

高水平大学
重点学科建设教材

电子信息类

计算机模拟技术

傅廷亮 编著

中国科学技术大学出版社

高水平大学重点学科建设教材·电子信息类

计算机模拟技术

傅廷亮 编著

中国科学技术大学出版社
合 肥

内 容 简 介

本书系统地介绍计算机模拟技术,重点讨论细胞结构的计算机模拟方法。全书共七章,第一章简要介绍计算机模拟的基本概念、方法和应用;第二章讨论连续系统的模拟,主要介绍数值积分法;第三章介绍离散系统的计算机模拟;第四章介绍无序“细胞”结构的一些模型,这些模拟在实际科研中经常用到;第五章讨论二维肥皂泡的连续法计算机模拟;第六章为二维“细胞”结构的离散模拟;第七章简要地介绍常用的计算机模拟语言和几个模拟实例。

为加深理解和增强学习效果,每章后面都设计了一定数量和一定深度的习题供读者练习,读者一定要花些时间去完成,书中的例题可供参考。

本书可做为高等学校电子信息、计算机科学与技术及有关专业的教材,亦可供相关领域科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机模拟技术/傅廷亮编著 一合肥:中国科学技术大学出版社,2001.12
ISBN 7-312-01325-2

I 计… II. 傅… III. 计算机模拟—技术 IV. TP302.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 069268 号

凡购买中国科大版图书,如有白页、缺页、倒页者,由承印厂负责调换。

中国科学技术大学出版社出版发行
(安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026)
中国科学技术大学印刷厂印刷
全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14 字数:350 千
2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷
印数:1—3000 册
ISBN 7-312-01325-2/TP·280 定价:17.00 元

献 词

谨以此书献给有志于计算机模拟技术发展

创新的莘莘学子和相关领域的科技工作者，愿本

书成为他们走向成功与辉煌的向导！

——
作者

前 言

在过去的 20 多年间,国内出版了一些关于计算机模拟(或计算机仿真)技术的著作和教材,对计算机模拟的理论、方法与应用技术做了大量的介绍,使计算机模拟技术和理论逐渐完善和成熟,成为生产、科研的强有力的工具,从而有力地推动了科技进步和知识创新。

计算机模拟就是利用电子计算机对系统进行试验,通过试验可以使系统达到优良的性能,获得良好的经济效益和社会效益。我国早期的计算机模拟大多数用于国防和军事领域,以及自动控制系统等方面,随着计算机和计算机应用的普及,它的应用范围日益扩大,现在已经遍及自然科学和社会科学的各个领域,对我国的四化建设产生了巨大的作用和影响。

作者自 20 世纪 80 年代从事计算机模拟工作以来,在近 20 年的“计算机模拟技术”课程的教学和研究中体会到,研究“细胞”类结构的模拟是科学发展的需要,当人们发现对某一问题利用现有的实验手段无法深入研究下去的时候,自然会想到“计算机模拟”的方法。自然界的物质是由“细胞”组成的,它的分辨尺度变化范围极大,但是它们有着许多共性。生物细胞,地质的板块结构,液体中的泡沫,形成材料的分子、原子团簇都是“细胞”的具体体现。“细胞”类材料和物质是我们司空见惯的东西。你是否考虑过用计算机模拟其中的一些呢?比如模拟肥皂泡和肿瘤的生长过程等。读完本书后,相信你也会有兴趣加入到计算机模拟队伍中来。

本书由于篇幅所限,只能以较短的章节介绍计算机模拟的基本知识与一些典型的例子,而将重点放在“细胞”结构的计算机模拟上,对这一类问题的计算机模拟问题,进行由浅入深地归纳和总结,以期使读者在较短的时间内掌握这类问题的模拟方法。在学完本书内容后,再阅读一些相关的科技文献,相信会逐步深入,有所作为。若能如此,作者将深感欣慰。

本书共分七章,第一章简单介绍计算机模拟的基本概念、方法和应用;第二章讨论连续系统的模拟,主要介绍几种常用的数值积分法;第三章介绍离散系统的计算机模拟;第四章介绍无序“细胞”结构的一些模型,这些模型在实际模拟中经常用到;第五章讨论二维肥皂泡的连续法计算机模拟;第六章为二维“细胞”结构的离散模拟;第七章简要地介绍常用的计算机模拟语言和几个模拟实例。

