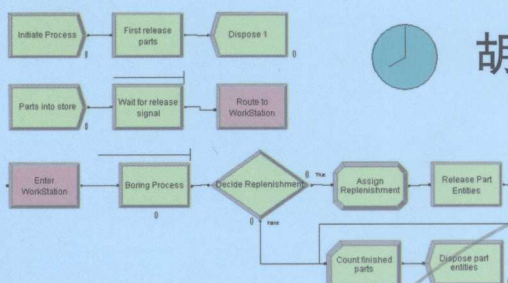


MANAGEMENT SYSTEM SIMULATION

管理系统模拟



胡斌 周明 编著

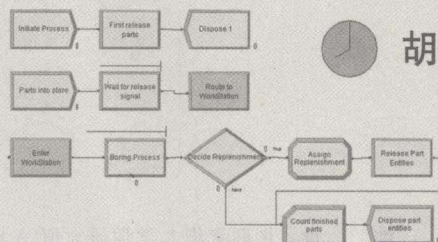


清华大学出版社

C931.6/105

2008

MANAGEMENT SYSTEM SIMULATION 管理系统模拟



胡斌 周明 编著

清华大学出版社
北 京

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

管理系统模拟/胡斌,周明编著. —北京:清华大学出版社,2008.7

ISBN 978-7-302-17757-9

I. 管… II. ①胡… ②周… III. 管理信息系统—计算机模拟—高等学校—教材
IV. C931.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077358 号

责任编辑:贺 岩

责任校对:王凤芝

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.5 字 数:455 千字

版 次:2008 年 7 月第 1 版 印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:33.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:027786-01

由于社会经济、计算机和人工智能技术的发展,计算机模拟作为复杂管理系统的分析、决策和设计方法,其原理和工具也在不断地发展和更新,致使管理系统模拟出现了各类思想、概念、方法和术语。

国内外同类型的书籍基本上都偏重于一个方面,要么写离散事件模拟,要么写 Agent 模拟,要么写系统动力学模拟;且较少针对管理领域的问题;这些书籍作者的专业主要是自控、计算机等专业,较少是管理领域的专业;由于年代都比较久远,书中所用模拟软件工具也比较过时。

同时,国内学术界对管理系统模拟的定义、分类也没有达成共识,很不利于管理系统模拟在实际应用中的推广和在学术研究上的深入。

为此,作者根据多年来的学术研究和教学实践的体会,从对计算机模拟本质特征的深刻认识入手,对管理系统模拟进行了分类,包括离散模拟、连续模拟、Agent 模拟、定性模拟四大类,进而在参阅和吸收其他作者研究成果(见参考文献)的基础上,对四类模拟方法的基本概念、原理、方法及在管理领域中的应用进行了系统的介绍和总结。

然后向读者介绍了管理系统模拟的常用工具,其中, Arena 是流行于北美的模拟软件,可用于离散模拟、连续模拟以及离散-连续混合模拟; AnyLogic 是目前新兴的热门模拟软件,可用于除定性模拟以外的所有类型的模拟; Excel 和 Matlab 是人们熟悉的办公软件和科学计算软件,但是 Excel 也适用于蒙特卡洛模拟,而 Matlab 则擅长于连续模拟。

为使读者精通 Arena,本书介绍了 Arena 5.0 作为离散模拟工具在生产系统中的应用,包括加工、资源能力变化、物流、布局与调度、库存控制等过程的应用细节;介绍了 Arena 5.0 作为连续模拟工具在生态系统和供应链系统上的应用细节。

与其他同类型的书籍相比,本书的特色是:

- (1) 针对管理领域问题,包括社会经济系统、企业决策系统、企业生产系统;
- (2) 最全面,涉及所有类型模拟的原理方法、应用案例;
- (3) 结合大量案例,教会读者全面掌握北美流行的模拟语言 Arena 5.0(针对离散模拟和连续模拟)。

上述特色,使读者由浅入深,从掌握管理系统模拟基本原理开始,到精通一门模拟语言,最终全面掌握管理系统模拟理论与方法。因此,本书可作为高等学校的管理科学与工程

程、工商管理、系统科学与工程、自动控制、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技工作者和各类社会组织的管理人员阅读和参考。

