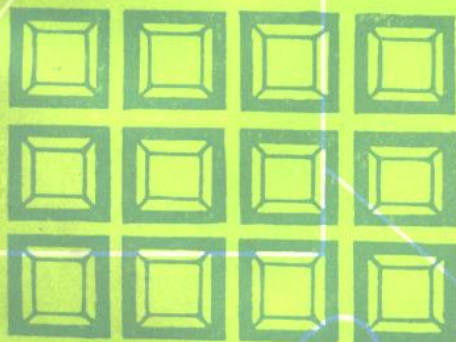


● 微电脑在建筑企业管理中的应用丛书

● 凌崇光 主编

微电脑 仿真 及其应用

赵玮 谢行皓 编著



● 中国建筑工业出版社

微电脑在建筑企业管理中的应用丛书

凌崇光 主编

微电脑仿真及其应用

赵 玮 谢行皓 编著

中国建筑工业出版社

本书是一种仿真的入门读物。书中以通俗的语言叙述了电脑仿真的基本知识，确定性模型和随机性模型的仿真方法，结合较多的实例介绍了仿真在生产管理中的应用，并对数据收集和统计处理及仿真精度问题作了说明。为便于初学者阅读，书中还对仿真中涉及的概率统计基础知识作了必要的介绍。

微电脑在建筑企业管理中的应用丛书

凌崇光 主编

微电脑仿真及其应用

赵玮 谢行皓 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 6 $\frac{5}{8}$ 字数: 178 千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

印数: 1—3,390册 定价: 1.75元

ISBN 7—112—00162—5/F·14

统一书号: 15040·5475

F407.9-51
2.7

0325189

2505/14

丛书前言——我们的希望

和全世界的形势一样，新的技术革命高潮今天正在我国各行各业中兴起。电子计算机，特别是微型电子计算机（即微电脑）技术的应用，是其中一个重要环节。近年来，国家领导同志也一再强调应用微电脑的问题。

解放以来，我国建筑工程在技术方面发展得很快，许多方面已接近或达到世界先进国家的水平。但是，在管理方面，则差距还是较大的，除应用电子计算机编制设计预算在若干省、市推广较好之外，其他方面见效不大。这种情况，大大落后于国外水平^①。

十年来，造用于管理工作（也可以用于科学计算）的微电脑，在国外发展很快^[1]。美国1980年就拥有一千万台各种型号的微电脑，而且每年以一百万台的速度递增。我国近年来已能自行生产各种型号的微电脑，并决定在最近一段时期把微电脑及其软件的开发放在计算机行业发展的首位。

今天，一套设备齐全，有汉字处理功能的微电脑，国内售价仅数千元至二、三万元，不少建筑企业已经决定，甚至已经自行购买了微电脑，开始进行本企业的各种管理工作。

在这种大好形势下，我们感到有必要编写一套《微电脑在建筑企业管理中的应用》丛书来迎接这一新局面，以推动这方面的工作。本丛书由有关大专院校及科研、生产单位的同志根据我国具体情况编写。第一分册《微电脑——建筑企业的好助手》是科普性的，以后各分册将分别按建筑企业各项业务的管理（如预算、网络分析、成本核算、人员管理……），具体介绍如何编写程序，

① 在一些发达国家，各种电子计算机使用的“机时”中，管理约占3/4，科学计算及控制约占1/4。

并附有参考性的程序或程序段以及实例。

我们希望，这一套丛书能在我国建筑企业管理现代化的进程中，起一点应有的推动作用。鉴于国内外建筑管理的科研成果层出不穷，我们的水平及掌握的情况有限，难免会有错误及遗漏。不足之处，热诚希望广大读者提出宝贵意见及批评，以便在今后修订时逐步补充完善。

