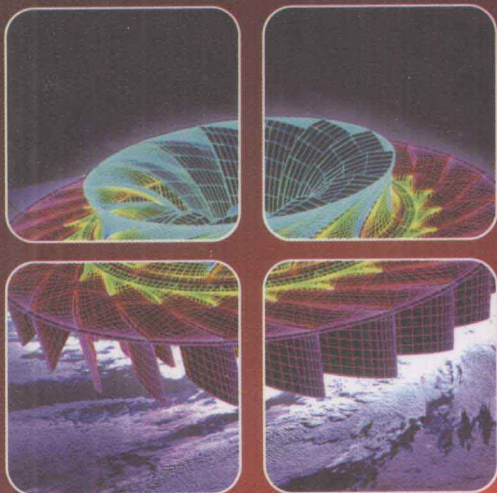


中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



SIMULATION SCIENCE

离散事件系统建模与仿真

Modeling & Simulation for Discrete Event System

肖田元 范文慧 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划

中国仿真科学与技术书系

离散事件系统建模与仿真

肖田元 范文慧 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

离散事件系统是指其状态变量只在某些离散时间点上发生变化的系统。大多数离散事件系统本质上属于人造系统,即包含人为规则或人为机制的“非物理型”系统。

全书共 12 章。第 1 章概述,从概念上讨论 DEVS 的内涵及其特征;第 2 章通过三个简单的实例讨论了 DEVS 建模与仿真的各个步骤,以便读者了解 DEVS 建模与仿真的基本要素,还对目前流行的离散事件系统建模与仿真软件进行了介绍;第 3 章介绍主要的数学基础,即概率论与数理统计的基本知识;第 4 章介绍随机变量建模及其检验方法;第 5 章介绍仿真中产生随机变量的方法和技术;第 6 章从系统角度讨论建模与仿真问题;第 7 章对四类策略,即事件调度法、活动扫描法、三阶段法,以及进程交互法,分别进行了规范化讨论;第 8 章讨论了单系统仿真运行结果分析及实验设计技术;第 9 章讨论多系统比较技术,还介绍了基于仿真的优化技术;第 10 章讨论了哲学家用餐问题的建模与仿真,可以作为计算机操作系统建模与仿真参考;第 11 章讨论物流配送系统中车辆路径规划问题的建模与仿真;第 12 章讨论生产系统建模与仿真。

本书从原理到方法,从理论到应用,系统地讨论了离散事件系统的建模与仿真的理论、方法、技术,以便读者能比较全面和准确地理解和正确地应用相关知识,可作为高等院校相关专业本科高年级学生离散事件系统建模与仿真课程的教材使用,也可以作为相关领域的科学研究工作者、工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

离散事件系统建模与仿真 / 肖田元, 范文慧编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.8

(中国仿真科学与技术书系)

ISBN 978-7-121-14174-4

I. ①离… II. ①肖… ②范… III. ①离散事件系统—系统建模②离散事件系统—计算机仿真 IV. ①TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148800 号

策划编辑: 康 霞

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.75 字数: 492 千字

印 次: 2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

“中国仿真科学与技术书系” 编委会

主 编：黄柯棣

副主编：庞国峰 李 革

编委会成员：（按拼音排序）

毕红哲	方胜良	郭齐胜	龚建华	胡晓峰
吕跃广	李 群	李世忠	王维平	王雪松
王中杰	卫军胡	肖田元	杨 峰	杨瑞平
杨西龙	朱一凡			

前 言

仿真科学与技术极大地扩展了人类认知世界的能力。它可以不受时空的限制,观察和研究已发生或尚未发生的现象,以及在各种假想条件下,现象发生和发展的过程;它还可以深入到一般科学及人类生理活动难以到达的宏观或微观世界去进行研究和探索,从而为人类认识世界和改造世界提供了全新的方法和手段。

计算机仿真技术已经有近 50 年的发展历史,它在各类应用需求的牵引及相关学科技术的推动下,已经发展形成了较完整的专业技术体系,并迅速地发展为一项通用性、战略性技术。Dr. Raymond L. Orbach 说,“在 21 世纪的科学中,仿真和高端计算是理论和实验科学的平等伙伴。”“仿真是一种与实验和理论对等的方法论。”仿真技术已经成为解决复杂问题的最有效手段之一。

