

计算机模拟

方美琪 编

# 计算机模拟

中国人民大学出版社

57201.81

# 计 算 机 模 拟

方美琪 编

中国人民大学出版社

**计 算 机 模 拟**

方美琪 编

•  
中国人民大学出版社出版发行

(北京西郊海淀路39号)

中国人民大学出版社印刷厂印刷

(北京鼓楼西大街石桥胡同61号)

新华书店经销

•  
开本：787×1092毫米16开 印张：21.125

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

字数：502 000 册数：1-2 000

•  
ISBN7-300-00417-2

O·15 定价：6.45元



# 前 言

计算机模拟是计算机应用的重要方面，但这方面的工作在我国开展得不够普遍。不够普遍的原因之一是没有合适的书籍介绍这方面的内容。近来这方面的书籍已出版一些，但由于中国之大，模拟方法之多，已出的书远未能满足学习计算机模拟的要求。因此，根据我系六年来的教学与科研实践，编写了这本书。希望它的出版对于该领域的教学与科研将有所裨益。本书可作为高等学院计算机应用专业高年级本科生和研究生的教材。

本书含有许多人的辛勤劳动的成果。DYNAMO的编译中，初期大量的工作是由人民大学计算中心的王华民同志帮助做的。后来信息系本科生刘振亚、陈仲、普学杰等人也做了不少工作。在GPSS的编译过程中，86级信息系研究生陈红等及84级信息系本科生冯永杰、李彤等做了一些工作。在SIMSCRIPT及SIMULA介绍中用到的材料是应用数学所关亚骥同志提供的。排队论系统的FORTRAN程序是由陈红整理的。肯尼亚的实例是从信息系陈禹同志的翻译稿中节取的。在此，谨向上述同志表示衷心的感谢。

# 目 录

第一章 绪论	1
§1.1 系统、模型、模拟	1
§1.2 计算机模拟的定义	3
§1.3 计算机模拟的基本概念	9
§1.3.1 一般建模过程	9
§1.3.2 术语	11
§1.3.3 模拟语言简介	12
第二章 系统动力学和DYNAMO语言简介	16
§2.1 系统动力学	16
§2.2 从流图到DYNAMO方程	34
§2.3 DYNAMO语言	52
§2.3.1 语法元素	52
§2.3.2 变量描述语句	53
§2.3.3 DYNAMO方程的顺序及时间下标	57
§2.3.4 函数	60
§2.3.5 控制语句	65
§2.3.6 运行命令	69
§2.3.7 语句、函数及语法错误	69
§2.4 延迟概念	71
§2.4.1 途中延迟	71
§2.4.2 指数延迟	72
§2.4.3 延迟宏函数	74
§2.5 例	83
§2.5.1 例1 定货购物商店模拟	83
§2.5.2 例2 定货策略比较	90
§2.5.3 例3 工厂生产模型	100
§2.5.4 例4 生产定价及雇佣策略模拟	105
§2.5.5 例5 北京科技-经济协调发展模拟	113
§2.6 系统动力学原理	116
§2.7 汉字DYNAMO编译	124
§2.7.1 目标码结构	125

§2.7.2	编译的框图	126
§2.7.3	编译程序	127
§2.7.4	目标码例	177
<b>第三章</b>	<b>GPSS介绍</b>	<b>186</b>
§3.1	基本概念	187
§3.1.1	活动实体	188
§3.1.2	资源实体	191
§3.1.3	标准数字属性	195
§3.1.4	标准逻辑属性和布尔表达式	198
§3.1.5	语句中的若干记号	199
§3.1.6	说明语句	201
§3.1.7	块语句	207
§3.1.8	控制语句	235
§3.1.9	输出	238
§3.2	建模观点	241
§3.2.1	简单理发店工作例子——事件排序	242
§3.2.2	更切合实际的例子——进程交作	246
§3.2.3	各种进程路径	247
§3.2.4	复杂结构	252
§3.2.5	特殊的排队方式	253
§3.2.6	登记结果	257
§3.2.7	实验安排	266
§3.2.8	用户编辑的输出图	270
§3.3	GPSS实例	273
§3.3.1	某港口接收油船决策问题	273
§3.3.2	库存问题	277
§3.3.3	完成一个复杂项目所需人力及时间的模拟	280
§3.4	GPSS编译	285
§3.4.1	GPSS调度原则——SCANNER工作原理	285
§3.4.2	目标码结构	287
§3.4.3	编译结构	288
<b>第四章</b>	<b>其他模拟方法介绍</b>	<b>289</b>
§4.1	SIMSCRIPT简介	289
§4.1.1	基本思想	289
§4.1.2	SIMSCRIPT程序例	290
§4.1.3	语言概念	293
§4.1.4	集	297
§4.1.5	用到集的例	298
§4.2	SIMULA简介	302

