

# 智能运筹学与动态系统实时优化控制

胡祥培, 许智超, 杨德礼

(大连理工大学系统工程研究所, 大连 116023)

**摘要:** 针对传统的运筹学理论难以处理动态优化问题这一缺陷, 将运筹学与人工智能及知识工程等学科理论交叉融合, 提出创立智能运筹学这一新学科的构想, 阐述了智能运筹学理论处理动态问题的原理和新思路, 给出了动态系统实时优化控制 Multi-agent 系统的框架结构, 并较深入地研究了智能运筹学理论体系中的问题知识表示、模型知识表示、基于事例学习的建模方法与建模支持系统等理论和实践问题。本项研究是运筹学与人工智能、知识工程等学科的交叉与渗透, 为运筹学理论解决动态优化问题开辟了途径。

**关键词:** 运筹学; 人工智能; 动态系统; 实时控制

**中图分类号:** TP182; O22      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2002)04-0013-09

## 0 引言

传统的运筹学理论解决静态的优化问题十分有效, 但对动态问题的优化调控却力不从心。运用运筹学理论解决实际问题, 需要完成从实际问题数学模型求解程序等建模和模型求解的操作, 如果实际问题发生变化, 就会引起数学模型的变化。模型求解程序的变化这种连锁反应对于动态问题, 这种连锁反应是时时刻刻都在发生的, 因而传统的运筹学理论解决动态的优化问题无能为力, 其根源在于传统的运筹学理论缺乏基于知识的推理机制和处理动态问题的自适应能力。解决这一问题的根本出路在于: 将人工智能和知识工程理论引入运筹学, 为传统的运筹学理论注入了处理动态优化问题的机制和能力, 实现由计算机自动识别实际问题、自动生成数学模型、自动求解模型获得最优控制策略、运用最优控制策略调控问题的进程。实现这一过程需要解决的理论问题有: (1) 问题的知识表示; (2) 模型的知识表示; (3) 基于知识的建模方法与智能化的建模支持系统。20世纪80年代以来, 国内外学者围绕上述

问题开展了众多前沿性的研究, 取得了较大的研究进展:

对于第1个问题, 具有代表性的学术观点和方法有: 文[1]提出的以实体(entity)—属性(attribute)—子属性(subattribute)所构成的层次化体系表示问题的方法, 文[2]提出的基于语义模型的问题描述语言 SM-IPDL 等, 这些基于知识的问题表示方法与人们习惯的自然语言表示法相比, 在问题可辨识性、问题描述结构的可扩性、信息搜索与处理效率、知识推理效率等方面确有较大进步, 但它们的可操作性与问题输入的人机界面有待于进一步改进, 辨识与推理效率也需进一步提高, 目前它们还难以恰当描述运筹学实际应用问题中涉及的图表及函数等符号型知识。对于第2个问题, 主要成果和方法有: Phelps 的类比表示(analogue representation)与联想网络<sup>[3]</sup>、Dolk 的模型抽象(model abstraction)表示法、Sklar 的继承网络及 Hong 的继承与例示表示法、王红卫的基于框架和算子的模型知识表示法、于晓迪的结构模型表示法等, 它们在模型要素的独立性、关联性、推理能力与符号化知识的处理方面

收稿日期: 2001-01-17; 修订日期: 2002-04-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70171040、79770022和79400006); 中国博士后基金资助项目(第20批); 高等学校博士点基金资助项目(20010141025); 辽宁省自然科学基金资助项目(2001101074); 教育部“高等学校骨干教师资助计划”

作者简介: 胡祥培(1962-), 男, 安徽黄山人, 博士, 教授, 博士生导师

已取得了很大进展,但它们还难以恰当描述具有动态状态转移特征的运筹学规划模型。为此,作者近几年以颇具代表性的动态规划模型为研究对象,引入人工智能状态空间理论,提出了动态规划模型知识表示的新方法—— $M_{\phi}$ 表示法<sup>[10]</sup>,较好地解决了状态转移方程、递推方程等动态规划模型要素的知识表示问题,并使计算机求解该类模型具备了基于知识的推理能力,为模型生成的集成化、模型求解的智能化创造了条件。当然这一模型知识表示法还需要进一步完善,并扩展到运筹学的其它分支,形成基于状态空间理论的运筹学规划模型(运筹学中规划论的数学模型简称为运筹学规划模型)的知识表示体系。对于第3个问题,早期的研究工作主要集中在利用建模知识库中拥有的领域知识(domain knowledge)演绎推理生成相应的模型,如结构化建模方法、基于图框架的模型集成与选择方法、基于Petri网的建模方法等等,作者也曾采用模型演绎生成方法设计建立了动态规划模型的建模支持系统,并初步实现较简单的投资决策及服务网点布局问题的建模过程,但是,模型演绎生成方法存在的缺陷是过分依赖于领域知识而忽视过去求解类似问题的经验,不仅使建模知识库变得十分庞大和复杂,而且建模工作的智能化水平较低。近几年,国外学者已将机器学习引入建模过程,开展了基于事例学习(case-based learning)的建模方法研究,代表性的成果见文[1, 4-6],并已初步形成了基于事例学习与推理的建模机制及其理论框架体系;国内学者近几年也已开始基于机器学习的建模方法研究<sup>[7,8]</sup>,但目前还未发现运筹学领域应用问题的基于事例学习的建模研究成果。这种基于事例学习的建模方法注重运用以往求解类似问题的经验,并以此来指导和改进建模操作,比较接近于人的认知思维过程。把它引入运筹学问题的建模操作,将有助于改进知识库的结构并提高建模的智能化水平。当然,由于运筹学问题的问题描述方式和模型表示方法具有特殊性,并且其建模方法与它们之间又存在依赖性,要建立运筹学问题的基于事例学习的建模理论与方法,仍需结合问题的性质,在事例库的建造与管理、问题与事例的类似性分析、基于事例的推理与学习、模型的生成与转化理论等方面进行深入研究,这些都是需要着手解决

