

管理系统定性模拟的 理论与应用

黎志成 胡 斌 编著
傅小华 龚晓光



科学出版社

www.sciencep.com

管理系统定性模拟的 理论与应用

黎志成 胡 斌 傅小华 龚晓光 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在总结多年研究工作成果的基础上,综合国内外相关领域的研究发展趋势,对管理系统定性模拟的理论与应用进行深入论述与分析的一本专门著作。全书共分8章。第1章绪论。第2、3章分别阐明管理系统定性模拟的基本理论和支持技术。第4~7章论述企业市场营销管理定性模拟,其中包括企业市场营销综合决策的定性模拟、市场需求预测的定性模拟、企业产品决策的混合定性模拟和企业营销策略的混合定性模拟。第8章论述研发人员管理的定性模拟。

本书可作为高等学校的管理科学与工程、工商管理、系统科学与工程、自动控制、应用数学、人工智能、计算机科学与工程等专业的教科书或参考书,也可供有关领域的科学工作者、工程技术人员和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

管理系统定性模拟的理论与应用/黎志成等编著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015343-X

I. 管… II. 黎… III. 企业管理-系统工程-研究 IV. F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 030265 号

责任编辑:陈 亮 王五敏 / 责任校对:钟 洋
责任印制:安春生 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年5月第 一 版 开本:BS(720×1000)

2005年5月第一次印刷 印张:19 1/4

印数:1—3 000 字数:368 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

管理系统模拟是近 30 年来得到迅猛发展的新兴现代化管理技术。它对于辅助经济与管理决策和系统设计具有非常重要的作用。但是, 由于管理具有很强的艺术性, 管理的许多内容不能用定量分析模型来描述。因此, 研究和分析管理系统的行为及其规律, 单单依靠管理系统定量模拟是不够的, 而必须借助管理系统定性模拟。

管理系统定性模拟是集成管理科学、模拟技术、现代数学、系统科学、人工智能及计算机科学等领域的理论与技术的崭新的现代化管理决策支持技术。在知识经济时代来临的今天, 它对于辅助现代管理与决策, 必将发挥越来越重要的作用。

国内管理系统定性模拟的研究工作尚处于起步阶段。20 多年来, 华中科技大学现代化管理研究所一直从事管理系统模拟研究工作, 取得了一些达到国内领先水平和国际先进水平的成果。近五年来, 该所致力于管理系统定性模拟的科学研究, 获准承担管理系统定性模拟方面的国家自然科学基金课题和省部级科研课题多项, 取得了可喜的进展, 研究和开发了市场营销管理定性模拟系统原型, 发表了有关管理系统定性模拟的学术论文 20 余篇。本书是该所几年来管理系统定性模拟研究工作的理论概括和综合反映, 它将成为国内管理系统定性模拟领域的第一本专著。

全书共分 8 章。第 1 章绪论。第 2、3 章分别阐明管理系统定性模拟的基本理论和支持技术。第 4~7 章论述企业市场营销管理定性模拟, 其中包括企业市场营销综合决策的定性模拟、市场需求预测的定性模拟、企业产品决策的混合定性模拟和企业营销策略的混合定性模拟。第 8 章论述研发人员管理的定性模拟。

在撰写本书的过程中, 编著者参阅并引用了许多学者的研究文献, 在此表示致谢。美国得克萨斯州立大学的 B. J. Kuipers 教授对我们的研究工作提供了巨大的帮助, 他多次通过电子邮件为我们提供了许多定性模拟的理论文献, 特向这位世界定性模拟研究先行者致谢。我们的科学研究工作获得国家自然科学基金委员会和湖北省科技厅的资助; 本书的撰写得到华中科技大学管理学院领导和学科建设委员会的大力支持与赞助以及管理科学与信息管理系的多方协助, 在此向他们致以诚挚的谢意。此外, 还要向为出版本书做出辛勤奉献的评估本书的专家教授和科学出版社的领导与员工致以衷心的感谢。

本书由华中科技大学现代化管理研究所所长、博士生导师黎志成教授担任总

纂。全书由黎志成教授（第1、5、6、7章）、胡斌副教授（第2.2节、第3.2节、第4章）、傅小华博士（第2.4节，第3.1、3.3、3.4节）和龚晓光博士（第2.1、2.3节，第3.5、3.6节，第8章）共同编著。黎志成教授指导的研究生梁唯溪、周宏、王志凌、黎琦、陈雪、邓冬娅等以他们优良的研究生学位论文工作成果为本书的撰写做出了贡献。

