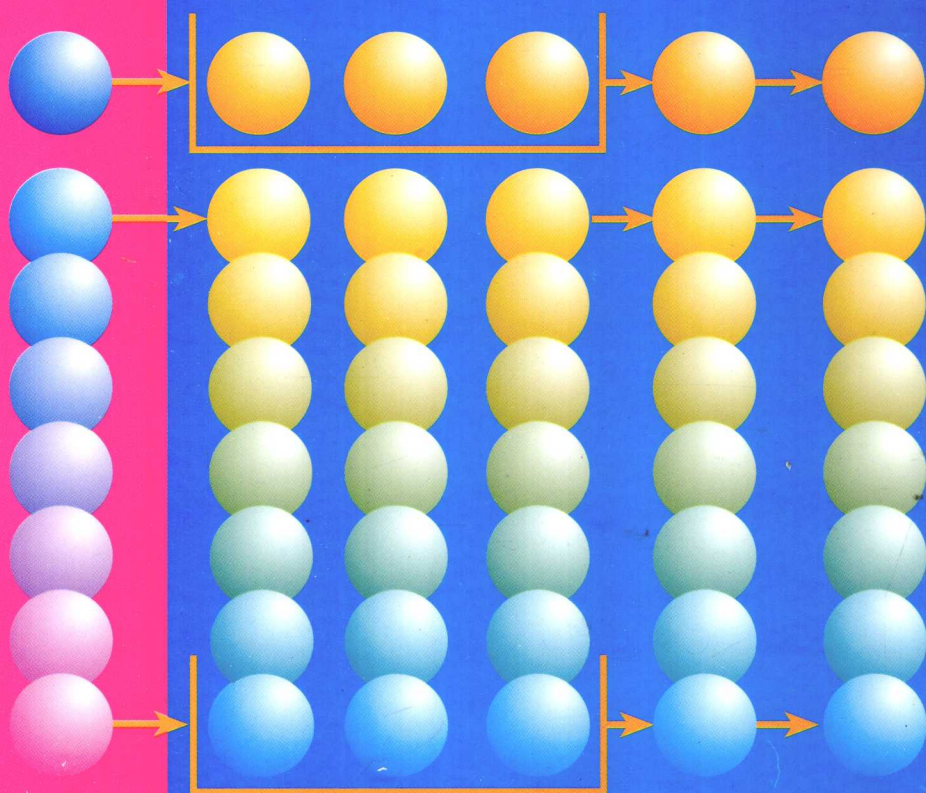


大连海事大学  
出版基金赞助  
学术丛书

# 系统模拟方法与 SIMAN 语言

孙占山 贾红雨 编著



大连海事大学出版社

大连海事大学出版基金赞助学术丛书

# 系统模拟方法与 SIMAN 语言

孙占山 贾红雨 编著

大连海事大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

系统模拟方法与 SIMAN 语言/孙占山,贾红雨编著.-大连:  
大连海事大学出版社,1998  
ISBN 7-5632-1186-1

I. 系… II. ①孙… ②贾… III. 计算机模拟-程序语言,  
SIMAN IV. TP302.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 09119 号

**大连海事大学出版社出版**

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1998 年 9 月第 1 版

1998 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.75

字数:243 千字

印数:001—800 册

责任编辑:程策群

封面设计:王 艳

责任校对:陈崇铨

版式设计:王瑞国

定价:14.50 元

**本书由  
中共大连市委、大连市人民政府资助出版**

**The published book is sponsored  
by the Dalian Municipal Government**

# 大连市学术专著资助出版评审委员会

|      |     |     |     |     |  |
|------|-----|-----|-----|-----|--|
| 名誉主任 | 楼南泉 | 林纪方 |     |     |  |
| 主任   | 司玉琢 |     |     |     |  |
| 副主任  | 高春斌 | 吴厚福 | 何杰  |     |  |
| 委员   | 梁宗巨 | 王子臣 | 李寿山 | 王逢寿 |  |
|      | 汪榕培 | 夏德仁 | 罗均炎 |     |  |

