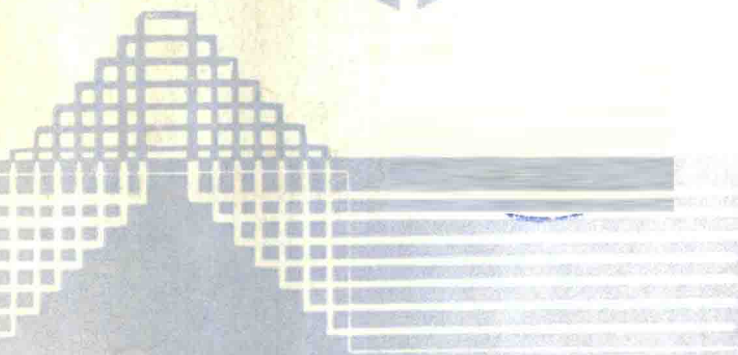
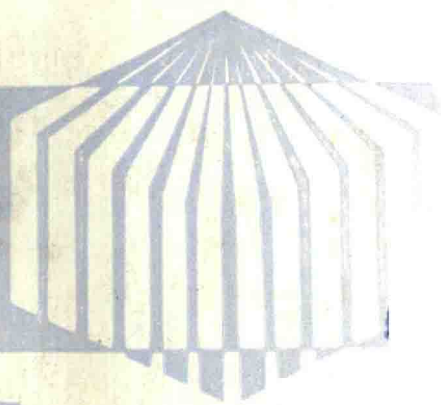


高等学校教学用书

# 计算机模拟

郭绍禧 关亚骥 陆学华 编著



中国矿业大学出版社

高等学校教学用书

# 计算机模拟

郭绍禧 关亚骥 陆学华 编著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

该书是在中科院应用数学所计算机模拟组多年研究、讲学并经过多次总结修改的基础上写成。计算机模拟是一门数值计算技术，较注重本门学科的实际运用。其应用范围遍及财政经济、政府决策、生产管理、生产工艺、军事运筹、交通运输、矿业开采、通讯、工程设计、科学实验、环境保护及人员培训等社会部门和领域，是许多交叉学科研究（社会学、人类学、行为学）的有效技术手段。本书重点叙述了：计算机技术的基本知识；各种不同分布随机数的产生方法；模拟模型的构造方法及读者应着重掌握的系统分析、系统结构描述及模拟进程控制等方法。该书还提供了模拟问题的解决示范，并介绍了三种典型的计算机模拟语言。

责任编辑：张玉珍

高等学校教学用书

## 计算机模拟

郭绍禧 关亚骥 陆兴华 编著

---

中国矿业大学出版社 出版

(江苏省徐州市中国矿业大学校内)

江苏省新华书店 发行 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15 字数 357 千字

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数 1—4000 册

---

ISBN 7-81021-090-4

TP·7 定价：3.00 元

技术设计：周立钢

责任校对：马景山

## 序 言

作为一门数值计算技术，计算机模拟（Computer Simulation）是系统工程、管理科学、运筹学等学科广泛采用的研究方法之一，其应用范围遍及财政经济、政府决策、生产管理、生产工艺、军事运筹、交通运输、矿业开采、通讯、工程设计、科学试验、环境保护及人员培训等社会部门和领域，并且是许多交叉学科（如社会学、人类学、行为科学等）的有效技术手段。由于具有较强的灵活性和适用性，计算机模拟方法广泛为科研、设计、教学及生产管理部门所采用，据估计，在日本企业用系统工程解决的实际管理与决策问题中，有80%以上是通过计算机模拟方法得到解决的。

计算机模拟这一概念（也称为系统仿真，System Simulation），最初由冯·诺依曼于本世纪40年代提出，当时由于计算机尚处于起步阶段，该技术主要表现在用Monte Carlo方法求解，以后随着计算机工业和软件技术的突飞猛进，出现了许多有重大实用价值的工作，如美国的作战模拟、经济对策模拟和排序问题的模拟等。1952年，美国成立了模拟学会。从60年代开始，随着专用模拟语言的出现和成熟，计算机模拟技术得到了迅速发展，1962年，模拟语言SIMSCRIPT和GPSS等相继研制成功。1963年，模拟专业权威性学术刊物SIMULATION月刊出版，标志着计算机模拟作为一门独到的应用技术进入了全面发展时期，一方面继续拓展一些新的应用领域，从而辅助支持一些重大的社会经济技术决策；另一方面从模拟的软件设施、建模方法论及有关模拟的理论问题上作深入的探讨。近年来，计算机模拟还结合软件技术的新进展，如管理信息系统、决策支持系统、专家系统、人工智能和计算机图形学等，进一步丰富和完善其自身的内容。目前已有数个有关模拟的国际性组织，出版各自的学术刊物，每年组织几十次国际性或地方性学术会议，较有名的专用模拟语言和模拟软件系统也有几十种之多。

