组成。基础模型层实现了模型层次表示框架的模型元素、模型元件、模型实例以及模型类型的物理存储与管理问题,用于支持模型构造者;构件模型层封装了基础模型的细节部分,通过接口向外界提供模型的基本信息,增强了模型的重用性,用于支持 DSS 构造者;概念模型层通过给出决策问题的形式化表示,建立了决策问题与模型构件的联系,用于支持决策者或决策分析人员。

(5)给出了基于 Multi-Agent 的多模型集成问题求解方法中的 Agent 的分类体系,将 Agent 分为管理 Agent、任务 Agent 和模型 Agent。给出了模型 Agent 的构造方法,包括基于 E-R-P 知识表示体系的模型 Agent 构造以及利用 Agent 外壳封装模型软件两种方法。探讨了基于 Multi-Agent 的多模型集成问题求解方法的具体流程。

(6)研究开发了一个模型管理原型系统,给出了原型系统的体系结构框架,并阐述了原型系统各组成部分的功能与实现方法。探讨了该模型管理原型系统在国家“十五”重点科技攻关项目——“面向行政区域的国民经济与社会发展的辅助决策支持技术的应用”中的具体应用。设计与实现了区域的国民经济决策分析模型与组件,其中包括组合时间序列模型、基于神经网络的组合多元仿真模型、空间分布式消费需求分析模型、空间分布式人口仿真模型,并探讨了决策分析问题管理与组件集成元数据管理。通过给出一个国内生产总值预测分析的例子,探讨了运用本模型系统求解复杂决策问题的具体过程,并通过对预测结果的分析,论证了本模型系统的科学性与实用性。探讨了试点区域辅助决策支持技术的应用问题,包括国务院西部大开发辅助决策应用与重庆市试点应用。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金重点项目(91024029)、国家自然科学基金青年项目(71203019)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(11YJC630023)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110041120028)以及国家社会科学基金项目(11BGL091)的资助,在此表示衷心感谢!此外,由衷感谢大连理工大学王延章教授对本书的研究与撰写工作给予的悉心指导。在与王老师交流与研讨过程中,不论是在学术上的,还是在社会问题方面,王老师丰富的学识都令我获益良多。

限于作者的学术研究水平,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

作者
2013 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 选题背景	(1)
1.2 本书研究的意义	(2)
1.3 国内外研究现状分析及评述	(3)
1.4 本书的研究内容	(14)
1.5 本书的主要创新点	(15)
第 2 章 复杂问题求解的一般过程分析	(17)
2.1 复杂问题求解的一般过程	(17)
2.2 复杂问题求解过程的形式化描述	(19)
2.3 定性知识与定量知识的认识不完备性研究	(20)
2.4 面向复杂决策问题求解的多元化模型体系	(21)
2.5 本章小结	(22)
第 3 章 基于实体 - 关系 - 问题知识表示体系的定性定量相结合综合集成建模方法	(23)
3.1 定性定量相结合综合集成建模框架	(23)
3.2 问题结构模型的构造	(24)
3.3 问题关系描述模型的构造	(29)
3.4 问题求解模型的构造	(30)
3.5 构模实例	(31)
3.6 本章小结	(34)
第 4 章 面向复杂决策问题求解的模型管理方法	(35)
4.1 面向对象的模型层次化逻辑表示与管理	(35)
4.2 面向多级用户支持的模型存储与管理	(48)
4.3 本章小结	(57)
第 5 章 基于 Multi-Agent 的多模型集成问题求解方法	(59)
5.1 Agent 分类体系	(59)
5.2 模型 Agent 的构造	(63)
5.3 基于 Multi-Agent 的多模型合作问题求解	(76)
5.4 本章小结	(77)
第 6 章 模型管理原型系统的结构设计及应用	(79)
6.1 模型管理原型系统的体系结构	(79)

6.2 模型管理原型系统在区域国民经济与社会发展辅助决策支持中的应用.....	
.....	(80)
6.3 本章小结	(95)
第7章 结论与展望	(96)
参考文献	(99)