§4.2.1	SIMULA的基本思想.....	302
§4.2.2	语法.....	303
§4.2.3	例.....	308
§4.3	高级语言模拟 .....	311
§4.3.1	1970—1978年肯尼亚经济发展的系统模拟.....	311
§4.3.2	排队模拟.....	317

# 第一章 绪 论

模型是一个古老的概念。自古以来人们常常建立模型以便描述和解决自己所面临的问题，而几乎没有人直接用实物本身进行研究。利用模型可以帮助人们认识现实世界，增加新知识，进行预测。因此模型是一个很有力的工具。实物模型、数学模型是大家所熟知的，应用得也很广泛。但是，计算机出现后，人们希望使用计算机处理模型，在计算机上运行这些模型以模仿现实世界，形成了计算机模拟的新概念。

由于计算机模拟的广泛流行，而且其中新思想、新概念、新方法还不断地出现，所以其含义就不很确切，不很统一。此学科（我们暂称此学科为计算机模拟）虽已形成，但并非成熟，有必要在充分实践的基础上认真思索，以便把各行各业建模的思想方法抽象出来。这个任务是各行各业从事计算机模拟实际系统的专家们都应做的工作，当然也是从事计算机应用专业的专家们应做的工作。

本书主要介绍计算机模拟的基本概念和方法。材料和例子有的来自实践，也有些来自会议论文、杂志或其他书籍。

本书有两个重点。一个是强调建模思想。从计算机能接受的概念模式入手，介绍如何把实际中要解决的问题转化成计算机可以识别的形式。第二是叙述计算机模拟语言本身。讲述语言的语法和语言实现的方式。所谓建模思想就是对于复杂的问题通过从目标出发的分析，首先去掉次要的枝节问题，留下主要的核心问题。然后不断完善，逐步求精，直到解决问题。这里指两个方面。一方面能把现实生活中的问题想象成计算机程序所描写的模型。另一方面从计算机程序模型想象出它的实际背景。第二个重点，使读者真正掌握语言。这对于领会建模思想是有好处的，这是一条较快而省力的途径。对于计算机专业的读者，还可以从中学到设计模拟语言的方法。

## § 1.1 系统、模型、模拟

计算机模拟还可称为系统模拟。因为这个学科的主要含义是用计算机程序模拟系统。系统、模型、模拟是广泛应用的基本概念，直觉上易于体会，但实际上又很难确切定义。可以把系统看成是由若干元素组成的，因元素间相互作用而产生了新性质。它不同于各个元素所具有性质的简单叠加。

我们研究具有一定复杂性的系统。它们的特点在于，第一，系统是由多个元素组成的。第二，元素之间具有较强烈的相互作用。如果元素间相互作用很弱，就可以将它们分割到不



同的系统中，而不看成一个整体系统。第三，元素间的作用是非线性的。这就是说，几个元素对一个元素的影响，不等于各个元素对该元素影响的代数和，即元素间相互影响，相互作用不是互相叠加的关系。第四，更应当强调的是元素间的相互作用形成了反馈关系。追溯影响的因果关系链，往往发现因果关系联成了环，找不到发生影响的源头。输出的结果又返回来作为原因，系统变化的行为就复杂得多。如果不是环形影响，从源头原因的变动唯一确定了后续结果的变动，那么问题将简单得多。第五，我们认为系统的状态是随时间而变化的，不是静态的。一般来说，动态系统比静态系统复杂。第六，系统中关系的含义很广泛。可以是数量之间的关系，也可以是逻辑关系，还可以抽象地认为系统由实体组成。实体具有多种属性，系统内发生着一些进程、过程，存在某些事件。

系统的模型就是系统的一个简化代表。现实的系统是很复杂的，有许多方面。不同的人由于研究的目标不同，就会对某些方面作出不同的简化。模型就是原系统的同态象。

著名的管理学家西蒙说：“为了一个目标，我们无须知晓系统的全部内在结构，只要知道那些对于抽象至关重要部分就成了。”

在我们得到关于分子的知识之前，我们就已经知道了大量关于物质整体物理行为和化学行为的知识；在原子理论建立之前，便有关于分子化学的大量知识；而在建立关于基本粒子的任何理论——如果我们今天确实有这样的理论——之前，我们已经掌握了很多关于原子的知识。