我国于50年代开始应用Monte Carlo方法（统计试验方法）求解一些科学计算问题，特别是核工业中的某些计算物理问题，但真正较普遍的起步是在70年代末，随着现代化建设的需要，计算机模拟在我国迅速普及和发展，如采矿工业中的工艺方法论证比较、设计参数优选设备的合理调度，交通运输业中的调度运营、运输流量控制，军事领域中的模拟演习、新武器系统效果论证、飞行员培训，以及计算机系统的设计，地区发展规划，工业过程设计，人口问题研究等等。与此同时，还在微机上开发和移植了一些专用模拟语言。为了促进计算机模拟在系统工程、管理科学和运筹学中的发展，1983年召开了第一届全国计算机模拟学术交流会，并成立了中国运筹学会计算机模拟专业委员会，1986年召开了第二届全国范围的学术会议，目前在计算机模拟的方法论、专用模拟语言、新的应用领域及与其它软件技术的相互渗透方面都正在进行一些有益的研究工作。

本书力图对计算机模拟的主要内容作深入浅出的阐述。第一章重点叙述计算机模拟的基本知识，使读者对计算机模拟技术有一个概况的了解；第二、三章介绍各种不同分布随机数的产生方法，对实际应用人员来说，不必深入研究书中的详细介绍，只须按这两章提

供的计算步骤编写产生随机数程序就可以了；第四、五、六章介绍模拟模型的构造方法，读者应着重掌握系统分析、系统结构描述及模拟进程控制等方法，由于构模是一门艺术性很强的技术，需要实践经验的指导，因此这几章都附有实例，提供具体模拟问题的解决示范。这些实例皆取自作者的应用课题；第七章概括地介绍了三种典型的计算机模拟语言，这三种语言代表了用专用模拟语言解决离散事件模拟问题的基本思想，还可以加深对构模方法的理解。

自 1978 年以来，作者先后在一些系统工程和运筹学学习班、研究生班讲授过本书的主要内容达 30 多次，经过多次总结修改，写成了这本书，在编写本书过程中，曾得到许国志，刘源张，董泽清，程侃，陈文祥，俞兆辉和林彦承等同志的支持、帮助和指导，在此谨向他们表示深切的谢意。

# 目 录

## 序 言

<b>第一章 计算机模拟的一般概念</b> .....	( 1 )
1.1 系统模拟 .....	( 1 )
1.2 模拟模型 .....	( 3 )
1.3 模拟模型的分类 .....	( 6 )
1.3.1 模拟模型按应用分类 .....	( 6 )
1.3.2 模拟模型按结构形式分类 .....	( 7 )
1.3.3 模拟模型按系统中事件出现的特性和动态形式分类 .....	( 9 )
1.3.4 混合模拟 .....	( 10 )
1.4 需用模拟解决的问题 .....	( 12 )
1.5 计算机模拟在决策过程中的地位 .....	( 13 )
1.6 一个打靶的例子 .....	( 15 )
1.6.1 打靶问题的叙述 .....	( 15 )
1.6.2 火力系统的系统分析 .....	( 16 )
1.6.3 模型的构造 .....	( 16 )
1.6.4 手工模拟 .....	( 17 )
1.6.5 计算机模拟 .....	( 18 )
1.6.6 问题的解析数学模型 .....	( 20 )
<b>第二章 均匀随机数的产生</b> .....	( 22 )
2.1 均匀分布和均匀随机数 .....	( 22 )
2.1.1 均匀分布 .....	( 22 )
2.1.2 产生均匀随机数的一般方法 .....	( 23 )
2.1.3 伪随机数的产生方法 .....	( 24 )
2.2 线性同余数法 .....	( 28 )
2.3 伪随机数发生器的联合使用 .....	( 33 )
2.4 随机数的统计检验 .....	( 34 )
2.4.1 均匀随机数的随机性和均匀性检验 .....	( 34 )
2.4.2 均匀随机数的独立性检验 .....	( 39 )
<b>第三章 产生随机变量的方法</b> .....	( 42 )
3.1 逆变换法 .....	( 42 )
3.1.1 负指数分布 .....	( 42 )
3.1.2 Weibull 分布 .....	( 44 )
3.1.3 几何分布 .....	( 45 )