凌崇光 执笔

1986年6月于广州

华南工学院建筑工程系

序

计算机仿真是系统科学、运筹学与计算机应用的重要分支，它在工程设计、科学试验、经济管理、社会统计与军事作战中有着广泛的应用。在国外，近几年来电脑仿真已进入土建领域，并在土建领域的工程设计、抗震试验、科学管理中发挥着积极的作用，产生了巨大的经济效益。鉴于目前国内有关这方面的教材与参考书还很少，为此我们编写了本书，以期引起广大读者的兴趣与注意。

作为一本仿真的入门读物，本书的叙述力求通俗易懂而不过分追求数字的严谨性，全书对在应用中常用的仿真方法均作了较详尽的阐述，并附有较多的例题讲解，而大多数的例题还附有相应的BASIC源程序与求解结果，以便于读者阅读与模仿。考虑到计算机仿真的主要用途在于求解随机现象的统计特性，为此本书的重点将主要放在介绍随机性模型的仿真方法方面，并对随机性模型仿真中所必需的统计基础知识作了一些必要的补充性介绍。编者希望通过本书的阅读，既可使初次接触仿真的读者能熟悉与了解仿真的基本思想与步骤，又对那些在各自的专业领域中从事科学研究的同志有所帮助。

本书所附程序适用于内存不少于128K的IBM-PC或-XT微机或其兼容机，配有华微102IBM简体汉卡及相应的CBIOS 2.01操作系统^①。打印机为FX-100或LQ-1500K。

本书采用国际制度量衡单位。为了方便读者，现将有关的与公制单位的换算表开列如下：

1 牛顿 $\approx$ 0.102公斤；

1 公斤 $\approx$ 9.8牛顿

1 千牛 $\approx$ 0.102吨；

1 吨 $\approx$ 9.8千牛

① 均为广州华南师范大学微电子学研究所实验工厂出品。

1 兆帕 ≈ 10.2 公斤/厘米 2 ; 1 公斤/厘米 $^2 \approx 0.098$ 兆帕
 ≈ 0.102 公斤/毫米 2 ; 1 公斤/毫米 $^2 \approx 9.8$ 兆帕

本书共分六章, 其中第一、二、四章由西安冶金建筑学院土木系谢行皓执笔编写, 第三、五、六章及结束语由西安电讯工程学院管理系赵玮执笔编写, 最后由赵玮对全书作了统一的整理与修改。此外, 西安冶金建筑学院土木系研究生韩更赞同志承担了本书大部分的插图与程序打印工作, 付出了辛勤的劳动, 编者在此一并表示衷心的感谢。

由于我们学识水平有限, 加之编写本书的时间又很仓促, 因此书中一定会有不少的错误和缺点, 恳切希望广大读者批评指正。

目 录

序

第一章 电脑仿真的基本概念与步骤	1
第一节 仿真与电脑仿真	1
第二节 仿真模型	4
第三节 电脑仿真的基本步骤	9
第二章 确定性模型仿真	12
第一节 时间步长法	12
第二节 应用举例	13
第三章 随机性模型仿真	22
第一节 随机现象与随机性模型	22
第二节 随机现象与随机变量	34
第三节 统计试验法的基本思想	48
第四节 随机事件与随机变量的仿真	58
第五节 泊松流与马氏链的仿真	89
第四章 仿真在生产管理中的应用	115
第一节 时间步长法在随机性模型仿真中的应用	115
第二节 事件步长法在随机性模型仿真中的应用	127
第三节 事件表法	151
第五章 数据收集与统计处理	161
第一节 总体、样本与统计量	161
第二节 数据收集与分布函数统计推断(一)	169
第三节 参数估计与分布函数统计推断(二)	180
第六章 仿真结果的精度估计与加速收敛原理	188
第一节 仿真结果的精度估计与仿真次数的确定	188
第二节 加速收敛原理	201
结束语	203
参考书目	205