本书讨论一类典型系统——离散事件系统 (Discrete Event Systems, DEVS)——的建模与仿真技术,有些文献将这类系统称为离散事件动态系统 (Discrete Event Dynamic Systems, DEDS),甚至简称为离散系统 (Discrete Systems)。这类系统本质上属于人造系统,即包含人为规则或人为机制的“非物理型”系统。典型的例子有:交通系统(空中、地面)、计算机系统、通信网络系统、机械制造系统、军事上的 C³I 系统,以及在供应链、仓储、人口控制、市场贸易等领域中广泛存在的各种各样的系统。

属于物理世界或广义物理世界范畴的系统则是“物理型”系统,称为连续变量动态系统 (Continuous Variable Dynamic Systems, CVDS) 或连续变量系统 (Continuous Variable Systems, CVAS)。DEVS 与 CVDS,无论在系统建模方面,还是在仿真分析方法方面,都有着显著的不同。

目前,关于离散事件系统仿真的书籍并不少见,本书力图系统而有重点地讨论 DEVS 的建模与仿真的理论、方法、技术,以便读者能比较全面和准确地理解和正确地应用相关的知识,实现该类系统的建模与仿真。

第 1 章是概述,从概念上讨论 DEVS 的内涵及其特征,重点介绍 DEVS 建模与仿真的基本概念、术语。

第 2 章通过三个简单的实例讨论 DEVS 建模与仿真的各个步骤,以便读者了解 DEVS 建模与仿真的基本要素。一般说来,DEVS 建模与仿真往往采用相应的仿真软件,因此,本章还对目前流行的离散事件系统建模与仿真软件进行了介绍,重点说明了软件的技术特点、功能及应用特点,以便读者选用时参考。

随机性是 DEVS 的基本特性,第 3 章介绍所涉及的主要数学基础,即概率论与数理统计的基本知识,包括概率统计与随机过程的一些基本术语、常用离散随机变量和连续随机变量的概率分布模型、随机过程的基础知识,以及数理统计的基本知识。

第 4、5 两章从随机变量的角度讨论建模与仿真问题。随机变量建模是离散事件系统建模的基础,也是离散事件系统建模的重要任务。第 4 章就如何由观测数据确定随机变量的分布类型、参数,以及所建模型的检验方法——拟合优度检验进行讨论。第 5 章讨论离散事件系统

仿真中产生随机变量的方法和技术,包括随机数发生器及其检验方法,产生随机变量的一般原理,并给出了常用的连续随机变量及离散随机变量的建模与仿真方法。

第 6、7 两章从离散事件系统角度讨论建模与仿真问题。较之 CVDS,目前还缺乏统一的普适的 DEVS 的建模方法。第 6 章首先讨论 DEVS 建模面临的困难、特点,进而介绍几种目前流行的 DEVS 模型描述形式,包括两类典型的理论建模方法,即排队网方法、Petri 网方法;三类基于图论的离散事件系统建模方法,即实体流程图法、PERT 图法,以及活动周期图法。最后,介绍一种离散事件系统形式化描述规范。

虽然某些离散事件系统模型能解析地获得系统的性能,但大多是在某些假定的条件下得到的。对于一般情形,这些模型最终均要转换为仿真模型,通过仿真才能得到期望的结果。如何将这些模型映射为仿真模型,特别是,DEVS 本质上是由事件驱动的,事件在时间上是随机发生的,如何在计算机世界描述事件并在计算机世界按实际系统中发生的逻辑、时序复现事件,这是 DEVS 仿真建模方法学的内容。本书第 7 章首先对仿真建模的基础——表处理技术进行讨论,然后对目前广泛使用的四类策略,即事件调度法、活动扫描法、三阶段法,以及进程交互法,分别进行了规范化讨论,并进行了比较。

一旦仿真模型建立起来,就可以通过仿真模型的运行,获得离散事件系统模型的输出。然而,与 CVDS 不同,离散事件系统固有的随机性决定了仿真结果分析的复杂性以及仿真实验设计的复杂性。仿真研究的大量课题是比较多种方案的优劣,以便从其中选择最佳方案或可行方案。因此,如何进行多系统设计方案也是比较也是十分重要,本书安排了第 8、9 章来讨论。