科学的这一由顶部下到尚未构成的基底地的天钩吊楼结构是可行的，因为一个系统在各个层次上的行为仅仅依赖于系统在其下一层次上的某种非常粗略的、简化的、抽象的特征。这真是幸事。要不然，桥梁和飞机的安全问题也得依赖观察基本粒子的“八重法”的正确性了。”<sup>①</sup>

人们之所以可以用模型来模仿原系统是因为各种系统有一定的相似性、同形性。虽然很多系统的组成元素不相同，其组成元素的微观结构不同，但通过一定的组织表现出几乎同样的行为。例如，细菌的繁殖、化学元素的衰变、人口的增长、科学书籍种类的增加、银行中本息总额的增加，都符合指数增长的规律。

人们一直就用模型来研究原型系统。有人用外形一致来模仿现象，如小孩用布娃娃、小盘、小碗、模仿成人的活动；建筑师做缩小比例的房子模型，显示自己的设计方案。有人用机理一致来研究，如力学家用风洞研究飞机飞行的流体力学。简直可以说很少有人真的完全研究实物本身。 $1+1=2$ 表示所有可数物体间的关系。这既可说明一个苹果加一个苹果为两个苹果，又可说明一个星星加一个星星为两个星星。取共性，简化抽象，能帮助人们正确地认识事物的规律。这是一个很有用的方法。

可用图1.1反映这种认识方法。

存在着许多不同的模型方法，但计算机模拟具有独特的建模观点及解决问题的工具和方法。

在原型系统及模型之间存在着“反馈”的关系，根据对原型系统规律的认识，可以建立模型。而模拟模型又可发现一些新的规律，由此预测未来，丰富对原型系统的认识。建立模

<sup>①</sup> 赫伯特·A·西蒙：《关于人为事物的科学》，解放军出版社1985年版，第13页。

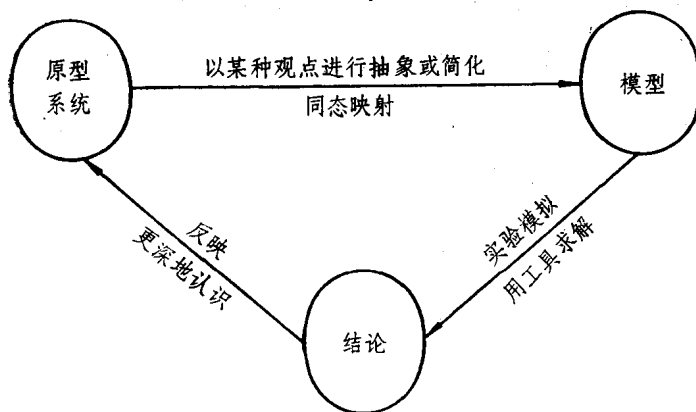


图1.1

型进行模拟是获得新知识的真正源泉，因为一切正确的推理都只不过是同义反复的一种华丽方式。

计算机模拟模型是原型系统的同态象，因此它是由一些程序语句、程序块——过程所组成的，所以计算机模拟模型有时也简称为系统。原型系统当然有时又简称为系统。以后叙述会谈到计算机系统，处理模型的计算机软件是由许多模块组成，可以简称这个（如GPSS编译）系统为系统。这三个简称的系统在不同的场合下其含义不同。因此要注意区分上述三种情况，到底是原型系统还是同态象模型系统或是计算机处理系统。

## § 1.2 计算机模拟的定义

计算机模拟是数值分析方法的一种。它用计算机程序直接建立真实系统的模型，并且通过计算机的计算了解系统随时间变化的行为或系统的特性。

计算机模拟不同于传统数学方法。用数学方法研究系统，广泛地应用在物理、化学及其他工程技术。用数学方法所建立的数学模型可能是代数方程、代数方程组、微分方程、微分方程组、偏微分方程等等。这些方程的建立有时是以实验定律为基础的。