第 1 章 绪论

1.1 选题背景

随着科学技术和经济社会的巨大发展,人们正面临着愈来愈复杂的决策问题。复杂系统所具有的结构非线性、行为的多样性和信息的不完备性无疑给决策者带来很大困难。因此,复杂问题决策方法论的研究,具有十分重要的意义^[1]。

问题的解决必须依靠求解问题的模型,求解问题的数据需求也是由模型确定的。因此,模型是问题求解的核心,问题求解过程是由模型驱动的,模型构造、表示与管理等相关理论对问题求解的研究起到至关重要的作用。

复杂问题的决策是以对复杂系统行为的认识 and 了解为基础的,而复杂系统具有一些与普通线性系统不同的特点,主要表现在下述几个方面。①结构的非线性。复杂决策问题各组成单元之间的联系广泛而密切,构成一个递阶的多层次结构,每一单元的变化都会受到其他单元变化的影响,并引起其他单元的变化。因此,在复杂决策问题求解过程中,普通的线性叠加原理已不适用。②系统的动态性与开放性。系统的动态性导致复杂决策问题在结构、参数和特性等方面的不确定性;而系统的开放性使得复杂决策问题的求解过程与环境密切相关。③知识的不完备性。由于复杂决策问题的非线性和环境的不确定因素的存在,人们对复杂决策问题的认识和掌握的知识总是不完备的。

由于复杂决策问题具有以上特性,以往模型相关理论在描述和求解复杂决策问题时遇到了诸多困难^[2],主要表现在以下几个方面。

1) 主动性

决策是决策主体(即决策者)与决策客体(即决策问题)之间相互作用的过程。因此,在复杂问题决策过程中往往包含主动环节,即决策者对于复杂决策问题的分析与综合。决策者因素至关重要,但是如何建立描述决策者的模型是一个难题。

2) 不确定性

复杂决策问题中包含许多不确定性因素,如模糊性和随机性。这些因素的存在,往往产生复杂决策问题在结构、参数和特性方面的不确定性,难以用确定性模型描述和求解。

3) 不确知性

复杂决策问题产生的原因是由于在现有知识下,所涉及的对象在认识上较为复杂。复杂性存在的原因是由于主体人对客观事物认识不足。在信息不完备、数据不

精确、知识不充分的情况下,难以建立适用的、完整的模型对复杂决策问题进行分析、求解。

复杂决策问题通常是非线性、变结构、变参数的。而以往的模型构造与表示方法对于这类问题的求解,往往采用的是对问题进行简化的方法,如线性化、定常化、降维法,等等。但是,如此简化并不能保证模型的适用性。即使利用简化了的模型可以方便地进行复杂决策问题的分析与综合,所得到的结果也不能可靠地应用于现实世界。正如参考文献[3]所指出的“决定性的方程并不一定能导致决定性的结果”。

本书就是在这种背景下,开展面向复杂决策问题求解的决策模型构造、表示与管理等相关理论的研究,以期对复杂决策问题求解以及模型相关理论及其应用研究作出一些尝试。

1.2 本书研究的意义

关于复杂性的研究,开始于20世纪80年代。当时,不同国家不同学科的研究人员不约而同地开始从新的角度来看待自然界和人类社会中一些复杂的现象,并由此产生了21世纪一门新的交叉学科——复杂性科学(Complexity Science)。它要探讨的是复杂系统中,各组成部分之间相互作用所突现(emergence)出的特性。

复杂性科学研究的前沿阵地是美国新墨西哥的圣菲研究所(Santa Fe Institute, SFI)。这里汇集了一批不同领域的科学家,他们通过对不同学科之间关系的深入探讨,试图找出各种不同的系统之间的一些共性,并称之为“Complexity”。其早期的主要学术观点认为复杂系统是由大量相互作用的单元构成的系统,基本思路是复杂适应性系统理论与基于多主体的计算机仿真与模拟。复杂性的研究内容则是研究复杂系统如何在一定的规则下产生有组织的行为以及系统的进化所突现出来的行为。近年来,SFI的一些科学家如Holland、Arthur以及Kauffman等,拓宽了复杂系统的研究内容,把兴趣逐步转移到对作为复杂自适应系统经济(Economy as An Evolving Complex System)、混沌边缘(Edge of Chaos)、人工生命(Artificial Life)和系统进化(Evolution of System)的研究^[46]。圣菲研究所的工作对传统的经济学、社会学、生物学产生了巨大的影响。

