

普通高等教育管理科学与工程类
“十一五”规划教材

经济管理信息系统模拟

——理论与方法

钱世超 李英 编著



化学工业出版社

普通高等教育管理科学与工程类“十一五”规划教材

经济管理系统模拟 ——理论与方法

钱世超 李 英 编著

图注在编目(CIP)数据

经济管理系统模拟——理论与方法 / 钱世超, 李英编著. —北京: 化学工业出版社, 2008.8

普通高等教育管理科学与工程类“十一五”规划教材
ISBN 958-7-155-03498-4

I. ①经… II. ①钱… ②李… III. 经济管理系统—计算机模拟 IV. F2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第150321号

责任编辑: 李 英
封面设计: 李 英

责任编辑: 李 英
封面设计: 李 英

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷: 北京云印务有限公司
印 张: 16 1/16 印 数: 4111 字 数: 81千字 2008年9月北京第1版第1次印刷



化学工业出版社

网上订购: 010-64518888 (传真) 8888 010-64518880 邮 政 订 购: 010-64518880

· 北 京 ·

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购本书, 如蒙惠顾, 请向本社营销中心或各分社接洽。

本书共分八章。第1章介绍系统建模技术的一般概念以及模拟技术在经济管理领域内的发展；第2章着重介绍经济管理系统模拟技术的基本思想与基本方法；第3章介绍在系统模拟技术应用中数据采集与统计分析的基本技巧；第4章介绍模拟结果的统计分析技巧；第5章介绍了近年来发展起来的基于 Agent 的复杂系统建模与模拟方法；第6~8章则分别介绍了在经济管理领域中应用极其广泛的三种模拟软件及其应用技巧，在相应网站上这三种模拟软件都有教育版可供免费下载，因此比较适合学习。此外，在相应章节后提供了一些实验题目，供学习训练之用。

本书可作为高等院校经管类相关专业的教材，也为从事经济、管理实际工作者或研究工作者提供学习计算机模拟技术的一个参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

经济管理系统模拟——理论与方法/钱世超，李英编著. —北京：
化学工业出版社，2008.8
普通高等教育管理科学与工程类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-03498-4

I. 经… II. ①钱…②李… III. 经济管理-计算机管理系统-
高等学校-教材 IV. F2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 120351 号

责任编辑：唐旭华
责任校对：李 林

文字编辑：李 曦
装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 装：北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数411千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：29.80 元

版权所有 违者必究

前 言

自 20 世纪 70 年代以来,随着计算机技术的蓬勃发展,特别是随着微型计算机的成熟与普及,计算机模拟技术在理论上得到了深入研究,在技术手段上得到了全面开发,在实际问题的解决方面得到了广泛应用。模拟理论与方法和计算机软件技术的结合产生了各类模拟语言,而这些模拟语言成为模拟技术实际应用的工具。模拟语言的发展经历了多个阶段。特别是 20 世纪 70 年代中期,随着高级编程语言的逐渐成熟,如 FORTRAN、PASCAL 等编程语言,基于这类模拟语言形成的具有模块化结构的模拟系统开始形成并逐步完善,例如 GASP 等,这些模拟系统所具有的较强的模拟功能,使得模拟技术在经济管理领域的应用逐步得到开展,逐步成为经济管理领域中决策的辅助工具;到 20 世纪 80 年代,模拟语言的功能得到了进一步扩展,特别在人机交互能力以及数据处理与结果分析方面有了质的提高,例如 SLAM II 等,并且逐步成为商品软件,应用领域得到扩大;在 20 世纪 90 年代,人工智能、图形处理等先进技术逐步融入到模拟技术之中,形成了新一代功能更强的具有可视化功能等特色功能的模拟软件系统,如 AweSim 和 Arena 等,使得模拟技术的应用更加方便;近年来,模拟技术更是朝着以互联网作为平台,面向复杂系统的技术发展。

在经济管理领域,精细化管理已成为 21 世纪各级政府管理部门以及各类工商企业取得良好绩效的重要手段之一。分析与决策技术全面掌握已是现代各类管理人员的基本要求,是其提升管理分析能力特别是管理决策能力的重要途径。在处理复杂的经济管理系统问题方面,解析技术往往由于构建数学模型的复杂性以及获得解析解的困难性而无法产生很好的效果,计算机模拟技术则采用从机理上模拟实际系统,从而使得复杂实际系统的建模得以实现,并且利用统计分析技术通过对模拟产生的信息进行分析获得判断与决策信息,辅助管理者进行决策。因此,经济管理系统的模拟技术是管理工作以及未来将从事管理的人员应该学习的一种技能,也是从事管理决策研究的各类人员分析问题提出有效决策方案可以依赖的一种重要手段。

本书共分 8 章。第 1 章介绍系统建模技术的一般概念以及模拟技术在经济管理领域内的发展;第 2 章着重介绍经济管理系统模拟技术的基本思想与基本方法;第 3 章介绍在系统模拟技术应用中数据采集与统计分析的基本技巧;第 4 章介绍模拟结果的统计分析技巧;第 5 章介绍了近年来发展起来的基于 Agent 的复杂系统建模与模拟方法;第 6~8 章则分别介绍了在经济管理领域中应用极其广泛的三种模拟软件及其应用技巧,在相应网站上这三种模拟软件都有教育版可供免费下载,因此比较适合学习。此外,在相应章节后提供了一些实验题目,供学习训练之用。

本书相关课件可免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用。如有需要,请发电子邮件至 txh@cip.com.cn。

在本书的编写过程中,自始至终得到华东理工大学商学院牟援朝老师的关心与帮助,郇庆文老师和唐建明老师在模拟软件的实验方面也提供了很好的技术支撑,在此一并表示衷心感谢!