由于编著者的水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

编著者

2004年10月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 管理系统模拟概述	1
1.2 管理系统模拟的发展	6
1.3 定性模拟的概念与研究概况	9
1.4 定性模拟理论的分类	10
1.5 管理系统定性模拟的概念和研究概况	13
第2章 管理系统定性模拟的理论与方法	16
2.1 定性建模	16
2.2 Kuipers 的定性模拟理论与方法	30
2.3 Forbus 的定性模拟理论与方法	49
2.4 基于分层因果关系的定性模拟理论与方法	58
第3章 管理系统混合定性模拟支持技术	75
3.1 定性模拟与定量模拟的集成	75
3.2 基于数字区间的定性模拟方法	87
3.3 模糊数学方法	102
3.4 基于智能代理体的模拟技术	114
3.5 系统动力学方法	124
3.6 Arena 模拟工具	134
第4章 企业市场营销综合决策的定性模拟	147
4.1 概述	147
4.2 企业市场营销定性知识的描述与学习	147
4.3 企业市场营销综合决策定性模拟方法	150
4.4 企业市场战略策略选择的定性模拟	157
第5章 市场需求预测的定性模拟	170
5.1 市场需求定性分析	170
5.2 市场需求预测定性模拟模型	176
5.3 市场需求预测定性模拟系统原型	181
第6章 企业产品决策的混合定性模拟	191
6.1 概述	191

6.2	基于智能代理的产品定制及产品决策系统	193
6.3	新产品开发的模糊决策模型	193
6.4	产品组合决策的定性模拟	197
6.5	产品生命周期识别的定性模拟	206
6.6	产品决策混合定性模拟系统原型	213
第7章	企业营销策略的混合定性模拟	218
7.1	企业分销管理的混合定性模拟	218
7.2	企业促销管理的混合定性模拟	234
7.3	企业竞争行为的定性模拟	245
第8章	研发人员管理的定性模拟	254
8.1	概述	254
8.2	研发人员团队激励系统的定性模拟	254
8.3	研发人员个体激励系统的定性模拟	262
8.4	研发团队创新行为动力学模型	271
8.5	研发人员行为激励定性模拟系统原型	276
8.6	研发团队绩效评价的定性模拟	282
	参考文献	295

第1章 绪 论

1.1 管理系统模拟概述^[1,2]

1.1.1 管理系统模拟的概念

一个管理系统与外部环境之间或其各组成部分之间存在着一定的定量或定性关系。我们可以综合运用定性分析和定量分析的方法,建立一定的数学逻辑模型或定性模型去正确表述这些关系,以反映系统的本质,探索其运动规律。

管理系统模拟(management system simulation)就是在建立系统的数学逻辑模型或定性模型的基础上,通过计算机实验,对一个系统按照一定的决策原则或作业规则,由一个状态变换为另一个状态的动态行为进行描述和分析。

管理系统模拟是一种高效的辅助管理决策和系统设计的现代化管理技术。具体地说,它起着以下几方面的作用:

(1) 对于现有的实际运行的系统,为了深入了解它以及改进它,而在实际的系统中进行实验,往往要花费大量的人力、物力、财力和时间,有时甚至是不可能的,而通过计算机模拟,可以使系统正常工作不受干扰,经过分析模拟结果,对现有系统在拟订的工作条件下的性能做出正确分析与评价,并预测其未来发展,提出改进方案。

(2) 对于所设计的新系统,在未能确定其优劣的情况下,可以不必花费大量的投资去建立它,而是采用计算机模拟,对新系统的可行性和经济效益做出正确的评价,帮助人们选择最优或较优的系统设计方案。

(3) 在宏观和微观的管理决策中,通过收集、处理和分析有关信息,可能拟订多个不同的决策方案,它们具有不同的决策变量或参数组合。针对这些不同的决策方案,进行计算机模拟的多次运行,按照既定的目标函数对不同的决策方案进行分析比较,从中选择最优或较优方案,以辅助管理决策。

应该指出,在本节中所论述的管理系统模拟主要是基于定量分析或数学逻辑模型的管理系统模拟,或称管理系统定量模拟。在一定的程度上可以说,本书的主题——管理系统定性模拟是管理系统定量模拟在新阶段的进一步丰富、发展和完善。