以著名科学家钱学森院士为首的学者在20世纪90年代初期提出了研究开放的复杂巨系统的方法论——“从定性到定量综合集成法”,简称集成(Meta-Synthesis, M-S)^[7]。这个方法实质是专家体系、统计数据和信息资料相结合,构成一个高度智能化的人机结合系统。综合集成分析方法是定性分析与定量分析的集成,更是人类智慧与计算机高性能的有机结合。1992年钱学森院士又提出从定性到定量集成研讨厅体系(Hall for Workshop on Meta-Synthetic Engineering, HWMSE)的思想和方法,实现了人机结合的大成智慧工程(Meta-Synthetic Engineering)^[8]。

西方的复杂性研究,在方法上有所创新,但在方法论上没有突破还原论方法的束

缚,所以陷入了困惑的境地^[9]。而钱学森院士提出的 M-S 方法更强调包括人脑中知识在内的系统整体性,是方法论上的创新,是研究复杂巨系统和复杂性问题的方法论。因此,同西方的同类研究相比,钱学森院士的思想更具有超前性。

虽然众多的复杂决策问题求解方法自 20 世纪 80 年代以来被广泛提出,但面向复杂问题求解的模型构造、表示、存储以及基于模型的复杂问题求解等模型相关理论仍难见诸于学术性刊物。本书基于对复杂决策问题求解过程的深入理解,深入探讨了诸如模型构造、表示、存储以及基于模型的复杂问题求解等模型相关理论,既促进了复杂问题求解方法论的研究,也丰富了决策科学中的模型相关理论。这便是本书的研究意义所在。

1.3 国内外研究现状分析及评述

1.3.1 复杂决策问题求解的国内外研究现状分析及评述

1. 决策问题的复杂性研究

Keen 和 Morton 将决策问题分类为结构化决策问题、半结构化决策问题和非结构化决策问题。结合这种分类,肖人彬等^[10]明确指出了 3 种决策问题与求解模型之间的关系。他们认为,结构化决策问题可以利用或可以建立适当的模型产生决策方案,并且可以从这些方案中得到最优答案;半结构化决策问题也可以通过建立适当的模型得到决策方案,但不可能从这些方案中得到最优答案;非结构化决策问题不可能通过建立适当的模型得到决策方案。同时指出,半结构化与非结构化问题不易构造最优解的模型,但也隐含着经过问题形式化过程,将其结构化,则可构造出解决问题的满意解的模型来。

决策问题的复杂性体现在决策问题的不良结构。Smith^[11]认为问题目标的不确定是问题之所以有不良结构或非结构的主要原因;Simon^[12]认为问题结构与问题的可表示性有关,弱结构问题不能像良结构问题一样得到精确的表示,主要是因为问题的可能状态及状态间的变换是未知的。Smith 总结这些观点后,提出了问题结构度的概念,认为问题结构度是问题求解主体求解问题的知识充分性度量。充分理解这些关于问题结构化的观点,对于任何弱结构或非结构问题,可以通过对这些问题的求解知识的不断学习,掌握并运用这些知识,则弱结构或非结构问题的问题结构度可得到有效提高。这一点说明,对问题的充分理解在于掌握问题的知识丰富与否;构造与问题领域有关的丰富的知识库,有助于复杂决策问题的形式化。

2. 决策问题的形式化研究

问题形式化是指确定个人、群体或组织问题域中所包含的变量及变量之间关系的过程^[13]。问题形式化是问题求解的一个重要阶段,目的是正确理解并准确描述组织面临的真正问题。

一般来讲,问题形式化过程主要包括问题识别、问题定义和问题结构化3个阶段^[2]。通常问题形式化过程是一个反复的过程,这3个阶段的反复利用才能将实际问题良好地形式化。