的

将运筹学与人工智能等学科理论进行有机结合与相互渗透,可以形成一门新学科——智能运筹学,这是一个极有理论价值和广阔应用前景的研究方向。它为传统的运筹学理论注入了处理动态优化问题的机制和能力,使运筹学由过去的仅能解决静态问题变为可以解决动态问题,它必将大大拓展运筹学的应用领域。智能运筹学与传统运筹学的显著区别在于“智能”,这种“智能”体现在问题处理与控制的全过程,它要在问题描述、模型生成、模型求解和最优控制策略的获取、问题进程的控制等环节全面注入“智能”,形成一种新的理论体系。当然,智能运筹学这一新学科的发展至今仍处于萌芽状态,有待于研究工作的深化和升华。为此,作者结合近年来的研究工作,对运筹学知识化、智能化理论研究的进展和应用成果进行初步总结。

## 1 智能运筹学理论处理动态问题的新思路

动态问题所处的环境或条件是时时刻刻都在发生变化,当这种变化超过一定的范围,就形成了另一个问题。对于最新出现的新问题,如何快速及时地获得最优控制策略去控制问题的进程,这是处理动态问题的关键环节。作者结合相关问题的研究,提出了由“实际应用问题—知识化信息模型—知识化数学模型—知识化求解模型—最优控制策略”的模型生成与转化理论及其解决动态问题的新思路。这里的知识化信息模型是一种基于知识的描述相应问题原始信息的语言模型;知识化数学模型是一种基于知识的描述数学模型有关数据、符号和算法等知识的数据结构;知识化求解模型是一种基于知识的求解模型的可执行程序。基于智能运筹学理论的处理动态问题的实时优化调控过程如图1所示。