1.1.2 管理系统模拟的术语和类型

1) 管理系统模拟的术语

在管理系统模拟当中，我们要用到许多基本的模拟术语，现分述如下：

(1) 实体 (entity)。一个系统边界内部的客观对象称为实体。实体可分为永久性实体和临时性实体。永久性实体是指经常处于系统之内，其数量保持相对稳定的实体。如排队服务系统内的顾客，机械加工车间的加工零件、原材料，医院里的病人等等。

(2) 属性 (attributes)。属性是指系统的实体特性。如机械加工车间里的加工零件的类型、材质及规格、生产量、库存量、工时定额、单价等等。

(3) 活动 (activity)。活动是占用一定时间和资源的导致系统状态发生改变的一定过程。譬如，网络计划系统中的一项作业，流水生产线的一道工序等都属于一项活动。

(4) 系统状态 (system state)。系统状态是指在某时间点对系统的所有实体、属性和活动的描述。当一个系统的所有实体处于状态协调并且有定义状态的属性时，我们说该系统处于特定状态。

(5) 事件 (event)。事件是引起系统状态发生瞬间变化的事实。它可以是一个实体的产生或消失，系统实体的属性值的改变，或者一项活动的开始或结束。事件可分为时间事件和状态事件。时间事件是指依照系统的作业规则在预定时间发生的事件，状态事件是当系统状态符合某种条件而发生的事件。

(6) 环境 (environment)。存在于系统周围的对象和过程（实体和活动）称为系统的环境。

(7) 关于系统。

① 产生于系统内部的活动称为内生活动 (endogenous activity)；发生于环境并对系统产生影响的活动称为外生活动 (exogenous activity)。

② 没有外生活动的系统属于封闭系统；具有外生活动的系统属于开放系统。

③ 连续性系统的变量可以为预定的区间集合中的任意实数值，即系统状态呈光滑性变化。离散性系统的变量只能为有限的特定值，即系统状态呈不连续变化。

④ 一个系统的响应（输出）完全由它的初始状态和输入所决定，则此系统称为确定性系统。一个系统在既定的初始状态和输入的情况下，其响应（输出）具有随机性质，则此系统称为随机性系统。

2) 管理系统模拟的类型

管理系统模拟有三种类型：离散型、连续型和离散-连续复合型。通常，模

拟时间是系统模拟的主要自变量,描述系统状态或响应的因变量往往可以表示为模拟时间的函数,系统模拟的类型往往与因变量的特点有关。

(1) 离散型模拟:在离散型模拟中,因变量在与事件时间有关的具体模拟时间点呈离散性变化,而模拟时间可以是连续性的或离散性的,这取决于因变量的离散性变化可以在任何时间点发生或仅能在某些特殊时间点发生。许多管理系统可以采用离散型模拟进行研究。

(2) 连续型模拟:在连续型模拟中,因变量随模拟时间呈连续性变化。模拟时间可以是连续性的或离散性的。

(3) 复合型模拟:在复合型模拟中,因变量可以做连续性及离散性的变化,或者做连续性变化并具有离散性突变。它的自变量——模拟时间可以是连续性的或离散性的。

1.1.3 离散事件型模拟模型概述

离散事件型模拟是目前应用较为广泛的一种管理系统模拟形式。建立一个离散事件型模拟模型,主要是规定系统状态可能发生改变的事件以及确定与每类事件相关的逻辑关系,系统的状态是通过变量以及具有属性并且属于一定文件的实体来表述的。按照在一定时间序列中每种事件的逻辑关系,引起系统状态发生变化,从而对系统的状态进行动态写照,形成模拟过程。

在模拟开始,要对系统状态进行初始化,其中包含对模拟变量赋初值,产生初始实体,安排初始事件等。在模拟进行过程中,随着实体的运动,系统由一个状态变化为另一个状态,并且系统的状态变化只发生于事件时间点,它们是活动的开始或结束。模拟程序的主要功能在于,随着模拟时钟的向前推移,按照模型规定的数学逻辑关系,安排和处理相应的事件,直至模拟过程终止。

譬如,在一个排队服务系统中,顾客到达事件和顾客离去事件是基本的事件。图 1.1 表示了排队服务系统的离散事件型模拟模型。

一般说来,离散事件型模拟模型通常包括以下组成部分:

(1) 系统状态:它由一组系统状态变量构成,用于描述系统在不同时刻的状态。

(2) 模拟时钟:提供模拟时间的当前数值的变量。

(3) 事件表:包含即将发生的事件的类型和时间,并将事件按一定规则排序的列表。

(4) 统计计数器:用于存储关于系统工作成果的统计信息。

(5) 初始化子程序:对系统模拟进行初始化的子程序。

(6) 定时子程序:此子程序根据事件表确定下次事件,并将模拟时钟前移到下次事件时间。

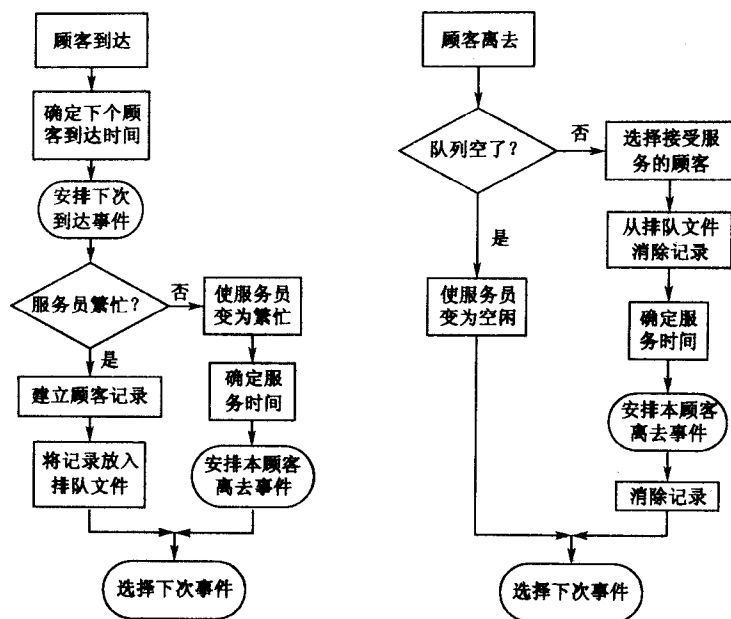


图 1.1 排队服务系统的离散事件型模拟模型

(7) 事件子程序：一个事件子程序对应于一种类型的事件，它在相应的事件发生时，处理该事件，更新系统状态。

(8) 模拟报告子程序：它在模拟结束时，计算与打印模拟的结果。

(9) 主程序：它从总体上控制系统模拟的流程。

1.1.4 管理系统模拟的步骤

对一个管理系统进行计算机模拟，需要经历一个去粗取精、去伪存真、由表及里、由浅入深、逐步把握系统状态变化规律的过程。整个管理系统模拟过程可以划分为一定的阶段，经过一定的步骤。图 1.2 说明了管理系统模拟的步骤，现对各个步骤简要说明如下：

(1) 问题描述与系统定义。在进行系统模拟之前，首先必须对所研究的问题正确地进行定量的或定性的描述，明确规定系统模拟的目的与任务。要正确定义所研究的系统的边界、组成部分和环境，正确决定评价模拟方案优劣的准则，也即衡量系统性能或模拟输出结果的目标函数。