Smith^[11]还对影响问题求解的问题结构进行了总结,他划分了3类问题结构概念化。①目标状态概念化。这一问题结构概念化观点认为,问题目标的不确定是问题之所以弱结构或非结构的主要原因。②知识概念化。Mason 和 Mitroff^[14]等人认为问题的非结构性主要是由于求解主体对问题的相关状态及状态转换的不熟悉,非结构问题的求解主体缺乏良结构问题求解主体所拥有知识。③过程概念化^[15]。问题之所以非结构,是由于求解主体缺乏有效的求解程序。

Volkema^[16]对影响问题形式化的因素进行了总结,得出了4个影响问题形式化的因素:问题复杂性,问题形式化主体的能力和经验,问题发生的环境,形式化主体所采用的问题形式化过程。

3. 复杂决策问题求解方法研究

美国人工智能的先驱 Simon H. A. 提出通过人工智能和认知科学的研究,形成用符号表示、启发式编程、逻辑推理方法,对人在求解复杂决策问题中思维过程的模拟^[17]。20世纪90年代以来,模拟人类思维过程解决复杂决策问题这一构思与现代信息技术这一成就结合起来,将人的智慧与高性能计算机有机结合起来,从定性到定量相结合的综合集成研究方法应运而生。钱学森等科学家基于多年来在系统科学、思维科学和人工智能等学科的研究成果,首先提出了开放的复杂巨系统的概念,并从方法论高度系统化地阐述了这一新学科的目标和意义。明确指出,从定性到定量的综合集成方法(Metasynthesis)是研究和处理开放的复杂巨系统问题的唯一可行且有效的方法^[7,18]。戴汝为从人工智能和知识工程原理出发,认为综合各种模型的知识系统可为从定性到定量的综合集成方法提供强有力的支持^[19]。

1.3.2 模型构造的国内外研究现状分析及评述

在国外,Daniel R. D.^[20]将模型描述方法划分为3个流派:结构化构模^[21]、逻辑构模^[22]和图文法^[23]。此外还有几十种建模语言,如GAMS^[24]、AMPL^[25]和SML^[26]等。

结构化构模由 Geoffrion^[27-28]在1987年提出,并实现了一个结构化构模环境FW/SM^[29],建立了结构化构模语言SML的结构。这种模型描述方法是把模型抽象为基础层、聚类层和模式层3个层次(相应的基础图、聚类图和模式图)。基础图反映了具体问题的细节,与模型数据直接相联;聚类图把具有相似性的实体、相约束条件进行分类;模式图提供对模型正文描述的结构。这种方法能简化问题描述规模,能够识别模型的基本组成成分以及这些成分之间的关系。但是这种方法模型部件与数据部件特性不匹配,为了获得构模所需的输入数据,必须借助外部应用程序来实现。

对于逻辑构模,Bonczek、Holsapple 和 Whinston^[30]用一阶谓词演算和归结过程描

述模型; Dutta 和 Basu^[31] 利用一阶逻辑描述模型间的输入输出关系。Bonczek 和 Dutta 等提出的上述两种模型描述方法, 将谓词分为两种: 领域谓词 (Domain Predicate) 和模型谓词 (Model Predicate)。领域谓词用于表示领域知识并有一个谓词固定解释, 模型谓词用于定义模型输入输出接口。这种方法的优点是将领域知识引入模型管理, 使用户不必清楚如何构模以及如何为每个模型输入端口提供参数, 减轻了用户负担。但领域知识若是在一个范围较宽领域内, 则知识组合过于庞大, 推理效率低下。因此, 该方法适用于在较窄领域内建立规模小的知识库。此外, Elam、Henderson 和 Miller^[32] 利用语义继承网描述模型结构; Liang^[33-34] 提出用 AND/OR 图描述复合模型和基于图形的推现过程; Dolk 和 Konsynski^[35] 使用把框架和一阶谓词演算集成的概念描述优化模型; Yeom K. 和 Lee J. K.^[36] 定义了 11 种逻辑操作 (Logical Operators), 并以此高水平地表示了整数规划模型, 为整数规划模型构造奠定了基础。