## 工程技术专家评审组

|     |                   |         |
|-----|-------------------|---------|
| 组长  | 袁一(大连理工大学)        | 博导、教授)  |
| 副组长 | 刘人杰(大连海事大学)       | 博导、教授)  |
| 成员  | 王承遇(大连轻工学院)       | 博导、教授)  |
|     | 吴迪镛(中科院大连化学物理研究所) | 博导、研究员) |
|     | 陈朝贵(铁道部大连内燃机车研究所) | 高级工程师)  |
|     | 郭东明(大连理工大学)       | 博导、教授)  |
|     | 戚正风(大连铁道学院)       | 教授)     |
|     | 蒋志凯(大连水产学院)       | 教授)     |

## 内容介绍

本书既论述了系统模拟的理论、方法和随机模拟中的基本数学工具,又介绍了用模拟专用语言 SIMAN 系统实现模拟的具体用法。书中列举了系统模拟方法在交通运输管理中应用的大量实例,为我国交通运输系统研究提供了理论依据和有效的手段。本书所提供的统计分析软件 SANDIE 和模拟语言 SIMAN 具有动画编制和辅助决策能力,是本学科的发展前沿和方向。

本书共七章,前三章阐述系统模拟的一般概念和研究方法。第四、五章介绍一种多功能模拟语言 SIMAN 结构和使用。第六章介绍了动画模拟演示系统 CINEMA 的使用方法,最后一章讨论系统模拟技术在港口运输生产中的应用。

本书具有适用性广的特点,可作为管理工程、系统工程、管理信息等专业本科生、研究生用教材,也可供管理人员和科研工作者参考和使用。

## 序 言

系统模拟是系统科学、数学、计算机科学和管理科学等多学科相结合的产物,虽然仅仅出现几十年,却在社会、经济、技术、军事、教育和企业管理等各领域得到了广泛的应用。据估计,日本企业用系统工程解决的实际管理与决策问题中,有 80% 以上是通过系统模拟方法解决的。在我国,目前也正在大力推广和普及,并已在交通运输、军事训练、地区发展规划、工业过程设计、人口问题研究等方面取得丰硕的成果。

系统模拟如此蓬勃发展,一方面是由于我们所面临的各种实际系统往往都是包含大量随机因素的动态的复杂系统,对这些系统很难采用传统的方法建立数学模型,分析求解。另一方面是由于系统模拟方法具有可控、灵活、直观、可比等优点。它能通过建立逼真的模拟模型和在计算机上反复地模拟实验,对复杂问题进行综合分析和比较,从而为科学决策提供可靠的依据。特别是近年来各种专用模拟语言的使用,使这一方法更为有效和易于掌握。

作者总结了多年的教学和科研开发实践经验,从系统模拟的理论方法及其在实践中的应用两方面进行了阐述。特别是书中所举的应用例子大多选自实际管理系统和研究生的论文,因此具有实际指导价值。

本书初稿为孙占山教授生前所著,多年用作运输管理工程专业的研究生主修课教材,1996 年得到大连市学术专著出版基金的资助。贾红雨讲师按孙占山先生的遗愿对孙占山教授的初稿做了必要的修改,对 SIMAN 语言系统的介绍部分增加了一些新的内容,补充了应用实例。