第 8 章讨论了单系统仿真运行结果分析及实验设计技术,包括单系统的终止型仿真与稳态型仿真的分析方法与实验设计,特别是讨论了基于方差减小技术的单系统仿真实验设计方法。

第 9 章首先讨论双系统比较技术,这是多系统中最简单的情况,分别讨论了独立采样、公共随机数法;然后进一步讨论多方案的比较技术,重点介绍 Bonferroni 法与两阶段抽样法。多系统择优本质上是参数优化问题,离散事件系统参数优化是一个非常困难的问题,原因在于离散事件系统的随机性,因此,本章最后对基于仿真的优化技术进行了初步讨论。

第 1~9 章是对离散事件系统建模与仿真的理论、技术、方法全面讨论,为了让读者深入地理解并运用离散事件系统建模与仿真实论、技术、方法以解决复杂的实际问题。本书用第 10~12 章共 3 章内容,专门讨论三类典型离散事件系统的建模与仿真。这三类系统具有相当的代表性,本书的讨论不但有助于这些领域的读者,对其他领域的读者相信也会有很好的参考价值。

第 10 章详细讨论了哲学家用餐问题的建模与仿真,这是计算机操作系统的同步与互斥的典型问题的一个抽象,包括哲学家用餐问题仿真条件与假设,随机变量生成,事件调度法和活动扫描法两种仿真策略建模,以及对仿真输出分析进行了详细的讨论,所涉及建模与仿真技术可以作为计算机操作系统建模与仿真参考。

第 11 章讨论了物流配送系统中车辆路径规划问题的建模与仿真。根据车辆路径问题类型确定了仿真目标,建立了层次化、对象化、模块化的车辆路径规划问题的模型,采用面向对象的分析方法确定了各个对象的功能和属性;采用商用仿真软件 AnyLogic 建立了整个车辆路径问题的逻辑模型,包括对象类,信息类,动画显示和数据统计集,详细介绍了模型中的控制程序,包括初始化部分、路口选择部分和行驶记录部分;最后,给出了所建立的车辆路径问题仿真模型的验证过程。

第 12 章讨论了生产系统建模与仿真,包括随机生产线的建模与仿真,流水生产线平衡问

题的建模与仿真，以及基于仿真的装配生产线优化。每个方面均给出了实例。

本书从原理到应用，从理论到方法，对离散事件系统建模与仿真进行了比较系统而深入的讨论，无论作为仿真工具书，还是作为教材辅导书，都有其独到之处。对致力于研究、实践离散事件系统建模与仿真的读者来说，相信此书的出版无疑是他们的一个期盼。

作 者

2011 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 系统、模型与仿真	2
1.1.1 系统	2
1.1.2 模型	3
1.1.3 仿真	5
1.2 离散事件系统	6
1.2.1 实体	7
1.2.2 事件	7
1.2.3 活动	8
1.2.4 进程	8
1.3 离散事件系统仿真	9
1.3.1 离散事件系统建模	9
1.3.2 离散事件系统仿真建模	10
1.3.3 离散事件系统仿真分析	11
1.4 仿真研究的步骤	12
参考文献	12
第 2 章 离散事件系统仿真入门	13
2.1 单服务台排队系统建模与仿真	14
2.1.1 单服务台排队系统建模	14
2.1.2 单服务台排队系统仿真建模	15
2.1.3 仿真钟的推进	18
2.2 库存系统建模与仿真	22
2.2.1 库存系统的基本概念	22
2.2.2 确定性库存系统	23
2.2.3 随机库存系统	24
2.2.4 随机库存系统仿真举例	25
2.3 项目网络建模与仿真	30
2.3.1 CPM/PERT 网络建模	31
2.3.2 CPM/PERT 网络仿真建模	31
2.4 离散事件系统建模与仿真软件	35
2.4.1 仿真软件发展历程	35
2.4.2 典型仿真语言	37
2.4.3 典型仿真环境	41
参考文献	46
第 3 章 概率统计与随机过程基础知识	47
3.1 概率论基础知识	48
3.1.1 概率论常用术语	48