关于图文法, 人们更倾向于用图形描述模型, 这种描述方式能使用户对模型结构有更加直观清晰的了解。但是, 模型中的有些关系是无法用图形来描述的, 而且即使是一个稍微复杂的模型, 用图形描述也显得相当庞大。同时也存在着计算机存贮与处理速度上的技术问题。因此, 该方法不适用于构造复杂模型。

此外, Binbasioglu 和 Jarke^[37] 使用框架表示特殊的领域知识, 并借此描述优化模型; Lenard^[38]、Le 和 Sharda^[39] 提出用面向对象的程序设计概念方法构造模型; Liang^[40] 提出将类比推理和基于 CASE 的学习机制自动构模, 这种方法可以帮助用户学习改善构模知识, 应用构模经验构造新的模型; Michael. J. Shaw^[41] 讨论了机器学习在模型自动构造中的作用。Krishman^[42] 开发了一个基于知识的线性规划模型构造设计工具——PDM, 该工具主要用来帮助非专家用户构造产品线性规划模型; 韩国现代科技研究所智能信息系统实验室开发的 UNIK (UNified Knowledge) 模型构造工具, 可在语义层次构造, 而且也可以扩展到整数规划和非线性规划等问题^[43-48]。

在国内, 这方面研究比较多的有哈尔滨工业大学管理学院^[49] 在其建立的面向对象的模型管理系统提出了基于类的建模支持系统; 清华大学经管学院^[50] 研究了基于面向对象方法的模型自动生成问题; 华中理工大学^[51] 提出了一种基于框架和算子的模型知识表示; 西安电子科技大学经管学院^[52] 也对单元模型和复合模型的智能生成问题作了深入研究; 南京大学开发的 UNIDSS^[53]、国防科技大学研制的 GFKD-DSS^[54] 都提供了构模语言; 大连理工大学系统工程研究所^[55] 建立了一个集成结构建模框架; 西安交通大学系统工程研究所^[56] 在提出问题—模型—求解递阶分层法中也对模型构造问题进行了研究; 东南大学经济管理学院^[57] 提出一种形式化的建模方法; 华中理工大学系统工程研究所^[58] 在建立的社会经济发展战略决策支持系统中对智能决策支持系统中的建模问题进行了探讨; 天津大学系统工程研究所运用改进的解释结构建模方法建立了“区域 Ec-R-Ev 复合系统的结构模型”^[59]; 华中理工大学管理学院提出的 SCM 建模理论, 从系统集成的观点出发, 提出基于多 Agent 集成的供应链模式和集成的动态建模思想以及基于该思想的建模方法^[60]。

1.3.3 模型管理的国内外研究现状分析及评述

模型管理包含模型的表示、存储、选择、复合与集成等多方面的内容。

1. 模型表示研究

常见的模型表示方法及其优缺点如下。

1) 模型的子程序表示

这是一种传统的、实用的模型表示。该方法将模型作为计算机的子程序进行存储。模型是一个具有自己的输入、输出、执行次序的完整的程序。子程序和主程序所需的数据和参量值是通过参数表加以传递的,允许主程序和子程序共同存取相同的数据。

优点:把模型视为子程序是自然的。模型表现为子程序,人们通过输入一些数据进行分析和处理,然后给用户一个回答。因此,模型应是能执行的,是完成一定任务的子程序。

缺点:模型的子程序表示不利于提出统一的模型框架,每个模型实际上是无序堆放,很难反映各模型间的逻辑关系,导致模型管理缺乏理论基础。

2) 模型的宏命令表示

这种模型表示由美国得克萨斯大学的 S. Y. Wang^[61-63]等人在 20 世纪 80 年代初提出。他们认为,模型是一系列用来解决问题的原始指令。

优点:简单、易于实现。许多 DSS 都是以这样的方式实现的,如 Magic/ROC^[62]等。

缺点:①它无法支持模型自动建立;②无法将模型和方法分离,对一个模型的运算只能采用一种方法,否则将增加系统的冗余量;③模型中的重要组成部分——变量转换关系、约束条件没有得到很好的表示。