处理动态问题的调控过程,可用图2所示的Multi-Agent智能控制系统实现。

基于智能运筹学理论的处理动态问题的新思路,应用前景十分广阔,它不仅在动态系统的实时优化控制领域将发挥重要作用,如生产过程的优

化控制与调度、机器人行走路线的规划、电子商务物流配送的实时优化调度等, 而且还可以应用于投资决策及人力物力等资源的优化配置问题、计

划与规划问题、生产存储问题等等, 并在 C M S、F M S 中也有较广阔的应用前景

客  
观  
条  
件  
的  
变  
化

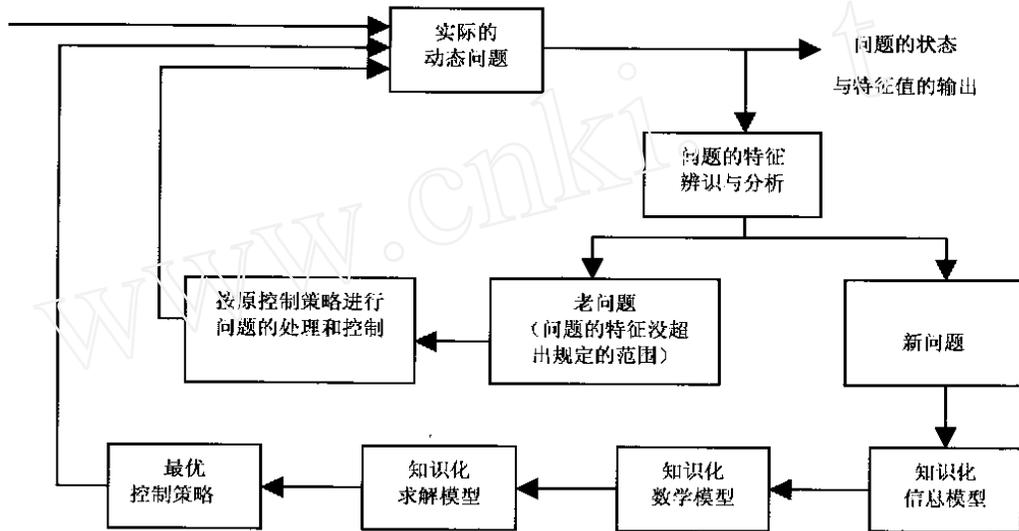


图 1 基于智能运筹学理论的处理动态问题的实时优化调控过程图

客  
观  
环  
境  
和  
条  
件  
的  
变  
化

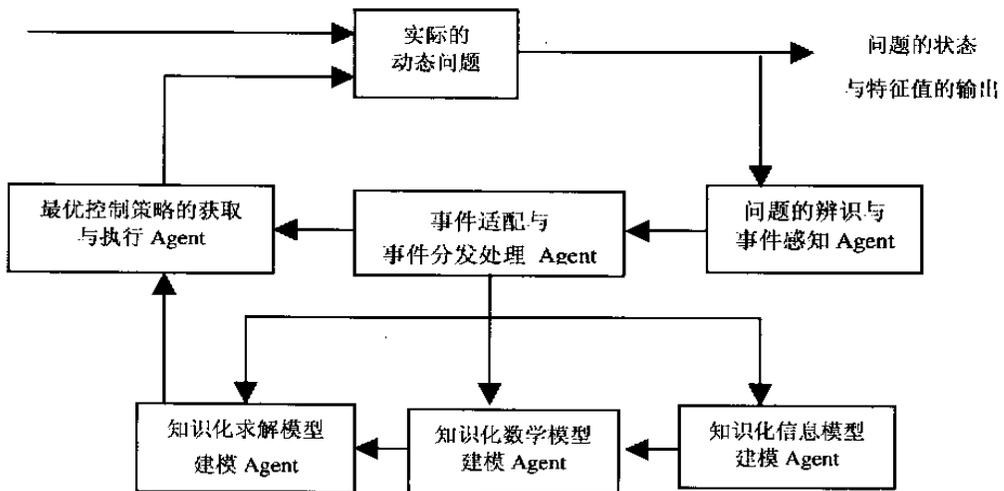


图 2 基于智能运筹学理论的动态问题智能控制 Multi-agent 系统结构框图

## 2 智能运筹学的知识表示理论体系与建模方法

智能运筹学的知识表示理论分为问题的知识表示和模型的知识表示两部分。这里涉及到知识表示的概念, 所谓知识表示是一组用于描述知识

对象的语法和语义上的约定。问题的知识表示就是以实际问题为知识对象, 将实际问题的有关知识(数据或符号化知识)在知识系统的全局数据库 GDB 和规则库 RB 等结构上所进行的映射; 模型的知识表示就是以数学模型为知识对象, 将数学模型的有关知识(数据或符号化知识)在知识系统的全局数据库 GDB 和规则库 RB 等结构上所进行的映射。通俗地说问题的知识表示(或模型的知

识表示)就是用人工智能与知识工程的知识表示理论对实际问题(或数学模型)所进行的描述 下面结合作者近几年的研究成果,阐述运筹学问题及其数学模型的知识表示方法,以及基于事例学习的建模方法:

### 2 1 运筹学数学模型的知识表示

运筹学包含规划论、图论、排队论、存储论、对策论及决策论等主要分支 运筹学数学模型也分为线性规划模型、整数规划模型、目标规划模型、动态规划模型、非线性规划模型、排队模型及存储模型等(其中前5种数学模型都属于运筹学规划论所研究的模型,将它们统称为运筹学规划模型),由于这些模型的结构和特征存在较大的差异,其知识表示方式也有一定的差别 本文主要针对运筹学规划模型,提出规划模型的知识表示理论体系,其它模型的知识表示方法还有待于深入研究

#### 2 1 1 动态规划模型的知识表示

无论是离散型动态规划模型还是连续型动态规划模型,它们都由7部分构成<sup>[9]</sup>: 阶段的划分; 各阶段的状态变量; 各阶段的决策变量; 允许决策集合; 状态转移方程; 递推关系式(递推方程); 边界条件 现以例1所示的动态规划实际应用问题为例,阐述其公式化数学模型的构成

**例1 投资决策问题:** 某公司准备投入3千万元资金对所属3个工厂进行技术改造,投资金额分为0,1,2,3千万元4种额度,经测算得知,每个工厂的投资额与技术改造之后每年新增的效益如下表所示(表1):

表1 投资与年新增效益表 单位:千万元

工厂	投 资 额			
	0	1	2	3
工厂1	0	0.5	1.2	2.0
工厂2	0	0.4	1.3	2.2
工厂3	0	0.6	1.4	1.8

问如何在3个工厂之间进行投资分配,使得总的年新增收益值最大?

这是一个3个阶段的动态规划问题,其公式化数学模型如下:

1) 阶段的划分: 设 $k$ 为阶段变量 将确定工厂 $k$ 投资额的决策定为第 $k$ 阶段,  $k = 1, 2, 3$

2) 各阶段的状态: 状态变量用 $x_k$ 表示,  $k = 1, 2, 3$  本例中状态变量的取值为各阶段初可用的投资资金额

3) 各阶段的决策变量: 第 $k$ 阶段的决策变量用 $u_k$ 表示( $k = 1, 2, 3$ ), 其值表示对工厂 $k$ 的投资额

4) 允许决策集合 $D_k(x_k)$

$$D_k(x_k) = \{0, 1, 2, 3\} \quad \{0 \leq u_k \leq x_k\} \quad (1)$$

5) 状态转移方程

$$x_{k+1} = x_k - u_k, \quad k = 1, 2, 3 \quad (2)$$

6) 递推关系式

$$f_k(x_k) = \max_{u_k \in D_k(x_k)} \{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1})\} \quad (3)$$