在书稿撰写过程中,作者参阅和引用了许多学者的著作和文献资料,在此向

他们表示衷心的感谢。爱尔兰都柏林大学的 D. Weaire 教授和 J. P. Kermode 博士以及美国 Notre Dame 大学的 J. A. Glazier 教授对本书的成型所给予的帮助是不可估量的,王翀,朱震,贡顶,詹剑,王强和王勇等同志为本书的实例程序的编写、图形扫描做了大量工作,在此向他们表示深切的感谢。中国科学技术大学信息科学技术学院陈国良教授、刘振安教授,中国科学技术大学生命科学学院鲁润龙教授对本书的编写提出了许多宝贵意见,在此作者对他们的关心和帮助表示特别致谢。

在此,作者还要特别感谢中国科学技术大学教材编审委员会和教务处对本书出版所给予的资助和支持。

由于本书内容涉及面广,不少学科前沿和学科交叉问题尚待进一步深入探讨与研究,加之作者水平有限,时间仓促,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2001 年 10 月于中国科技大学

目 次

前言	(1)
第 1 章 概论	(1)
1.1 系统	(1)
1.2 系统的分类	(2)
1.3 系统模型	(3)
1.4 建立数学模型的方法	(3)
1.5 简单库存问题的模拟	(7)
1.5.1 问题的提出	(7)
1.5.2 模拟模型与模拟流程图	(8)
1.5.3 程序清单	(9)
1.6 模拟的基本性质	(10)
1.7 模拟与计算机	(11)
1.8 虚拟现实	(12)
1.9 计算机模拟的应用与发展	(15)
习题 1	(16)
第 2 章 连续系统的计算机模拟	(18)
2.1 欧拉(Euler)法	(18)
2.2 数值积分的几个基本概念	(23)
2.3 龙格-库塔(Runge-Kutta)法	(25)
2.4 四阶龙格-库塔法模拟程序及其应用	(27)
2.5 变步长的龙格-库塔法	(32)
2.6 线性多步法	(35)
2.7 数值积分法的选择	(44)
2.8 建模实例	(45)
2.8.1 传染病的传播问题	(45)
2.8.2 商品广告模型	(49)
习题 2	(51)
第 3 章 离散系统的计算机模拟	(54)
3.1 离散事件系统模拟的基本方法	(54)
3.2 排队系统	(59)
3.3 关于随机数	(62)
3.4 单服务台排队模拟程序	(69)

3.5 概率模型和蒙特卡罗法	(76)
3.6 库存系统	(79)
习题 3	(88)
第 4 章 无序细胞结构的模拟模型	(89)
4.1 历史回顾	(89)
4.2 随机组织的拓扑变化	(91)
4.3 几个基本定律	(93)
4.3.1 Von Neumann 气体扩散定律	(93)
4.3.2 Lewis 定律	(94)
4.3.3 Aboav-Weaire 定律	(95)
4.3.4 Euler 定律	(96)
4.3.5 Plateau 定律	(96)
4.4 模拟模型	(96)
4.4.1 静态模型	(96)
4.4.2 唯像模型(Phenomenological Model)	(97)
4.4.3 均场理论模型	(97)
4.5 Potts 模型	(98)
4.6 二维 Voronoi 模型	(101)
4.7 Voronoi 网络模型的修改型	(103)
4.8 产生二维 Voronoi 网络的程序	(104)
4.8.1 细胞生长法	(104)
4.8.2 小“噪音”法	(105)
4.8.3 初始结构程序流程图	(106)
习题 4	(107)
第 5 章 二维肥皂泡的精确模型及模拟	(109)
5.1 二维肥皂泡的时间演变	(109)
5.2 初始结构	(110)
5.3 二维肥皂泡的计算机模拟方法	(111)
5.4 模拟程序设计简述	(117)
5.5 部分程序说明及模拟结果	(120)
习题 5	(126)
第 6 章 细胞结构的蒙特卡罗法模拟	(127)
6.1 模拟方法	(127)
6.2 模拟结果	(130)
6.3 模拟系统主要参数的说明	(132)
6.4 模拟程序简介	(134)
6.4.1 形成 Voronoi 网络模型的函数	(134)
6.4.2 二维肥皂泡时间演变函数	(135)
6.4.3 统计及输入输出函数	(138)