3.1.2 离散随机变量理论分布	52
3.1.3 连续随机变量理论分布	53
3.2 数理统计基础知识	60
3.2.1 数理统计常用术语	60
3.2.2 总体参数的点估计	62
3.2.3 总体分布函数的统计假设检验	63
3.3 随机过程	64
3.3.1 一般随机过程	64
3.3.2 泊松过程	64
3.3.3 非稳泊松过程	66
参考文献	66
第4章 基于观测数据的随机变量建模	67
4.1 概述	68
4.2 分布参数的确定	68
4.2.1 分布参数的类型	68
4.2.2 分布参数的估计	70
4.3 分布类型的假设	73
4.3.1 连续分布类型的假设	73
4.3.2 离散分布类型的假设	78
4.3.3 相关随机变量建模	79
4.3.4 时间序列输入模型	80
4.4 实验分布	82
4.5 拟合优良度检验	83
4.5.1 χ^2 检验	83
4.5.2 K-S 检验	85
参考文献	87
第5章 随机变量仿真建模	88
5.1 引言	89
5.2 随机数发生器	89
5.2.1 线性同余发生器	89
5.2.2 组合发生器	91
5.3 随机数发生器的测试	91
5.3.1 均匀性检验	92
5.3.2 独立性检验	92
5.4 随机变量产生的原理	94
5.4.1 反变换法	95
5.4.2 组合法	97
5.4.3 卷积法	98
5.4.4 舍选法	99
5.5 典型随机变量的产生	101

5.5.1 连续随机变量的产生	101
5.5.2 离散随机变量的产生	105
5.5.3 相关随机变量的产生	108
5.5.4 时间序列随机变量的产生	109
参考文献	110
第 6 章 离散事件系统模型描述	111
6.1 概述	112
6.2 排队网络模型	112
6.2.1 $M/M/1$ 系统	113
6.2.2 $M/M/c$ 系统	116
6.2.3 Jackson 开环排队网络	118
6.2.4 Jackson 闭环排队网络	121
6.3 Petri 网方法	123
6.3.1 Petri 网定义	123
6.3.2 Petri 网的变迁	125
6.3.3 Petri 网性能分析	127
6.3.4 有效 Petri 网的建模	129
6.4 实体流图法	130
6.4.1 实体流图	130
6.4.2 实体流图建模	131
6.5 活动周期图法	133
6.5.1 活动周期图	133
6.5.2 活动周期图建模	134
6.6 网络计划法	136
6.6.1 网络计划图	136
6.6.2 网络计划法建模	137
6.7 离散事件系统形式化描述	140
6.7.1 DEVS 基本模型	140
6.7.2 DEVS 耦合模型	141
6.7.3 DEVS 封闭性证明	142
6.7.4 DEVS 模型实现	143
参考文献	144
第 7 章 离散事件系统仿真建模方法学	145
7.1 概述	146
7.2 表处理	147
7.2.1 表的基本性质和操作	147
7.2.2 使用数组进行表处理	148
7.2.3 使用动态分配和链表	148
7.3 事件调度法 (Event Scheduling)	149
7.3.1 事件调度法策略描述	149

7.3.2 事件调度法仿真建模	150
7.4 活动扫描法 (Activity Scanning)	153
7.4.1 活动扫描法策略描述	154
7.4.2 活动扫描法仿真建模	155
7.5 三段扫描法 (Three Phase Scanning)	159
7.5.1 三段扫描法策略描述	159
7.5.2 三段扫描法仿真建模	161
7.6 进程交互法 (Process Interactive)	163
7.6.1 进程交互法策略描述	164
7.6.2 进程交互法仿真建模	165
7.7 四种仿真策略的比较	166
参考文献	168
第8章 单系统仿真输出分析与实验设计	169
8.1 概述	170
8.2 仿真输出分析的统计量	170
8.3 仿真输出分析方法的分类	172
8.4 终止型仿真的实验设计与输出分析	173
8.4.1 固定样本长度法	173
8.4.2 终止型序贯程序法	176
8.4.3 终止型仿真分位数区间估计	178
8.5 稳态型仿真实验设计与输出分析	178
8.5.1 稳态型仿真与初态设置	178
8.5.2 批均值法	179
8.5.3 稳态型序贯法	180
8.5.4 重新产生法	183
8.5.5 重复删除法	185
8.6 单系统仿真方差减小技术	188
8.6.1 对偶变量法	188
8.6.2 控制变量法	189
参考文献	190
第9章 系统多方案仿真与优化	191
9.1 概述	192
9.2 双系统设计方案的比较	192
9.2.1 独立采样法比较	192
9.2.2 公共随机数法比较	196
9.3 多系统设计方案的比较	200
9.3.1 Bonferroni 法	200
9.3.2 两阶段抽样法	204
9.3.3 筛选法	205
9.4 基于仿真的优化	206