本书由大连理工大学王众托教授主审和推荐。

书中疏漏谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

1997 年 5 月

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第一章系统模拟的一般概念.....               | 1   |
| 1.1 系统模拟 .....                  | 1   |
| 1.2 模拟模型 .....                  | 3   |
| 1.3 模拟模型分类 .....                | 7   |
| 1.4 系统模拟的研究步骤 .....             | 7   |
| 第二章 产生随机数的方法 .....              | 10  |
| 2.1 均匀分布随机数的产生.....             | 10  |
| 2.2 均匀分布随机数的统计检验.....           | 15  |
| 2.3 非均匀分布随机数的产生.....            | 17  |
| 2.4 统计分析软件 SANDIE .....         | 21  |
| 第三章 模拟方法 .....                  | 26  |
| 3.1 蒙特卡洛方法.....                 | 26  |
| 3.2 排队系统概述.....                 | 35  |
| 3.3 事件调度法.....                  | 37  |
| 3.4 过程交互法.....                  | 53  |
| 3.5 其他模拟方法.....                 | 55  |
| 3.6 模拟语言 .....                  | 56  |
| 第四章 模拟语言 SIMAN 基础 .....         | 58  |
| 4.1 SIMAN 的模型结构及软件组织 .....      | 58  |
| 4.2 SIMAN 软件的使用方法 .....         | 60  |
| 4.3 模块图模型.....                  | 64  |
| 4.4 实体、属性、变量和规则 .....           | 72  |
| 4.5 模块操作数的确定.....               | 74  |
| 第五章 SIMAN 用于系统模拟 .....          | 76  |
| 5.1 SIMAN 的过程模拟 .....           | 76  |
| 5.2 材料运载系统模拟.....               | 85  |
| 5.3 SIMAN 的离散事件模拟 .....         | 88  |
| 5.4 连续变化系统的模拟.....              | 97  |
| 第六章 CINEMA 用于动画模拟演示 .....       | 99  |
| 6.1 计算机动画演示对系统模拟的作用.....        | 99  |
| 6.2 CINEMA 系统综述 .....           | 99  |
| 6.3 用 CINEMA 系统构造动画模拟方法简介 ..... | 100 |
| 6.4 CINEMA 系统的操作方法 .....        | 103 |
| 第七章 系统模拟在港口中的应用.....            | 104 |



|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 7.1 港口运输系统模拟 .....      | 104 |
| 7.2 码头装运系统模拟 .....      | 111 |
| 7.3 煤码头运输系统模拟 .....     | 121 |
| 7.4 港口调度与规划系统模拟 .....   | 123 |
| 附录 I SIMAN 语言使用说明 ..... | 130 |

# 第一章 系统模拟的一般概念

系统模拟是研究复杂系统的一种有效方法和技术,本章介绍有关系统模拟的一些基本概念。

## 1.1 系统模拟

### 1.1.1 系统模拟的定义

系统模拟(System Simulation)是系统工程、管理科学和运筹学中新兴的应用广泛和有发展前途的一门学科或技术,特别在分析和设计一些复杂系统时,它是一个强有力的工具。

系统模拟是20世纪50年代以来,在计算机科学和系统科学发展的基础上形成的。它可以用于社会、经济、工程控制和管理等各个方面。对很多难以使用数学模型或其数学模型过于复杂的问题,如今一些科学家、工程师或企业管理人员都在转向使用系统模拟这一手段并已取得初步成效。

我们这里所要讨论的系统模拟是指使用计算机来模拟或描述一个系统或过程的行为从而解决问题的一种技术。它与构造小尺度模型或各种训练设备的物理模拟(仿真)不同,与施用模拟计算机或联合施用数字—模拟计算机进行模拟(仿真)也不同。我们可以给系统模拟下一个定义:系统模拟是设计系统的可以计算的模型(模拟模型),并利用它在计算机上进行试验以了解系统的行为或评估系统运用的各种策略的定量分析过程或技术。

由于系统模拟是利用计算机完成的,因此有时把系统模拟称为计算机模拟,以区别于那些手工的或物理的模拟。另一方面,系统模拟在近十几年来大量地应用于社会、经济、工程、技术等方面的管理领域,而且其研究对象主要是那些非连续的、离散事件序列所构成的动态系统,因此有时把这种援救管理系统的系统模拟分支称为管理系统模拟。管理系统模拟综合了管理工程、现代数学方法和计算机技术,已成为计算机在管理中应用的十分重要的一个方面,对于辅助各类管理系统的设计与分析以及优化管理决策起着非常重要的作用。