习题 6	(141)
附录:二维肥皂泡蒙特卡罗法模拟程序	(142)
第 7 章 计算机模拟语言和模拟实例	(170)
7.1 概述	(170)
7.2 计算机模拟语言	(171)
7.3 GPSS 语言	(172)
7.4 C 与 C++ 语言	(174)
7.5 Visual Basic 语言	(178)
7.6 非洲爪蟾脊索形态的计算机模拟	(181)
7.7 良性肿瘤的计算机模拟	(183)
7.8 交通系统的计算机模拟	(188)
7.9 地区经济系统的动态模拟	(190)
7.10 细菌和真菌繁殖生长的计算机模拟	(192)
习题 7	(211)
参 考 文 献	(213)

第 1 章 概 论

模拟或仿真 (simulation) 就是模拟真实事物, 也就是用一个模型来模仿真实的系统。计算机模拟就是利用电子计算机对所研究系统的内部结构、功能和行为进行模拟。日常生活中我们可以看到许许多多的模仿现象, 例如象棋模拟陆军作战的过程, 博物馆内的火箭与卫星模型是对火箭与卫星实物的模拟, 儿童玩具中的积木可粗糙地搭成各种建筑物的模型。计算机模拟是一种解决问题的强有力的工具。在国民经济的各领域都有计算机模拟技术的用武之地, 特别是在那些环境恶劣 (例如真空、高温高压、有毒有害的场所等)、实验条件苛刻、实验仪器精度不够、实验周期太长、花费财力太大的场合, 使用计算机模拟技术解决问题有其独特的优点。由于半导体和数字计算机技术的飞速发展, 计算机的计算速度快、存储容量大, 使得以前很难解决或在当时根本不可能解决的一些难题, 今天几乎都能得到解决, 或被纳入到科研工作计划之中。今天, 电子计算机的微型化和价格日益下降, 使电子计算机的普及率大大提高, 也使计算机模拟技术的应用范围大为扩展。在 20 世纪五六十年代, 计算机模拟技术主要用于航空、航天、武器研制和核试验等少数领域, 而现在的情况大不相同了, 无论国内国外、各行各业都十分重视这门技术的研究、应用和发展。我国计算机模拟技术研究开展较早, 发展迅速, 特别是党和政府领导人对计算机模拟技术研究与发展十分重视, 1993 年 2 月 24 日中共中央总书记、国家主席、军委主席江泽民同志为《计算机仿真》杂志题词: “发展我国仿真技术, 勇攀世界科技高峰”, 1994 年 1 月 8 日江泽民同志视察了北京仿真中心, 并做了重要指示, 他号召要“努力扩大仿真技术的应用范围, 多为国民经济建设服务”, 江主席的指示对我们是巨大的鼓舞。

计算机模拟和系统学是近代科学技术革命具有代表性的科学技术。它之所以有代表性, 并能反映出新的科学技术的时代特征, 是因为它的应用已为各领域带来新的气象和成果, 并使其向纵深飞速发展。计算机模拟所涉及的知识面很广, 计算机模拟工作者不但要有计算机和数学知识及编程技巧, 还要对模拟对象有深刻的理解, 只有这样才能较好地做出自己的模拟系统。目前计算机模拟技术与应用仍处于发展阶段, 有人预言在 21 世纪, 计算机模拟技术的发展将日新月异和“无所不能”。

1.1 系 统

在任何模拟实验中, 我们都有一个待研究的系统, 所谓“系统”就是一些具有特定功能的相互之间按一定规律联系着的实体集合。系统有大有小, 例如社会经济系统、社会教育系统、人口系统、自然资源系统都是特大系统, 它可以是一个国家范围内的, 也可以是一个省、市、县范围内的。在这类大系统中, 要完全搞清系统内各“实体”或“部件”之间的联