由于编著者的水平有限,若有疏漏谬误之处,还望读者提出批评指正。

编著者

2008 年 5 月

目 录

第1章 导论	1
1.1 系统、模型与模拟的基本概念	1
1.1.1 系统的定义及其特征	1
1.1.2 系统的分类	2
1.1.3 模型及其分类	3
1.1.4 系统模拟定义	4
1.2 系统建模与模拟技术的发展	4
1.2.1 发展历史	4
1.2.2 发展趋势	5
1.3 系统模拟的发展及其在经济管理中的应用	7
1.4 系统模拟语言简介	8
1.4.1 模拟语言的结构	8
1.4.2 模拟语言应具有的功能	8
1.4.3 常用模拟语言	9
思考题与习题	9
第2章 系统建模与模拟基础	10
2.1 系统模拟的基本概念	10
2.1.1 系统模型	10
2.1.2 模型的分类	11
2.1.3 系统模拟的步骤	13
2.2 连续事件系统建模与模拟方法	14
2.2.1 微分方程建模方法	14
2.2.2 新产品销售模型	14
2.2.3 连续事件系统的数值积分模拟方法	17
2.3 离散事件系统建模方法	22
2.3.1 离散事件系统的基本要素	22
2.3.2 Petri 网建模方法	23
2.3.3 事件图法	25
2.4 离散事件系统模拟方法	27
2.4.1 事件调度法	28
2.4.2 活动扫描法	30
2.4.3 进程交互法	33
2.4.4 消息驱动的模拟方法	35
2.4.5 模拟时钟的推进方法	37
2.5 模拟模型建立、验证和确认	42
2.5.1 模拟模型的建立	42
2.5.2 模型的验证与确认	47

思考题与习题	49
第3章 模拟系统数据的采集与统计分析	51
3.1 输入数据的采集与分析	51
3.1.1 数据采集的技巧	51
3.1.2 数据采集过程的监控	52
3.1.3 数据特征的分析	54
3.2 数据分析中的统计检验	55
3.2.1 独立性检验	55
3.2.2 随机性检验	56
3.2.3 一致性检验	57
3.2.4 拟合优度检验	59
3.3 常用随机分布和分布参数估计方法	60
3.3.1 常用随机分布	61
3.3.2 分布参数的估计方法	66
3.4 随机变量的生成	67
3.4.1 随机数的生成方法	67
3.4.2 随机数的检验	70
3.4.3 随机变量的常用生成方法	73
3.4.4 常用随机变量的生成	76
思考题与习题	83
第4章 模拟结果的统计分析	85
4.1 模拟的方式	85
4.2 模拟结果统计分析面临的问题	86
4.3 终态模拟结果的统计分析	89
4.3.1 重复模拟方法	90
4.3.2 获得预定模拟精度下估计的方法	90
4.4 非终态模拟结果的统计分析	93
4.4.1 重复运行法	93
4.4.2 批平均值法	95
4.4.3 再生点方法	101
4.5 多方案模拟输出的比较	103
4.5.1 两方案模拟输出的比较	103
4.5.2 多方案模拟输出的比较	107
4.6 方差缩减技术	111
4.6.1 公共随机数法	112
4.6.2 对偶变量法	114

思考题与习题	116	6.3.4 IO 控制语句	172
第 5 章 基于 Agent 的复杂系统建模与模拟方法	119	6.3.5 效用语句	173
5.1 Agent 技术简介	119	6.4 AweSim 表达式、函数与变量	174
5.1.1 Agent 的定义	119	6.4.1 AweSim 表达式	174
5.1.2 Agent 的分类	120	6.4.2 AweSim 常用变量表	175
5.1.3 Agent 之间的通信	122	6.4.3 AweSim 常用随机生成函数	175
5.2 Agent 模型	123	6.5 基于 AweSim 的库存系统进出货模拟	176
5.2.1 组织模型	123	6.5.1 模拟系统简介	176
5.2.2 结构模型	124	6.5.2 Control	176
5.2.3 形式化模型	126	6.5.3 Networks	179
5.3 统一建模语言 UML	128	6.5.4 Animations	182
5.3.1 UML 简介	129	实验练习	184
5.3.2 UML 表示方法	130	第 7 章 Arena 模拟软件	186
5.4 基于 Agent 的建模	133	7.1 Arena 概貌	186
5.4.1 面向对象的设计与面向 Agent 的设计	133	7.1.1 Arena 的层次结构	186
5.4.2 基于 Agent 的系统建模	134	7.1.2 Arena 窗口的组成	187
5.4.3 Agent 建模方法的局限性	136	7.2 示例：电子装配与检测系统	195
5.5 多 Agent 建模软件——Swarm	137	7.2.1 模型 1：建立一个电子装配与检测系统模型	195
5.5.1 建模思想	138	7.2.2 模型 2：改进的电子装配与检测系统	204
5.5.2 Swarm 模型的结构	138	7.2.3 模型 3：增强动画效果	210
5.5.3 Swarm 类库	139	7.2.4 模型 4：含传输过程的电子产品装配与检测系统	214
5.5.4 基于 Swarm 的建模过程	141	实验练习	218
5.5.5 一个简单的例子	142	第 8 章 Crystal Ball 模拟软件	221
思考题与习题	147	8.1 Crystal Ball 软件概述	221
第 6 章 AweSim 模拟软件	148	8.1.1 蒙特卡洛模拟	221
6.1 利用 AweSim 建立网络模型	148	8.1.2 使用 Crystal Ball 的模拟过程	222
6.1.1 AweSim 的基本界面	148	8.1.3 Crystal Ball 的输出结果	224
6.1.2 一个简单的服务系统	151	8.1.4 Crystal Ball 的附加选项	225
6.2 AweSim 网络组元	152	8.2 Crystal Ball 应用	227
6.2.1 基本的建模结点	152	8.2.1 费瑞迪报童问题	227
6.2.2 资源和门结点	159	8.2.2 项目管理：甲建筑公司案例	239
6.2.3 逻辑与决策结点	162	8.2.3 航空公司的超额订票问题	243
6.2.4 其他结点及弧	165	实验练习	247
6.3 AweSim 的控制语句	166	参考文献	250
6.3.1 基本控制语句	167		
6.3.2 变量控制语句	169		
6.3.3 交互控制语句	171		