### 1.1.2 系统模拟在管理决策中的地位

决策是各级管理者的主要工作内容之一,往往从发现问题起决策就开始了。决策的过程一般是:定义问题、系统分析、建立模型、解出可能的决策方案,再通过系统评价选择可以产生最佳结果的方案。这一完整的分析形式,存在于定性分析过程和定量分析过程中。定性分析过程,是决策者依个人的判断或类似的经验来进行的,随着经验的增加,定性分析的技能也会日益提高。一般定性分析用于解决未知量较少的简单问题。定量分析是通过有关的数学和计算机技术来进行的,它包括线性规划、统计方法、预测技术、网络技术、排队理论及系统模拟技术等,一般用于未知量较多的复杂问题。其中系统模拟技术适用于系统复杂、有大量随机因素存在而又难于用其他定量技术解决的情况。能够尽可能全面正确地描述复杂系统及过程,通过各种运行分析,作出近似的回答。而其他分析技术只是把复杂的系统简化近似,然后对近似的问题寻求严格正确的回答。这正是它们的区别所在。大量的文献介绍,系统模拟已逐步应用于经济系统、



过程中往往通过系统分析对所选择的模型(和方法)进行决策。其优先顺序是:

- (1)选择现成的标准的数学模型;
- (2)建立新的数学解析模型;
- (3)建立一个系统模型;
- (4)用全举法枚举;
- (5)直观分析决策。

1.1.4 系统模拟中常用的术语

现在,我们来介绍系统模拟中常用到的一些概念或术语,以便后面章节中使用。

这些术语有:

系统 由相互作用和相互依赖的若干组成部分(实体)按一定规律结合成的、具有特定功能的有机整体。

实体 系统中的各个组成部分。

属性 实体的特性。

活动 导致系统发生任何变化的过程或行为。

状态 在系统的动态过程中,任一点(即时间点)上全部实体、属性和活动的瞬间表象(即描述)。

事件 任一引起系统变化的因素。

事件点 出现事件的时间点。

模拟时钟 提供模拟时间的当前值的变量。

表 1-2 给出一些系统中所含主要实体、实体的属性及引起系统变化的活动的解释。

海运系统中船舶到港、装卸作业完毕、船舶离港等均构成事件,它们均以活动的始末时刻为事件点。

上述所有概念或术语可通过阅读以后章节不断加深理解。

表 1-2 系统、实体、属性、活动

| 系 统  | 实 体                 | 属 性            | 活 动             |
|------|---------------------|----------------|-----------------|
| 生产   | 车间(部门)、合同、原材料、机器、产品 | 数量、种类、订货量、生产能力 | 合同处理、进货、生产、发运   |
| 市内交通 | 汽车、线路、交通灯、车站        | 数量、种类、容量、乘客数量  | 发车、运行、上下车、交通灯控制 |
| 银行   | 储户、窗口、队列            | 储存金额、人数、类别     | 储存活动            |
| 通信   | 信息                  | 距离、优先顺序        | 传输              |
| 海运   | 船舶、泊位、货物            | 数量、能力、种类       | 装卸活动、运输活动       |

1.2 模拟模型

1.2.1 系统模型分类

研究复杂系统的结构和行为是利用系统的模型来实现的。所谓模型,就是真实系统的结构和行为的一种描述形式。凡是以某种方法从真实系统变换而来的形态,都可以称为系统的模

型。在科技领域中,模型可以定义为一个系统的信息的集合。在物理模型中,信息具体体现为模型的特性。在数学模型中,信息表现为解析和数值方程的形式。而在模拟模型中,信息表现为逻辑流程图的形式。目前,对于系统模型有各种各样的分类,图 1-1 是一种分类方法。