系是困难的，因为这些“实体”或“部件”之间的关系往往不能用简单的函数式或方程式来描述，所以对这类系统不能只用一种简单的方法进行处理，而要使用多种方法综合解决。

本书所介绍的模拟实例——二维肥皂泡系统，看似很小，但它所涉及的方方面面也足以使科学家们感到不那么容易对付，在后面的章节中我们将对肥皂泡系统的计算机模拟进行详细讨论。

一个系统应是一个整体，该整体内的各个部分是不可分割的。例如一个工厂系统，它由管理部门、原材料仓库、生产车间及销售部门构成。要想把厂办好，这些部门之间就要密切配合，统一指挥，不可缺少任何一个部门，也不能在任何环节出问题。公交车调度系统也是如此，要编排一个好的调度程序，就必须对现有的系统作出周密的调查，搞清系统中影响调度程序的成分和实体，例如该系统由现有车辆数、每车载客数、每趟车跑一趟花费的时间、沿途乘客密集程度、乘客的一般去向、乘客高峰期的人数等因素组成，这也是一个比较复杂的系统。只有经过周密的调查研究，才能形成一个完整的模拟系统。这称为系统的完整性。

系统内部各部分之间以一定的规律联系着，它们的特定关系形成了具有特定性能的系统，这就是系统的相关性。例如一个工厂的销售部门，它的任务就不同于一个商业系统的销售部门，它与其他部门的关系也不同于商业系统的销售部门。一个系统内每个环节的功能可能都是独特的，但它们之间又有一定的联系，这些联系可用环节之间的信息流动和信息反馈来表示。这称为系统的相关性。

设计一个模拟系统总是先要研究这个系统，使该系统能在预定的目标下达到完善、最优。例如研究和设计一个公交车交通系统的目的是充分发挥现有的人员和设备的潜力，获得最好的经济效益和社会效益。

1.2 系统的分类

系统的分类方法很多，按照不同的分类方法，可以得到不同类型的系统。其中最重要的一种分类方法是按照其状态随时间的变化是否连续分为连续系统与离散系统两种。

若一个系统的状态随时间连续变化，称为连续系统。这类系统的动态特性可以用一个或一组方程来描述。这里的“方程”可以是代数方程、微分方程或状态方程等，或者是一些离散状态方程等，究竟选用哪一种，视研究者对系统的一部分感兴趣还是对整个系统感兴趣而定。例如计算卫星的运行轨道问题和肥皂泡的时间演变系统是两个不同的连续系统。通常是用一组微分方程来描述系统的行为。

而另一类系统称为离散系统，其状态变化只在离散时刻发生，而且往往是随机的。一个随机过程的定义为：有规律存在的一族随机变量，而且通常该族随机变量的序列与时间之间存在一定的关系。在随机系统中，用“事件”来表示这种在离散时间间隔内的状态变化，这样的系统被称为离散时间系统。国民经济各领域都有大量的离散系统存在。例如库存问题、工厂企业的管理系统、交通系统等都是这样的系统。这里系统的一个特点是规模大，结构复杂，很难用描述连续系统的方程解析法来得出结果，而必须用特定的方法来模拟这类系统。

对于一个系统，若一项活动的输出可以完全按照它的输入来描述时，则把该项活动称为确定性活动。但是有许多活动的输出是无序的，所以把具有这种性质的活动和过程称为随机

活动和随机过程，此处的“随机”和“无序”两个词可以互换。如果系统的输出与输入按一定的规律一一对应，则这种系统称为确定性系统。如果在确定性系统的模拟中使用随机变量，则这种研究方法叫作蒙特卡罗法。