第一章 电脑仿真的基本

概念与步骤

第一节 仿真与电脑仿真

“仿真”对人们来说并不陌生，其历史可追溯到我国几千年以前。传说在东汉时期，曹操的儿子曹冲幼年时为要测定一只大象的重量，采取了下述方法：他先把大象装在一只船上，在船的外舷划一标志，表明船下沉的水平，然后卸去大象，再用石块装上船，直到船下沉到划有标志的位置，最后分批称石块的重量，从而获得大象的体重。曹冲利用浮力原理以石块来代替大象，就是我国古代“仿真”思想运用的生动实例。至于在科学技术与军事领域中的仿真，则同样为人们所熟知。例如近代的军事演习就是用真实的人力、物力对战争进行仿真的过程，航空学中的风洞试验就是在地面对空中气动性能进行仿真的过程，……。因此，所谓仿真就是将所研究的对象用其他手段来加以模仿的一种技术。当采用这种技术研究问题时，并不直接研究现象或过程本身。而是先设计一个与该现象或过程相类似的模型，然后通过此模型来间接地研究这个现象或过程。这样的研究方法称为仿真法。在土建领域，仿真法的应用也是很广泛的，例如进行建筑物的抗震试验，是先制作一个按比例缩小的建筑物模型，然后放在振动台上，让振动台产生模拟地震的水平和垂直的随机振动波，在建筑物需测点上所设置的拾振器记录下各需测点上随时间变化的位移和应力、应变等。这就是一种在物理模型上进行实验的物理仿真。又如设有 $K_1, K_2, \dots, K_n$, n 个工地，各工地需要混凝土量分别为 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 吨。混凝土每吨·公里的运费为 C

元, 如何确定混凝土中心搅拌站的位置, 使总的运输费用最小。这个问题也可以采用以下仿真法来求解。

如图1-1所示, 做一个带有坐标刻度的平板, 在工地的相应座标位置处钻个小孔, 每个小孔中穿一根细绳, 在平板下的细绳

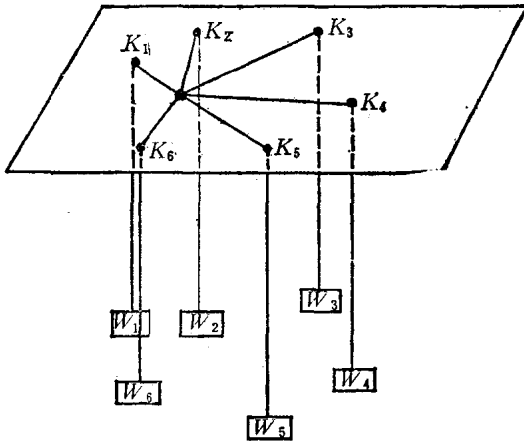


图 1-1 确定中心搅拌站的物理模型

一端挂一个各工地混凝土需要量按比例缩小的砝码, 细绳的另一端打成一个结, 然后提起结, 再放手, 则这个结平衡后的座标位置就是混凝土搅拌站的最优位置。这也是一种物理仿真的方法。

物理仿真法具

有形象、直观、便于类比等优点, 但由于其在本质上是实物仿真, 因此在绝大多数情况下存在价格昂贵, 速度慢等致命弱点。自从20世纪50年代以来, 由于计算机科学和系统科学的发展, 把仿真方法推向了新的阶段, 出现了一个新的科学方法——电脑仿真。电脑仿真是一种对问题求数值解的技术。它利用电子计算机对一个复杂系统的活动进行大量的动态模仿, 获得刻划系统特征的数量指标, 为决策过程提供定量的依据。

由于电子计算机具有速度快、精度高、存贮量大等优点, 从而弥补了实物仿真的弱点而得到广泛的应用。近十几年来, 在一些科学技术先进的国家, 电脑仿真不仅在工程技术、科学试验、军事领域中应用, 而且在生产管理、财政金融, 甚至社会科学中都得到了广泛的应用。目前国外不仅有了专用的电脑仿真语言和程序, 而且还出现了各种各样的仿真专用电脑。