以一个热传导方程例子，来说明怎样建立一个传统的解析数学模型（此例选自复旦大学数学系、主编的《数学物理方程》一书）。

考察某物体G的热传导问题。以函数 $u(x, y, z, t)$ 表示物体G在位置 $(x, y, z)$ 处及时刻 $t$ 的温度。

依据热传导中的富里埃实验定律：物体在无穷小时段 $dt$ 内流过一个无穷小面积 $dS$ 的热量 $dQ$ 与物体温度沿曲面 $dS$ 法线方向的方向导数 $\frac{\partial u}{\partial n}$ 成正比，即

$$dQ = -k(x, y, z) \frac{\partial u}{\partial n} dS dt \quad (1.1)$$

其中 $k(x, y, z)$ 称为物体在点 $(x, y, z)$ 处的热传导系数，它应取正值。负号的出现是由

于热量的流向和温度梯度的正向, 即 $\text{grad}u$ 的方向相反。这就是说, 如果 $\text{grad}u$ 与曲面的法线交成锐角, 则 $-\frac{\partial u}{\partial n} = \text{grad}u \cdot n$ 为正, 依 $n$ 的方向越过曲面时温度要增加, 而热流方向却

与此相反, 即从温度高的一侧流向低的一侧, 依 $n$ 的方向越过曲面的流量就应该是负的。

在物体 $G$ 内任取一闭曲面 $\Gamma$ , 它所包围的区域记为 $\Omega$ , 则从时刻 $t_1$ 到 $t_2$ 流进此闭曲面的全部热量为

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \iint_{\Gamma} k(x, y, z) \frac{\partial u}{\partial n} dS \right\} dt \quad (1.2)$$

这里 $\frac{\partial u}{\partial n}$ 表示 $u$ 对曲面的外法向导数。

流入的热量使物体内部温度发生变化。在时间间隔 $(t_1, t_2)$ 中物体温度从 $u(x, y, z, t_1)$ 变化到 $u(x, y, z, t_2)$ , 它所应该吸收的热量是

$$\iiint_{\Omega} c(x, y, z) \rho(x, y, z) [u(x, y, z, t_2) - u(x, y, z, t_1)] dx dy dz$$

其中 $c$ 为比热,  $\rho$ 为密度。因此就成立

$$\int_{t_1}^{t_2} \iint_{\Gamma} k \frac{\partial u}{\partial n} dS dt = \iiint_{\Omega} c \rho [u(x, y, z, t_2) - u(x, y, z, t_1)] dx dy dz \quad (1.3)$$

今假设函数 $u$ 关于变量 $x, y, z$ 具有二阶连续偏导数, 关于 $t$ 具有一阶连续偏导数, 利用奥斯特洛格拉茨基 (Остроградский) (以后简称奥氏) 公式, 可以把(1.3)式化为

$$\begin{aligned} & \int_{t_1}^{t_2} \iiint_{\Omega} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} dx dy dz dt \\ & = \iiint_{\Omega} c \rho \left( \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial u}{\partial t} dt \right) dx dy dz \end{aligned}$$

交换积分次序, 可以得到

$$\begin{aligned} & \int_{t_1}^{t_2} \iiint_{\Omega} \left[ c \rho \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right. \\ & \quad \left. - \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] dx dy dz dt = 0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

由于 $t_1, t_2$ 与区域 $\Omega$ 都是任意的, 我们得到

$$c \rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1.5)$$

(1.5)式称为非均匀的各向同性体的热传导方程。如果物体是均匀的, 此时 $k, c$ 及 $\rho$ 为常数, 记 $\frac{k}{c\rho} = a^2$ , 即得

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1.6)$$

方程(1.5)、(1.6)反映了物体 $G$ 在位置 $(x, y, z)$ 及时刻 $t$ 的温度 $u(x, y, z, t)$ 所满足的关系。如果知道某些简单的初始条件, 那么按数学物理方程的方法,  $u(x, y, z, t)$ 是可以求解的。

这是典型的数学方法而非模拟方法。由此可见数学方法与模拟法不同的特点。

1. 它用解析式子反映了变量之间的精确关系。

2. 这种关系的获得是在实验定律的基础之上的。热学上的富里哀定律指出了各点的温度随时间变化的机理和规律。它指出由于物体吸收热量才使温度升高，而放出热量使温度降低。其中升高降低的数学关系可很确切地由 (1.1) 给出。此外吸放热量使温度升降的程度与物质的比热及物质的密度有关。经过数学推导以后，变量之间的关系就能准确地找出来。

3. 关系式中的系数是反映物体温度变化的关键数值，它反映了温度变化的特性。

4. 已知某个初始条件及边界条件，其方程有解，连续解析解，它是  $u(x, y, z, t)$ 。这意味着在任意时刻，对于任意点上的温度都是已知的。

以上是一个很典型的数学模型，这种方法成功地解决了许多自然科学、工程技术的问题。

例如，大家都知道两质点间的引力与其质量乘积成正比，与其距离的平方成反比，质点的加速度与其受到的力成正比。以此可以得到质点运动的二阶微分方程组，解决了天文学中星体位置的变化，等等。在桥梁和房屋的建筑中，也用了大量的力学方程，它们解决了桥梁房屋的结构形式，材料的厚度选择等问题。