第1章 导论

1.1 系统、模型与模拟的基本概念

1.1.1 系统的定义及其特征

所谓系统，就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的一个有机整体。任何一个系统本身可以是一个更大的系统的组成部分，也可以包含其他系统作为其构成要素。例如，一个企业系统一方面可以看作相关行业的一个子系统，作为行业系统的一个子系统；同时，该企业中的财务、生产等部门可以分别看作该企业系统的组成要素（子系统）。

管理系统是泛指那些受到管理结构的计划和政策的指导和控制的系统，例如企业系统、社会系统和宏观经济系统等各种复杂系统。

一般而言，系统具有以下特征。

(1) 集合性

一个系统至少由两个或两个以上具有相对独立性、又具有相互作用和相互依赖性的要素构成。例如，在企业生产系统中，原材料、设备、产成品、生产计划的制订策略以及库存管理策略等都是构成生产系统的基本要素。由于构成系统的要素之间的相对独立性与相互依赖性，往往将系统分解成若干个子系统。例如，就生产系统而言，可以将其分解为生产计划部门、原材料供应部门、零部件加工部门、装配部门以及仓库管理部门等子系统，如图 1-1 所示。

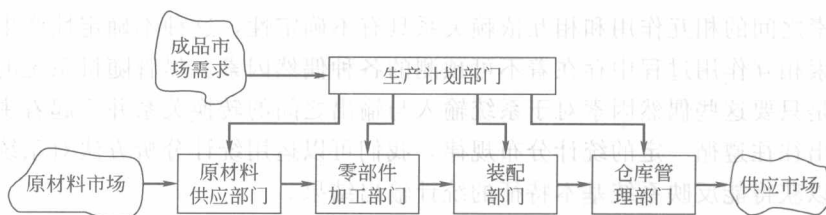


图 1-1 生产系统

(2) 关联性

系统的关联性是指系统的各个要素之间或者各子系统之间存在着相互联系与相互制约。这种关联性往往体现在子系统之间存在着一定的物质（例如，原材料、半成品、资金和人员等）或信息（生产指令与发货指令等）的流动，而这些物质的流动或信息的流动都必须遵从一定的逻辑关系。例如，生产计划部门将生产指令传送到各个有关部门，而下属各个部门则按照生产计划部门的指令将本部门的产品送到下一部门。

(3) 目的性

任何实际系统的存在都有其特定的目的，这主要体现在系统都具有履行特定功能的作

用。例如，企业系统具有将原材料转换成能满足市场需求的产品的功能；而企业中的计划部门则具有协调各生产部门的功能。

由于系统不是各个要素的简单叠加，而是由各个要素构成的一个有机整体，所以系统的整体功能大于所有子系统的功能之和。换言之，只有当系统的功能大于子系统的功能之和时，系统的存在才有其意义，否则系统将趋向于分化成一些更小的子系统。

另外，系统的目的性决定了系统具有自身优化的特性。这主要体现在两个方面：①功能的优化，即系统在有限的资源配置条件下，趋向于使其功能达到最大化；②资源使用的优化。任何系统完成一定的功能都是以消耗一定的资源为代价的，因此系统在完成一定功能的前提下，都趋向于使所消耗的资源量达到最低。

(4) 环境适应性

任何系统都存在于一定的环境之中，系统与外部环境之间产生一定的联系，并且相互作用。系统接受外部环境的影响，形成了系统的输入；而系统通过自身的特定功能将这些输入转换成系统的输出，作用于外部环境。由于外部环境的多变性，要求系统具有适应外部环境变化的能力。

例如，对于企业经营决策系统来讲，国家的经济政策、产品市场、原材料市场、同行企业的经营策略以及新工艺、新材料和新技术等构成了外部环境中的某些基本要素。随着这些环境要素的变化，企业应该不断修正其经营策略，以发挥其在新环境中的功能。

1.1.2 系统的分类

我们从系统模拟研究的需要出发，对管理系统作如下分类。

(1) 确定性系统和随机性系统

按照系统输入与系统输出之间的关系，我们可以将系统分为确定性系统与随机性系统。

所谓确定性系统，是指当系统的输入一旦确定，系统的输出就完全确定，即输入与输出之间的转换关系是唯一确定的。因此我们说在确定性系统中，系统要素之间的相互作用与相互依赖关系是完全确定的。

所谓随机性系统，是指系统的输出是非确定的，具有随机性。系统输出具有随机性的原因是系统要素之间的相互作用和相互依赖关系具有不确定性，这种不确定性产生的主要原因是，系统要素相互作用过程中存在着不可预测的各种偶然因素。尽管随机系统的输出不能完全确定，但是只要这些偶然因素对于系统输入与输出之间的转换关系并不起着主要作用，此时系统的输出往往遵循一定的统计分布规律，我们可以运用统计分析方法对系统的输出结果进行分析，以获得能反映系统基本特征的统计输出结果。