电脑仿真所以应用如此广泛, 除上述原因外, 主要还由于以

下几个方面的需要。

(1) 无法实施的问题

实际中有许多问题无法通过付诸实施来进行研究，如预测问题就是这一类的代表性例子。如要预测未来5年或10年的经济指标，我们无法让计划去实际运行一段未来的时间，来取得这些指标。但可以构造一个仿真模型，根据不同的计划设想对其进行仿真试验，从而得到各种预测的经济指标。又如要研究某地区发生某震级的地震时，对建筑物的破坏程度，也可以用电脑仿真来进行分析。

(2) 大量方案的比较和优选

在一项新的设计中，由于各个设计参数的变化，会存在大量的备选方案，若用人工方法把全部方案都算出来进行比较，其工作量之大是无法实现的。这可以用电脑仿真方法来比较优选。

(3) 无法用一般方法分析的大而复杂的系统

有一些大而复杂的系统，如大的生产系统、运输系统，难以用一般的理论分析或数学方法对其认识和分析。对此，可以用电脑仿真来分析。

(4) 有危险性的现象

如经济上的风险性分析和军事演习等。

(5) 无法重复的现象

大的建设项目，如港口、铁路、机场等，一旦建成后，如发现问题，想再改建或重建，需要化费大量人力、物力。用电脑仿真可以反复地进行重演。

(6) 成本过高的现象

如要对现代化武器系统的作战效果和性能指标进行检测和评价，若通过运行实际系统的办法，往往费用非常昂贵。又如土建工程中，对一个新的结构构件要做大量的破坏试验。如用电脑仿真去代替某些物理试验，将会节省大量人力物力。

近年来由于微电脑引入仿真领域，大大改变了电脑仿真过去仅仅在航空、航天、核工业部门少数单位应用的局面。利用电脑

仿真技术，房屋建造起来以前就可以让其经受地震的考验。导弹制造出来之前就可以让其“飞行”。飞机驾驶员不用上天就能进行“飞行、空战、着落”训练。敌我双方不费一枪一弹，可以展开一场激烈的“战斗”。利用电脑进行仿真试验以完成系统分析和设计，投资少，能源省、周期短、见效快、其经济效益很大。据统计，利用电脑仿真技术，可节省产品研制费用40%左右，可缩短产品研制周期30~40%。由此可见，电脑仿真技术的广泛应用，必将加速我国四化建设的进程。

第二节 仿 真 模 型

目前，电脑仿真主要用于对一些较为复杂的客观事物之特性的研究与分析。这些较为复杂的客观事物通常称为“系统”。更确切地说，所谓系统是指一个由相互作用和相互依存的若干部门组合而成的一个具有特定功能的有机整体。如生产系统、通讯系统、财会管理系统、库存系统等等。一般来说，研究一个复杂系统的特性是利用系统的模型来实现的。

一、模型及其特点

所谓模型是应用某种方法对一个真实系统进行模仿的一种形式。凡是以任何方法对真实系统所作的一种描述、表示或体现都可称为模型。模型通常具有以下几个特点：

- 1.它是客观事物的模仿或抽象；
- 2.它由与分析问题有关的因素构成；
- 3.它体现了有关因素之间的联系。

为了构造一个客观系统的模型，首先必须对所研究的系统进行观察，获得概念，形成认识，然后再将这种认识抽象出来，并用某种信息的形式表达出来。如图1-2所示。



图 1-2 模型的形成

从这种观点来看,模型可以定义为一个信息的整体。在不同的模型中,信息的含义是不同的,例如在物理模型中,信息体现为模型的物理特性;在数学模型中,信息体现为解析式或数值方程的形式;而在仿真模型中,信息则表现为逻辑流程图的形式。也就是说在仿真模型中是通过所构造出来的逻辑流程图的“运转”来“再现”被考察系统的一些活动和作业情况,并据此来认识该系统的本质和特性。

二、模型的分类

根据不同的准则,模型可以有不同的分类方法:

1. 根据模型本身与实际系统的一致程度分类:

(1) 形象模型:如地球仪,原子核模型,人身模型等。它是将实际系统放大或缩小而构成的;