其中,  $v_k(x_k, u_k)$  为阶段指标函数, 本例中其值为 $k$ 阶段工厂 $k$ 的年新增效益值

7) 边界条件

$$f_4(x_4) = 0$$

上述公式化数学模型由于结构复杂, 难以在计算机中表示状态转移方程及递推关系式和实现基于知识的推理过程(如符号化极值和导数等), 从而导致至今还没有通用的求解动态规划模型的计算机程序

根据动态规划问题的决策过程特点可知, 动态规划问题的最优解对应于状态空间图中始点至目标节点的一条最佳路径<sup>[10]</sup>, 因此, 动态规划模型可以用一种基于知识模型表示法—— $M_{dp}$ 法进行描述, 它用一个六元组来描述一个动态规划模型, 由此而形成的基于知识的数学模型称之为动态规划问题的知识化数学模型

**定义1** 动态规划模型 $M$ 可以表示为一个六元组:

$$M_{dp} = (I, G, O, T, D, S) \quad (4)$$

其中:  $I$ — 初始状态(initial state)的集合, 用于描述状态转移图的初始节点;

$G$ — 目标状态(goal state)的集合, 用于描述状态转移图的目标节点;

$O$ — 状态转换的操作(operate)集合, 用于描述动态规划模型的允许决策集合;

$T$ — 状态转换(transition)规则的集合, 用于描述动态规划模型的状态转移方

程;

$D$  — 基本数据(data)的集合, 用于描述阶段指标函数和边界条件等;

$S$  — 在问题的状态空间中寻找最佳路径(动态规划模型最优解)的搜索与推理策略(search and inference policy)的集合, 用于描述动态规划模型的递推方程以及基于 R. Bellman 最优化原理的模型求解搜索与推理策略

在六元组  $M_{dp} = (I, G, O, T, D, S)$  中, 集合  $I, G, O, D$  用一阶谓词描述, 集合  $T$  和  $S$  均采用产生式规则(production rule)来描述

例 1 所示的动态规划问题的公式化数学模型可用  $M_{dp}$  法进行描述 用谓词 own(stage, money) 表示某阶段初拥有的投资资金额; 用谓词 invest(stage, money, number\_of\_invest) 表示某阶段 stage 拥有的投资资金数量为 money, 而对相应的工厂进行投资所采用的投资额为 number\_of\_invest; 用谓词 V(stage, money, number\_of\_invest, value\_of\_stage) 表示对应于某阶段某种状态采用某种投资额所获得的阶段指标函数值(一个阶段的效益值); 用谓词 f(stage, money, value\_of\_process) 表示对应于某一阶段的某种状态选取最优投资子策略之后得到的过程的指标函数值(即最优指标函数值). 则例 1 对应的动态规划公式化数学模型可描述成下列知识化数学模型:

1) 初始状态集合

own(1, 3).

2) 目标状态集合

own(4, 0).

3) 操作/决策集合

invest(1, 3, 0). ... invest(3, 0, 0).

4) 状态转换规则集合

IF invest(1, 3, 0) THEN own(2, 3). ... IF invest(3, 0, 0) THEN own(4, 0).

5) 基本数据集合

V(1, 3, 0, 0). ... V(3, 0, 0, 0). f(4, 0, 0).

6) 搜索与推理策略集合

例 1 属于离散型动态规划问题, 其模型求解的搜索与推理策略将采用一种名为 BFS 的搜索算法<sup>[10]</sup>.

## 2.2 动态规划模型知识表示法的拓展与运筹学规划模型的知识表示体系<sup>[13, 14]</sup>

以六元组  $M_{dp} = (I, G, O, T, D, S)$  描述动态规划模型的知识表示法—— $M_{dp}$  法可以拓展到运筹学的其它分支, 形成运筹学模型的知识表示与求解理论体系 这是因为, 运筹学的线性规划、目标规划、整数规划模型的求解过程都可以看作是在其可行域所构成的状态空间图内从初始解对应的节点出发进行搜索的过程, 实质上都属于图的搜索问题; 某些非线性规划问题可以用动态规划理论去求解, 显然它们也就可以应用  $M_{dp}$  法进行表示与搜索求解; 排队论模型的生死过程图实质上就是一种状态转移图, 排队论模型也可以借鉴  $M_{dp}$  法的理论进行表示与求解; 运筹学图论中的最小部分树与最短路问题本身就是图的搜索问题, 可以借鉴 BFS 法与 MBFS 法进行求解<sup>[10]</sup>. 可见, 动态规划模型的  $M_{dp}$  法及其搜索理论对于运筹学的其它模型也具有一定的参考应用价值