1.3 系统模型

所谓模型就是对系统某种特定功能的一种描述，它集合了系统必要的信息，通过模型可以描述系统的本质和内在的关系。对于不同领域的研究人员而言，模型的含义是不同的，因为他们分析的着眼点不同，所以关于模型的概念、定义与理解就是多种多样的。1984年，当时的国家科委主任宋健同志在“系统工程和新技术革命”一文中指出：“系统工程把所研究和治理的对象，看成是以一定秩序相互联系的，可以用定量方法描述的一组事物。所应用的主要描述方法是数学模型，即：用变量描述系统的状态；用数学方程式去定量反映各变量之间的相互联系，如各种平衡关系等；用递归方程式去描述系统状态的发展趋势，找出影响事态发展的因素；研究如何把这种因素当作杠杆，以防止出现灾难性事态，并能引导系统向人们所希望的方向发展，以达到预期的目的。”，这里强调的是数学模型。对于我们生活中的一些“系统”，我们可以按不同的方法建立起不同的模型。这样的模型一般分为物理模型和数学模型两大类。物理模型与实际系统有相似的物理性质，它们与实际系统外貌外形相似，只不过按比例缩小尺寸，如各种飞机、轮船的模型等。数学模型是用抽象的数学方程描述系统内部各个量之间的关系而建立的模型，这样的模型通常是一些数学方程。它们应能较好地揭示系统的内在运动规律与动态性能。一般的计算机模拟模型都是数学模型。根据数学表达式的性质划分，数学模型可分为静态模型和动态模型两大类。

静态模型一般为数学方程、逻辑表达式等。例如系统的稳态解公式、电路中电压与电流之间的关系及电路的布尔表达式等。

动态模型又分为连续系统模型与离散系统模型。

连续系统模型分为确定性模型与随机模型。确定性模型又分为集中参数模型和分布参数模型两种。后面章节中描述的肥皂泡系统为连续确定性系统，可用微方程描述它。

离散系统模型又分为时间离散系统（时间步长固定）和离散事件系统（下一事件模型）。时间离散系统一般用差分方程，离散状态方程和脉冲传递函数来描述；而离散事件模型用概率模型来描述。这类系统的输出不完全由输入作用的形式来描述，往往有多种可能的输出，这是随机系统。

1.4 建立数学模型的方法

对一个待研究的系统建立模拟模型，一般要经过以下几个步骤：

（1）实质内容模型阶段。首先要对模拟对象进行调查、实验、分析，尽可能全面地掌握系统的基本特征、运动规律以及中间状态。利用分析和逻辑推理的方法，揭示系统内的规律。

（2）形式数量阶段。在以上分析和逻辑推理的基础上，进一步揭示系统内部的数量关系，

并对其进行数学处理，这就要求对系统用数学方式来描述，当然这些数学方式要准确可靠、有代表性，能说明模拟对象的数量信息。这些数学方式常常为函数、方程组和相互关系的分析方法等。这里所使用的数学工具一定要和系统相适应，如果选择恰当，则模拟结果是比较准确的，与实际系统能较好地吻合。

在大多数情况下，要建立一个好的数学模型是不容易的，尤其是对那些复杂的多变量系统更为困难。在数学模型建立后，要在计算机上进行模拟验证，如果与实际系统相差过大，则要重建模型或修改模型。总之要进行多次模拟，不断修改，不断完善，最后才有可能得到与系统较为吻合的数学模型。

下面通过一个两物体的追逐问题简要说明模拟过程与方法。

设有一架歼击机追踪一架敌方轰炸机，在追击过程中，歼击机的机头始终指向轰炸机，假设两机相距 10km 以内时即实施攻击，且在 12 分钟之内完成追击任务，否则认为追击失败。设两架飞机的初始位置如图 1.1 所示。

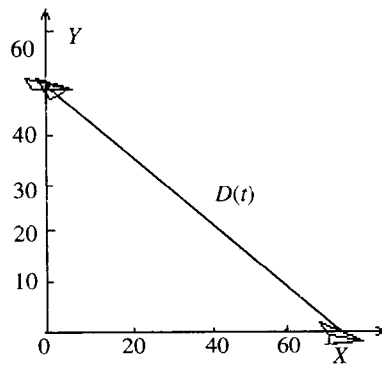


图 1 1 两机位置示意图

如两机在同一平面上且做直线运动，则问题比较容易解决，但此时飞机在三维空间做曲线运动，问题便复杂了，所以我们首先对本例问题进行化简。

- (1) 两飞机始终在同一水平面上飞行，将三维问题变成二维问题。
- (2) 歼击机速度 V_F 是常数 (20km/min)，并在时间 Δt (通常定为 1 分钟) 改变一次航向，在 1 分钟以内操作不变。
- (3) 轰炸机航向 (航线) 可任意指定。例如表 1.1 为一条航线的数据。