(2) 建立系统模型。根据系统的结构、管理决策原则和作业规则，分析系统及其各组成部分的状态变量和参数之间的定量与定性关系，在此基础上建立系统

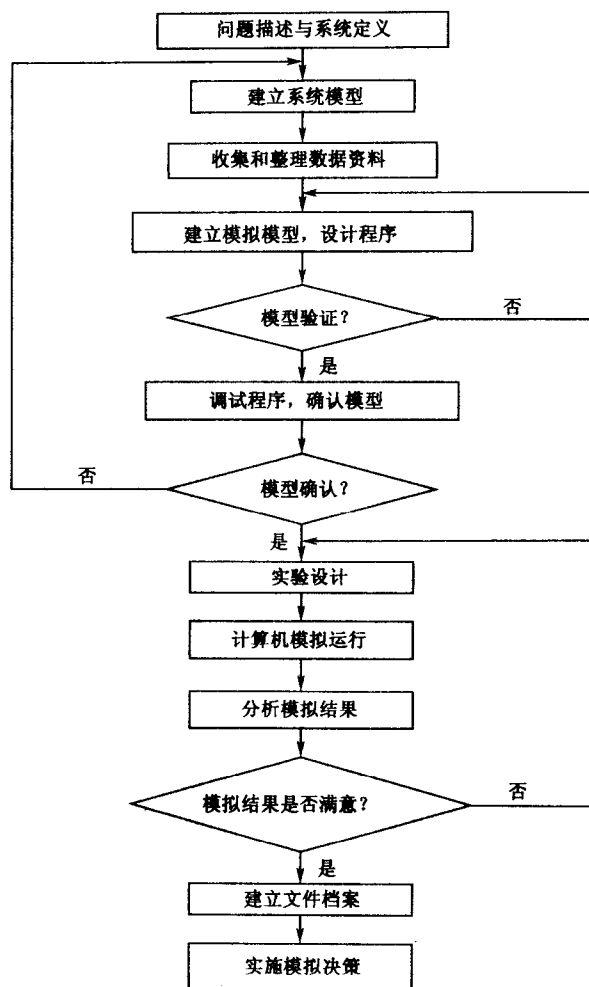


图 1.2 管理系统模拟的步骤

的定量模型或定性模型。系统模型应该具有客观真实性，必须正确、清晰地反映实际系统的本质，还应繁简适宜，经济实用。

(3) 收集和整理数据资料。在系统模拟中，需要输入大量的数据，并且这些数据的正确性和完整性直接影响到模拟输出结果的正确性。通过这项工作，提供系统模型运行所需的参数值以及基础资料，确定各项随机变量的分布函数形式及其相应参数，并汇集系统组成部分的相互关联的定性分析资料。

(4) 建立模拟模型，设计程序。运用一定的通用的计算机程序语言或专用模

拟语言, 将系统的定量分析或定性分析模型转换为主要由计算机模拟程序组成的模拟模型, 以便在计算机上进行模拟运行。在这个阶段, 要进行模型的验证 (verification of model), 考察计算机模拟程序是否正确反映了系统模型, 并在必要时进行相应的修改。

(5) 调试程序, 确认模型。进行调试性模拟, 分析其结果, 进行模型的确认 (validation of model), 考察所设计的定量分析或定性分析模型是否正确地反映了现实系统的本质。随之相应修改模型和调整计算机程序, 直至系统模拟模型的精度达到满意的水平。

(6) 实验设计。实验设计主要是建立系统模拟运行的实验条件。要合理设计具有不同的可控变量与参数组合的模拟方案, 设定系统的初始条件, 确定模拟运行长度, 决定随机样本大小和独立模拟运行次数, 等等。

(7) 计算机模拟运行。对所研究的系统进行大量的计算机模拟运行, 以获得丰富的模拟输出资料。一般应详细、准确地记录每次模拟运行的输入参数和输出结果, 供分析之用。

(8) 分析模拟结果。对计算机模拟输出结果从以下几方面进行分析: ①分析模拟结果的统计特征; ②进行灵敏度分析; ③依据既定的目标函数, 选择较优方案。在这些分析的基础上, 做出模拟结论, 向管理决策人员提出建议以辅助管理决策。

(9) 建立文档。把经过验证、确认和运行考核的系统模型、计算机模拟程序以及相应的输入、输出资料和分析结论, 写成书面文件, 建立档案以备查询。

(10) 实施模拟决策。将经过计算机模拟辅助做出的管理决策付诸实施。只有实现了这一步, 系统模拟才能完成自己的任务, 达到预期的目的。

1.2 管理系统模拟的发展^[2]

1.2.1 国外系统模拟的应用和发展

1) 系统模拟的应用

系统模拟在工业发达国家里获得日益广泛的应用。大量文献介绍, 系统模拟已逐步应用于企业管理系统、物资管理系统、研究与开发系统、军事系统、服务系统、交通运输管理系统、城市规划系统、卫生与保健系统、教育系统等众多方面。某些文献介绍了 20 世纪 70 年代初期对美国的 1 000 家最大的公司的计划系统应用定量分析方法的情况, 如表 1.1 所示。

表 1.1 应用定量分析方法的频率

项目	应用频数	所占百分比
模拟研究	60	29
线性规划	43	21
网络分析 (包括 PERT 与 CPM)	28	14
存储理论	24	12
非线性规划	16	8
动态规划	8	4
整数规划	7	3
排队理论	7	3
其他	12	6
合计	205	100

某些文献介绍了系统模拟的广泛应用领域，现将其中的一部分归纳如下：

(1) 工业企业管理系统，如顾客行为预测、工业企业模型、生产作业计划、设备的平面布置和作业安排、财务预测、人员安排、企业内部的物资流动、工厂生产过程设计、企业流程再造、虚拟组织、敏捷制造等等。

