



跨世纪计算机实用技术丛书

# 计算机模拟及其应用

王可定 主编

东南大学出版社

# 计算机模拟及其应用

主 编 王可定  
副主编 卢厚清 周先华  
编著者 (以姓氏笔划为序)  
王可定 卢厚清 朱万红  
周先华 张宏军 俞海英  
教志刚  
主 审 黄志同

东南大学出版社

## 内 容 提 要

目前,计算机模拟已成为系统分析、研究、设计及人员训练不可缺少的手段。它给工程界及企业界带来了巨大的社会效益和经济效益。应用它能够方便、安全、节省地研究一般系统;而且对于不可能进行直接实践和重复的社会、经济、军事系统,计算机模拟更显出它的优越性。通过模拟从而获得系统的规律,为系统设计、优化、控制和决策服务。计算机模拟有很广泛的实用价值。本书力求做到理论上有一定的深度,内容上全面、新颖且具实用价值。

全书共分九章,除第一章的概论外,大致分三个部分。前面是有关计算机模拟的基础理论,包括计算机模拟的基本数学知识——随机数和随机变量的产生、连续系统和离散系统模拟、统计试验法、计算机模拟语言(ACSL、GPSS…)等;第七、八章是属于应用方面的;第九章介绍计算机模拟和模拟语言的新动态,带有展望的性质。

本书可作为大专院校计算机模拟、管理系统模拟、作战模拟等专业的教材,也可作为从事运筹学、系统工程、程序设计、系统分析与设计及系统开发人员的参考书。

责任编辑 王小然

责任校对 张 煦

## 计算机模拟及其应用

王可定 主编

\*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 南京通达印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 12.875 字数 330 千

1997年12月第1版 1997年12月第1次印刷

印数:1--3000册

ISBN 7—81050—281—6/TP·40

定价:18.00元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

# 《跨世纪计算机实用技术》丛书总序

我们正处在一个世纪之交的伟大历史时期。当今社会的计算机应用出现了很多新的特征：办公自动化系统和管理信息系统的实现使社会、生产的管理完全改变了传统的方式；集计算机辅助设计、制造和决策管理为一体的计算机集成制造系统使生产制造过程得到新的飞跃；计算机网络 INTERNET 将世界连成一体，并以一种神奇的方式推动着社会的变革；计算机进入出版业，出现了排版印刷技术的革命；多媒体技术融入社会，更以一种非同寻常的力量推动着信息社会的发展，人们就在这瞬息万变的发展中即将跨入一个新的世纪。

随着 21 世纪的临近，人们面临着各种严峻的挑战，我们必须把人才的培养作为迎接挑战最紧迫的对策。为了适应世纪之交计算机人才培养的需要，我们向读者奉献一套《跨世纪计算机实用技术丛书》。作者编写这套丛书的宗旨为：

1. 介绍 20 世纪最后 10 年计算机技术在其重要应用领域的现状、发展方向以及前景展望。希望读者从这套丛书中，得到感知，获得鼓舞和力量。

2. 力求面向实际，作为实用技术的工具和指南。希望读者得益于它，在世纪之交的计算机应用工作中，能够得到具体的帮助，取得实效。

3. 从本世纪之末到下世纪之始，计算机科学与技术领域新事物肯定层出不穷，本丛书将不断把新颖实用的内容奉献给读者，作者们将与读者一起跨越世纪，在各领域计算机应用中不断前进。

这一套丛书的内容涉及数据库系统、网络通信、多媒体、图像处理、电子出版、系统仿真、计算机辅助设计、计算机硬件及软件新平台、操作系统以及语言等方面。我们尽了很大的努力期望本丛书能很好地为读者服务，但由于水平所限，难免有错误和疏漏之处，希望读者和专家们不吝赐教。

《跨世纪计算机实用技术丛书》编委会

1997 年 5 月

# 《跨世纪计算机实用技术》丛书

## 编委会名单

主 编：徐福培

副主编：夏德深 孙志挥

编 委：（以姓氏笔划为序）

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 孙志挥 | 吴乐南 | 陈天授 |
| 陈廷标 | 陈金水 | 周先华 |
| 夏德深 | 范建新 | 徐福培 |
| 黄凤英 | 傅德胜 |     |