3.1.4 二项分布 .....	( 45)
3.2 舍选法 .....	( 47)
3.2.1 Beta 分布 .....	( 48)
3.2.2 Gamma 分布 .....	( 51)
3.2.3 正态分布 .....	( 55)
3.3 组合法 .....	( 56)
3.3.1 Poisson 分布 .....	( 57)
3.3.2 Erlang 分布 .....	( 58)
3.3.3 二项分布 .....	( 59)
3.4 近似方法 .....	( 60)
3.4.1 利用中心极限定理 .....	( 60)
3.4.2 Box-Muller 近似方法 .....	( 61)
3.4.3 Teichnoew 多项式近似公式 .....	( 62)
3.5 经验分布 .....	( 63)
3.6 三个重要分布 .....	( 64)
<b>第四章 计算机模拟的通用方法——等步长法</b> .....	( 66)
4.1 等步长法的思路 .....	( 66)
4.2 机器维修问题的提出 .....	( 69)
4.3 机器维修问题的系统分析 .....	( 70)
4.4 机器维修问题的数学解析模型 .....	( 73)
4.5 机器维修问题的计算机模拟模型 .....	( 76)
4.6 机器维修问题的计算机模拟程序 .....	( 79)
4.7 机器维修问题的模拟结果 .....	( 81)
4.8 实例——毛纺厂细纱车间的计算机模拟 .....	( 83)
4.8.1 问题的提出 .....	( 83)
4.8.2 系统分析 .....	( 83)
4.8.3 模拟模型 .....	( 85)
4.8.4 模拟结果 .....	( 85)
<b>附录 1 市内公共交通线路的计算机模拟</b> .....	( 88)
一、问题的提出 .....	( 88)
二、系统分析 .....	( 89)
三、模拟模型的建立 .....	( 90)
<b>第五章 事件表法</b> .....	( 94)
5.1 事件表法概述 .....	( 95)
5.2 排序问题的提出 .....	( 98)
5.3 排序问题的系统分析 .....	( 99)
5.4 排序问题的手工模拟 .....	(103)
5.5 排序问题的模拟模型 .....	(109)
5.6 排序问题的模拟程序及模拟结果 .....	(114)

5.7 实例——机加工车间作业计划的计算机模拟	(121)
5.7.1 问题的提出	(121)
5.7.2 系统分析	(122)
5.7.3 模型的构造	(124)
附录 2 海港散粮进口换装运输系统的模拟	(126)
一、系统描述	(126)
二、系统分析	(127)
三、模拟模型的构造	(129)
四、结果分析	(133)
<b>第六章 主导实体时钟值扫描法</b>	<b>(138)</b>
6.1 方法的特点	(138)
6.2 主导实体时钟值扫描法的思路	(139)
6.3 码头装运系统的计算机模拟	(141)
6.3.1 问题的提出	(141)
6.3.2 系统分析	(141)
6.3.3 模拟模型	(142)
6.3.4 模型的源程序	(145)
6.3.5 模拟结果	(149)
6.4 实例——海上运油船队的计算机模拟	(151)
6.4.1 问题的提出	(151)
6.4.2 系统分析	(152)
6.4.3 系统的模拟模型	(152)
6.4.4 模拟结果	(152)
附录 3 露天铁矿装运系统的计算机模拟	(154)
一、问题的提出	(154)
二、系统分析	(154)
三、模型的构造	(156)
四、模拟结果	(162)
<b>第七章 计算机模拟语言</b>	<b>(164)</b>
7.1 GPSS 简介	(164)
7.1.1 GPSS 语句	(165)
7.1.2 GPSS 中的实体	(166)
7.1.3 实体的属性	(169)
7.1.4 GPSS 中的框块( Block )	(172)
7.1.5 GPSS 语言的控制结构	(181)
7.1.6 简例	(183)
7.2 SIMSCRIPT 语言简介	(188)
7.2.1 基本概念	(188)
7.2.2 SIMSCRIPT 的控制结构	(191)



7.2.3 SIMSCRIPT 程序结构 .....	(192)
7.3 ECSL 语言 .....	(199)
7.3.1 几个术语的含义 .....	(199)
7.3.2 语句说明 .....	(200)
7.3.3 表达式 .....	(202)
7.3.4 集的使用 .....	(204)
7.3.5 直方图的使用 .....	(205)
7.3.6 串的使用 .....	(207)
7.3.7 布尔量的使用 .....	(207)
7.3.8 复合语句和上下文的使用 .....	(208)
7.3.9 输入和输出 .....	(212)
7.3.10 怎样构造活动 .....	(214)
7.3.11 变量的初始值 .....	(218)
7.3.12 程序的结构 .....	(221)
7.3.13 函数库 .....	(222)
7.3.14 一个实例 .....	(223)
7.3.15 关键字和保留字表 .....	(229)