(2) 图形模型:如生产流程图等是以图表的形式来表示系统的功能及其相互关系;

(3) 数学模型:如解析表达式、方程组等是用数学、字母、符号来描述系统;

(4) 仿真模型:它是以逻辑流程图的形式来描述组成系统各部门的相互关系;

2. 根据系统所包含有关因素的状态分类:

(1) 随机性模型:在这些模型中,与系统有关的某些主要因素是随机因素,或模型所描述的现象是随机现象。例如挖土机装车时间,工人加工一批预制构件的时间等在事先是无法确知的。用来描述随机因素状态特性的变量称为随机变量。考虑到随机性模型仿真是本书的重点,而在研究随机性模型时,又要较多地利用概率论中的一些基础知识,为此将在第三章中对此作概要的介绍。

(2) 确定性模型:与系统有关的因素全部是确定性因素。

在模型中只要系统所涉及的有关因素中有一个是随机因素,则该模型就称为随机性模型。

3. 根据系统状态的动态变化形式分类

(1) 连续性模型: 这类模型的特征是系统所处的状态随时间作连续变化;

(2) 离散性模型: 这类模型的特征是系统所处的状态在离散时刻发生变化。一般说, 连续作用式电子计算机(模拟计算机)适用于连续性仿真; 间断作用式电子计算机(数字计算机)适用于离散性仿真。然而, 由于一个系统的连续变化过程可在一系列离散时刻来考察, 因此数字计算机同样可适用于连续性模型的仿真。

4. 根据应用领域分类

近十几年来, 电脑仿真已在各个领域得到了广泛的应用, 而在管理领域中 尤其突出。在管理领域中 常用的有 如下几种模型:

(1) 存贮模型

为了保障物资供应, 每个企业必须保持一定的库存贮备。如库存过多, 造成积压浪费, 影响资金的周转。如库存过少, 则会造成缺货, 影响生产的正常进行。怎样确定最优的存贮量是最适宜用电脑仿真解决的问题。

(2) 排队和排序模型

在客观实际中存在着大量的排队和排序现象。为了研究这类现象, 在运筹学中发展了排队论和排序理论两个独立的分支。对于那些标准的排队和排序问题, 可以用排队论和排序理论的解析方法去解决。但当问题较为复杂时, 就只能借助于电脑仿真求解。

(3) 预测模型

电脑仿真这门技术很适用于预测模型, 它可以让各类系统运行一段未来的时间而取得各种指标。

(4) 更新模型

任何设备都有其寿命, 随着使用时间的增长, 设备的效率就会越来越低, 需要投资进行维护或更新。如何运用资金, 怎样合理地投资, 才能使资金的利用效果最佳。这一类问题的模型称为更新模型。电脑仿真可以对其中一些复杂的问题求解, 使得在投资

和设备效率之间找到合理的平衡点，从而产生最大的经济效益。

5. 按模型结构形式分类

在仿真一个较复杂的系统时，往往将系统分解为若干个子系统，对每一个子系统可以单独构造一个子模型。这样，一个总模型就呈现为若干个子模型的组合结构形式。根据系统的复杂程度，按模型结构可分为以下四种形式：

(1) 简单式模型

一个比较简单的系统，如一个车间生产计划的仿真，一个独立库存系统的仿真等，不需要分解为几个子系统。这类系统的信息量比较少，利用微电脑的内存就可容纳，后面阐述的模型都属于这一类。其形式如图1-3所示。

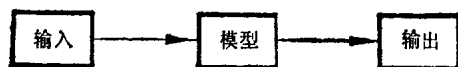


图 1-3 简单式模型

(2) 串联式模型

有的系统可以分解为相继串联的若干个子系统，例如一个企业的生产经营可以分解为：市场预测→生产计划→财务计划等几个子系统，每个子系统是一个简单式模型。在计算机程序中是一个独立的模块。串联式模型的形式如图1-4所示。