## 序

今年六月初,本书主编王可定教授出差来北京,同时带来了他们编著的《计算机模拟及其应用》的书稿。我们并不相识,在他来到清华大学找我时,正巧我不在。通电话时,他说明了来意,希望我为这本书写个序。我请他将书稿留在办公楼的收发室里,并没有立即答应他的要求。

本书由王教授带领一批年轻的工程兵工程学院教师(硕士)编著而成。他们希望此书在理论上有一定的深度,在内容上能够全面且比较新颖,在结合实际上有一定的实用价值。我看,他们达到了预定的目的。

计算机模拟,亦称为计算机仿真,就是利用计算机对研究系统的结构、功能和行为以及参与系统控制的主动者——人的思维过程和行为进行动态性的比较逼真的模仿。利用建立的模拟模型对系统进行研究和分析,并可将系统过程演示出来。

目前,计算机模拟已成为系统分析、研究、设计及人员训练不可缺少的手段。它给工程界及企业界带来了巨大的社会效益和经济效益。应用它能够方便、安全、节省地研究一般系统,而且对于不可能进行直接实践和重复的社会、经济、军事系统,计算机模拟更显出它的优越性。通过模拟从而获得系统的规律,为系统设计、优化、控制和决策服务。计算机模拟有很广泛的实用价值,随着计算机技术的发展,模拟技术将愈加受到人们的重视,因此本书作为计算机技术跨世纪丛书之一是十分必要的。我初步阅读《计算机模拟及其应用》后也颇有收益,我觉得本书有如下特点:

一、内容很丰富也很全面。全书共分九章,除第一章的概论外,大致分三个部分。前面是有关计算机模拟的基础理论性的内容,包括基本概念、随机数和随机变量的产生、连续系统和离散事件系统模拟、统计试验法(蒙特—卡罗方法)的应用、计算机模拟语言等;第七、八章则集中介绍企业系统模拟与军事作战系统模拟,是属于应用方面的;第九章介绍计算机模拟和模拟语言的一些新情况,带有展望的性质。全书内容这样的编排是合适的。

二、取材新颖,并且包括作者自己的研究成果。书中已收集了计算机模拟领域中一些新的成果(例如第六、八、九等章节)。特别是,书内总结了作者的某些研究成果,例如第四章中的人防工程建设规划的系统动力学模型,第八章中的作战行动方案的选择等。

三、实用性强。作者们不仅在各章节中介绍了一些模型、框图和程序,还在第七、八章里集中介绍了模拟技术在企业系统、军事作战系统中的应用。读者可以按照书中的例子类比起来解决自己关心的问题。由于作者们是军校的老师,因此模拟在军事系统的应用介绍得比较详细也是特色之一,这在许多同类书中是无法做到的。

总之,我看了这本书后,觉得这是一本有一定特色的全面介绍计算机模拟的书,值得关心该领域的学者、研究生和有关专业的大学学生一读。

中国系统仿真学会副理事长、清华大学教授

熊光楞

1997. 6. 26

# 前 言

计算机模拟(Computer Simulation),亦称为计算机仿真,就是利用计算机对研究系统的结构、功能和行为以及参与系统控制的主动者——人的思维过程和行为,进行动态性的比较和模仿,利用建立的模拟模型对系统进行研究和分析,并可将系统过程演示出来。

自 40 年代计算机问世以来,用计算机方法去研究系统的特性成为科学发展的时尚。利用计算机,使得数学模型的求解变得更加方便、快捷和精确,能解决的问题的领域也大大扩展了。它特别适合于解决那些规模大、难以解析化以及不确定的系统。计算机不仅可以帮助求出已经建立的数学模型的最后结果,还可以帮助我们选择合理的模型,定量地评价模型,改进现有的模型。