在本书的编撰过程中,我们利用了参考文献所列作者的研究成果;博、硕士研究生董生平、张贞、吴婷、牛飞、沈镇也对本书的撰写提供了帮助。在此,对所有帮助过我们的人士致以衷心的感谢。

由于水平有限,不妥甚至有争议之处在所难免,为了我国管理领域计算机模拟事业的发展,恳请广大读者不吝赐教。

胡 斌

2008年5月于华工喻园

CONTENTS

目录

第1部分 原理篇

第1章 概论	3
1.1 系统的概念	3
1.1.1 系统	3
1.1.2 系统模型	4
1.1.3 系统类型	5
1.1.4 系统研究方法	6
1.2 管理系统模拟	7
1.2.1 管理系统	7
1.2.2 蒙特卡洛模拟	8
1.2.3 系统模拟	11
1.3 系统模拟的一般步骤	14
1.4 系统模拟的实例：一个手工模拟	16
1.4.1 单营业员储蓄所系统	16
1.4.2 系统的手工模拟	17
习题和思考	19
第2章 离散模拟原理	21
2.1 基本概念	21
2.1.1 术语	22
2.1.2 分类	24
2.2 模拟时间推进机理	26
2.3 离散系统模拟的评价	27
2.4 M/M/1 排队系统的模拟	29
2.4.1 系统的实体、属性和事件	29

2.4.2	系统模拟程序	30
2.4.3	离散事件模拟模型的组成部分	35
2.5	库存控制的模拟	36
2.5.1	库存控制系统模型基本概念	36
2.5.2	单项货品随机库存控制系统模拟	37
	习题和思考	40
第3章	连续模拟原理	42
3.1	连续模拟基础	42
3.1.1	连续模拟的定义	42
3.1.2	连续模拟模型	43
3.1.3	连续模拟的过程	44
3.2	系统动力学	46
3.2.1	基本原理	46
3.2.2	系统动力学图解	48
3.2.3	系统结构的建立	52
3.3	连续系统模型的建模示例	54
3.3.1	基于微分方程组的建模	54
3.3.2	基于差分方程组的建模	55
	习题和思考	63
第4章	Agent 模拟原理	64
4.1	多 Agent 模拟	64
4.1.1	多 Agent 模拟原理	64
4.1.2	区域经济系统 Agent 模拟	67
4.2	元胞自动机模拟	73
4.2.1	元胞自动机的定义	73
4.2.2	元胞自动机的组成	74
4.2.3	元胞自动机模拟示例	76
	习题和思考	81
第5章	定性模拟原理	83
5.1	管理系统的复杂性特征	83
5.2	定性模拟的发展过程	84
5.3	定性模拟方法的分类	85
5.3.1	非因果关系推理方法	85
5.3.2	因果关系推理方法	86
5.4	QSIM 方法	87

5.4.1	基本概念	87
5.4.2	定性模型	88
5.4.3	定性状态转换	89
5.4.4	QSIM 算法	91
5.5	U 形管水体行为的模拟	93
	习题和思考	98
第 6 章	模拟模型的输入处理	99
6.1	模拟模型的输入分析	99
6.1.1	输入分析的概念	99
6.1.2	输入变量建模分析的基本问题	100
6.1.3	概率分布的参数估算	100
6.1.4	分析随机变量的基本方法	101
6.1.5	检验有关统计假设的方法	103
6.2	随机变量的生成	107
6.2.1	逆变法	107
6.2.2	函数变换法	109
	习题和思考	110
第 7 章	模拟输出的统计分析	112
7.1	模拟的类别和系统的性能测度	112
7.1.1	终态模拟和稳态模拟	112
7.1.2	系统的性能测度	114
7.2	终态模拟的置信区间	118
7.3	稳态模拟的置信区间	121
7.3.1	重复运行-删除法	121
7.3.2	分段法	125
7.4	多方案模拟输出的比较分析	127
7.4.1	两种系统方案的模拟比较	127
7.4.2	多方案模拟输出的比较分析	133
	习题和思考	135
第 8 章	模拟模型的确认和实验设计	136
8.1	模拟模型的验证	136
8.2	系统模型的确认	138
8.3	模拟的实验设计	141
8.3.1	单因子完全随机化模拟实验设计	141
8.3.2	2^m 析因实验设计	145