近来，人们研究的范围越来越广泛。例如，在研究社会经济现象时，为充分认识某些复杂的经济规律，学习了自然科学的办法。首先进行定量化，再找出其数量关系。这样得到了生产函数。一个典型的生产函数——道格拉斯-柯伯函数其形式如下：

$$Y = AK^{1-\alpha}L^{\alpha}$$

其中  $Y$  是经济系统的产出，例如是社会总产值。 $K$  是生产资本， $L$  是劳动的数量。 $A$  及  $\alpha$  是系数。它反映出社会总产值与生产资金及劳动力的数量关系。给出  $A$  与  $\alpha$  的确切数值后，经济学家认为它是能够在一定的范围内正确地反映  $Y$  与  $K$  及  $L$  的关系的。生产函数虽然有多种形式，也有很大的作用，对许多种经济研究与应用起了推动作用。但确定系数的值不很容易，而且所反映的方面也有局限性。

此外，另一些数学模型方法例如运筹学的方法（它们包括线性规划、非线性规划、多目标规划、博弈论、排队论、存贮论），以及概率论、数理统计的方法，对研究复杂系统问题，最优化问题及各种决策问题都起了巨大的作用。

但在寻找数学表达式及求解的时候，都会遇到很多问题。这些问题有的可以设法解决，有些根本解决不了。例如，对于变量很多的线性规划问题，解决的算法已有了，可以用电子计算机来解决。而对于排队论的问题，如果到达或服务模式复杂时，理论上找不到任何解法。表 1.1 说明了这个问题。

为了解决数学模型方法解决不了的问题，计算机模拟采用了一种全新的思想，从而充分利用了计算机的优势。传统的作法是把变动的机制用数学解析式表示出来。这种作法只把可以量化的及可以用数学解析式表示的那一部分知识、信息表示出来。而计算机模拟则只凭经验数据，直接模仿客观现象，不仅利用数量关系，还利用逻辑关系描述复杂的现象。甚至利用程序把难以用数学式子表示的事件、活动、进程都模仿下来。

回归是一个典型的例子。在实验或实践中，我们可以知道一个量  $y$  与另一个量  $x$  有关，受

表1.1

数学问题分类和它们用分析方法求解的容易程度

	线性方程			非线性方程		
	单方程	多方程	许多方程	单方程	多方程	许多方程
代数	极易	易	基本不能	很难	很难	不能
常微分	易	难	基本不能	很难	不能	不能
偏微分	难	基本不能	不能	不能	不能	不能

它的影响。但并不知道量 $x$ 为什么和怎样影响量 $y$ 。不过可以通过实验,收集到这两个量之间的一组数据。通过分析,可以假设这两个量间是线性关系,即 $y=ax+b$ ,再通过最小二乘法,解出 $a$ 与 $b$ 。这个例子说明,不究原因,直接从经验数据能找出量的关系。

用蒙特卡洛法求面积也是一个典型的例子。在 $x-y$ 平面上,一条曲线下的面积,可以通过积分来求。欲求如图1.2中曲线 $y$ 下,从 $x=a$ 到 $x=b$ 及 $x$ 轴所围的图形的面积,可以用

$\int_a^b y dx$ 来求。

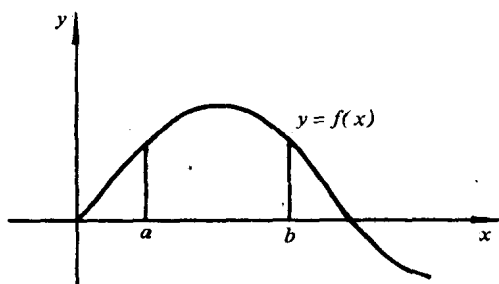


图1.2

如果 $y = \sin x$ ,且 $a, b$ 都是小于 $\pi$ 的正数,可以很容易地用积分 $\int_a^b \sin x dx$ 求出这个面积。这块面积等于 $\cos a - \cos b$ 。