# 第一章 计算机模拟的一般概念

自从二十世纪五十年代以来，由于计算机科学和系统科学的发展，出现了一个新的科学方法——计算机模拟。计算机模拟是一种对问题求数值解的技术。它利用数字计算机对一个客观复杂系统的结构和行为进行动态的仿真或表演，以安全和经济的方法，获得系统或过程的数量反应结果。然后经过考察，分析和研究，去预测或评价一个系统的行为效果，为决策者提供决策依据。

## 1.1 系统模拟

计算机模拟研究的对象是复杂系统。目前，系统这一术语应用得极为广泛。从计算机模拟的角度来看，系统是客观世界的组成部分，是其中各种不同客体的有机综合体。这里所谓的**客体**，是指系统中的各个组成要素。在计算机模拟中，称客体为**实体 (ENTITY)**。很明显，所谓“不同的客体”是指它们各自有其本身的特点或特性。计算机模拟使用**属性 (ATTRIBUTE)** 这个术语来表示客体的特性。每一个实体都由若干个属性值来描述。“诸客体的有机综合体”是指这些客体之间按照一定的规律或原则相互作用，相互依存，组成一个有机整体。客体的相互作用，使得系统发生某种变化，任何使得系统发生变化的过程或行为，在计算机模拟中称之为**活动 (ACTIVITY)**。由此可见，活动的作用使得系统不断地发生变化，或者说，使得系统成为动态的。

在系统的动态过程中，任一时点上全部实体、属性和活动的瞬间表象，称做系统的**状态 (STATE OF THE SYSTEM)**。模拟时，是用一组数值来对其进行记录的。这一组反映系统状态的数值称之为系统的一个**映象 (IMAGE)**。这样，活动不断地改变着系统的状态，而系统则不断地由一个映象变为下一个映象。任一引起系统状态变化的因素，称作**事件 (EVENT)**。事件这个概念在计算机模拟中是非常重要的，后面会经常用到它。

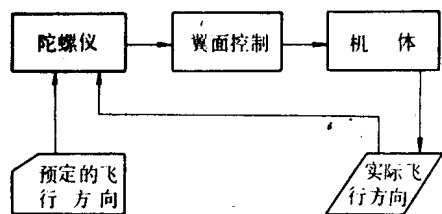


图 1.1

任何事件都是在某个时点上出现的。这些出现事件的时点，称之为**事件点**。在模拟中，各种活动的作用引导出了一系列事件点，它们形成了一个事件点序列。模拟的进行，就是在这些事件点上对系统映象进行各种判断和考察，找出此时出现了哪些事件，它们是否可以立即执行，怎样对系统映象进行变化，以及下一个事件何时出现等。为了实现这些事件点，在模拟中引进了“模拟时钟”的概念。

下面举两个简单系统的例子

**例 1:** 自动驾驶仪控制下的飞行。其示意图如图 1.1。

当信息输入后，陀螺仪检查实际飞行方向与预定方向的偏差，发出信号，启动翼面控制。相应于翼面控制的操作，机体沿着修正后的方向飞行。

在这个例子中，系统的实体是陀螺仪，翼面和机体。它们的属性是陀螺仪的定位、翼面控制角度和飞行速度等。活动是翼面控制操作和机体对此操作的反应。

**例 2:** 考虑某工厂生产的简单系统。如图 1.2 所示。

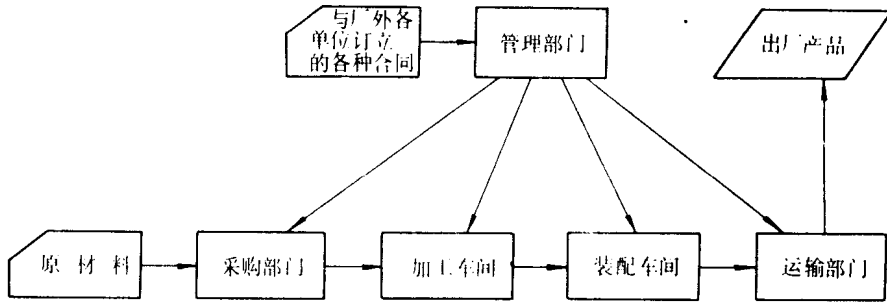


图 1.2

在这个系统中，两个重要的部门是加工车间和装配车间。采购部门的任务是保证原材料的供应。运输部门的作用是将出厂产品发送给用户。管理部门则按照各种合同给其它部门分派工作任务。