相对而言，确定性系统的结构比较简单，便于进行解析分析。而随机性系统，当其复杂程度达到一定限度时，很难用解析方法进行分析，模拟方法则成为主要的研究方法。

大多数经济管理系统都属于随机性系统，而且结构比较复杂，在这种情况下运用模拟方法来研究就显出了很大的优越性。

(2) 离散系统和连续系统

按照系统状态随时间变化的方式来看，可以将系统分为离散系统和连续系统。

离散系统的状态变化只是在一些离散的时刻点上发生，而这些时刻点可以是确定的也可以是随机的。例如，单对单服务台排队系统中，系统中的顾客数这一系统状态的变化只在一些随机的时刻点上发生。一般情况下，将在非均匀离散时刻点上发生状态变化的系统都看作离散系统。

连续系统的状态是随时间连续变化的。一般情况下,为了便于研究,通常将状态随时间连续变化或只在均匀的离散时刻点上变化的系统都看作连续系统。

1.1.3 模型及其分类

人们往往希望了解系统的特征和运行规律,但是很少有可能直接对所感兴趣的系统进行试验,因为这些系统可能还在设计阶段,不存在对应的实际系统;即使实际系统已经存在,对该系统直接进行试验的代价往往非常高。系统的模型则可以成为廉价而又有效的研究对象,通过研究系统的模型,同样可以达到了了解系统特征与运行规律的目的。

所谓系统的模型,就是对实际系统或希望建立的系统的一种抽象描述。对系统进行抽象的目的是将系统进行简化。在模型中应只包含有关系统中本质的东西,不应包含那些对系统行为不产生重要影响的非主要因素以及要素之间的非主要关系,以获得关于系统的一种比较简洁的描述。至于模型应包含系统本质的东西到什么样的程度,则取决于建立模型的目的。

模型的种类非常多,就其形式而言,它们可以是肖像模型(iconic model)、相似模型(analog model)或符号模型(symbolic model)。肖像模型从物理结构上模仿了真实系统,例如地球仪就是地球的一个肖像模型;相似模型从系统行为上模拟实系统,例如可以用水管中的水流模仿电线中的电流;符号模型与真实系统之间没有相对应的物理结构,也没有行为上的一致性,但是就逻辑关系而言与真实系统是一致的。

由于模拟分析的模型必须在计算机上实现,因此所用的模型必须是符号模型。符号模型的类型也有许多,具体说可以有几种分类。

(1) 离散型模型与连续型模型

在这种分类中模型究竟属于哪一类完全取决于模型中的变量是离散的还是连续的。离散变量只取有限的特定数量的值,而连续变量则可以取任何实数值。在这种分类中特别要注意用于模拟模型中的时间变量所取的类型。如果随着时间的改变,模型呈连续变化,就认为模型是属于连续型的;反之,如果模型的变化只在离散时刻点上发生,则认为模型是属于离散型的。

例如,在化学反应过程中,温度与压力是随时间呈连续变化的,因此作为化学反应过程的抽象,连续模型是比较合适的;而在排队系统中,顾客的到达、开始接受服务以及完成服务都是在离散时刻点上发生的,因此应该用离散模型来描述排队系统。

然而要注意的是,有时在离散模型中还将时间看作连续变量,但系统的改变并不是连续的,只是在特定的、离散的某些事件发生的时刻才发生。因此在模拟中通常称之为离散事件模拟。

(2) 确定型模型与随机型模型

在这种分类中,着重点还是在模型的变量上。如果模型中含有随机变量,就将模型看作随机模型;如果将模型的变量描述成确定性的变量,而不会显著地改变系统的行为,此时就可将模型视作确定型模型。一般的排队模型是随机模型,因为顾客的到达间隔时间以及服务员对顾客的服务时间都是随机的;而企业中的流水线系统的模型则可看作确定型模型。

(3) 静态模型与动态模型

这是按模型变量是否随时间的改变而变化作为依据的一种分类方法。如果模型变量不随时间改变,则称为静态模型;反之为动态模型。例如,生产车间的平面布置问题就是一个静态模型;而排队模型则是一个动态模型,因为队列中的顾客数随时间的改变由于新顾客的到达或顾客的离开而会发生变化。

(4) 开环模型与闭环模型

这是一种以模型结构为依据的分类方法。在闭环模型中,模型的输出反馈到模型本身,与某些期望的输出或目标进行比较,以确定对后继输出的修正方案,最终达到动态修正模型输出的目的。而在开环模型中,模型的输出不反馈到模型本身,即开环模型不具备利用输出反馈对后继输出进行修正的特性。例如,空调就是一个典型的闭环模型,因为空调具有按照室内温度自动调节输出的功能。

从上述四种分类方法,可以看到实际的模型至少有 $2^4 = 16$ 种。在本书中,主要涉及离散/连续、随机的开环模型。

1.1.4 系统模拟定义

对于一个管理系统来说,它与外部环境之间或其各组成要素之间存在着一定的数学的或逻辑的关系,而这些关系主导着该系统的运行,系统的特征由这些关系所确定。可以综合运用各类定性分析和定量分析的方法,建立一定的数学逻辑模型去正确表述这些逻辑关系,以反映系统的本质。

如果管理系统的这些逻辑关系并不太复杂,那么所建立的相应的数学模型往往可以采用数学解析的方法来求解。可是,在许多情况下,一个管理系统的数学逻辑关系会十分复杂,以至于很难甚至不可能用数学解析方法去求解。这时,需要借助系统模拟手段来解决问题。