如果曲线 $y$ 是一条形式复杂的曲线,其不定积分不易直接算出,但可以通过积分的概念求出面积。可把 $ab$ 之间的线段分成 $N$ 份,那么面积

$$S \approx \sum_{i=1}^N y_i \Delta x_i = \sum_{i=1}^N y_i \frac{(b-a)}{N}$$

蒙特卡洛法则是把求曲线下所围的面积化成一个随机数是否落在曲线下的实验。

如图1.3,要求曲线 $y=f(x)$ 与直线 $x=0$ 和 $x=2$ 及 $x$ 轴所围成的图形的面积。其中 $y < 1$ 。可把 $(0, 2)$ 分成200个等份,即 $x_1=0.01, x_2=0.02, x_3=0.03 \dots x_{199}=1.99, x_{200}=2.00$ 。

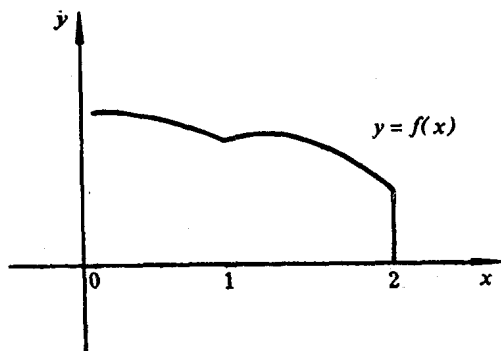


图1.3

每个 $x_i$  ( $i=1$ 至200)对应一个0到1的随机数 $R_i$ 。若 $R_i > f(x_i)$ ,表示随机数落在曲线 $f(x_i)$ 之上;反之,随机数落在曲线之下。显然,从落在曲线之下的点数 $n$ 可以求出面积。因为矩形的面积 $1 \times 2$ 比曲线 $f(x)$ 围成的面积等于200比 $n$ ,即

$$2 : S = 200 : n$$

所以

$$S = \frac{2n}{200}$$

用看均匀随机落下的点是否落在曲线之下来模仿曲线的面积。这两件事的实质不一样，但现象上类似。用类比、用模仿的办法去解决一些不好解决的问题显然是个好办法。

下面再举一例。计算中子穿过铅墙的比例问题。如图1.4。

原子反应堆由铅墙护卫。设铅墙厚5cm。中子从反应堆垂直进入铅墙。它直线行走每1cm,就会遇到一个铅原子而发生碰撞。碰撞会随机地改变中子的运动方向。几次碰撞后,中子可能因方向改变而返回反应堆。没有返回的中子,如果一直在铅墙未碰撞,则撞过10次以后就没有能量继续运动了。自然有些中子在10次碰撞内,穿过铅墙而越出去,造成危害。求中子越出的百分比。

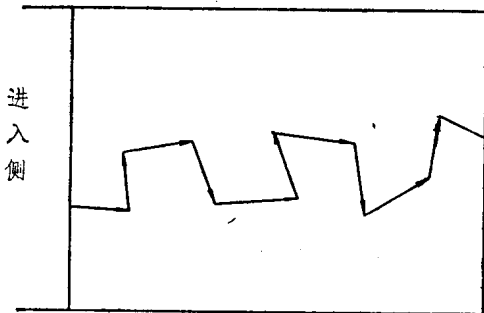


图1.4

用解析的办法求这个百分比是比较困难的。因为它是一个有随机量的过程。其中原始数据不多,只有墙厚5cm。中子方向是随机的,每次碰撞后运动1cm。它的能量只够碰撞10次。而过程本身不易量化,解析式子只能利用部分的数据,而不便利用描述过程的全部信息。但我们利用程序,就可以很好地模仿这个过程,把所有与过程有关的活动、事件、随机量都在程序中反映出来。通过模拟求出这个百分比。这样就可以把过程中可以量化的或不可量化的信息全部利用上。

模拟这个过程的基本程序如下:

```

5   INPUT "请输入被试验的中子数?"; N
10  M = 0
20  FOR I = 1 TO N
30  X = 1.0
40  PI = 3.1416
50  FOR K = 1 TO 10
60  Y = PI * RND (1)
70  X = X + COS (Y)
80  IF X > 5.0 THEN 120
90  IF X < 0.0 THEN 130
100 NEXT K
110 GOTO 130
120 M = M + 1
130 NEXT I
140 PRINT "对于", N, "个中子, 其穿过铅墙的百分比为", M/N
150 END

```

这个程序利用了过程中全部可量化的信息及描述过程的信息,求出了百分比。如果把50句中的10改为15,把80句中的5.0改为8.0,则程序运行的结果还可表示铅墙的厚度为8.0cm,而中子在铅墙内碰撞了15次的情况下,越过铅墙的中子的百分比。可见用程序模拟中子穿墙