在航空、导弹、核能、宇航等领域,由于系统比较复杂,利用真实系统进行研究不仅缺乏安全性,而且开销较大,周期较长。利用计算机训练模拟器来训练飞行员、宇航员、核电站操纵人员等,可收到安全、经济、快速的效果。世界发达国家十分重视计算机模拟技术。该技术已在工程系统、军事系统、社会系统等领域得到了广泛的应用,已成为系统分析、研究、设计及人员训练不可缺少的手段。它给工程界及企业界带来了巨大的经济效益和社会效益。应用它能够方便、安全、节省地研究一般系统,对于不可能进行直接实践和重复的社会、经济、军事系统,计算机模拟更显出它的优越性。通过模拟可获得系统的规律,为系统设计、优化、控制和决策服务。

本书把计算机模拟和系统工程、运筹学、管理科学等有关知识融合在一起,力求在理论上有一定的深度,在内容上能够比较全面新颖,在与实践结合上有一定的实用价值。

全书共九章,大致可分为三个部分。前六章是有关的基础理论性的内容,包括计算机模拟的基本概念、基本数学知识——随机数和随机变量的产生、连续系统和离散系统模拟、统计试验法、计算机模拟语言(ACSL、GPSS、SD...)等;第七、八章是应用部分,集中介绍企业系统模拟与军事作战系统模拟;第九章介绍计算机模拟和模拟语言的一些新情况,带有展望的性质。

本书取材新颖,国内外计算机模拟领域一些 90 年代新的研究成果,在本书中(例如第六、八、九等章节)有所反映。特别是,书内收集了作者们的一些研究成果,例如第五章中的人防工程建设规划的系统动力学模型,第八章中的作战行动方案的选择等。

本书实用性强。在第七章里集中介绍了企业系统模拟,包括生产流程模拟、销售系统模拟与决策、库存系统模拟、可靠性及设备维修问题模拟、企业预测与规划的系统动力学模型等,第八章的军事作战系统模拟的应用介绍得比较详细也是特色之一。作者不仅在各章节中给出了系统模拟模型、程序框图,可用于有关软件的开发,有的还提供了源程序,使读者学习、借鉴和移植更加方便。本书是从事计算机模拟工作者的良师益友,可作为大专院校计算机模拟、管理系统模拟、作战模拟等专业的教材,也可作为从事运筹学、系统工程、程序设计、

信息系统分析与设计及系统开发人员的参考书。

本书按章节顺序,编著者如下:(括号内为所编著的节号)

第一章——卢厚清;第二章——俞海英、王可定(2.3);第三章——俞海英、王可定(3.3);第四章——朱万红;第五章——周先华;第六章——张宏军;第七章——卢厚清(7.1, 7.3)、王可定(7.2, 7.4)、周先华(7.5);第八章——王可定;第九章——敖志刚。