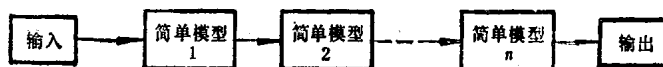


图 1-4 串联式模型

在这种形式中，模块是相继执行，前者的输出直接成为后者的输入。

(3) 扩展式模型

这种形式的模型表现为若干个子模型的串并联形式。即呈现为网络的形式。若把一个企业作为一个整体来仿真，可以大体上表示为图1-5的结构形式。

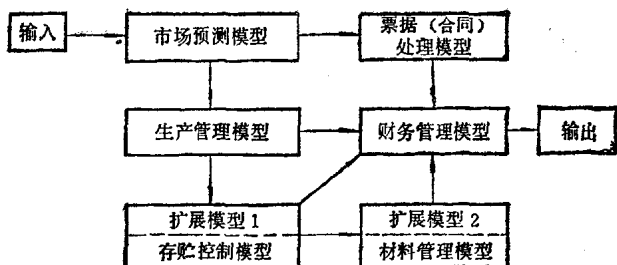


图 1-5 扩展式模型

(4) 分析式模型

对于一些大而复杂的系统进行仿真时，首先要对总系统作一个仿真概型，进行一次粗略的仿真。找出系统的薄弱环节或关键子系统，然后再对此构造详细的仿真模型，进一步对其进行仿真。这样，可以对关键问题或薄弱环节作出详细的分析。例如要研究一个市内交通系统，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、交通拥挤现象等作一个粗略的仿真分析，从中找出阻碍交通的关键问题，如果是交叉路口的指挥系统，则针对这一关键问题，构造交通灯指挥系统的仿真模型，具体分析车辆的到达和排队现象，从而提出改善指挥系统的措施。分析式模型的结构形式如图1-6所示。

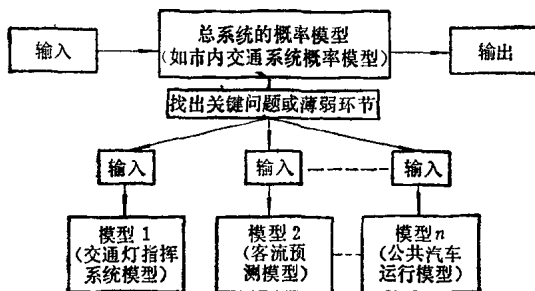


图 1-6 分析式模型

第三节 电脑仿真的基本步骤

决策是管理的核心，任何一个生产系统和工程系统的管理者都在时刻不断地作出决策。所谓决策其实质就是对若干种准备行动的方案进行选择，以期最优化地达到目标，如以最低成本，最短工期，最优质量来完成施工任务等。一般来说，为了获得最优决策，常用的决策方法有以下几种：

- (1) 数学解析法；
- (2) 电脑仿真法；
- (3) 全举法；
- (4) 直观决策法。

这些方法各自的实施过程及其相互间的关系可由图1-7来表示。

一、几种决策方法的比较

从图1-7中可以看出，电脑仿真只是当数学解析法不能求解时才应用它，但它又优于全举法及直观决策法。电脑仿真法在系统决策中所处的这种地位是由于其本身的特点所决定的。首先由于电脑仿真能迅速地、经济地作出定量分析，因此它优于全举法与直观决策。但它又具有一些缺陷，例如仿真模型的构造在很大程度上带有技术性，而无一定之规；在随机性模型中，仿真结果的精度估计还缺乏系统的理论来指导等。因此，从这个角度看，电脑仿真法又不如数学解析法准确。然而对于一些较大的复杂的系统，由于涉及的因素多，各因素间的关系错综复杂，此时电脑仿真法往往又成了唯一行之有效的方法。

二、实体、属性、活动与事件

在仿真一个系统时，构成系统的各种要素称为**实体**。如排队系统中的顾客和服务站。各实体的特性称为实体的**属性**。如顾客的属性是到达数目，相继顾客到达的时间间隔等。服务站的属性是服务站的数目，服务时间等。各实体之间是相互依存和相互作