9.4.1 基本框架	207
9.4.2 随机搜索法	207
9.4.3 响应曲面法	209
9.4.4 鲁棒启发方法	211
参考文献	213
第 10 章 哲学家用餐问题建模与仿真	214
10.1 条件与假设	215
10.1.1 仿真假设	215
10.1.2 仿真条件	216
10.2 随机变量生成	216
10.3 仿真策略	217
10.3.1 事件调度法建模	218
10.3.2 活动扫描法建模	219
10.3.3 仿真程序流程及性能比较方法	221
10.4 仿真结果及其输出分析	221
10.4.1 Both forks 策略	222
10.4.2 One by one fork 策略	224
10.5 进一步讨论	227
参考文献	229
第 11 章 物流配送系统建模与仿真	230
11.1 车辆路径问题的仿真准备	231
11.1.1 数据准备	231
11.1.2 仿真方法	233
11.1.3 仿真软件 AnyLogic 简介	234
11.1.4 仿真目标	235
11.2 车辆路径问题的仿真建模	236
11.2.1 车辆路径问题仿真的逻辑流程	236
11.2.2 车辆路径问题的仿真建模	236
11.2.3 仿真模型的实验设计	243
11.3 仿真模型的验证和结果分析	248
11.3.1 仿真模型的验证	248
11.3.2 仿真结果分析	249
参考文献	253
第 12 章 生产系统建模与仿真	254
12.1 生产系统建模与仿真概述	255
12.1.1 生产系统建模与仿真特点	255
12.1.2 生产系统建模与仿真常用术语	256
12.2 随机生产系统建模与仿真	257
12.2.1 系统描述和假设	258
12.2.2 系统建模与仿真建模	260

12.2.3 仿真与改进分析	265
12.3 装配生产线平衡问题建模与仿真	267
12.3.1 节拍装配生产线模型描述	268
12.3.2 装配线平衡问题仿真建模	269
12.3.3 决策准则及目标	273
12.3.4 蒙特卡罗随机仿真	274
12.4 节拍装配生产线平衡仿真优化	275
12.4.1 模拟退火算法	276
12.4.2 遗传算法	277
12.4.3 节拍装配生产线平衡优化举例	278
参考文献	281
附录 A 缩写词	282

本章内容安排如下：

首先对建模与仿真进行一般性介绍，包括系统、模型、仿真的基本概念，说明何时使用仿真，仿真的优点和缺点。其次，对离散事件系统模型描述的特点做一说明。最后，就离散事件系统仿真的步骤进行概念性讨论。

自从有人类以来,人们为了满足自身的基本需要,一直同客观世界发生联系,科学与工程是人类现代认识与改造世界的最成熟的一种形式。传统上,理论研究与实验研究是科学与工程的两种基本方法。

然而,在自然科学、社会科学、管理科学、生命科学及军事等各领域遇到的问题,如航空航天、复杂制造系统、石油勘探、社会经济系统、气象预报、交通管理系统、基因工程、生物医药、军事体系对抗系统等系统论证、试验、分析、设计、运行、维护、辅助决策及人员训练、教育等,这些问题单靠传统的理论、实验这两种方法是无法完善解决的。随着人类从工业社会进入信息社会,建模与仿真方法日益发展和成熟起来,并被人们称做第三种方法。例如,美国前国家科学基金会主任 Rita Colwell 说过:“过去认为科学通常包含理论和实验两方面的努力;现在,科学还包含第 3 个方面的内容,即计算机仿真,并由计算机仿真将理论和实验两方面连接起来。”美国能源部科学办公室主任 Dr. Raymond L. Orbach 也说过:“在 21 世纪的科学中,仿真和高端计算是理论和实验科学的平等伙伴”。“仿真是一种与实验和理论对等的方法论。”日本 Keio 大学物理系的教授 Fumiko Yonezawa 认为计算机辅助物理学,即数字仿真,可以认为是除实验物理学和理论物理学之外的第三种方法。