本书由南京理工大学博士生导师、江苏省系统工程学会理事长黄志同教授担任主审,并得到了全国计算机仿真学会副理事长、清华大学熊光楞教授的指导,在此一并致谢。

限于编著者水平,难免存在漏、误,恳切希望读者给予批评和指正。

编 者

1997. 11. 20

# 目 录

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>1 计算机模拟概论 .....</b>             | <b>1</b>  |
| 1.1 计算机模拟的基本概念 .....               | 1         |
| 1.1.1 计算机模拟的定义 .....               | 1         |
| 1.1.2 计算机模拟的发展 .....               | 3         |
| 1.1.3 当前计算机模拟需要改进的主要方面 .....       | 3         |
| 1.1.4 计算机模拟的研究前沿 .....             | 3         |
| 1.2 计算机模拟模型与方法 .....               | 4         |
| 1.2.1 系统 .....                     | 4         |
| 1.2.2 模型 .....                     | 5         |
| 1.3 计算机模拟的步骤 .....                 | 6         |
| 1.4 报童问题仿真——一个计算机模拟实例 .....        | 8         |
| 1.4.1 报童问题 .....                   | 8         |
| 1.4.2 数学模型 .....                   | 8         |
| 1.4.3 报童问题的计算机模拟 .....             | 9         |
| 1.4.4 报童问题模拟系统的推广和应用 .....         | 10        |
| 1.5 计算机模拟的应用 .....                 | 10        |
| 1.5.1 计算机模拟在系统分析、设计及试验等方面的应用 ..... | 10        |
| 1.5.2 计算机模拟在训练、教育及其它方面的应用 .....    | 11        |
| <b>2 随机数和随机变量的产生 .....</b>         | <b>12</b> |
| 2.1 随机数和伪随机数的性质 .....              | 12        |
| 2.1.1 随机数和伪随机数的概念 .....            | 12        |
| 2.1.2 随机数和伪随机数的性质 .....            | 12        |
| 2.2 伪随机数的产生 .....                  | 13        |
| 2.2.1 均匀分布随机数的产生 .....             | 13        |
| 2.2.2 计算机产生伪随机数 .....              | 14        |
| 2.2.3 伪随机数的随机性检验 .....             | 16        |
| 2.3 产生规定分布的随机变量 .....              | 19        |
| 2.3.1 连续分布随机变量的产生 .....            | 19        |
| 2.3.2 离散分布随机变量的产生 .....            | 23        |
| <b>3 统计试验法模拟 .....</b>             | <b>27</b> |
| 3.1 统计试验法模拟实施程序及检验 .....           | 27        |
| 3.1.1 统计试验法模拟步骤 .....              | 27        |
| 3.1.2 统计试验法模拟检验 .....              | 27        |
| 3.2 计算机模拟数据的采集与分析 .....            | 28        |
| 3.2.1 分组数据的统计表和频数直方图 .....         | 28        |