系统模拟的定义:系统模拟就是建立真实系统的数学逻辑关系模型,然后对模型进行计算机实验,达到对实际系统的行为进行描述、解释和预测的目的的方法。

从上述关于系统模拟的定义看,要运用系统模拟方法研究实际问题必须做到:第一,要建立一个简洁的数学或逻辑模型;事实上以后会看到,能否建立一个“好”的模型对于系统模拟分析的成功与否起着关键的作用;第二,必须能够将模型表示成有效的计算机程序;第三,由于从本质上讲,模拟模型是属于描述性的,因此对计算机实验的步骤应进行很好的设计,只有这样才能获得有用的结果;第四,模拟分析的最终目的是预测系统的行为,帮助决策者评价不同的方案,因此应采用一套有效的统计分析方法对模拟输出进行有效的分析,以获得有效的结果。

1.2 系统建模与模拟技术的发展

1.2.1 发展历史

模拟技术的发展是与控制工程、系统工程及计算机技术的发展密切相联系的。控制工程和系统工程的发展促进了模拟技术的广泛使用,而计算机的出现以及计算技术的发展,则为模拟技术提供了强有力的手段和工具。模拟技术在工程系统研究的各个阶段,如方案论证、系统对象和基本部件的分析、初步设计、详细设计、分系统试验等各个阶段,均发挥了显著作用。表 1-1 给出了一个模型与模拟技术领域的发展历史。

20 世纪 50 年代初,连续系统模拟在模拟型的计算机上进行,50 年代中期出现数字模拟技术。20 世纪 60 年代初出现了混合模拟计算机,增加了逻辑控制,解决了偏微分方程、差分方程、随机过程的模拟问题。

20 世纪 80 年代末 90 年代初,以计算机技术、通信技术、智能技术等为代表的信息技术迅猛发展,给计算机模拟技术在可视模拟基础上的进一步发展带来了契机,出现了多媒体模拟技术。它采用不同媒体形态描述性质不同的模型信息,建立反映系统内在运动规律和外

表 1-1 建模与模拟技术领域的发展历史

年 代	发展的主要特点
1600~1940 年	在物理科学基础上的建模
20 世纪 40 年代	电子计算机的出现
20 世纪 50 年代中期	模拟技术应用于航空领域
20 世纪 60 年代	工业操作过程的模拟
20 世纪 70 年代	包括经济、社会和环境因素的大系统模拟
20 世纪 70 年代中期	系统与模拟技术的结合,如用于随即网络建模的 SLAM 系统
20 世纪 80 年代	系统模拟与更高级的决策结合,如决策支持系统 DSS
20 世纪 80 年代中期	集成化建模与模拟环境
20 世纪 90 年代	可视化建模与模拟,虚拟现实模拟,分布交互模拟

在表现形式的多媒体模型,并在多媒体计算机上运行,产生定性、定量相结合的系统动态演变过程,从而获得关于系统的感性和理性认识。多媒体模拟技术充分利用了视觉和听觉媒体的处理和合成技术,更强调头脑、视觉和听觉的体验,模拟中人与计算机的交互手段也因之而更加丰富。

虚拟现实模拟技术是继多媒体模拟之后兴起的又一模拟技术。自 20 世纪 70 年代以来,随着信息技术、计算机技术、计算机网络技术、图形图像处理技术等的高速发展,人们开始在计算机中描述和建立客观世界中的客观事物以及它们之间的关系。20 世纪 80 年代初正式提出了“虚拟现实”一词。虚拟现实是一种由计算机全部或部分生成的多维感觉环境,给参与者身临其境的感觉,同时参与者从定性和定量综合集成的虚拟环境中可以获得对客观世界中客观事物的感性和理性的认识。沉浸、交互、构思是虚拟现实具备的三个基本特征。虚拟现实技术具有安全、经济、节能降耗、不受外界环境限制等突出优点,在今后必然会得到更深入发展和更广泛应用。

系统模拟方法学的发展大致可以分为两个阶段,从 20 世纪 40 年代到 70 年代,是传统系统模拟方法学发展阶段;从 80 年代到今天,是复杂系统模拟方法学发展阶段。两个发展阶段的主要区别是:建模在系统模拟方法学中重要性的增长。传统的系统模拟方法学主要是面向工程系统,如航空、航天、电力、化工等。一般来说,这类系统具有良好定义和良好结构,具有充分可用的理论知识,可以采用演绎推理的方法建模。而复杂系统模拟主要是面向社会、经济、生态、生物等十分复杂的系统。模拟这些复杂系统的难点主要在于系统的病态定义和病态结构,以及无充分可用的理论和先验知识。传统系统模拟方法中的建模,其侧重点是对形式化模型进行演绎推理、实验、分析;而在复杂系统模拟方法中,侧重点在于解决如何建立系统的形式化模型,建立一种抽象的表示方法以获得对客观世界和自然现象的深刻认识。

1.2.2 发展趋势

计算机模拟技术不论是从理论上还是实践中都已经取得了丰富的成果,积累了大量的系统模拟模型和行之有效的模拟算法。但是,模拟技术目前仍然存在一些缺陷,例如,建模方法尚不完善,研究同一个系统的同一个问题可以建立出不相同的模型,而且有些社会经济系统中的问题尚无法建立准确的模型进行求解。同时,决策者必须通过建模者和模拟试验人员才能介入到对系统的模拟分析中。随着对建模与模拟的理论和方法研究的不断深入,以及作