在这里，实体是车间（部门）、合同、原材料、工件、机器和出厂产品等。属性有数量、种类、订货量和生产能力等。活动有合同处理、进货、生产和发运等。

表 1.1 列出了其它几个方面的例子。

**表 1.1**

系统	实 体	属 性	活 动
市内交通	汽车、线路、交通灯和车站等	数量、种类、容量、乘客数目等	发车、运行、上下车、交通灯控制等
银行	储户、窗口、和队长等	储存金额、人数、和类别等	储存活动等
通信	信息等	距离和优先顺序等	传输等
海运	船只、港口和货物等	数量、能力和种类等	装卸活动和运输活动等

系统具有输出实体的功能，但是它不能凭空输出，必须首先输入某种实体，经过各种活动或过程的处理，才能变为输出。从这一角度来看，系统具有输入、处理和输出三个要素或阶段。如图 1.3 所示。

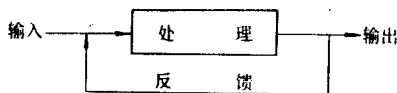


图 1.3

在前面例 2 中，输入的原材料（流经系统的实体，在形式上可以是物质的、信息的或价值的等等）经过加工或作业（处理），生产出出厂产品。这种系统称谓生产系统。计算机模拟研究的重点是中间这个环节，亦即处理要素。这就需要构造一个模仿真实系统的模拟模型。关于输入和输出两个

要素，在计算机模拟中，主要是怎样设计输入和输出的结构问题，也就是数据结构问题，这在构造模型和编制程序时，是必须考虑的一个重要问题。

用计算机模拟研究系统时，不是使用数学解析方法或物理试验方法，而是应用模拟模型对客观系统进行仿真或表演，亦即采用仿真的方法<sup>①</sup>。模拟这个概念，乍听起来好像是一个新概念，其实早在几千年以前，我国就出现了系统模拟的思想，如众所周知的中国象棋，便是模拟古代战争的一种游戏。军事上的军事地图、沙盘作业和实战演习等则是模拟两军对峙的活动情况。十九世纪中叶，德国就把沙盘作业应用于普法战争中。在后来的两次世界大战中，都应用并发展了沙盘作业的技术。计算机模拟正是上述模拟思想自然发展的产物。

在生产管理中，为了研究和分析生产组织与管理问题，过去曾采用“生产写实”的方法，此方法是用大量人力对生产过程中各种活动的状态进行动态记录，然后利用记录下的信息对生产过程进行重演，以便提出改进的技术组织措施。这也就是西方所讲的“纸上模拟”。

以上的模拟方法，不仅需要花费大量的人力和物力，而且还会耽误时机或影响生产。在许多情况下，还得不到理想的资料，即便得到了理想的资料，要对其进行动态模拟那也是非常复杂的，有时简直是不可能的事情。

电子计算机的出现，大大改变了模拟方法的面貌。由于计算机具有记忆力强，速度快和逻辑严密等特点，再加上计算机软件的高度发展，使得上述模拟工作有可能在计算机上进行。与此同时，人们对于复杂系统的数量关系和逻辑关系的研究也取得了很大的进步，这使得计算机模拟成为研究复杂系统的一个重要方法，成为运筹学的一个独立分支，成为辅助人们决策的一个有效的工具。有一点必须指出，从数学的角度来看，计算机模拟是一种没有办法的办法。如果某个问题或系统能够应用解析的数学方法构造出模型来，那么就不必要再去应用计算机模拟。这不仅仅是从经济上考虑，更重要的是因为计算机模拟所提供的数值解是一种近似的和不精确的模拟量。

## 1.2 模拟模型

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，都可以称为该系统的模型。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，信息表现为解析或数值方程的形式。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 1.4 是一种分类方法。

由此可见，模拟模型具有如下三个特点。

1. 模拟模型属于数学模型。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，而是用逻辑流程图的形式来描述量的关系。