|                           |                           |    |
|---------------------------|---------------------------|----|
| 3.2.2                     | 频率(数)直方图和累积频率直方图 .....    | 29 |
| 3.3                       | 随机模拟的精度和必需的模拟次数 .....     | 30 |
| 3.3.1                     | 统计试验法获得的结果 .....          | 30 |
| 3.3.2                     | 统计试验法的精度 .....            | 31 |
| 3.3.3                     | 达到要求精度所必需的试验次数 .....      | 32 |
| 3.4                       | 模拟变量的概率分布 .....           | 34 |
| 4                         | 离散系统模拟 .....              | 35 |
| 4.1                       | 离散系统模拟概述 .....            | 35 |
| 4.1.1                     | 离散系统的基本要素 .....           | 35 |
| 4.1.2                     | 离散系统模拟模型的结构 .....         | 36 |
| 4.1.3                     | 模拟时钟 .....                | 37 |
| 4.2                       | 离散系统模拟的基本方法 .....         | 38 |
| 4.2.1                     | 离散系统模拟的基本策略 .....         | 38 |
| 4.2.2                     | 模拟时钟的推进 .....             | 38 |
| 4.3                       | 离散系统模拟语言的选择 .....         | 40 |
| 4.4                       | 离散系统模拟举例——排队系统模拟 .....    | 41 |
| 4.4.1                     | 排队系统概述 .....              | 41 |
| 4.4.2                     | 排队系统模拟实例 .....            | 43 |
| 4.4.3                     | 离散系统模拟的基本步骤 .....         | 49 |
| 5                         | 连续系统模拟 .....              | 50 |
| 5.1                       | 连续系统模拟概述 .....            | 50 |
| 5.1.1                     | 连续系统模拟的含义 .....           | 50 |
| 5.1.2                     | 连续系统模拟过程 .....            | 50 |
| 5.1.3                     | 连续系统的数学模型 .....           | 51 |
| 5.1.4                     | 连续系统离散化模拟的数值积分法 .....     | 51 |
| 5.1.5                     | 连续系统离散化模拟的差分法 .....       | 54 |
| 5.2                       | 应用SLAM 模拟语言模拟连续系统 .....   | 54 |
| 5.2.1                     | SLAM 模拟语言的结构框架 .....      | 55 |
| 5.2.2                     | 应用SLAM 模拟语言模拟连续系统举例 ..... | 55 |
| 5.3                       | 系统动力学(SD)模拟技术 .....       | 58 |
| 5.3.1                     | 概述 .....                  | 58 |
| 5.3.2                     | 因果关系分析 .....              | 60 |
| 5.3.3                     | 建立系统动力学模型 .....           | 62 |
| 5.3.4                     | 应用举例 .....                | 67 |
| —城市人防工程建设规划的系统动力学模型 ..... |                           | 67 |
| 6                         | 计算机模拟语言 .....             | 77 |
| 6.1                       | 连续系统模拟语言 .....            | 78 |
| 6.1.1                     | 概述 .....                  | 78 |
| 6.1.2                     | ACSL 语言的特点 .....          | 79 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 6.1.3 | 简单的ACSL 程序介绍 .....       | 81  |
| 6.1.4 | 编程书写规则 .....             | 82  |
| 6.1.5 | ACSL 源程序的结构 .....        | 83  |
| 6.1.6 | 程序分类 .....               | 86  |
| 6.2   | 离散(事件)系统模拟语言 .....       | 88  |
| 6.2.1 | 概述 .....                 | 88  |
| 6.2.2 | 通用模拟系统语言GPSS .....       | 89  |
| 7     | 企业系统模拟 .....             | 95  |
| 7.1   | 生产流程的随机网络模型及优化 .....     | 95  |
| 7.1.1 | 企业生产流程问题 .....           | 95  |
| 7.1.2 | 生产流程问题的网络模型 .....        | 95  |
| 7.1.3 | 生产流程问题网络模型的计算机模拟 .....   | 98  |
| 7.1.4 | GERT 随机网络模型 .....        | 101 |
| 7.2   | 销售系统模拟与决策 .....          | 107 |
| 7.2.1 | 系统描述 .....               | 107 |
| 7.2.2 | 订货、库存和销售及其相互关联 .....     | 107 |
| 7.3   | 库存系统模拟 .....             | 110 |
| 7.3.1 | 库存系统简介 .....             | 110 |
| 7.3.2 | 几个库存模型 .....             | 111 |
| 7.3.3 | 一个企业库存模拟的实例 .....        | 112 |
| 7.4   | 可靠性及设备维修更新问题模拟 .....     | 115 |
| 7.4.1 | 系统可靠性 .....              | 115 |
| 7.4.2 | 设备维修与更新 .....            | 117 |
| 7.4.3 | 计算机模拟用于设备维修与可靠性分析 .....  | 118 |
| 7.5   | 企业预测与规划的系统动力学模型 .....    | 119 |
|       | ——我国新型企业运行机制的动态分析 .....  | 119 |
| 7.5.1 | 问题的提出 .....              | 119 |
| 7.5.2 | 模型 .....                 | 119 |
| 7.5.3 | 模型的基本运行行为及其分析 .....      | 121 |
| 7.5.4 | 政策模拟分析 .....             | 122 |
| 7.5.5 | 结论 .....                 | 123 |
| 8     | 军事作战系统模拟 .....           | 124 |
| 8.1   | 作战模拟 .....               | 124 |
| 8.1.1 | 作战模拟的概念 .....            | 124 |
| 8.1.2 | 作战模拟模型的分类及其特点 .....      | 124 |
| 8.1.3 | 建立作战模拟模型的一般步骤 .....      | 125 |
| 8.1.4 | 检验评定作战模拟模型的方法 .....      | 126 |
| 8.1.5 | 作战模拟的历史、国内外应用现状及展望 ..... | 126 |
| 8.2   | 作战模拟的基础条件 .....          | 128 |
| 8.2.1 | 战场环境的描述 .....            | 128 |
| 8.2.2 | 战斗单位的机动 .....            | 131 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 8.2.3 | 地形通视与目标搜索 .....         | 132 |
| 8.2.4 | 战场侦察 .....              | 135 |
| 8.2.5 | 武器射击与目标毁伤 .....         | 136 |
| 8.3   | 战斗动态方程——兰切斯特方程 .....    | 139 |
| 8.3.1 | 兰切斯特第一线性律 .....         | 139 |
| 8.3.2 | 兰切斯特平方律——战斗模型A .....    | 140 |
| 8.3.3 | 季涅尔方程——战斗模型B .....      | 142 |
| 8.3.4 | 梯曲曼混合律 .....            | 144 |
| 8.3.5 | 兰切斯特方程的推广 .....         | 145 |
| 8.3.6 | 诸兵种合同作战的兰切斯特方程 .....    | 147 |
| 8.4   | 统计试验法在作战模拟中的应用 .....    | 147 |
| 8.4.1 | 统计试验法的一般描述 .....        | 147 |
| 8.4.2 | 一个例子 .....              | 148 |
| 8.4.3 | 统计试验法的步骤和特点 .....       | 150 |
| 8.5   | 典型战斗事件模拟和合同作战模拟 .....   | 152 |
| 8.5.1 | 典型战斗事件模拟内容 .....        | 152 |
| 8.5.2 | 典型战斗事件模拟例子 .....        | 153 |
| 8.5.3 | 用统计试验法模拟战斗选择行动决策 .....  | 158 |
| 8.5.4 | 合同作战战役的作战模拟 .....       | 159 |
| 9     | 计算机模拟展望 .....           | 162 |
| 9.1   | 计算机模拟的发展趋势及应用前景 .....   | 162 |
| 9.1.1 | 发展趋势 .....              | 162 |
| 9.1.2 | 应用前景 .....              | 163 |
| 9.2   | 现代模拟专用计算机和模拟软件的发展 ..... | 165 |
| 9.2.1 | 模拟专用计算机 .....           | 165 |
| 9.2.2 | 计算机模拟语言的发展趋势 .....      | 167 |
| 9.3   | 新课题、新途径和关键技术 .....      | 170 |
| 9.3.1 | 分布交互式模拟技术(DIS) .....    | 170 |
| 9.3.2 | 多媒体模拟技术 .....           | 173 |
| 9.3.3 | 并发模拟工程 .....            | 174 |
| 9.3.4 | 定性模拟 .....              | 176 |
| 9.3.5 | 灵境模拟技术 .....            | 179 |
| 9.4   | 智能化模拟 .....             | 182 |
| 9.4.1 | 智能化模拟的概念与特点 .....       | 182 |
| 9.4.2 | 智能模拟系统主要技术及其集成 .....    | 183 |
| 9.4.3 | 智能模拟建模方法 .....          | 184 |
| 9.4.4 | 模拟数据库 .....             | 186 |
| 9.4.5 | 智能模拟专家系统 .....          | 187 |
| 9.4.6 | 神经网络模拟技术 .....          | 189 |
|       | 参考文献 .....              | 192 |