习题和思考	148
第 9 章 模拟工具——Arena	149
9.1 结构与功能	149
9.1.1 结构体系	149
9.1.2 功能特点	150
9.2 基本模块	152
9.2.1 流程图模块	152
9.2.2 数据模块	158
第 10 章 模拟工具——AnyLogic	161
10.1 AnyLogic 的开发环境	161
10.1.1 欢迎页面	161
10.1.2 视图	162
10.2 应用示例	166
10.2.1 建立系统动力学模型	166
10.2.2 建立 Agent 模拟模型	173
10.2.3 建立离散事件模拟模型	178
第 11 章 模拟工具——Excel 和 Matlab	183
11.1 Excel	183
11.1.1 Excel 模拟的特点	183
11.1.2 Excel 模拟的步骤	183
11.1.3 应用示例——项目收益与风险分析	186
11.2 Matlab	189
11.2.1 Simulink 特点	189
11.2.2 Simulink 模块介绍	190
11.2.3 Simulink 建模方法	194
11.2.4 Simulink 应用示例	199
第 2 部分 应 用 篇	
第 12 章 产品投资决策的蒙特卡洛模拟	205
12.1 产品投资决策问题	205
12.2 模拟模型建模	206
12.3 模拟运行	209
12.4 模拟结果分析	211
习题和思考	212

第 13 章 生产系统工件加工过程的模拟	213
13.1 简单生产检验过程的模拟	213
13.2 单件车间生产过程的模拟	219
13.3 实体回避的模拟	225
习题和思考	229
第 14 章 生产系统资源能力变化的模拟	231
14.1 资源能力的确定性变化	231
14.2 资源能力的随机性变化	232
14.3 非稳定泊松到达过程	234
习题和思考	237
第 15 章 生产系统物流过程的模拟	239
15.1 物流过程	239
15.2 基于移动运输工具的物流过程模拟	240
15.3 基于固定运输工具的物流过程模拟	245
习题和思考	250
第 16 章 生产系统布局与调度的模拟	251
16.1 生产系统布局的设计	251
16.2 生产系统中工件流动的控制	255
习题和思考	260
第 17 章 生产系统库存控制的模拟	262
17.1 库存系统的设计	262
17.2 库存系统运行的模拟	264
17.3 允许订单积压的库存系统运行的模拟	269
习题和思考	272
第 18 章 连续系统的模拟	273
18.1 雪松湖自然演化的模拟	273
18.1.1 系统变量	273
18.1.2 模拟模型	274
18.1.3 模拟结果	279
18.2 生产-销售系统的模拟	280
18.2.1 系统变量	280
18.2.2 模拟模型	281

18.2.3 模拟结果	287
习题和思考	288
第 19 章 输入/输出分析	289
19.1 输入数据的拟合分析	289
19.2 终态模拟的输出数据置信区间分析	293
19.3 稳态模拟的输出分析	295
19.3.1 删除法	295
19.3.2 分段法	297
19.4 方案选择	299
习题和思考	301
附录 A 模拟中的概率分布	303
附录 B 正态分布函数	311
附录 C t 分布的临界点	313
参考文献	315

第1部分

原 理 篇

第1章

概 论

本章先介绍系统、系统模型、系统模拟以及系统研究方法的概念和分类。然后介绍管理系统模拟的概念和方法,包括蒙特卡洛模拟的原理及应用,以及管理系统模拟分类、输入/输出结构、特征、作用。接着再介绍管理系统模拟的一般步骤。最后介绍一个排队系统的人工离散模拟过程。

1.1 系统的概念

1.1.1 系统

系统是由多个相互依赖、相互作用、共同配合实现预定功能的要素的有机集合体。这里所说的要素包括三种形式,可以是物理形态的,如一台车床的传动箱、床身、底座、进给机构、尾架等;也可以是管理的一定阶段,如构成管理的基本职能的计划、组织、指导、协调和控制等阶段;还可以是子系统或更低层次的组成部分。

但是,本书所要研究的模拟方法,是用来分析真实系统的行为特征的。因此,从这个角度来看,上述仅从内部组成要素来认识系统是远远不够的,而应该根据系统的运行过程来认识。

从工程和管理角度来说,一个系统包括以下要素:系统输入、输出、“加工”转化过程、资源、行为变化(动态的随时间而变化的行为)以及衡量系统表现的尺度。

其中,加工或转化过程也就是把对系统的投入(包括系统输入和资源等)转变成为系统的输出的过程。比如一个制造系统,系统输入包括原材料和设计工艺文件等,转化过程包括所有的加工工序,而系统的输出则包括制造出的产品等。从抽象的角度来讲,系统的输入和输出不一定是具体的实物,而可以是相互关联的逻辑变量(比如烤箱的温度与食物被烤熟的时间长短)。