对于运筹学规划论的数学模型来说, 其求解过程基本是从可行域的某一个顶点(称之为始点, 一般为初始基本可行解对应的节点)出发, 按照某种迭代规则从一个可行解转移到另一个可行解, 并使目标函数值一步步得到优化, 在可行域构成的状态空间图中相当于从一种状态转移到另一种更优的状态, 如此继续下去直到达到最优节点(最优解对应的节点, 称之为终点或目标节点)为止 这一模型求解过程与动态规划问题的决策过程基本吻合 在线性规划、整数规划、目标规划等运筹学规划论分支的数学模型求解中, 其状态空间搜索图中都存在初始状态、目标状态和搜索策略(搜索路径)这三个共同的集合, 但是, 由于规划论各个分支的数学模型在模型结构和求解算法等方面还存在某些差异, 因此, 基于状态空间理论的运筹学规划模型知识表示法, 其构成知识化数学模型的要素也就不一定相同, 有可能是一个五元组、六元组或其它元组 这就需要根据规划论具体模型的特点, 将动态规划问题的知识化数学模型的六元组  $M_{dp} = (I, G, O, T, D, S)$  予以拓展, 采用一个  $n$  元组来表示一个运筹学规划模型:

不同的程序语言表示规则的形式可能不同, Prolog 语言采用 own(2, 3): - invest(1, 3, 0) 的形式表示规则

$$M_p = (S_1, S_2, \dots, S_n) \quad (5)$$

令  $S_1 = I, S_2 = G, S_n = S$ , 这样就可以用公式(5)更为具体的一个  $n$  元组来表示一个规划模型:

**定义 2** 一个运筹学规划模型可以表示为如下  $n$  元组:

$$M_p = (I, G, S_3, S_4, \dots, S_{n-1}, S) \quad (6)$$

其中:  $I$  — 初始状态(initial state)的集合;

$G$  — 目标状态(goal state)的集合;

$S$  — 在状态空间图中寻找最佳路径的搜索与推理策略(search & inference policy)的集合;

$M_p$  — 运筹学规划问题的知识化数学模型

此外,  $S_3, S_4, \dots, S_{n-1}$  分别是除集合  $I, G, S$  以外的构成运筹学规划模型的各个集合, 其具体内容及名称要视具体的规划模型而定

结合运筹学规划论中线性规划、整数规划、目标规划、动态规划模型的特点, 将公式(6)予以具体化, 就可以得出下列运筹学规划模型的知识表示体系, 其对应的知识化数学模型如下:

1) 线性规划的知识化数学模型可表示为<sup>[13]</sup>  $M_{lp} = (I, G, O, D, S)$

2) 目标规划的知识化数学模型可表示为<sup>[14]</sup>  $M_{pgp} = (I, G, O, P, D, S)$

3) 动态规划的知识化数学模型可表示为  $M_{dp}$

$$= (I, G, O, T, D, S)$$

4) 整数规划的知识化数学模型可表示为  $M_{ip}$

$$= (I, G, O, V, D, S)$$

其中,  $P$  为目标的优先因子集合,  $V$  为变量(variable)属性集合, 其它集合的含义与动态规划模型的知识表示法相同

### 2.3 运筹学规划问题的知识表示——问题描述树与树状表示法

规划论的应用领域比较广泛, 其实际应用问题的形式可能多种多样, 但这些问题的实质可以归结为: 在一定的人财物力限制下, 寻求问题的目标达到最优或者达到目标的差距尽可能的小。实际应用问题的信息可以划分为问题目标信息、约束条件信息等多个信息侧面, 每一信息侧面又可划分为若干个信息单元, ……如此细分下去, 可以把实际问题的信息归结成为一种层次化的树状结构, 正是由于运筹学问题的信息具有这种层次化的树状结构特征, 本文采用一种层次化、结构化的问题描述树来表示运筹学实际问题, 这种将实际问题归结为树状的逻辑结构, 并按此结构把实际问题表示为计算机可执行程序的方法称之为问题的树状表示法<sup>[12, 16]</sup>。

运筹学规划问题的问题描述树之结构如图3所示:

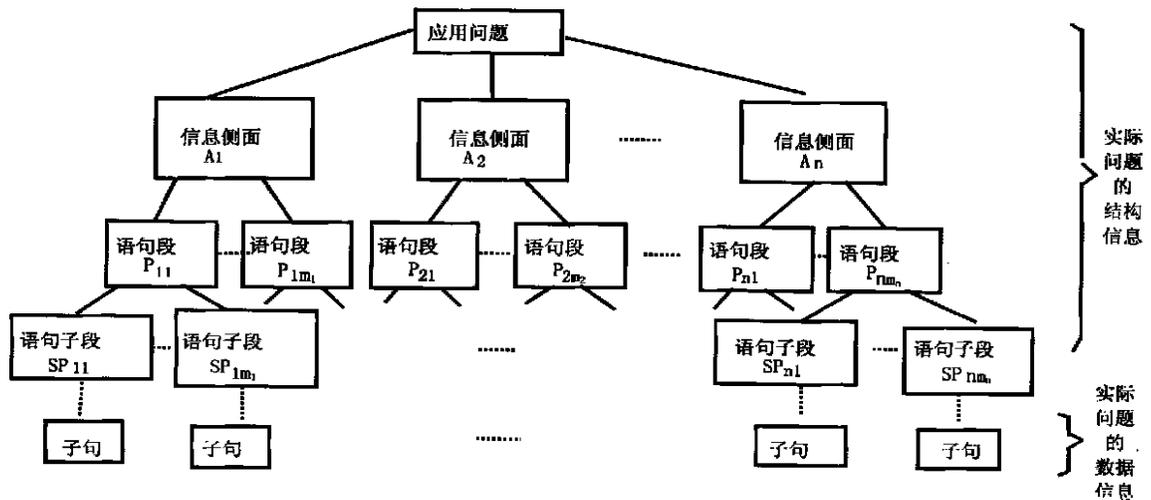


图3 运筹学规划问题的问题描述树

图3所示的问题描述树由节点和边两部分构成, 节点是描述问题的信息单元, 这种信息单元按

层次关系依次为问题、信息侧面、语句段、语句子段...子句, 子句是描述动态规划应用问题的基

本信息单元,若干条子句构成一个语句子段,若干个语句子段形成一个语句段,若干语句段组成一个信息侧面,所有信息侧面组合成一个完整的问题,这些信息单元之间呈现出层次化、结构化的特征。问题描述树的叶节点——子句描述的是实际问题的数据信息,叶节点以外的树干描述的是实际问题的结构信息,由于不同类型问题之间问题描述树的树干及相应节点的名称是不同的,因此,这一树干描述的问题结构信息就为实际问题的识别创造了条件。此外,描述树的边表示父节点与子节点之间的隶属关系。这种隶属关系为知识化表示模型生成过程中的信息快速搜索与推理创造了条件。可见,上述问题描述树在问题可辨识性、问题描述结构的可扩展性、信息搜索与处理效率、知识推理效率等方面具有较为明显的优势,并具有描述表格数据、决策树图形及数据、数学函数的能力。

当然,问题描述树反映的还只是问题有关信息的一种逻辑结构,以此结构描述的具体应用问题还需要用具体的计算机语言加以描述才便于在

计算机内实现存储,形成一个可执行程序。由于该可执行程序是基于知识的一种描述相应问题原始信息的语言模型,故可称之为问题的知识化信息模型,它的生成可以由“问题知识表示支持系统”<sup>[11,15]</sup>来实现,限于篇幅在此不进行表述。

## 2.4 基于事例学习的建模方法及其建模支持系统

### 2.4.1 基于事例学习的建模方法

基于事例学习的建模方法及其操作过程<sup>[17]</sup>为:在对问题进行知识表示的基础上,针对面临的新问题,将事例库中的事例与之进行类似性分析,找出一个与新问题最为接近的类似事例,得出新问题与该事例的类似性类型和类似性程度,应用类似问题建模知识库中的建模知识,建立新问题的数学模型(它是一种知识化的数学模型),然后,对该数学模型进行评价和精化,并从上述建模过程以及推理和评价过程获取经验与知识,丰富和精化事例库、建模知识库、评价知识、学习知识等。这一建模方法的操作原理如图 4 所示。

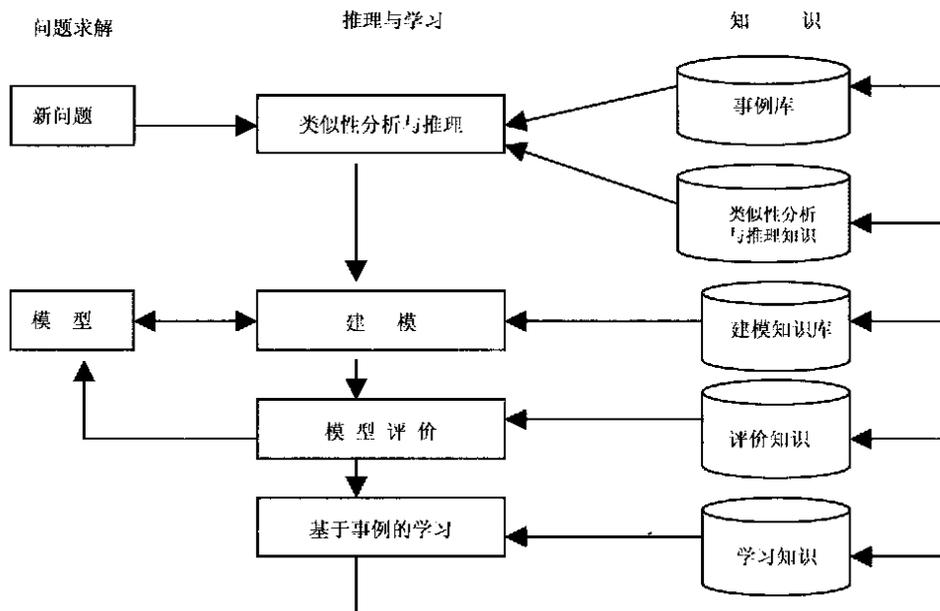


图 4 基于事例学习的建模操作原理与过程

图 4 中的建模知识库存放着各种类似类型的类似问题的建模操作规则。它与问题所处的领域密切相关。

### 2.4.2 基于事例学习的建模支持系统

基于事例学习的建模支持系统的结构如图 5 所示。

采用 Prolog 语言可以建立上述基于事例学习的建模支持系统。

## 3 待研究的问题

虽然近年来运筹学的智能化研究已取得了可

喜的进展,但距离建立智能运筹学这一新学科的目标还有巨大差距,智能运筹学的发展还处于萌芽状态,急待研究的问题众多.综观国内外同类研究的现状,结合本人的研究工作,作者认为如下几个问题是近期乃至今后相当长一段时间需要深入研究的课题:

- 1) 基于人机自然交互方式的运筹学应用问题的描述方法及其问题知识表示支持系统
- 2) 运筹学问题的建模语言与模型生成环境和生成工具

- 3) 运筹学模型基于状态空间的搜索算法
- 4) 基于机器学习的建模方法及其智能建模支持系统
- 5) 运筹学问题及其模型的知识表示理论体系的建立与完善
- 6) 智能运筹学理论在动态系统实时优化控制中的应用研究,如生产过程的实时优化控制与生产调度、电子商务物流系统的实时优化调度<sup>[18]</sup>等

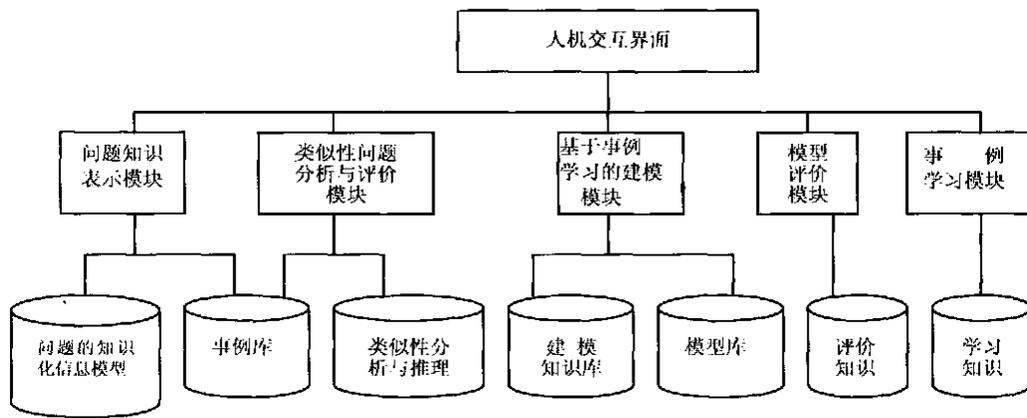


图5 基于事例学习的建模支持系统的结构图

## 4 结论

1) 将人工智能和知识工程理论引入运筹学,不仅为传统的运筹学理论注入了处理动态问题的机制和能力,而且可以建立一门新学科——智能运筹学,对学科的建设与发展意义深远

2) 以六元组  $M_{dp} = (I, G, O, T, D, S)$  描述动态规划模型的知识表示方法,并将此方法拓展到运筹学规划论的其它分支,通过剖析规划模型的结构特征及其模型求解的状态演变特征,概括总结出以  $n$  元组  $M_p = (I, G, S_3, S_4, \dots, S_{n-1}, S)$  这一统一表达式表示运筹学规划模型的知识表示方法,形成了运筹学规划模型的知识表示体系.这一理论体系拓展了人工智能状态空间三要素表示体

系,为运筹学理论注入解决动态问题的机制,由此产生的知识化的数学模型,拥有了良好的模块化结构,使计算机求解运筹学规划模型具备了基于知识的推理能力,为模型生成的集成化、模型求解的智能化创造了条件,便于在计算机上实现模型的自动生成以及求解非数值解

3) 基于知识的描述运筹学规划问题的树状表示法,具有良好的问题可辨识性和问题描述结构的可扩性,具有较高的信息搜索与处理效率、辨识与推理效率,并具有描述表格数据、决策树图形及数据、数学函数的基本能力

4) 由“实际应用问题—知识化信息模型—知识化数学模型—知识化求解模型—最优控策略”的模型生成与转化理论及其解决动态问题的新思路,为运筹学理论解决动态问题开辟了途径

## 参考文献

[1] Liang T P. Analogical reasoning and case-based learning in model management system [J]. Decision Support Sys-