## 1.1 计算机模拟的基本概念<sup>[1][4][6][9][10][33]</sup>

### 1.1.1 计算机模拟的定义

#### 1) 模拟的定义

模拟(Simulation)就是利用物理的、数学的模型来类比模仿现实过程,以寻求过程规律的一种方法。按“国际标准化组织(ISO)标准”的名词解释:模拟就是选取一个物理的或抽象的系统的某些行为特征,用另一个系统来表示它们的过程。

相似现象是模拟的物质基础,一般相似性表现为两类:几何相似性和数学相似性。当两个系统的数学方程相似,只是符号变换而物理含义不同时,这两个系统被称为“数学同构”。事实上相似性是一个含义比较广的概念,既有几何形状的相似,结构的相似,功能的相似,还有机理和联想的相似性,特别后者是创造性的源泉。

对客观系统进行模拟的思想自古有之,早在几千年前,我国就产生了。大家所熟悉的象棋游戏,是对古代作战的模拟。虽然它模拟对象是古代的方式,制定的模拟规则是古代兵、将、马、炮、车等动态行动规律,却包括了现代计算机模拟几乎绝大部分的模拟步骤、模拟方法、模拟思想、模拟准则等等。

在较高层次的生产管理和决策过程中,有许多需要模拟的实例。在近代,为了研究和分析生产组织与管理问题,曾采用过“生产纪实”的方法来对生产过程中的各种各样的活动进行动态性地记录,并对记录下的信息加以分析研究。再根据对信息的认识程度,提出改进的技术和措施。古典管理理论的创始人,被称为“管理之父”的泰罗,就是用这种方法在工厂进行各种试验,从而制定出“标准操作法”,用以提高生产率。“泰罗制”和“定额管理”是其倡导的科学管理的核心。