的过程，并计算出所需要的百分比是一个很不错的办法。当然，中子穿越铅墙是个较简单的例子。对于复杂的系统，就更有必要用模拟的办法。甚至只能用这个办法。

例如，考虑一条河流综合利用的问题。在其流域内自然环境很复杂。降雨量随地区、随时间而变化，是一个随机变量。因而河水流量是随机的。流域内物产也是随地区而变。人口分布不同，需求不同；农业要用水，工业也要用水；既要灌溉，又要发电。情况很复杂。怎样安排灌溉用水、发电用水及水运，取决于多种因素。因此总效益与上述各变量有关，其中有许多是随机变量。用解析的办法，是很难描述这类问题的。这里，可以用模拟的办法，编制程序，用随机数发生器模拟降雨量的随机变化。可以用程序模拟不同的需求。例如，按一定的规则安排某个具体方案，模拟计算出其总效益。再安排另外一个方案，也模拟出总效益。通过不同方案下总效益进行比较，就可以选出较好的策略。

实用的计算机模拟方法将在以后的各章中逐步介绍。下面仅将模拟的一般特点，作一简单介绍。

1. 计算机模拟只给出一组数值解。它不象解微分方程组那样给出通解，或一个函数。如中子穿墙的例子，根据墙厚5cm，碰撞能量10次，算出一个百分比。再根据墙厚8cm，碰撞能量15次，算出另一个百分比。但不能得到这个比与墙厚及碰撞能量间关系的精确解析式。

2. 它不用深究变动机理，只需从实际数据，从直观感觉出发，来模仿描述系统。然后通过逐步求精，正确地反映系统。

3. 计算机模拟用其程序模拟现实世界，计算机语言被证明是便于进行模拟的。计算机语言的丰富的数据结构可以方便地描述系统的状态。用计算机程序能灵活地描述各种复杂的进程。计算机程序只有很少的基本语句，但是可以进行数值计算，可以表示逻辑关系，可以表示变动、活动、事件、进程和过程，可以表示模糊量，可以表示随机量。因此常有人说，当一切办法都用尽，再也没办法解决问题时，不妨试计算机模拟。在尽可能搞清楚问题以后，就可以用计算机程序直接模仿复杂的现象了。

4. 计算机模拟应用很广泛。有人在70年代初，对美国1000家最大的公司的计划系统应用定量分析方法的情况调查时，得到不同方法应用的频数表（表1.2）。

表1.2 应用定量分析方法的频率

项 目	应用频数	所占百分比
模拟研究	60	29
线性规划	43	21
网络分析（包括PERT与CPM）	28	14
存储理论	24	12
非线性规划	16	8
动态规划	8	4
整数规划	7	3
排队理论	7	3
其他	12	6
合计	205	100

由此可见，在各种定量分析方法中模拟方法所占的比重是很大的。

计算机模拟的应用领域广泛。可用于工、农、商及军事等各行各业的规划、调度、设计和决策等等。例如，做地区规划；进行交通运输调度；安排机械厂工人的作业；辅助计算机整体设计；提供港口泊位设计数；机场扩建方案的决策；从事作战模拟等等。

5. 计算机模拟充分发挥人和计算机各自的优势。人具有直觉，其思维方式是很灵活的。在寻找复杂的因果关系时，可以根据直觉与经验暂时去掉一些枝节，比较敏锐地给出一个模型结构的框架。相反地，计算机比较机械、死板。它要按一定的程式办事。如果关系复杂，有很多种可能的结构时，它要试遍了所有的可能之后，才会判断出合乎实际的结果。但人也有其缺点，如果复杂系统的方面很多，或者在运动变化着，那么人脑是不易同时顾及这个复杂系统的各个方面，或者跟踪系统变化的每一个细节的。相反地，计算机有大的存贮器，又有高速运算的能力，所以它可以同时顾及系统的各方面结构或易于展现系统动态变化的具体情节，例如用打印的表，勾画的图形等等。计算机模拟发挥了人机两方面的优势，通过人的直觉、思维和推理，一块一块地构筑模型，送入计算机，它可迅速地逐步计算。

由于计算机技术发展很快，计算机价格不断下降，同时人们处理的问题又日益复杂，所以计算机模拟技术得以迅速的发展。

6. 它的实现方法灵活。一般来说，用解析式表示量之间的关系，明确、清晰、令人信服。然而，它只解决较简单而且有固定模式的问题。对复杂而灵活的问题，就要用模拟的办法。但使用计算机模拟的办法建立的模型，模拟出的结果往往不够确定。模型可能因人而异。对于同一个事物常常是仁者见仁，智者见智，观点很不一样。这是由于不同的模拟模型反映了同一原型的不同侧面，只要其结论不矛盾就可以接受。而模型正确性的最终标准只能是客观实践。