表 1 1 轰炸机航线

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$X_B(t)$	80	90	99	108	116	125	133	141	151	160	169	179	180
$Y_B(t)$	0	-2	-5	-9	-15	-18	-23	-29	-28	-25	-21	-20	-17

(4) 歼击机初始位置为: $Y_F(0)=50\text{km}$, $X_F(0)=0\text{km}$ 。现在问题是: 歼击机按什么航线飞行。何时完成追击任务。

建立数学模型:

设任一时刻 t ，两机连线与水平线夹角为 θ ，则 1 分钟后歼击机的位置为:

$$X_F(t+1)=X_F(t)+V_F\cos\theta \quad (1.1)$$

$$Y_F(t+1)=Y_F(t)+V_F\sin\theta \quad (1.2)$$

其中

$$\sin \theta = \frac{Y_B(t) - Y_F(t)}{D(t)} \quad (1.3)$$

$$\cos \theta = \frac{X_B(t) - X_F(t)}{D(t)} \quad (1.4)$$

而

$$D(t) = \sqrt{(Y_B(t) - Y_F(t))^2 + (X_B(t) - X_F(t))^2} \quad (1.5)$$

$D(t)$ 为时刻 t 时的两机距离。首先计算两机之间的距离，模拟中不断地判断是否在 12 分钟内达到追踪攻击距离之内。图 1.2 为模拟程序流程图。

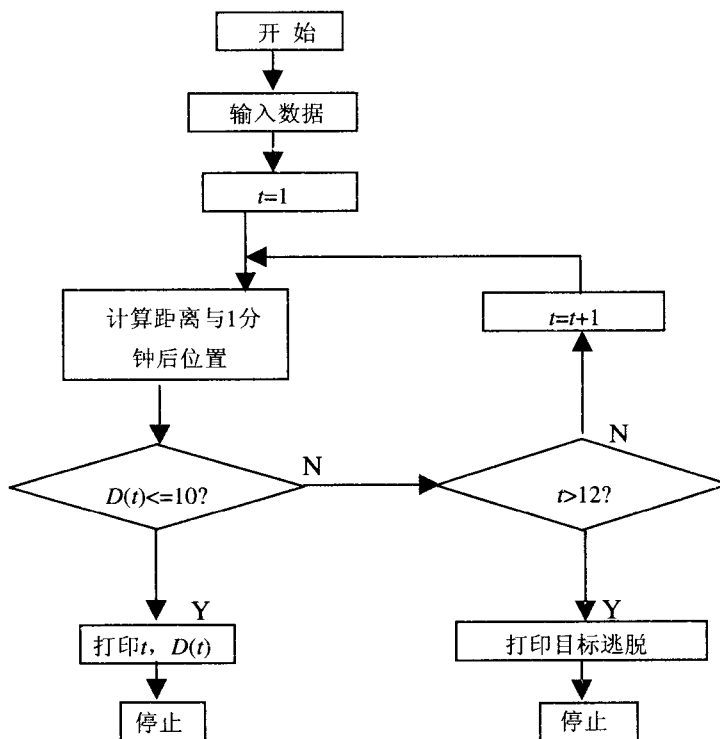


图 1.2 模拟程序流程图

下面是 C 语言模拟程序：

```

main()
{ double xb[25],yb[25],xf[25],yf[25],vf,d1;
  int t,fon;
  fon=1;
  xf[0]=0.00;yf[0]=50.00;vf=20.00;d1=1.0;
  system("cls");
  for (t=0;t<13;t++)
    { if(t=0)

```

```

        printf("t=0,please input xb[0],yb[0]\n");
    else
        printf("t=%d,continue input\n",t);
    scanf("%d %d",&xb[t],&yb[t]);
    printf("d1=%f,continue\n",d1);
    d1=abs(sqrt((yb[t]-yf[t])*(yb[t]-yf[t])+(xb[t]-xf[t])*(xb[t]-xf[t])));
    printf("d1=%f,continue\n",d1);
    if((d1<=10.00)&&(d1>0.00))
    { fon=fon+1;
      printf(" caught at",t,"mts and",d,"kms" );
      break;}
    xf[t+1]=xf[t]+vf*((xb[t]-xf[t])/d1);
    yf[t+1]=yf[t]+vf*((yb[t]-yf[t])/d1);
}
if (fon=1)
printf("target escaped");}