#### 2) 模拟的方法

模拟的方法分为三类:

(1) 物理模拟。对实际行为和过程进行模拟的方法称为物理模拟(或称为实物模拟)。早期的模拟大多是物理模拟。物理模拟的优点是直观、形象,至今在航天、建筑、船舶、汽车等许多工业系统的实验研究中仍然可以见到。比如:用沙盘模拟作战、利用风洞对导弹或飞机的模型进行空气动力学试验、用图纸和模型模拟建筑群等都是物理模拟。但是要为系统构造一套物理模型,不是一件简单的事,尤其是十分复杂的系统,将花费很大的投资,周期也很长。

另外,在物理模型上作试验,很难修改系统的系数,改变系统结构也比较困难。至于复杂的社会、经济系统和生态系统就更无法用实物来做试验了。

(2) 数学模拟。就是用数学的语言、方法去近似地刻划实际问题,这种刻划的数学表述就是一个数学模型。因而欧几里得几何、牛顿的运动定律、微积分都是对客观世界的数学模拟。数学模拟把研究对象(系统)的主要特征或输入、输出关系抽象成一种数学表达式来进行研究。数学模型可分为:

- ① 解析模型(用公式、方程反映系统过程);
- ② 统计模型(蒙特—卡罗方法);
- ③ 表上作业演练模型(图解模拟方法,演练)。

然而数学模拟也面临一些问题,主要表现在以下几个方面:

- ① 现实问题可能无法用数学模型来表达,即刻划实际问题的表达式不存在或找不到;
- ② 找到的数学模型由于太复杂而无法求解,比如一些仍不可解的数学难题;
- ③ 求出的解不正确,可能是由模型本身的正确性问题或过多的简化近似(模型的近似、解的近似或二者兼有之)造成。

(3) 混合模拟。又称为数学—物理模拟,或半实物模拟,就是把物理模型和数学模型以及实物联合在一起进行试验的一种方法。比如:利用少量试验(如试射、试飞)与演习配合以数理统计模型演练来进行研究分析,混合模拟结合起来往往可以获得较好的效果,先进行数学模拟获得初步分析结果,然后通过专门的实验演习(即物理模拟)来检验和分析数学模拟的结果,最后再进行比较准确的数学模拟和分析。

### 3) 为什么要进行模拟

对于许多现实问题,需要用模拟进行研究,其原因是:

- (1) 实际系统太大,需要缩小(如地球仪,地形图);
- (2) 实际系统太复杂,需要简化;
- (3) 实际系统太贵重,需要省钱(如不在真实飞机上训练,上飞机模拟器);
- (4) 实际系统太难、太费时间,为了方便和节时;
- (5) 实际系统无法观察、感受和操作(如原子模型,太空实验,深海实验);
- (6) 实际系统危害大,危险性大(如战争,核爆炸,弹药);
- (7) 实际系统的不可重复性(如许多随机过程);
- (8) 在实际系统上作业会干扰正常工作。

### 4) 计算机模拟

自40年代计算机问世以来,用计算机方法去研究系统的特性成为科学发展的时尚。在计算机上对构成的系统模型进行试验,为模型的建立和实验提供了巨大的灵活性和方便。利用计算机,使得数学模型的求解变得更加方便、快捷和精确,能解决的问题的领域也大大扩展了。它特别适合于解决那些规模大、难以解析化以及不确定的系统。计算机不仅可以帮助求出已经建立的数学模型的最后结果,还可以帮助我们选择合理的模型、定量地评价模型、改进现有的模型。

计算机模拟(Computer Simulation),亦称为计算机仿真,就是利用计算机对研究系统的结构、功能和行为以及参与系统控制的主动者——人的思维过程和行为进行动态性的比较逼真的模仿。