近几十年的科学与工程的发展历史表明,建模与仿真已成功地应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术领域和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、生活服务等众多领域,目前正向服务于系统的全寿命、全系统和管理的全方位方向迅速发展。

本书讨论一类典型系统——离散事件系统——的建模与仿真技术。本章是概述,首先对建模与仿真进行一般性介绍,包括系统、模型、仿真的基本概念,说明何时使用仿真,仿真的优点和缺点。其次,对离散事件系统模型描述的特点做一说明。最后,就离散事件系统仿真的步骤进行概念性讨论。

1.1 系统、模型与仿真

1.1.1 系统

为进行仿真,有必要理解系统的概念及系统的范围。系统对应的英语单词是 system,它源自希腊语 systema。最早见诸于古希腊原子论创始人德谟克利特(公元前 460 年—公元前 370 年)的著作《世界大系统》一书。该书明确地论述了关于系统的含义:“任何事物都是在联系中显现出来的,都是在系统中存在的,系统联系规定每一事物,而每一联系又能反映系统的联系的总貌。”戈登在总结前人思想的基础上,将系统定义为“按照某些规律结合起来,互相作用、互相依存的所有实体的集合或总和”。美国传统词典(双解)对系统的定义是:组成一个复杂整体的一组互相作用、互相联系或互相依存的元素(system: A group of interacting, interrelated, or interdependent elements forming a complex whole)。

根据这些定义,我们可以将一个理发馆定义为一个系统。该系统中的实体有服务员和顾客。顾客按某种规律到达,服务员根据顾客的要求,按一定的程序为其服务,服务完毕后顾客离去。在该系统中,顾客和服务员互相作用,顾客到达模式影响着服务员的工作忙闲状态和理发馆的排队状态,而服务员的多少和服务效率高低也影响着顾客接受服务的质量。

我们可以将制造汽车的总装生产线定义为一个系统。各种汽车零部件按一定的节拍由传送

带运输,经过一道道工序,操作人员(或机器人)将零部件按工艺流程要求进行装配,最终生产出各种汽车。在该系统中,操作人员与零部件相互作用。传送带的速度、零部件到达的节拍均影响着操作人员的忙闲状态和工作的紧张程度,而工艺流程的划分、零部件到达的及时性也影响着生产线的效率。

在定义一个系统时,首先要确定系统的边界。尽管世界上的事物是相互联系的,但当我们研究某一对象时,总要将该对象与其环境区别开来。系统通常受到系统外部发生的变化的影响。这种变化被认为在系统环境中发生。边界确定了系统的范围,边界以外对系统的作用称为系统的输入,系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。在对系统进行研究的过程中,决定系统与其环境间的边界是有必要的。

举例来说,在工厂系统中,控制订单到达的因素可以被认为处于工厂的影响之外,因此是环境的一部分。然而,如果考虑供应对需求的影响,则在工厂输出和订单到达之间将会存在一种关系,而该关系必须被认为是系统的一个活动。类似地,在银行系统中,可以有最大可支付利率的限制。对于单一银行的研究,这可被认为是环境赋予的限制。然而,在研究银行业货币法时,该限制的设定将会是系统的一种活动。

尽管世界上的系统千差万别,但人们总结出描述系统的“三要素”,即实体、属性、活动。实体确定了系统的构成,也就确定了系统的边界;属性也称为描述变量,描述每一实体的特征,其中系统状态属性对研究对象在任意时刻的描述来说是必需的;活动定义了系统内部实体之间的相互作用,从而确定了系统内部发生变化的过程。

1.1.2 模型

在一般意义上,模型是一种替代(proxy),用于代表其对象以便得到更好的定义。从应用的角度,模型不是原对象的复制,而是根据不同的使用目的,选取原对象的若干方面进行抽象和简化。模型有多种形式,典型的有:

- (1) 物理对象(比例模型、模拟模型或原型),如用于新飞机设计的风洞实验的机翼模型;
- (2) 方程式或逻辑表达式表示的系统(数学模型),如为预测化学反应的最终产品的质量或能量平衡方程,预测飞机飞行的计算机程序;
- (3) 一个图(图标模型),如用于记录地理数据的地图,或用于设计机器部件的几何模型;
- (4) 一个观念(智力模型),如为指导人的行为而建立的人与环境的关系模型;
- (5) 口述或文字描述(语言模型),如为指导生物实验或医生手术的方案等。

总之,按照系统论的观点,模型被定义为用于研究目的的系统的表示,是对真实系统的描述、模仿或抽象,即将真实系统的本质用适当的表现形式(如文字、符号、图表、实物、数学公式等)加以描述。

为了研究、分析、设计和实现一个系统,需要进行试验。试验的方法基本上可分为两大类:一种是直接在真实系统上进行,另一种是先构造模型,通过对模型的试验来代替或部分代替对真实系统的试验。历史上大多采用在实际系统上做实验,随着科学技术的发展,尽管第一种方法在某些情况下仍然是必不可少的,但第二种方法日益成为人们更为常用的方法。

对于大多数研究而言,只需要考虑将系统中影响所研究问题的那些方面在系统模型中表示出来;从定义上看,模型是系统的简化。另一方面,模型必须足够详细,以便能够对真实的系统得出有效的结论。不同的研究目的也许会要求同一系统具有不同的模型。

开发模型的目的是用模型作为替代来帮助人们对原物进行假设、定义、探究、理解、预测、

设计，或者与原物某一部分进行通信。在模型上进行试验日益为人们所青睐，主要原因在于：

(1) 系统还处于设计阶段，真实的系统尚未建立，人们需要更准确地了解未来系统的性能，这只能通过对模型的试验来了解；

(2) 在真实系统上进行试验可能会引起系统破坏或发生故障，例如，对一个处于运行状态的化工系统或电力系统进行没有把握的试验将会冒巨大的风险；

(3) 需要进行多次试验时，难以保证每次试验的条件相同，因而无法准确判断试验结果的优劣；

(4) 较之被建模的系统，模型通常更易于理解，模型结构的变化更容易实现，模型的行为特性更易于理解、分割和彼此通信；

(5) 试验时间太长或费用昂贵。

人们在长期的研究与应用中，创造出了适用于不同对象研究分析要求的模型描述形式，Orlén 进行了总结，将模型形式加以分类，如表 1.1 所示。

表 1.1 模型分类

模型描述变量的轨迹	模型的时间集合	模型形式	变量取值	
			连续	离散
空间连续变化模型	连续时间	偏微分方程	√	
空间不连续变化模型	模型	常微分方程	√	
离散（变化） 模型	离散时间 模型	差分方程	√	√
		有限状态机		√
		马尔可夫链		√
	连续时间 模型	活动扫描	√	√
		事件调度	√	√
		进程交互	√	√

对一个实际系统构造模型的任务一般包括两方面的内容：第一是建立模型结构，包括确定系统边界，鉴别系统的实体、属性和活动，基于其内部规律的理解给出其描述形式；第二是根据研究目标提供数据，即提供所研究的活动中需要的有效数据。

一般说来，模型结构应具有以下性质。

(1) 相似性：模型与被研究对象在属性上具有相似的特性和变化规律。模型作为“替身”，应与实际对象“原型”在本质上是相似的。

(2) 简单性：模型不是越复杂越好，相反，在满足相似性的前提下，模型应当尽量简单。因此，要根据研究的目标，忽略实际系统中的一些次要因素，这点非常重要。

(3) 多面性：由于实际对象的复杂性，人们研究的目的往往是不完全相同的，因而对系统的理解、所收集的数据也不完全相同，从而得到的模型结构也不唯一。模型如何满足多方面、多层次研究的需求是建模时需要特别加以考虑的。

为理解和分析系统，必须定义大量术语。系统的“状态”定义为变量的集合，这些变量对研究对象在任意时刻的描述来说是必需的。在银行的研究中，可能的状态变量为忙碌的出纳台的数量、排队等候或正接受服务的顾客的数量，以及下一个客户到达的时间。“事件”定义为可能会改变系统状态的即时发生的事情。术语“内生”用于描述系统内部发生的活动和事件，