可以用计算机模拟来分析的系统非常广泛,包括各种类型的生产制造系统、交通运输系统、电信或者通信网络系统、商业服务系统、医疗卫生系统、行政管理系统、军事系统和其他的社会系统。尽管各种系统表面看起来千差万别,但它们都具有前面提到的那些共同的基本要素。

1.1.2 系统模型

系统模型是对一个现实存在的系统或计划建立的系统的抽象描述,即一个现实系统的抽象化。建立和运用系统模型的目的,在于指明系统的主要组成部分以及它们之间的数学逻辑关系,以便人们对系统的运动规律进行深入的分析 and 研究。一般说来,系统模型能更普遍、更集中、更深刻地反映现实系统的特征和变化规律。

系统模型按存在形式可以分为以下几类。

1. 实体模型

实体模型包括两个方面:直观模型和物理模型。直观模型指那些供展览用的实物模型,通常是把原型的尺寸按比例缩小或放大,主要追求外观上的逼真。如一个待研制的新产品的模型,一个工厂、车间、仓库、生产线的平面布置模型等。这类模型的效果是一目了然的。

物理模型指根据相似原理构造的模型,它不仅可以显示原型的外形或某些特征,而且可以用来进行实物模拟试验,间接地研究原型的某些规律,如波浪水箱中的舰艇模型用来模拟波浪冲击下舰艇的航行性能,风洞中的飞机模型用来试验飞机在气流中的空气动力学特性。物理模型常可得到实用上很有价值的结果,但也存在成本高、时间长、不灵活等缺点。

2. 符号模型

符号模型是在一些约定或假设条件下借助于专门的符号、线条等,按一定形式组合起来的模型。如地图、电路图、化学结构形式等,具有简明、方便、目的性强及非量化等特点。该类模型又包括定量模型、定性模型以及实现它们的计算机程序。

定量模型即数学逻辑模型,是系统的各种变量的数学逻辑关系的抽象表述。而定性模型包括:

- 描述性模型,即运用文字形式简明阐述系统的构成、所处环境、主要功能和研究目的,等等。
- 流程图和图解式模型,通常它们显示了系统组成部分相互之间的基本逻辑关系。

运用定量模型可以对逻辑关系系统进行建模,比如企业中经常发生的排队问题,虽然复杂,但逻辑关系可以根据通用的规则描述清楚。运用定性模型,则可以描述不按通用规则运行的系统,主要体现为人们的经验和知识,如汽车司机对方向盘的操纵、一些技艺性较强的工种(如钳工)的操作,大体上是靠这类模型进行的。通常所说的某些领导凭经验做决策也是如此。

当把定量和定性模型开发成计算机系统时,这些模型就转换成计算机程序,因此,计算机程序也属于符号模型。

不管是实体模型还是符号模型,它们都是描述现实系统的不同方法。在描述时,要把握现实系统运行规律的显著特征,就导致了上述系统模型又有如下的分类^[1]:

(1) 按是否包含有随机因素,系统模型可以划分为确定性模型和随机性模型。在确定性模型中,不涉及随机变量,系统在某一时刻的新状态完全由系统的原状态以及相应的活动决定。即在一定的输入下,产生一定的输出结果。在随机性模型中,包含有随机变量,在既定的条件和活动下,系统从一个状态转换为另一个状态,不是确定性的,而是具有随机性质,遵循一定的统计分布规律。显然,计算机模拟方法是针对随机性模型的。

(2) 按系统变量随时间变化的特征,系统模型有离散型、连续型以及离散-连续混合型之分。因为这种按时间变化的分类法,与系统模拟原理的设计紧密相关,因此,有必要详细分析基于时间分类的系统特征。

1.1.3 系统类型

1. 离散型系统

在离散型系统中,随着时间的推移,系统状态只在某些具体的时间点呈离散性变化,在时间点之间则没有变化,而时间可以是连续性的或离散性的,这取决于系统状态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。