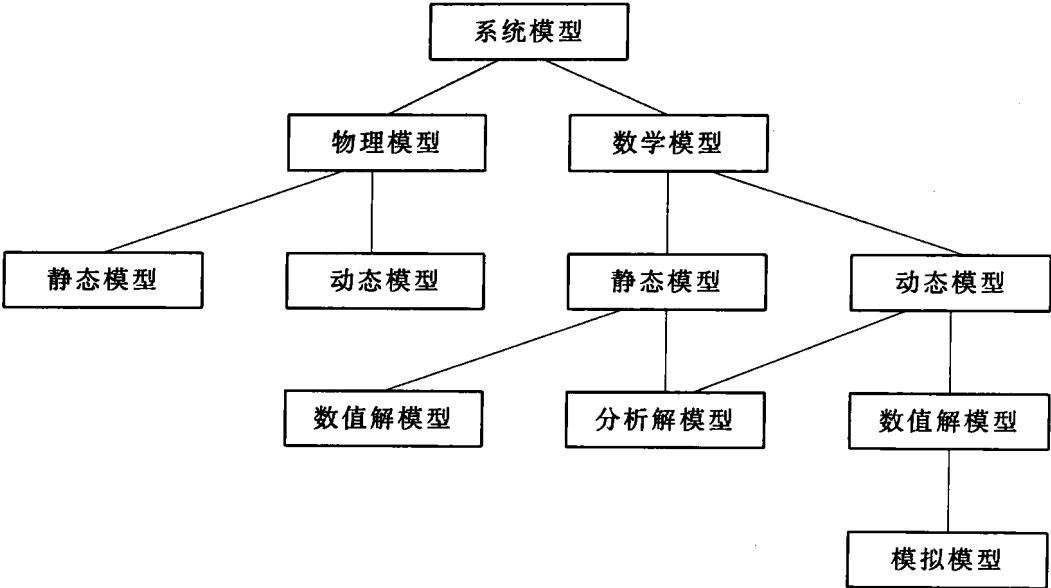


图 1-1 系统模型分类

由图 1-1 可见,模拟模型具有如下三个特点:

- (1)模拟模型属于数学模型。前苏联等国称计算机模拟为数学模拟。但是它与其它的数学模型不同,它不是用数学表达式的形式而是用逻辑流程图或计算机程序的形式来描述量的关系。
- (2)模拟模型适合于描述动态系统。它与时间进程联系在一起,用来研究一段时间内的系统行为。所以几乎每一个模拟模型都至少有一个模拟时钟。
- (3)模拟模型的运算是数值运算。它既不同于数学解析方法,也不同于模拟计算机的运算。它是应用数字电子计算机进行数值逻辑运算,求出问题的近似数值解。

模拟模型与其它形态的模型之间的差别列于表 1-3。

表 1-3 各类模型比较

| 模型的类型    | 观测方法   | 优化方法  | 费 用  | 与真实系统耦合程度 | 缺 点                    |
|----------|--------|-------|------|-----------|------------------------|
| 叙述(分析)模型 | 判 断    | 直观比较  | 低    | 差         | 难以作大量的方案比较,对系统的数量分析很粗略 |
| 物理模型     | 物理操作   | 选 优   | 高    | 好         | 无法描述信息的处理过程            |
| 解析模型     | 数学方程   | 解析最优解 | 低    | 好         | 需要有现成的方法和模型可用          |
| 数值模型     | 数值近似计算 | 近似最优解 | 中等或低 | 中等        | 同上                     |
| 模拟模型     | 模 拟    | 选 优   | 中等   | 最好        | 从模型中难以得出普遍性的规律或总体特性    |

藉助于逻辑流程图或计算机语言对系统的诸要素及其相互作用进行表达,这个过程称为模拟的模型化。模型化的产物(逻辑流程图或计算机程序)称为原系统的模拟。模拟模型建立后,往往要用已知数据和经验对其进行验证,以检查它的正确性。然后,可以改变模型的参数,对其进行模拟试验,由模型输出的数据和统计量来判断系统的行为。