7. 智能化的发展方向。计算机模拟把人机的优势结合，以解决传统数学方法不易解决的复杂系统的认识问题，所以必然利用人工智能所取得的成果。人工智能的原理就是从人脑处理问题的模式中抽象出来的。目前，人们还在进一步研究怎样用计算机模拟模型来模仿管理中的决策过程，以便以计算机支持决策。新的模拟方法和模拟语言都有智能化的趋势。

未来的复杂的人机结合的认识过程可能是这样的：各种不同的人把他所见到的、想到的关于某个对象的知识用语言告诉计算机。计算机把这些模模糊糊的，有真有假的知识，整理归纳发现新的知识。这个奇思妙想显然具有智能化的计算机模拟的特征。

## § 1.3 计算机模拟的基本概念

本章介绍计算机模拟的某些概念。这些概念目前还没有统一的定义，在具体应用时，对它们的某些细节可能会有不同的理解。

### § 1.3.1 一般建模过程

建模过程可以用以下流图（图1.5）表示。

现将建模步骤及过程略加分析。

1. 确定所研究的问题。一般而言，被解决的问题是一个较大而复杂的问题，当用其他的

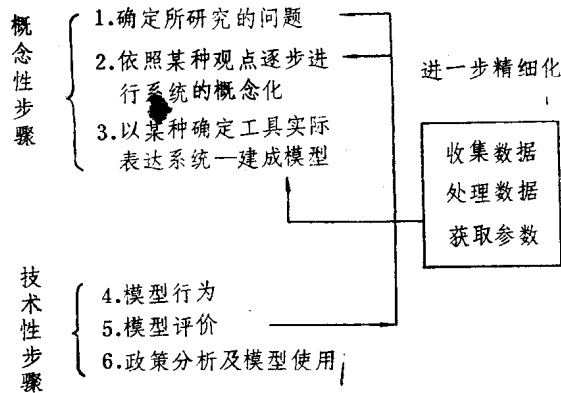


图1.5

办法不太好解决时，才转用计算机模拟解决。对所研究问题的目的性质是在此阶段逐渐明确起来的。这步工作应由领导及研究该问题的专家完成的（以后我们称具有被模拟系统专业知识的专家为专业专家）。

2. 系统的概念化。根据问题的目标及专业知识，由模拟问题专家确定一种具体的建模方法。在这个阶段，要不断地使原问题抽象化，概念化。通过类比，使专业专家与计算机专家之间有共同的理解、共同的语言，建立起专业术语与模拟术语之间的联系。把原系统的结构变化成模型的结构。专业专家和计算机专家都应拓广自己丰富的想象力，把原系统的元素抽象成模拟概念，从模型的构件中归纳出原系统的实际含义。根据实际知识找规律和从模型计算结果找规律都有助于对问题的更深入认识。

这一步骤的终点就是根据目标，舍去次要无关的部分，把原问题的概念、术语、规律、结构抽象成计算机模拟的概念、术语、关系、结构。

3. 给出模型表达。在上一步的基础上，实际动手用计算机语言编制程序，得到确定的模型。这一步骤的终点是得到一个程序。它是原系统的同态象，反映了系统需要研究的一个方面。

在实际构筑模型时，会遇到两个问题。一个是确定系统结构，一个是确定系统参数。前述1、2两步的重点在于找到模型结构。第3步要确定系统参数。为此要从实际系统中收集数据，再用某种方法进行数据处理，最后得到所需参数。

4. 得出系统行为。在计算机上运行模型，其计算结果反映模型的行为。

5. 模型评价。此阶段应评价模型是否正确。常用的评价办法是将模型的结果与可能收集的实际数据比较。符合时就认为模型正确。若不符合，就要不断再细化，重新定义所研究的问题，或重新概念化，或重新编制模型。

6. 政策分析及模型使用。这是整个建模的目的。

建立模型是一种艺术，它有许多技巧。除了知道上述基本步骤，还要实际动手多建立一些有用的实际模型，并且在实践中要善于思考，不断地总结和提炼，才会提高建立模型的技巧。象走钢丝一样，除了知道几个基本要领之外，还要多多练习，并在练习中动脑筋，体会基本要领，把基本要领熟练地用于实践，这样才能走好钢丝。