3) 模型的谓词表示

Bonczek 等人^[64]在 1981 年提出用一阶谓词表示模型,Dutta、Basu^[31]在 1984 年进一步发展和完善了这种表示方法,Kersten 等人^[65]在 1990 年提出用一阶谓词的子集——产生式规则来表示模型。

优点:模型的谓词表示比模型的宏命令表示大大提高了一步,因为它实现了解决用户问题的模型的自动建立过程,从而使决策者免于陷入复杂的编程工作。

缺点:模型的谓词表示在其他方面与宏命令模型表示相差无几,并没有取得显著进展。

4) 模型的模型抽象表示

Dolk 和 Konsynski^[35]用一种他们称之为模型抽象(Model Abstraction)的结构来表示模型。它是人工智能中众多知识表示方法(如逻辑、规则、语义网络、框架等)的综合产物,它与框架更为接近。模型抽象由数据实体(Data Objects)、过程(Procedures)和断言(Assertions)3 部分组成。

优点:模型的模型抽象表示实现了模型、方法和数据的独立存放,解决了模型和方法难以分离的问题。

缺点:它使模型之间的依赖性太强,给模型管理带来不便;要使这种方法能完全支持自动建模,还有一定距离。

5) 模型的框架表示

Binbasioglu 和 Jarke^[37]在生产计划和资源分配领域使用框架表示商业和线性规划知识。框架系统非常适合在分级组织中表示模型。框架的另一个应用是 AIMM (Agent for Intelligent Model Management)^[66],其中存储了关于模型的信息和怎样使用模型的信息,也存储了模型怎样转换成其他模型或不同模型实例的信息。

优点:①其数据结构是以概念对象中心表现形式为基础的,能提供组织管理大规模复杂知识的基本视点;②框架为独立的知识单元,模块性好,易于知识更新。

缺点:①知识表现的多样性,给知识间的整体性和安全性检查带来困难;②框架中的附加过程会降低知识库系统的清晰度。

6) 面向对象的模型表示

Lenard^[38]于1987年提出了面向对象的模型管理。参考文献[67]中把IDSS中的基本模型对象类分为两大类:一类是知识模型类,另一类是数学模型类(包括算法模型类和优化模型类)。参考文献[68]中运用面向对象概念分析了传统的知识表示方法,力图将知识表示向深层次推进。

优点:面向对象技术在模型管理领域得到了广泛研究;它是一种很好的模型组织形式,它能反映模型的自然层次结构,不同层次上的模型对问题的刻画程度不同,这是一种非常有前途的方案。

2. 模型存储研究

模型在计算机中的存储与管理方式随着计算机和DSS的发展而不断地发展。归纳起来,模型的表示方法主要有以下3种。

1) 用子程序表示存储

这是一种传统的模型表示法,模型作为一个程序段,由主程序调用。但不是具有自己输入输出和执行顺序的完整程序,其使用的参数和约束值由主程序中的全局变量引入,调用较为方便,不存在模型与算法、变量以及数据之间的衔接问题,实现起来比较简单。

2) 以语句方式存储

利用这种方式存储模型,需事先定义一套具有较强运算能力的构模语言。一般的构模语言都具有较容易描述模型框架、上下文以及容易实现输出用的报表、图形等特点,同时必须具有更强的运算符。以子程序表示的模型也由系列语句组成,但它是经过编译的,用户在求解过程中,不能按需要中断求解过程,而由语句表示的模型用户在使用过程中可以随时中断,以便模型交互。

3) 以数据方式存储

对于有些模型而言,可以将模型数据化,利用数据库来存储模型,使用时将数据库中的各个域拼装和组合,还原成模型。在这种表示方法中,模型被描述为一组参数集合与表示模型结构特征的数据集合的关系框架,例如对于图形、图像模型大都采用数据方式存储。