图 1-1 表示了离散型系统的状态与时间的关系。

2. 连续型系统

在连续型系统中,系统状态随时间呈连续性变化。同样地,模拟时间可以是连续性的,也可是离散性的。图 1-2、图 1-3 分别表示了具有连续时间或离散时间的连续型系统的状态与时间的关系。

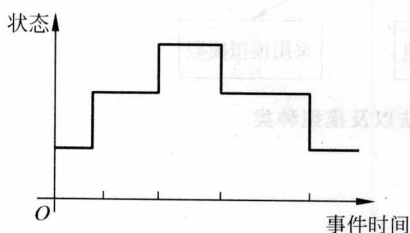


图 1-1 离散型系统

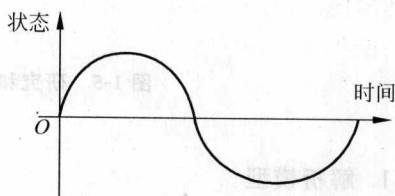


图 1-2 连续型系统(连续时间)

3. 混合型系统

在混合型系统中,系统状态可以作连续性及离散性的变化,或者作连续性变化并具有离散性突变。它的系统状态和时间可以是连续性的或离散性的。图 1-4 表示了混合型系统的例子:一个库存控制系统。

图 1-4 表明,在这个库存控制系统中,由于满足用户需求或生产的耗用,库存量随着时间作连续性变化(减少)。当进行库存补充时,库存量离散性增加,其增量等于库存项目的订货批量。

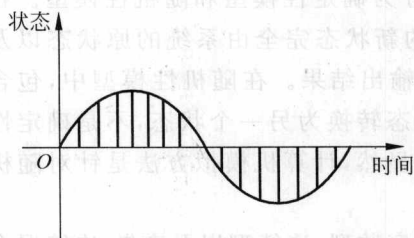


图 1-3 连续型系统(离散时间)

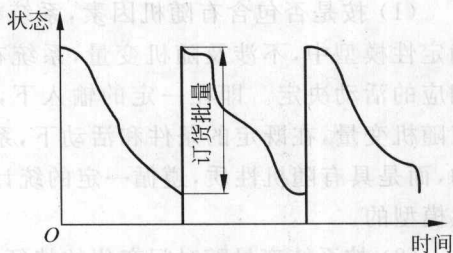


图 1-4 混合型系统

1.1.4 系统研究方法

系统研究方法可以分为两类：采用理论分析(解析)模型和采用模拟模型。从图 1-5 中可以看到,用于分析系统的抽象模型也可以分为两类：一类是解析模型,另一类是(计算机)模拟模型。那么如何决定采用哪一种方法呢?这主要取决于这两种方法的基本特点。

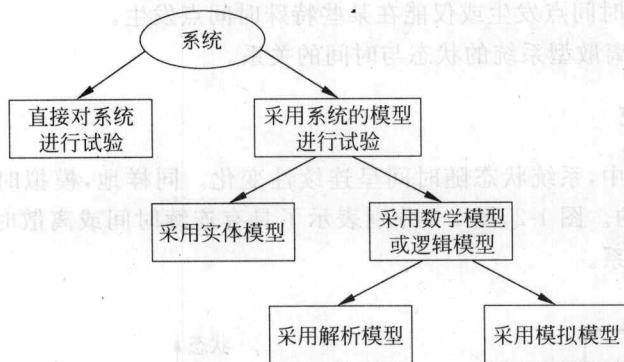


图 1-5 研究和分析系统的方法以及模型种类

1. 解析模型

解析模型即确定的数学模型。在解析模型中,系统的行为表现(输出变量)是输入变量(包括模型参数)的确定函数,其结果是通过数学计算完全确定的解。比如像下面的一元二次方程:

$$Y = aX^2 + bX + c$$

就是一个简单的数学模型,由于变量 X 与 Y 之间的数量(函数)关系已经确定,对于任何设定的参数组合(a, b, c)来说,只要给出自变量 X 的数值变化,就可以完全确定因变量 Y 的数值变化。对于简单的系统来说,采用解析模型可以求出精确的结果。然而对于现实中的大多数系统来说,由于其复杂性,确定变量之间的函数关系是非常困难甚至于不可能的事情,除非加以大量的假设来简化问题。然而增加的假设越多,模型的可信度和有