- tem, 1993, 9(10): 137- 160
- [2] 汪时萍, 张国庆, 李心丹. 基于语义模型的智能型问题描述语言[J]. 决策与决策支持系统, 1993, (3): 214- 221
- [3] Phelps R I. Artificial intelligence—An overview of similarities with O. R. [J]. Journal of Operational Research Society, 1986, 37(1): 13- 20
- [4] Chi R T, Whinston A B, *et al*. Case based reasoning to model building[C]. Proceedings of the 26th Annual Hawaii International Conference on System Science, 1993 324- 332
- [5] Liang T P, Konsynski B R. Modeling by analogy: Use of analogical reasoning in model management system [J]. Decision Support System, 1993, 9(1): 113- 125
- [6] Shaw M J, Pei Lei Tu, Prabhuddha De. Applying machine learning to model management in decision support system [J]. Decision Support System, 1988, (4): 285- 305
- [7] 谢志华, 郑应平. 基于动态规划的学习方法[J]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(3): 1- 8
- [8] 韩世欣, 黄梯云, 李一军. 基于机器学习理论的智能决策支持系统模型操纵方法研究[J]. 决策与决策支持系统, 1996, 6(1): 10- 18
- [9] 胡运权. 运筹学基础及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 第2版, 1993 170- 187
- [10] 胡祥培, 钱国明等. 离散型动态规划模型的知识表示及其 BFS 算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1996, 28(3): 119- 126
- [11] Hu Xiangpei, Hu Yunquan, Yang Deli. A research on intelligent modeling support system for dynamic programming model[C]. Proceedings of 96 International Conference on Management Science & Engineering, Harbin Institute of Technology Press, Moscow, Russia, Oct 1996 591- 597
- [12] 胡祥培, 钱国明, 胡运权. 运筹学规划问题一种基于知识的树状表示法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1997, 29(3): 8- 11
- [13] Hu Xiangpei, Qian Guoming, Hu Yunquan. A knowledge representation for linear programming model[C]. Proceedings of 97 International Conference On Management Science & Engineering, Harbin Institute of Technology Press, Nanjing, China, Oct 1997. 35- 41
- [14] Hu Xiangpei, Yang Deli, Qian Guoming. A knowledge representation for preemptive goal programming model [C]. The Proceedings of 4<sup>th</sup> China-Japan International Conference on Industrial Management, Dalian, Oct, 1998 333- 337
- [15] Hu Xiangpei, Xiu Lijun, Qian Guoming. A knowledge representation support system for programming problems in operations research[C]. The 3th International Conference on Management, Shanghai, China, July, 1998
- [16] 胡祥培, 修立军, 杨德礼. 生产作业计划问题的知识表示研究[J]. 管理科学学报, 1999, 2(2): 41- 48
- [17] 胡祥培, 钱国明, 李闻宇, 徐永仁. 问题与事例的类似性评价及基于事例学习的建模方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2001, 33(5): 587- 591
- [18] Hu Xiangpei, Xu Zhichao. A multi-agent system for dynamic and real-time optimal control in logistics distribution [C]. Proceedings of 2001 International Conference On Management Science & Engineering, Harbin Institute of Technology Press, Harbin, China, Aug 2001. 724- 729

---

(下转第 45 页)

海三联书店, 1991. 295- 326

- [22] Binswanger H P, Ruttan V W. Induce innovation: technology, institution, and development[M]. Baltimore: Johns Hopkins University, 1978. 23- 39
- [23] Kawagoe T, *et al.* Induce bias of technical change in agriculture: The United States and Japan, 1880- 1980[J]. Journal of Political Economy, 1986, 94: 523- 544
- [24] 舒尔茨·W. 论人力资本投资[M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1990. 1- 28
- [25] 赫伯特·西蒙. 管理行为[M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1988. 107- 119
- [26] Rayport J F, Sviokla J J. Exploiting the virtual value chain[J]. Harvard Business Review, 1995, 73(6): 75- 86
- [27] 杰克·费茨—恩兹. 绩优公司的最佳做法[M]. 上海: 上海人民出版社, 1998. 8- 32
- [28] 汪应洛, 李 垣, 刘 益. 柔性战略——战略管理的前沿[J]. 管理科学学报, 1998, 1(1): 22- 25

## 6I's management pattern based on value management: Formation and structure

*LI Yuan, LIU Yi*

School Management of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

**Abstract** Focusing on value management, this article analyses the problems of management knowledge system based on the function management, and these problem includes the lack of innovation, the incorrect proposition about the firm utility, the non-rational understanding of information function and neglect of management integration. Choosing the value management as core concept, analyzing the key factors affecting the formation, increasing and distribution of value, authors build the structure of the 6I's management pattern and discuss the relationship between the factors

**Key words** value management; management pattern; management incentive; management innovation; management integration

(上接第 21 页)

## Intelligent operations research and real-time optimal control for dynamic systems

*HU Xiang-pei, XU Zhi-chao, YANG De-li*

Institute of System Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China

**Abstract** According to the weakness of OR in dealing with dynamic optimal problems, the outline of a new idea to create a new discipline, intelligent operations research (IOR), has been put forward in this paper by combining and insulating operations research with artificial intelligence (AI) as well as knowledge engineering (KE). The principles and new method to deal with dynamic optimal problems for IOR have been stated. The system structure and its framework of multi-agent system to handle real-time optimal control in a dynamic system have been presented. The issues of theory and practice in IOR, such as knowledge representation for real problems, knowledge representation for models, modeling method of case-based learning, modeling support system, have been studied more deeply. This research has promoted the interaction and insulation among OR, AI and KE, etc., and creates a way for OR theory to solve optimal dynamic problems

**Key words** operations research; artificial intelligence; dynamic system; real-time control