对于子程序方式,模型的数据与方法混杂在一起,其修改、维护不太方便,修改模型必须修改程序,而且模型的通用性与可重用性不好,这样就增加了建立模型和使用模型的难度。语句方式与子程序方式在本质上比较类似,因此也存在维护困难以及缺乏通用性等困难。而数据方式由于关系型数据库理论与应用的发展,目前是应用比较多的一种方式。当 Will^[69], Sprague 和 Watson^[70] 在他们的文章里阐述了模型管理系统与数据库管理系统功能的相似性之后,出现了很多借鉴数据库管理系统及其方法的模型管理系统^[71-72]。例如, Blanning^[73] 和 Choobineh^[74] 给出了关系模型方法; Dolk^[75] 扩展了关系 IRDS^[76], 用以表示结构化模型; Desai^[77] 利用可扩展的数据库系统——数据库管理系统的特例,存储与操纵模型及其数据。

3. 复杂问题求解模型系统及其智能化研究

人工智能技术的发展推动了 DSS 的智能化,人工智能在面向复杂问题求解的模型系统中也得到了应用,主要表现在模型的自动化推荐与选择、模型的组合或集成。

1) 模型的自动化选择

每种模型都有自己的特点和应用范围,选择适合具体应用问题的模型对于非专业人员来说是比较困难的,因此,利用人工智能技术的模型自动选择可以帮助他们解决这一难题。Collopy 等^[78] 和 Arinze^[79] 分别对时间序列模型的选择原则构造规则库,依据时间序列的数据特征、问题特征自动选择时间序列外推模型。王亮等^[80-82] 研究与开发了预测模型自动选择专家系统。

2) 模型集成

模型集成作为模型管理的一种扩展,是指在原有模型库系统的基础上,通过组合现有的模型,对一个相对复杂的系统进行综合系统建模和问题求解的过程^[83]。目前,对模型集成的研究主要集中在模型表达、模型集成方式和模型集成平台及其支撑环境几个主要方面。模型集成通常可分为深度集成(Deep Integration)和功能集成(Functional Integration)两种方式^[84]。前者指的是合并两个或两个以上的模型以创立一个新的模型,而后者指的是模型求解过程的连接和功能的组合。目前大多集中于模型功能集成方式,因为这种方式简单、灵活且易于实现。Bhargava 等人设计的 Decision Net^[85] 和 Muller 等人开发的 MMM^[86] 都是基于模型功能集成方式的模型集成平台。

模型集成应以综合系统建模和问题求解为目标,以网络技术和智能技术为依托,这是模型集成发展的必然趋势。参考文献[87]基于此观点,将模型集成看成不同层次的知识处理过程,提出了一种基于逆向推理策略的模型集成方法,它以问题的目标

作为知识推理的起点,不断地匹配和扩展,直到所有匹配成功的模型的输入均为事实数据,最终生成一棵模型集成与/或树。

作为人工智能和计算机领域内的一大研究热点,Agent 技术为构建模型、模型自动化选择和模型集成的发展提供了新的契机,但是目前应用 Agent 技术来实现复杂问题求解的模型系统的研究并不多。马里兰大学开发了集成建模工具箱(Integrating Modeling Toolkit, IMT)。IMT 是一个功能全面并可以扩展的集成建模环境,可定义并使用 IMT 里的模型组件,将多 Agent 应用于产品计划模型构建中。黄跃进等在其空间决策支持系统的构建中设计了一个基于 Agent 的模型生成、运行、修改框架结构^[88]。参考文献[89]构建了基于 Agent 的运行于网络环境的模型系统,系统由多个运行于网络环境的 Agent 组成,适合需要在网络环境进行任务求解的情况。在这些研究中都没有对模型的 Agent 具体实现过程进行深入研究,使用 Agent 技术来实现复杂问题求解的模型系统还有待进一步研究。

1.3.4 知识表示的国内外研究现状分析及评述

无论是复杂问题求解,还是模型的构造、表示,都涉及大量的知识,包括领域知识、问题知识与模型知识。如何灵活、高效地表示与管理这些知识,是复杂问题求解以及模型构造、表示必须考虑的问题,这便引出了知识表示的问题。

知识表示是人工智能、专家系统和知识工程^[90-91]中的一个最基本的研究课题,到目前为止已有很多种知识表示方法被提出并得到应用。其中应用比较广泛的知识表示方法有如下几种。