为其支撑技术之一的计算机技术的不断发展和进步,计算机模拟技术在应用过程中出现的问题会逐步得到解决。进入 20 世纪 90 年代以来,计算机技术的各个方面都取得了异乎寻常的进展。微处理器性能的增长使得利用微型计算机和 workstation 进行复杂系统的模拟分析成为可能,当然对中长期天气预报这样的模型复杂、数据繁多、实时性要求高的问题的计算仍离不开巨型机。在软件设计中广泛采用了面向对象的思想,再加上计算机图形技术的进步,模拟过程中的人机交互越来越方便直观。总之,计算机模拟技术正朝着一体化建模与模拟环境的方向稳步发展。

近年来,由于问题域的扩展和模拟支持技术的发展,系统模拟方法学致力于更自然地抽取事物的属性特征,寻求使模型研究者更自然地参与模拟活动的方法等。在这些探索的推动下,出现了一批新的研究热点。

(1) 面向对象模拟

从人类认识世界模式出发,使问题空间和求解空间相一致,提供更自然直观且具有可维护性和可重复使用性的系统模拟框架。

(2) 定性模拟

用于复杂系统的研究。由于传统的定量数字模拟的局限,模拟领域引入定性研究方法将拓展其应用。定性模拟力求非数字化,以非数字手段处理信息输入、建模、行为分析和结构输出,通过定性模型的推导系统进行定性行为描述。

(3) 智能模拟

将知识为核心和人类思维行为作背景的智能技术引入整个建模与模拟过程,构建各种基于知识的模拟系统,即智能模拟平台。智能模拟技术的开发途径是人工智能与模拟技术的集成化。智能技术主要包括专家系统、知识工程、模式识别、神经网络等。因此,近年来各种智能算法,如模糊算法、神经算法、遗传算法的探索也形成了智能建模与模拟中的一些研究热点。

(4) 分布交互模拟

是通过计算机网络将分散在各地的模拟设备互联,构成时间与空间相互耦合的虚拟模拟环境,以实现分布交互模拟的一种技术,其关键技术是网络技术、支撑环境技术、组织和管理。其中网络技术是实现分布式交互模拟的基础。

(5) 可视化模拟

用于为数值模拟过程及结果增加问题提示、图形、图像、动画表现,使模拟过程更加直观,结果更容易理解,并能验证模拟过程是否正确。近年来还提出了动画模拟,主要用于系统模拟模型建立之后动画演示,所以原则上仍属于可视化模拟。

(6) 多媒体模拟

它是在可视化模拟的基础上增加声音,从而得到视觉和听觉组合的多媒体模拟。多媒体模拟是对传统意义上数字模拟内涵的扩展,它利用系统分析原理与信息技术,以更加接近自然的多媒体形式建立描述系统内在变化规律的模型,并在计算机上以多媒体形式再现系统动态演变过程,从而获取有关系统的感性和理性认识。

(7) 虚拟现实模拟

虚拟现实是一种由计算机全部或部分生成多维感觉环境,给参与者获得各种感官信号,如视觉、听觉、嗅觉等,使参与者有身临其境的感觉,能体验、接受和认识客观世界中的客观事物。同时人与虚拟环境之间可以进行多维信息的交互,参与者从定性和定量综合集成的虚拟环境中可以获得对客观世界中客观事物的感性和理性的认识,从而深化概念,形成新的

构想和创新。人的参与分为两种情况：一种是人根据虚拟环境做出实时的操作和控制决策响应，另一种是人对虚拟系统模拟结果进行观察分析和调试修改。虚拟现实模拟是在多媒体模拟的基础上强调三维动画与交互功能，支持触、嗅、味等知觉。

(8) Internet 网上模拟

1995 年以来，随着 Internet 的迅速崛起，利用面向对象的互联网程序语言 Java，已经开发了多种面向 Web 的模拟系统，如美国海军研究院的 Simkit 可以在网上浏览器的支持下进行分布式模拟，用 Simkit 建立的模拟模型可以在世界任何地点的网络用户机上运行，使分布在各网点的模拟模型可在其他网点上运行，或进行全球范围内总体模拟模型的分布式模拟运行。近年来，如何利用面向 Web 的程序语言开发离散时间模拟系统、基于 Web 进行模拟建模以及在互联网上实现模拟运行已经成为系统模拟中研究工作的热点。

1.3 系统模拟的发展及其在经济管理中的应用

管理系统模拟是由管理工程、系统工程、应用数学和计算机科学相结合的新兴边缘学科。近二十年来，随着管理科学、系统工程、现代数学和计算机科学的迅猛发展，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。特别反映在模拟理论与方法结合的模拟语言的迅速更新换代和得到日益广泛的应用。以美国为例，20 世纪 60 年代开发了第一代模拟语言——低功能、只能进行单种类型模拟的模拟语言，例如，由 Geoffrey Gordon 开发并在 1961 年推出的 GPSS 模拟语言，以及由 RAND 公司开发并在 1963 年推出的 SIMSCRIPT 模拟语言等；70 年代中期以后，第二代模拟语言问世，它们是可进行多种类型模拟的高功能模拟语言，例如，由 A. A. Pritsker 开发的 GASP IV 等；到 80 年代初，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，具有模拟控制、输入数据和输出数据的统计分析、图表处理以及数据库管理等功能，如由 GASP IV 扩展而来的 SLAM II 模拟语言等，并且迅速得到了商品化，而被广泛应用。各种模拟语