### 1.2.2 模拟模型举例

为了直观起见,下面给出两个简单的系统模拟模型的例子。

**例 1-1** 某船舶到达港口。若泊位被占用时,该船舶必须在锚地等待(待泊)。当泊位空闲并且依顺序轮到该船舶,它才能靠泊,接受装卸作业服务。装卸完毕后离开港口。

**例 1-2** 旅客到达售票口购买火车票。如果他前面没有其他旅客,他就可以马上购票。如果前面有人排队,他就排在队尾等候(排队规则为先到先服务,可称先进先出)。在售票时,旅客说明去向和车票种类,售票员进行收款售票,购票后旅客离开售票口。

这两个例子虽然是不同的问题,但是其系统的结构和行为则完全一样。图 1-2 和图 1-3 是两者的流程图。

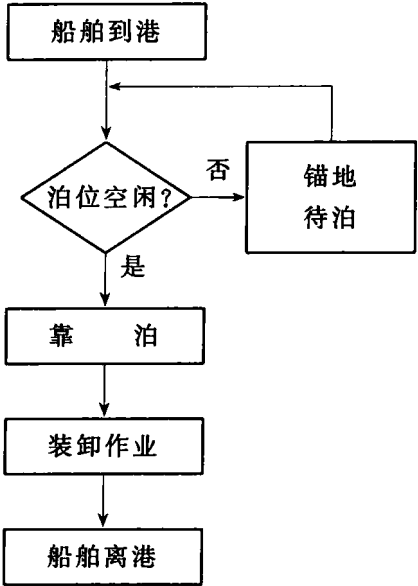


图 1-2 船舶靠泊装卸

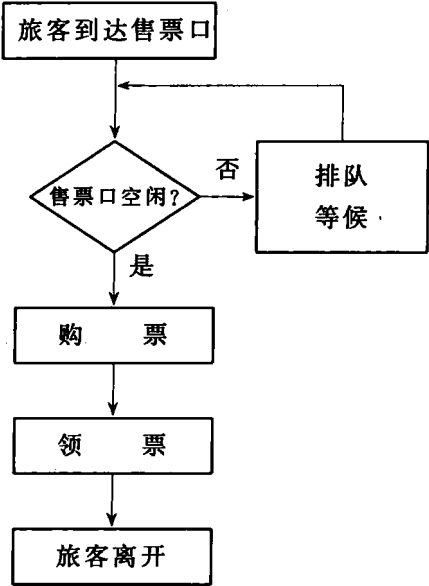


图 1-3 船舶靠泊装卸

抛开两者的特殊性,按其结构和相互关系可归结为图 1-4 的形式。这个逻辑流程图为一个简单的排队系统(又称随机服务系统)的系统模拟模型。其中包括四个过程或活动:

- (1)实体到达活动;
- (2)进行服务活动;
- (3)排队等候活动(由于以上两个活动不协调而产生);
- (4)实体离开活动。

假若让所有到达系统的实体都进入队列,而对于那些根本不需要等待的实体,使其等待时间为零,则图 1-4 的逻辑流程图可以改变为图 1-5 的形式。它是用专用模拟语言 SIMAN 编写的。图 1-5 (a) 为模块图,图 1-5 (b) 为对应的 SIMAN 程序,右边给出每一模块或语句的注解。