(2) 物资分配与流通系统，如仓库布局、集装箱传送、存储订货规则设计、供应链管理等等。

(3) 交通运输管理系统：如航空运输控制排队服务、飞机维修作业计划、机场设计、公共汽车线路设计、公共汽车作业安排、港口设计、谷物装卸作业、停车场设计、城市交通系统设计、铁路运输调度、交通路口灯光控制、出租汽车调度等等。

(4) 卫生及教育系统，如医院模型、医药物资管理、医疗救护车的布局 and 调度、医院人员安排、学校区域模型、图书馆作业设计、大学财务和作业预测等等。

(5) 资源管理系统，如国家人力调节系统、自然资源安排、水利资源开发、环境保护等等。

(6) 服务系统，如银行出纳作业安排、文书档案处理系统设计、通信系统设计、信息系统设计、保险人员雇佣决策等等。

(7) 军事及保安系统，如军事作战模型、军事后勤系统设计、警察系统设计等等。

(8) 航空航天系统。

2) 管理系统模拟的发展简况

管理系统模拟是由管理科学与工程、系统工程、应用数学、人工智能和计算

机科学相结合的新兴边缘学科。近 30 多年来,随着管理科学、系统工程、现代数学和计算机科学的长足进步,系统模拟在工业发达国家尤其是美国得到十分迅速的发展。无论在模拟模型、理论分析、软件开发与推广应用等方面都进展很快。这集中反映在体现模拟理论与方法的精华的模拟语言迅速更新换代和日益广泛应用。以美国为例,20 世纪 60 年代开发了第一代模拟语言——低功能、进行单种类型模拟的模拟语言。70 年代中期以后,第二代模拟程序语言问世,它们是较高功能的可进行多种类型模拟的模拟语言。到 80 年代初,各种模拟语言逐步应用于经济系统、企业管理系统、物资流通系统、城市规划系统、交通运输系统、教育系统等的辅助管理决策和系统设计。80 年代初期,美国又开发了第三代模拟语言——模拟支持系统软件,它扩充了第二代模拟语言的功能,履行模拟控制、输入数据和输出结果的统计分析、图表处理以及数据库等功能,和第二代模拟语言共同完成模拟,已迅速成为商品,逐步扩大用户。

20 世纪 90 年代以来,随着知识经济的来临和经济全球化、科技高新化、社会信息化的推动,管理系统模拟技术飞速发展。原有的模拟软件迅速更新换代,新的更先进的模拟开发工具层出不穷,并迅速推向市场,到 90 年代后期,部分工业发达国家发布的商品化模拟软件达到 200 种以上。

1.2.2 国内管理系统模拟的发展简况

20 世纪 80 年代初期,系统模拟技术从国外引入我国,许多高等院校的有关专业相继开设了系统模拟课程。中国物资出版社于 1985 年出版的《管理系统模拟》成为国内该领域的第一本专著。

20 多年来,许多高等学校、科学研究单位、企业以及实际工作部门在管理系统模拟的理论研究、软件开发和实际应用等方面做了大量工作,取得显著成效。譬如,于 1983 年 8 月成立的计算机模拟学会,在上级学会——中国优选法统筹法与经济数学研究会的领导和支持下,走过了 20 余年的战斗历程,共召开了九次全国计算机模拟与信息技术学术会议,出版了相应的论文专辑,发表了计算机模拟和信息技术方面的学术论文近千篇。

国内在管理系统模拟的研究和应用方面所做的工作,可以归纳为以下几方面:

(1) 移植、开发了适用于中小型计算机和微型计算机的 GPSS、SIMSCRIPT、GASP IV、QGERT、SIMULA、SLAM、DYNAMO、SIMAN、ARENA 等模拟语言软件,基本上能够适应对多种类型的管理系统进行计算机模拟的需要。

(2) 在系统模拟的理论与方法,如系统建模、输入数据和输出结果的统计分析、模拟数学基础、模型的验证与确认、模拟实验设计、模拟与优化的结合等方

面开展了科学研究工作,取得了丰硕的成果。

(3) 运用通用的计算机程序语言或专用的模拟语言,进行经济计划系统、企业管理系统、物资管理系统、交通运输管理系统、能源开发系统、建筑管理系统、农业生产系统、城市建设规划系统、卫生保健服务系统、旅游服务系统、军事系统、航空航天系统等计算机模拟辅助系统设计和决策。