表 1-2 系统模拟在管理系统中的主要应用领域

领 域	应 用	领 域	应 用
工业企业管理系统	企业模型	交通运输管理系统	铁路运输调度
	装配流水线作业计划		交通路口灯光控制
	银行出纳作业安排		出租汽车调度
	设备平面布置	社会资源管理系统	自然资源利用
	储存订货规则设计		国家人力调节系统
	单件小批量生产作业计划		水流资源开发
物资分配与流通系统	维修作业安排		警察系统设计
	生产过程设计		政治选举预测
	仓库布局	医疗卫生与教育系统	医疗救护车的布局与调度
交通运输管理系统	邮购系统设计		医院模型
	集装箱传输		血库模型
	航空运输控制排队系统		医药物资管理
	飞机维修作业计划		学校区域模型
	机场设计		图书馆作业设计
	公共汽车线路设计和作业安排	其他系统	通信系统设计
	港口设计、装卸作业计划		信息系统设计
	停车场设计		军事作战模拟
	城市交通运输系统设计		军事后勤系统设计

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、社会系统、卫生与教育系统等众多管理系统的辅助管理决策和系统设计。而且经统计,在运筹学与管理科学的各类方法中,系统模拟方法的应用比例已达到 29%,占据首位。表 1-2 归纳了系统模拟在管理系统中的主要应用领域。

1.4 系统模拟语言简介

1.4.1 模拟语言的结构

模拟语言是为适应系统模拟的特点而开发的计算机程序语言,因此模拟语言是以问题为基础的。实际系统与实际问题的多样性,不同模拟语言具有不同风格,且对实际系统的表示方式有不同的特点。但是每一种模拟语言都有其基本的结构:静态结构与动态结构。

(1) 静态结构

指一种模拟语言具有表示系统实体及其属性的能力,这包括永久性实体与临时性实体;同时,模拟语言还应能表示各类实体之间的关系,具有能够产生各类实体等能力。

(2) 动态结构

模拟语言的动态结构指在模拟过程中模拟时钟的管理方式。

1.4.2 模拟语言应具有的功能

模拟语言的静态结构与动态结构提供了运行模拟模型的基本要求,但为了能使模拟分析真正成为一个有效管理决策的辅助手段,模拟语言还应具有一些其他的辅助功能。具体功能如下。

(1) 程序语言功能

大多数模拟语言仍然需要通过模拟语言指令语句的输入来生成模拟模型。但是有一些模拟语言具备了运用图形模块生成模拟模型的功能,如 GPSS 和 SLAM II 等模拟语言都具备了这样的功能,具有很强的直观性。

(2) 模型查错功能

一旦利用所选模拟语言生成了模拟模型,接下来要做的事情就是检查构成模型的代码是否正确。大多数模拟语言都提供了检查语法错误的功能,然而并不告诉用户如何纠正这些错误。对于模型在运行中可能出现的错误,一般,模拟语言都不提供诊断功能,但有些模拟语言提供了运行跟踪功能,它通过一些附加输出报告帮助用户进行模型检测。

(3) 随机变量生成功能

由于大多数模拟语言都适合于随机性模拟,因此都应该具有从一个特定的随机分布中获取随机样本的功能。

(4) 输出数据的统计与图表功能

模拟语言一般都应具备在模拟运行过程中采集模拟数据,并在模拟运行结束时提供统计结果报表输出与图表输出的功能。而且一个好的模拟语言应具有提供用户灵活选择各类统计输出的功能。

(5) 模拟实验设计功能

由于系统模拟应用的成功与否,在很大程度上取决于模拟实验结果的合理性。充分而又有效的模拟实验设计,对于获得高质量的模拟结果是至关重要的,因此模拟语言应具备提供用户灵活改变模型参数以及模拟运行参数的功能。

(6) 动画与动态输出功能

模拟过程中的动画可以反映出模型实体如何在模型要素之间流动,这有助于用户分析模拟运行过程中所出现问题的产生原因。

1.4.3 常用模拟语言

到目前为止,国内外已经开发了许多种模拟语言,但就其用途而言,常用于经济管理系统分析的模拟语言一般可以分为以下几类。

- ① 离散型模拟语言。如 GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA 语言等。
- ② 连续型模拟语言。如 DYNAMO 语言等。
- ③ 复合型模拟语言。如 GASP IV, SLAM II, SIMAN, Arena 等。

思考题与习题

1. 系统的特征主要有哪些? 并就你所熟悉的经济管理系统对这些特征作出描述。
2. 请举例说明属于不同类型的经济管理系统的模型。
3. 请至少给出两个你熟悉的经济或管理问题, 相对于解析方法, 运用模拟技术处理这些问题将更具优势。
4. 请至少给出两个你熟悉的经济或管理问题, 模拟技术与优化方法能得到很好地结合并应用与解决有关问题。

第2章 系统建模与模拟基础

2.1 系统模拟的基本概念

2.1.1 系统模型

建立模型是人类认识世界的基本方法，模型是对认识对象所作的一种简化描述，是对原型进行模拟所形成的特定形态。模型是真实对象和真实关系中那些令人感兴趣的特性的抽象和简化。模型的建立不是“原型的重复”，而是按照研究目的实际需要和侧重点，寻找一个便于进行系统研究的“替身”。

在原型系统及模型之间存在着“反馈”关系，根据对原型系统规律的认识，可以建立模型。而建立模型进行实验的过程又可以发现一些新的规律，由此预测未来或丰富对原型系统的认识。图 2-1 表示模型与原型在认识过程中的关系。