---

<sup>①</sup>国内有人称计算机模拟为仿真技术。

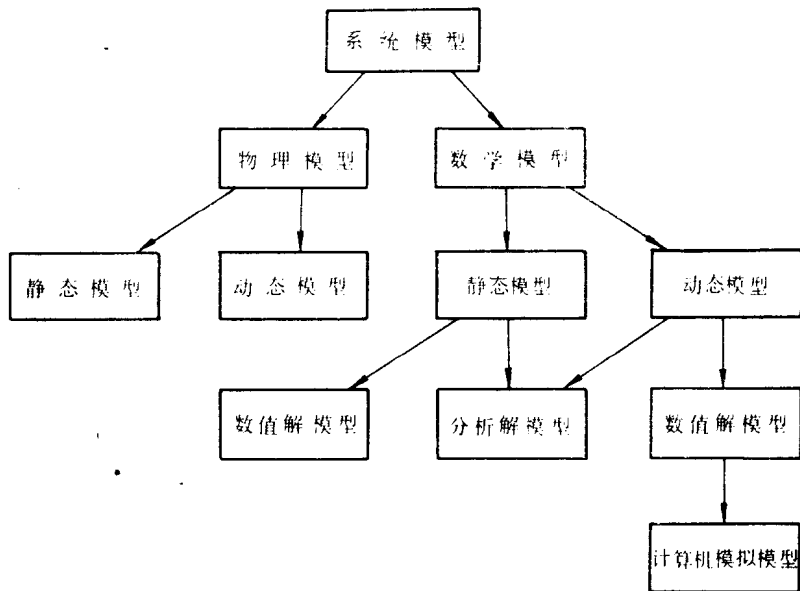


图 1.4

2. 模拟模型适宜于描述动态系统，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。所以几乎每一个计算机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 (ANALOG COMPUTER) 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 1.2。

表 1.2

模型的型式	预测方法	优化方法	费用	与真实系统的耦合程度	缺 陷
叙述(分析)式模型	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性质

籍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述，这个过程称为计算机模拟的模型化。模型化的产物（逻辑流程图或计算程序）称为原系统的模拟模型。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。

为了直观起见，下面给出两个简单的计算机模拟模型的例子。

**例 1:** 假若某个飞机场, 当跑道被占用时, 到达上空的飞机必须在空中盘旋等待。当跑道未被占用, 并且依顺序轮到该架飞机降落时, 它才能降落, 并滑行到指定的地点。

**例 2:** 火车站购买车票的情形可以当作一个系统。旅客按一定的规律到达售票口。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。在售票时, 旅客需要说明去向和购买什么种类的票, 售票员进行收款售票, 当旅客被服务完之后就离开系统。

上面的两个例子虽然是不同的问题, 但是就其系统的结构和行为则完全一样。。图 1.5 是两者的流程图。

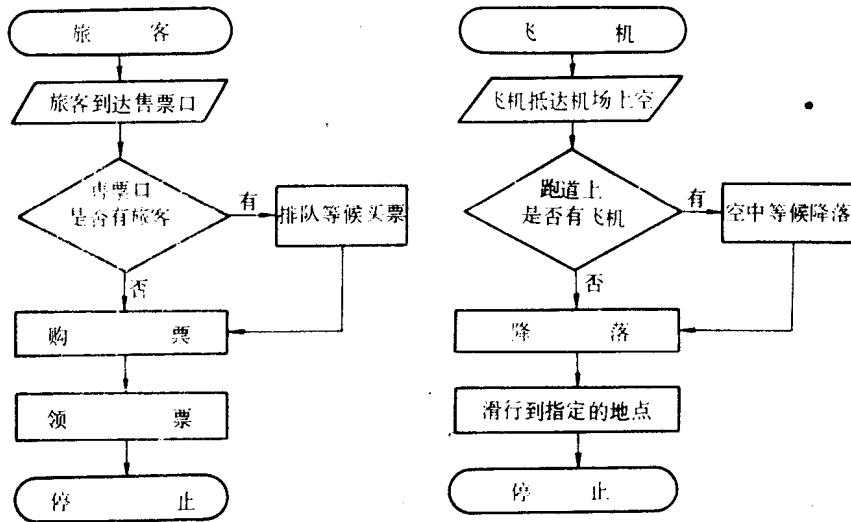


图 1.5

抛开两者的特殊性, 按其结构和相互关系来看, 可归结为图 1.6 的模型。这个逻辑流程图为一个简单的等待线系统的计算机模拟模型。其中包括四个过程或活动:

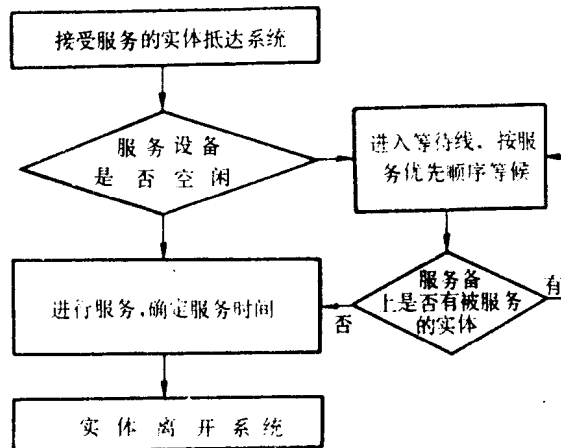


图 1.6

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

假若让所有到达系统的实体都进入等待线，而对于那些根本不需要等待的实体，使其等待时间为零，则上面的逻辑流程图可以改变为图 1.7 (a) 的形式。对应着每一个方块，在图 1.7 (b) 中，用专用模拟语言 GPSS 的方块符号将其表示出来，每一个方块符号的名字写在旁边。相应于这个方块框图，在图 1.7 (c) 中写出了 GPSS 程序。在这里，只是为了说明一下计算机模拟模型的具体形式，至于每一个 GPSS 语言的方块符号和语句的含义或功能是什么，将在第七章中介绍。