(4) 在本学科的某些学科前沿研究领域,如智能模拟系统、网上模拟系统、可视化交互式模拟系统以及管理系统定性模拟等方面,进行了探索性研究工作,取得了可喜的进展^[3,4]。

1.3 定性模拟的概念与研究概况

1.3.1 定性模拟的概念

定性模拟(qualitative simulation)是人工智能技术和模拟技术相结合的产物。它是建立在知识的定性模型的基础上,通过将系统的内、外部知识和数据集成为可推理的模型,每个变量的取值既有数值的,也有符号化的,最终通过求解该定性模型获得对系统行为的定性描述^[5]。

相对于实现数值计算的定量模拟而言,定性模拟用非数字化手段处理输入、建模、行为分析和输出等过程,实现符号运算,探索系统定性行为规律。定性模拟能够处理更多形式的信息,可以模仿人脑的思维,具备推理能力和学习能力,它对于提高系统模拟的功能,扩展系统模拟的应用,具有重要的理论意义和实践意义^[6]。

① 实际系统过于复杂或知识不完备时,无法构造系统的精确定量模型。

② 客观对象的许多知识具有模糊性、不确定性,难于量化。定性模拟则能有效处理这些定性知识。

③ 由于计算机能力和算法的限制,对于复杂系统,定量方式建模与模拟需耗费大量的时间和费用,有时甚至不可能求解。而定性模拟有可能提供求解途径。

④ 定性模拟的结果有时更符合人们的思维习惯,易于理解。

⑤ 定性模拟能够提供有效的智能控制手段。

1.3.2 定性模拟的研究概况

定性模拟技术的发展是从1983年美国学者 Seely Brow 和 John de Kleer 提出关于定性建模和定性推理的理论以来开始的^[7]。目前已经形成朴素物理学方法、模糊模拟方法和基于归纳学习的模拟方法等多个理论流派。其中对定性模拟技术发展贡献较大的是美国得克萨斯州立大学计算机系的 Benjamin J. Kuipers 教授。

他于1986年在国际人工智能杂志上发表了题为“定性模拟”的论文,提出了QSIM算法,为定性建模和定性模拟的研究和应用奠定了良好的理论基础^[8]。由Kuipers教授领导的研究集体在定性模拟的理论、方法和应用方面积极开展研究工作,做出了巨大贡献。基于QSIM算法,又有许多改进的定性模拟算法问世,如Q2模拟器、Q3模拟器、模糊定性模拟、并行QSIM模拟、定量与定性混合模拟等等^[9~12]。

国外关于定性模拟的应用主要涉及物理系统和工程技术领域,如过程监测与故障诊断领域、生态和环境学、机械制造业和工业系统、医学研究、混杂、非线性系统、可视化教育系统、智能检测与机器人控制系统等等^[13,14]。

中国科学技术大学白方周教授等于1998年出版了《定性仿真导论》^[6]一书。该书全面介绍了几种主要的定性模拟理论和方法以及作者的部分研究成果,是国内定性模拟领域的第一本专著。

1.4 定性模拟理论的分类

20多年来,定性模拟技术迅猛发展,在理论上出现了百家争鸣的局面,形成了多种体系、流派的理论和方法,下面进行简要介绍。

1.4.1 朴素物理学方法

朴素物理方法在理论和应用上发展得最为成熟。它兴起于一些人工智能专家对朴素物理系统的定性推理研究,根据建立系统定性模型的方法,又可分为多个派别,比较有影响的有:Seely Brown和John de Kleer提出的基于流的理论,K. D. Forbus的定性过程理论,B. J. Kuipers基于约束的用定性微分方程描述的定性模拟理论等。他们都力图建立一种与具体物理过程无关的、能够定性描述任何物理过程中的常识知识和具有因果解释能力的定性语言。

1) 基于流的理论

定性模拟的先驱性人物Seely Brown和John de Kleer于1983年提出了基于流的理论,并据此建立了ENVISION系统。该理论认为一个系统可以用三种元素来描述:材料、组元和通道。组元作用于材料并改变其形式或特性;一个组元的材料经通道流到另一个组元,组元用一系列变量、流、连接点来描述。流表示一种决定处在平衡点附近的变量变化的约束关系^[7]。

2) 定性过程理论

K. D. Forbus于1984年提出了定性过程理论。该理论认为分析物理系统实际上就是确定该系统由哪些过程组成,并且这些过程在不同情况下如何影响系统