(1)命题逻辑与一阶谓词逻辑。命题逻辑包括语法、语义及定理证明,可以把事实或关系表示出来。加入量词及变元,一阶谓词更丰富了表达及推理方法;不少非结构性空间知识,都可以用逻辑表示。

(2)产生式系统。在产生式系统架构下,知识可组织成一树状结构,而推理是一连锁的“若—则”规则^[92-94],整个产生式系统就是一个“若—则”规则序列集,它包括一个工作存储器、一个规则库及一个解释器,其主要推理形式有正向和逆向推理,很适合于表示非结构性空间知识及推理。

(3)语义网络。有异于逻辑及产生式系统,语义网络并不将知识块独立存储,反之,它是将知识组织成一个有层次的相互关联的点弧结构。点可以代表事实、事件、情况、行动、概念、集、个体、命题、步骤等,而弧则是点之间的关系。知识的检索与推理便变成了点间路径的寻找或网上的模式匹配^[95-96]。语义网络特别用于空间关系的描述。

(4)框架。类似于语义网络,框架^[97-99]是一个层状知识表示架构。它可以看作是一个有内在结构的复杂语义网络。知识库就是由一组框架组成的。每一个框架有一个框架名,表示所存知识的内容。下一层则是若干个槽,显示该框架的具体性质。槽的取值称为槽值,表示槽取代表特性的值。非结构性空间知识可用此方法有效地

表示。框架推理是以继承为主,如槽值的继承;以匹配为辅,如槽及槽值的匹配。

(5) 面向对象系统^[100-101]。在面向对象系统中,知识表示有一个明确定义的结构,知识的抽象、封装及分块被有效地处理。在面向对象构架下,现实世界可表示为一个层状对象集合,对象间由一些对话协议联系。每个对象是一个独立个体,并有其属性及方法。下层对象的属性及方法除了继承其所属上层对象的属性及方法外,还可具有其独有的属性及方法。此构架很适合作为空间分类研究,更是一种有效的非结构性空间知识表示方法。

(6) 本体 (Ontology)^[102-104]。本体源于哲学思想,在计算机及相关领域,本体指应用本体论的基本方法,通过概念分析、建模,把现实世界中的实体抽象为一组概念与概念之间的关系的理论和方法。基于本体的知识表示很好地解决了知识的共享与集成。

但是,上述的知识表示方法在应用到决策活动全过程支持的过程中,都存在一些问题,主要有以下两点。

(1) 逻辑、产生式系统、语义网络与框架主体上来源于人工智能有关的具体领域,或者说是来源于某一领域、某一类问题的求解实践中,因此存在问题领域局限性(即只面向特定问题的解决)、通用性差、自成体系、难以进行综合运用以及不便于程序支持的知识获取等问题。

(2) 面向对象系统和本体虽然较好地解决了上述问题,但是它们只解决了知识表示层面的问题,但对于如何有效地应用知识指导决策问题的建模与求解,并没有给出很好的解决方案,因此没能很好地实现模型构造、表示、存储以及基于模型的复杂问题求解的支持。

因此本书采用了导师王延章教授提出的实体-关系-问题表示体系^[105],即 E-R-P (Entities-Relations-Problems) 知识表示体系,用以支持模型构造、表示、存储以及基于模型的复杂问题求解。下面简要回顾一下 E-R-P 知识表示体系。

1.3.5 实体-关系-问题知识表示体系

按哲学观点,一个客观事物总是可分的,可以分成单元、元素或下一个层次的事物,这些单元、元素、下一层次事物简称为子事物,是一种客观实在,是构成客观事物的内在活动因素。这些客观实在称为实体 (Entities)。

从事物普遍联系观点,构成一个客观事物的所有实体都是相互联系的。这种联系体现在实体之间相互依赖、相互作用的关系 (Relations)。任一个客观事物的运动或任一领域的知识,都可以分解成实体和关系加以描述。这样,一个客观事物系统 S 的知识就可以用实体集 E 和关系集 R 来描述。

而问题 (Problems) 是人的主观愿望或要求与客观事物系统状态的差异,因此,问题集 P 是关于人们主观目标(目标的概念来源于客观事物系统)和客观事物系统的集合。