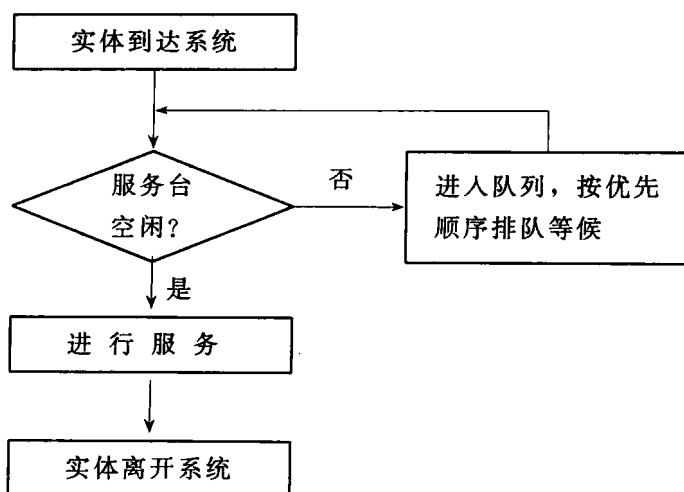


图 1-4 简单排队系统模拟模型

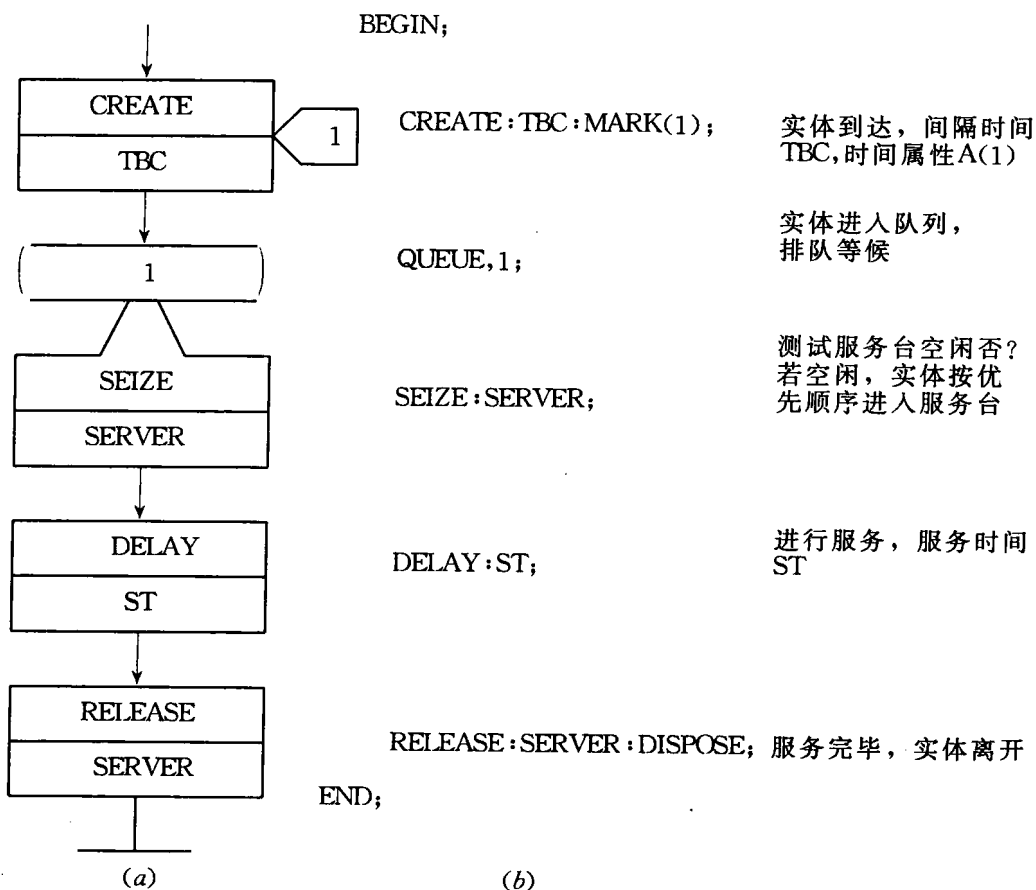


图 1-5 简单排队系统的 SIMAN 模拟模型

图 1-5 的模块图或程序都可以认为是此系统的模拟模型。如果变动系统的参数,如平均到达间隔时间 TBC 和服务时间 ST,就可以对模型进行模拟试验,从而输出不同的结果。有关 SIMAN 语言的符号将在第四章中介绍。

### 1.3 模拟模型分类

模拟模型可以按不同的标准区分为静态的或动态的、确定的或随机的、离散的或连续的。

静态模拟模型是系统在特定时刻的再现。蒙特卡洛(Monte Carlo)模拟模型是典型的静态模拟模型,在第三章中将进行讨论。动态模拟模型反映了时间上发展的系统。例如银行一天八小时活动的模拟模型。

从系统活动的特性来看,有的系统中,事件的出现是随机的,即该系统包含一个或多个随机变量。而有的系统中,事件的出现则是确定性的,即该系统不包含随机变量。我们把不包含随机变量的模拟模型称为确定性模拟模型,而把包含随机变量的模拟模型称为随机性模拟模型(以上简称为随机模拟模型)。蒙特卡洛模型是一类特殊形式的随机模拟模型。由于收集数据方面的困难,对于实际的随机性系统,往往把随机现象确定化,从而使用确定性模拟模型来进行研究。这在管理系统模拟中经常遇到。根据美国、加拿大和欧洲一些国家在 1975 年对 346 个使用模拟模型的公司所进行的调查,其中仅有 6% 的公司使用随机模拟模型。这一结果并不意外,因为随机模拟模型中包含了统计数据和计算方面的复杂问题,而确定性模拟模型则可以避免这些问题。