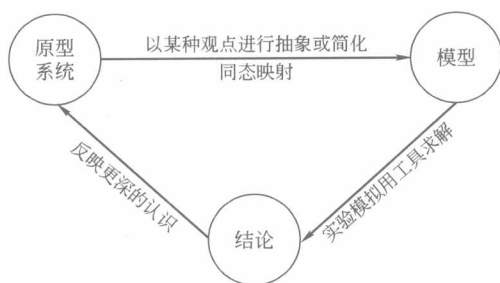


图 2-1 模型与原型的关系

原型系统即被研究的系统，模型一般比原型系统要简单，建模的过程是对原型系统简化的过程。简化的目的是，根据系统性质的重要性寻找典型性指标，降低观测、计算和分析成本，在可计算能力的范围内得到关于系统的近似逼近。

人类对世界的探索过程，就是建立各种模型的过程。人类认识积累的过程，也是修正和具体化各种形态的模型的过程。描述事物静态结构的模型称为静态模型，描述事物发生、发展、演化过程的模型称为动态模型。

历史地看，模型形态的变化也是一个逐渐从简单到复杂的发展过程。从最初原始的思维意向模型，发展到借用外在的工具搭建的各种模型，包括绘画模型、建筑雕塑模型、工具模型等，再到哲学中发展出的各种理论模型。随着逻辑与数学理论的发展，近代以来模型已进入高级形式化阶段，在实验和工具论的基础上建立起现代科学理论体系。科学理论体系也可以看作一种与经验同构的形式化理论模型。“同构”是指理论与客观对象之间的数学关系和物理关系。在科学体系中，模型可能是一种逻辑演算形式，或更抽象的数学公式。

随着人类对该事物理解的逐渐深入，对同一事物建立模型的动机也在发生变化。不同动机下建立的模型显然也不相同，一般可以把人类建立模型的动机分为四个层次：①解释和理解的需要。解释和理解事物背后运行的机制，比如科学发现的本原动机就是理解自然背后的秩序法则，如血液循环模型、牛顿和爱因斯坦的时空观等。②预测的需要。为了趋利避害，人们希望能够在发现事物规律的基础上对事物的发展进行预测，并依据预测来安排生产。③控制的需要。为了改造自然，人们需要在理解或预测的基础上对事物发展的过程进行干预和控制。④技术理性和工具的需要。人类在对事物机理深入理解和完全控制的基础上开始有意

识地创造工具,仿照自然机理创造可供自主控制的物品。

2.1.2 模型的分类

(1) 按照模型存在的空间,可以将模型分为实物模型和符号模型两类

实物模型是以某种速度、形式相似,人造或自然的模型实体去再现系统。物质模型是模拟实验赖以进行的物质手段。符号模型是借助于专门的符号、线条,并按照一定的形式组合去描述客体。符号模型又包括概念模型、逻辑模型和数学模型。

概念模型是人们根据所要达到的目标和所具备的领域知识、经验等构造出来的。概念模型一般不完善,但它描述了对象系统的主要特征,描绘了系统大致的轮廓,并对以后模拟、认识对象系统有深刻的意义。

逻辑模型是在概念模型的基础上构造出来的,在原理上是可行的,描述了模型总体的合理性、结构的合理性和实现的可行性,在逻辑上对对象系统进行了说明,但没有具体的细节。

数学模型指的是描述元素之间、子系统之间、层次之间相互作用以及系统与环境相互作用的数学表达式。原则上讲,现代数学所提供的数学表达形式,包括几何图形、代数结构、拓扑结构、序结构、分析表达式等均可以作为一定系统的数学模型。数学模型通常表现为定律、定理、公式、算法、图表等。数学模型可以是一个或一组代数方程、微分方程、差分方程或统计学方程等,也可以是它们中某一些的适当组合。通过方程可以定量或定性地描述系统各变量之间的相互关系或因果关系。除了用方程描述的数学模型外,还有用其他数学工具,如代数、几何、拓扑、数理逻辑等描述的模式。

拓扑模型作为一种可以描述系统结构的工具,可以给出各个元素、子系统的相对位置、前后次序、分布情况等。常用的拓扑结构如下。

① 链结构:元素按照一定顺序排列成一条链条,首元素与尾元素不相连。

② 环结构:元素相互联结形成某种闭合环形,称为循环结构。最简单的是首元素与尾元素重合的闭链。由基本的循环结构可以构成更复杂的循环结构。

③ 树结构:树是一种由根、干、枝、叶组成的形式系统,主要特点是有分叉,没有闭环。树中最简单的分支是链结构。树结构的应用广泛,如决策树、语法树、演化树等。

④ 网络结构:可能同时包含链、环、树的复杂结构。

另一类使用广泛的数学模型是用参量表达的,如函数、方程等。其中的参量分为两种,一种是反映系统本身变化的量,如输入变量、输出变量、状态变量等,系统的行为、特性、未来发展趋势都可以通过它们来刻画。另一类是控制参量,它们一般反映系统与环境的依存制约关系,不能由系统本身获得,从输入变量、输出变量、状态变量的角度看,这些量可以作为不变量,因而在数学模型中以常数形式出现。如在企业管理系统中,可以利用的资源、资金等是给定的,产品价格不受企业控制,这些量在企业系统的数学模型中只能作为控制参量出现。一般而言,由状态变量和控制参量构成的数学方程称为状态方程,经常用于描述系统状态转移的规律,是最常用的数学模型之一;代数方程不含时间变量,经常用作静态系统的数学模型;微分方程和差分方程则往往用于构造动态系统的数学模型。

对静态系统进行研究时,也需要考虑控制参量变化带来的影响,但一般无需放在参量空间作整体的考察,通常的做法是引入灵敏度概念,分析参量的小扰动给系统性能指标造成的影响,设法采取适当措施加以弥补。

模拟模型,又称为模拟模型或基于计算机的模型。模拟模型一般是通过可在计算机上运