```

以上程序的模拟结果如下：

CAUGHT AT 10 MTS AND 2.969 KMS

当每次读入的数据或参数不同时，会得到不同的模拟结果。

从以上这个小例子可以看出对一个实际系统的计算机模拟步骤。一般而言，前面提到的实质内容模型阶段和形式数量阶段可细分为如下步骤：

(1) 阐述问题：是模拟工作者与系统分析工作者及系统提出者之间的接口，对模拟的对象、目的、范围和要求起到沟通思想的重要一步。还应有一系列的评估准则，以鉴定完成的好坏。

(2) 搜索模拟系统所需的信息。

(3) 将搜集到的信息分类，并加以量化。

(4) 确定描述系统的规则，这一步是系统的整体设计，要确定的规则有逻辑型规则与数学算法两种。

(5) 进行参数估计。方法是从实时系统进行统计推断，根据系统的分析结果确定参数之间的关系，以及参数的敏感性。如果实际系统还不存在或尚未设计出来，可从设计资料中分析求得。

(6) 接受模型。在模型结构定下后，将所有的变量和参数包括进去，但是要确定这些变量确实是必需的，除此之外，还要确定这些变量之间的关系是否已被正确地、详细地表达出来了，如果没有疏漏，便可进行逻辑框图设计和编程。

(7) 进行逻辑框图设计并编程。程序框图的设计是有助于编写程序的，程序可以用任何一种合适的语言编写。例如 C 语言及面向对象的可视化程序设计语言 C++，Delphi,VB 等。也可以使用一些专用的模拟语言。编制的程序体现了设计人员的思想与风格。

(8) 调试运行。一般而言, 程序写好后常常会出现一些问题, 可在计算机上进行调试, 逐步解决这些问题。如果程序有错, 计算机会给出一些出错信息, 根据这些出错信息修改程序, 直至全部改完为止。

(9) 验证模型。程序运行的结果与实际系统或模型一致吗? 如果不一致, 就要重新修改模型和程序, 这一步可能要反复进行多次才能完成。如果实际系统还不存在, 或正在设计, 便可用模拟结果来指导实验的设计。

(10) 总结与设计文档编写。这一步是模拟过程的总结, 以便今后查询与修改系统。

1.5 简单库存问题的模拟

本节给出一个离散系统模拟的例子——库存问题的模拟, 虽然本例很简单, 但是从中可以体会到离散系统模拟的方法。

1.5.1 问题的提出

商业部门为了合理地利用有限的流动资金, 大多不愿过多地库存货物, 以免资金积压。例如某一零售商店经理要保持某项商品的库存与销售之间的平衡, 如果库存量不满足某一时段的顾客需求, 则要去生产厂家定货, 这可以采用一个简单的策略。当库存量(此处指布匹)降到 P 匹布时(称为定货点), 就向生产厂定货, 定货量为 Q 匹布(称为定货量), 如果任何一天的需求量超过库存量, 则商店遭受损失(包括销售损失和信誉损失)。但是如果库存量过多, 将会使管理费用增加及资金积压, 造成经济损失, 所以如何选择一个合适的库存策略, 使其所花费的资金最少, 这就是库存系统中要解决的主要问题。

现假定有 5 种库存策略, 要求选择一种方案使其满足所花费资金最少的要求。

策略	P	Q
策略1	125	150
策略2	125	250
策略3	150	250
策略4	175	250
策略5	175	300

已知条件为:

- ① 从工厂发出定货到收到货物需隔 3 天, 即设第 i 天订货, 在第 $i+3$ 天才收到货物。
- ② 每匹布的保管费为 0.75 元, 缺货损失为 1.80 元/匹, 订货费(包括手续费, 采购差旅费及其他费用)为 750 元。
- ③ 需求量为一个 0~99 之间的均匀分布随机数。
- ④ 原始库存为 115 匹布, 并假设第一天工厂没有发出订货。