如果按照系统中实体或活动的动态形式分类,模拟模型又可以分为离散型模拟(离散变化系统模拟)模型,即离散事件模拟模型和连续型模拟(连续变化系统模拟)模型。

在离散事件模拟中,系统中的诸事件按出现的前后顺序,形成了一个有限的离散事件序列。前面提到的模拟时钟的概念就是用于确定和管理这些事件出现的前后顺序的。模拟时钟每次步进的长度相应于事件的间隔时间。因此,模拟时钟是按不规则的时间间隔前进的。管理系统模拟主要是离散事件模拟。后面第三章将对离散事件模拟作详细的说明。

在连续型模拟中,时钟是按等步长前进的。在每一步长之内,整个的系统要素都要考察一遍,并进行状态变化和计算工作。然后,再步进到下一个步长。

由于某些实际系统既非完全离散又不是完全连续的,有时就需要构造一种具有离散事件模拟和连续型模拟两种特征的模拟模型。我们把这种模拟模型称为离散—连续复合型模拟模型。在这种模型中,通常是连续变量达到某一限度(称为阈值)时引起某一离散事件的发生。

### 1.4 系统模拟的研究步骤

图 1-6 给出一个典型的、完整的系统模拟研究步骤以及各个步骤间的关系。每个步骤均标明序号,以便进一步解释。并非所有的模拟研究都包含其中全部步骤和次序,有些研究也可能包含图中没有说明的步骤,这里仅是一般步骤的概括。从图可以看出,在执行一些步骤遇到困难时,常常需要返回到前面的步骤,以保证模拟过程顺利进行。



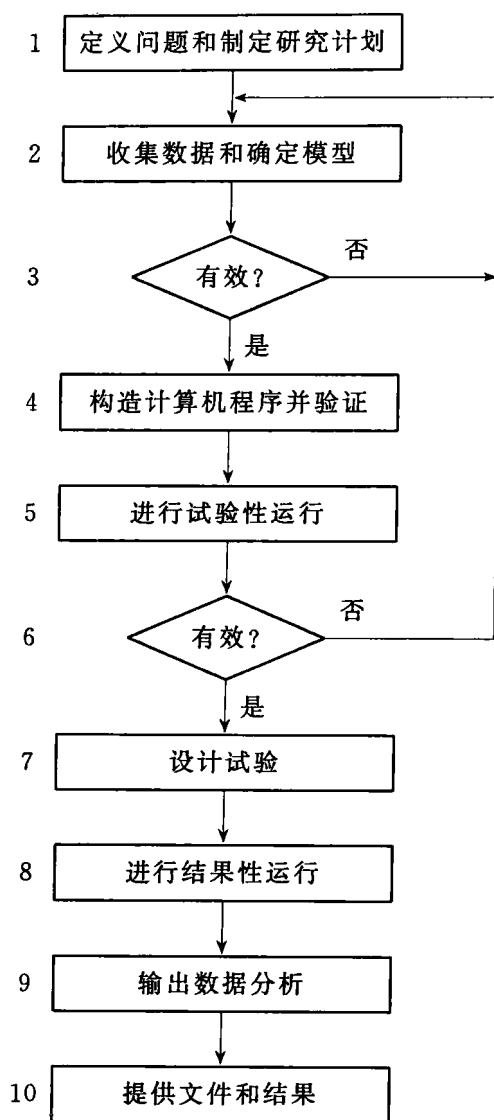


图 1-6 系统模拟研究步骤

### 1. 定义问题和制定研究计划

每项研究开始,必须清晰地阐明研究的目的。如果可能的话,应当勾划出系统方案的设计,并且应当给出评价这些方案效能的判断准则和依据。应当根据人数、费用和研究各方对时间的要求制订这项研究的开发计划。

### 2. 收集数据和确定模型

应当收集所研究的真实系统的数据,并用来估计输入参数和获得模型中所用随机变量的概率分布。例如,在构造海运系统模拟模型时,应收集船舶到港间隔时间和靠泊作业时间数据。用这些数据确定模型中使用的理论上的到达间隔时间和服务时间的概率分布。如果可能的话,应当根据试验运行和确认(第 5、6 步)的需要来收集数据。

根据给定目的构造实际系统的数学和逻辑模型结构的工作,仍然是技巧多于科学。然而,