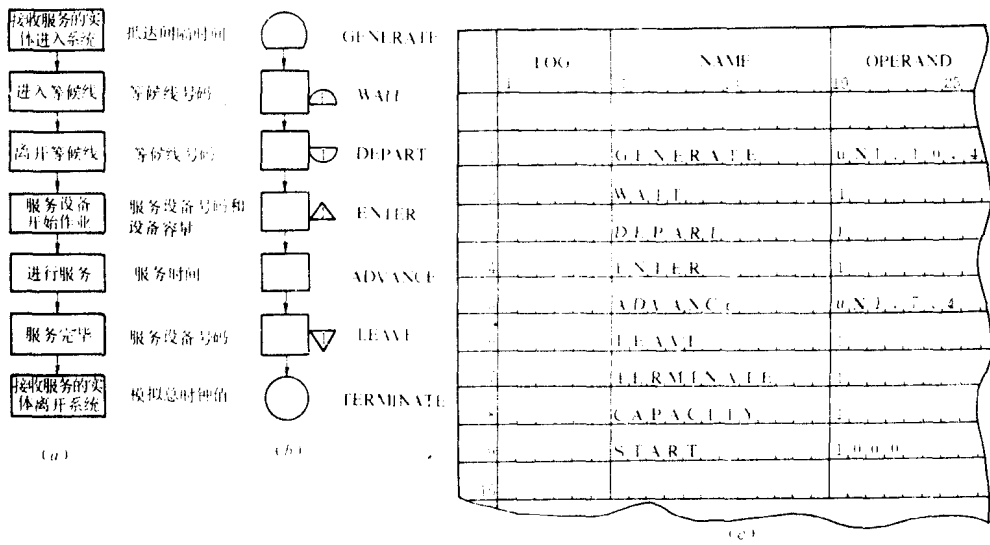


图 1.7

上面的方块符号流程图或程序都可以认为是此系统的计算机模拟模型。如果变动系统的参数，如平均到达间隔和服务时间长度等，就可以对模型进行模拟试验，从而输出不同的结果。

### 1.3 模拟模型的分类型

系统和模型的分类型问题是一个非常重要的问题。如果能够把客观存在的各种各样的具体系统和模型进行分类，抽象和规格化，然后作成标准的软件包，这将对系统科学的了不起的贡献，但这有待将来的努力。这里所讲的对计算机模拟模型的分类型，只是在形式上从不同的角度作一些简单的划分。

#### 1.3.1 模拟模型按应用分类

近十几年来，在科学技术发达的国家中，计算机模拟得到了广泛的应用，诸如在生产管理、工程技术、军事演习、科学试验、财政经济以及社会科学等领域。从运筹学的角度来看，主要是应用在下面几类模型中。

1. 存储模型：如何确定和控制一个企业的存储量是企业管理中的一个重要问题。如果存量过多，就会在资金、原材料和产品的周转率以及原材料或产品的劣化等方面带来损失。但是另一方面，假若存量过低，就可能因为原材料供应不上而影响生产的正常进行，此外，还会失去推销机会，降低仓库利用率，甚至违反合同而被罚款等。因此，怎样找出最优的存储量，确定合理的匹配关系，在经济上是一个很重要的问题。计算机模拟最适宜于解决这类问题的一些复杂模型。

2. 排队和排序模型：在客观实际中，存在大量的排队和排序现象。为了研究这类现象，在运筹学中发展起了排队论和排序两个独立的分支。对于那些标准的排队和排序问题，可以用排队论和排序等解析方法去解决，但是当问题较为复杂时，就只能借助于计算机模拟来解决。在国外，已经研制出了许多有关排队和排序问题的模拟软件包，甚至还出现了适宜求解排队问题的专用计算机。

3. 预测模型：计算机模拟这门技术非常适用于预测模型。如预测未来一段时期的总产量、销售额和总收益等。在西方一些国家中，应用计算机模拟进行的经济预测和能源预测发展得很快。美国还研制了用于经济预测的专门设备。