1.5.2 模拟模型与模拟流程图

由以上分析可见，即使是一个极小（如一些小的单一品种）的库存系统问题也不是很容易就能解决的。但是借助电子计算机，使用计算机模拟的方法却不难得到正确的解答。我们可以对每一种策略各模拟6个月（180天）来进行比较，选出费用最省的最佳库存订货方案。

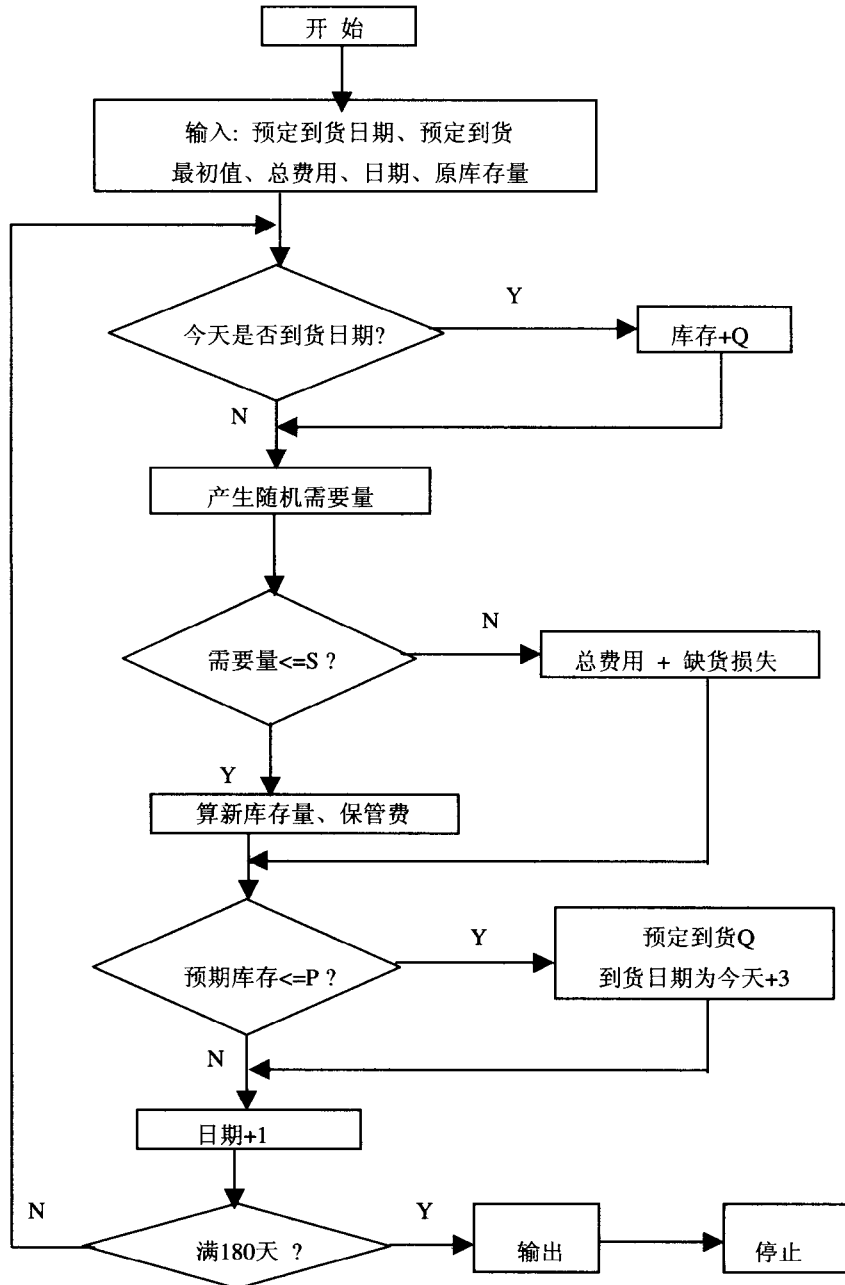


图 1.3 简单库存问题模拟框图