4. 更新模型：任何设备都有寿命，随着寿命的延长，设备的效率越来越低，有时需要追加投资来维持其效率，或者在其失效之前进行设备更新。如何合理地投资，才能使得资金的利用效果最佳呢？这类问题的模型称之为更新模型。计算机模拟可以用来对其中一些复杂的模型求解，使得在投资和设备效率方面找到合理的平衡点，从而达到经济上的合算。关于可靠性的问题也是属于这种情况。

5. 训练模型：训练模型是用来培训驾驶人员和提高指挥（或调度）人员经验水平的模型。例如使用飞行模拟器，可以为学员创造一个与真实飞行相逼真的环境。作战模拟模型可以进行战争对抗表演，以此增加指挥人员的经验和提高指挥才干。在资本主义国家中，为了竞争的目的，还建立了各种各样的经济对策模型，用来训练经营管理人员。

以上只是列举了几种在管理工作中的主要应用，还有许多其它类型的模型都可以用计算机模拟来求解，这里不再枚举。

### 1.3.2 模拟模型按结构形式分类

在对系统进行研究时，为了方便，往往将其分解为若干子系统，而每个子系统又可分解为更低一级的子系统，一直到系统的实体为止。对于这些子系统中的一个，都可以构造一个单独的子模型。这样，总模型就呈现为若干子模型的组合结构形式。模拟模型可以分为如下四种形式。

1. 简单式模型：一些比较简单的系统，模型的结构也比较简单，无需再将其分解为几个子系统。如车间生产作业计划的模拟、公共汽车路线的模拟或一个独立的存储系统的模拟等。这往往是那些应用计算机内存就可以容纳的问题。后面遇到的模型都是属于这一类。其形式如图 1.8。



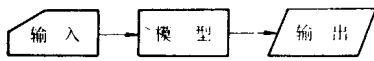


图 1.8

每一个活动都是简单式模型，亦即在计算机中是一个独立的模块。串联式模型的形式如图 1.9。在这种形式中，模块相继执行，前者的输出直接成为后者的输入，这对于数据文件的核对和变换是很方便的。

2. 串联式模型：一个总系统可以分解为相继串联的若干子系统。例如一个企业的生产经营过程可以分为：

市场预测→生产计划→财务计划

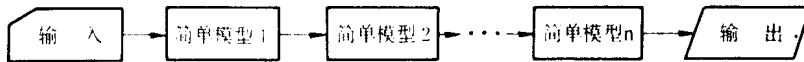


图 1.9

3. 扩展式模型：这种形式的模型表现为若干子模型的串并联形式，亦即呈现为网络的形式。假若要把一个企业作为一个整体来模拟，可以表示为图 1.10 的结构形式。扩展式模型的扩展程度，取决于对问题求解的精度要求和模型的应用范围。

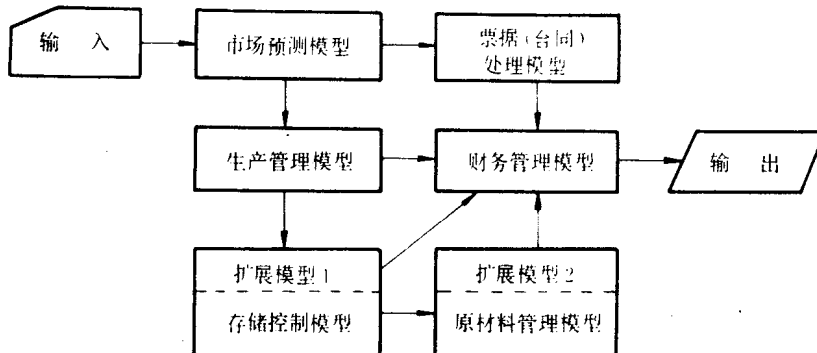


图 1.10

4. 分析式模型：当对一些大而复杂的系统进行模拟时，有时需要先对总系统作一个模拟概型，进行一次粗略的模拟，从中分析出系统的薄弱环节或关键子系统。然后再针对这些薄弱环节或关键子系统构造详细的模拟模型，进一步模拟，以便进行更深入详细的分析。例如要研究某个市内交通系统，可以首先对全市的交通概况，如客流、交通网络、指挥系统、车辆运行、交通事故和其它交通拥挤现象作一个粗略的模拟分析，从中找出阻碍交通运行的最关键问题，假若说是交叉路口的指挥系统，那么，再针对这一关键问题构造交通灯指挥系统的模拟模型，以此具体分析车辆的到达和排队现象，提出如何改善指挥原则等措施，以提高通过能力。分析式模型的结构形式如图 1.11 所示。