计算机模拟通常利用计算机求解数学模型,并可将系统过程演示出来。

### 1.1.2 计算机模拟的发展

第二次世界大战末期,火炮控制与飞行控制动力学系统的研究促进了模拟技术的发展,1946年研制成第一台通用电子模拟计算机;50年代末到60年代,由于洲际导弹和宇宙飞船的姿态及轨道控制动力学研究,促进了混合模拟技术的发展,1958年第一台混合计算机系统用于洲际导弹的模拟;1964年生产出第一台商用混合计算机系统;60年代,阿波罗登月计划的成功及核电站的广泛使用进一步促进了模拟技术的发展;70年代系统工程被应用于社会、经济、生态、管理等非工程系统的研究,开拓了系统动力学及离散事件系统模拟技术的广阔的应用领域。

目前,计算机模拟已成为系统分析、研究、设计及人员训练不可缺少的重要手段。它给工程界及企业界带来了巨大的社会效益和经济效益。使用模拟技术可以降低系统的研制成本,提高系统实验、调试及训练过程中的安全性。对于社会、经济系统,由于不可能进行直接实验,计算机模拟更显出它的优越性。当今,最热门的计算机模拟领域已由过去的控制系统、管理系统转向制造系统。计算机集成制造系统(CIMS)便是一种在计算机网络和分布式数据库的支持下,以高度的柔性及智能来取得系统的整体优化的计算机模拟系统。

计算机模拟用于研究系统有如下特色:

(1) 优化设计。现代大型系统的规模和复杂性,要求在建立系统之前能预测系统的性能和参数,并使所设计的系统指标达到最优;

(2) 经济性。对于一个大型的系统,直接实验成本十分昂贵,使用计算机模拟能大大地降低试验成本,而且可以多次重复使用;

(3) 安全性。对于某些系统,如载人宇宙飞行器、核电站控制,直接试验往往是危险的和不允许的;

(4) 预见性。对于经济、社会、生物、战争等非工程系统,直接实验几乎是不可能的,使用计算机模拟可用于预测系统的特性和外作用的影响,从而研究管理、控制的策略。

### 1.1.3 当前计算机模拟需要改进的主要方面

当前计算机模拟需要改进的主要方面有:

(1) 减少模型开发时间。从重视编程转向重视建模,主要包括研究开发结构化的环境与工具,建立模型库及模型开发专家系统等;

(2) 改进精度。包括改进模型建立的精度和模型运行精度,如研究开发模型结构特征化的新方法——模式识别法及人工智能法,连续动力学系统的数值解法,随机数产生方法等;

(3) 改进通讯。包括人与人的通讯及人与计算机的通讯,比如研究开发模型的统一描述形式,图形输入与动画输出,模拟结果的统计、分析等。

### 1.1.4 计算机模拟的研究前沿

计算机模拟的研究前沿是:

(1) 一体化的模拟软件系统。一体化的模拟环境是一个软件集合,它包括:设计、编制及检验模型;编写及证实模拟模型;准备模型输入数据;分析模型输出数据。

(2) 分布式模拟。用多台分布在不同地方的计算机共同完成一项模拟任务,各计算机之间一般通过网络加以连接。

(3) 模型的并行处理。用按照并行处理原理发展起来的多处理机系统来模拟一个复杂系统。

(4) 灵境技术。是用由效果发生器、实景模拟器、应用系统和几何构造系统组成,给用户创造一个实时反映实体对象变化与相互作用的三维图形世界,提供用户一个观察并与该虚拟世界交互的多维用户界面,使用户可以直接参与和探索模拟对象在所处环境中的作用与变化,并产生沉浸感的计算机模拟系统。沉浸感、多维交互和实时三维图像是灵境系统的三个基本特征。灵境技术是多媒体技术的发展。

(5) 智能模拟。即专家模拟系统,它是将专家知识嵌入到模拟软件中去,从而使得模型的设计、理解及结果的评价都能由模拟系统自动完成。

详细的计算机模拟发展趋势可参见本书第9章。

## 1.2 计算机模拟模型与方法<sup>[1][2][10]</sup>

### 1.2.1 系统

系统是指相互联系又相互作用的元素之间的有机组合。这里所指的系统是广义的,它包含所有的工程系统及非工程系统。电气、机械、机电、声学系统都是工程系统,而经济、交通、管理、生物系统都是非工程系统。

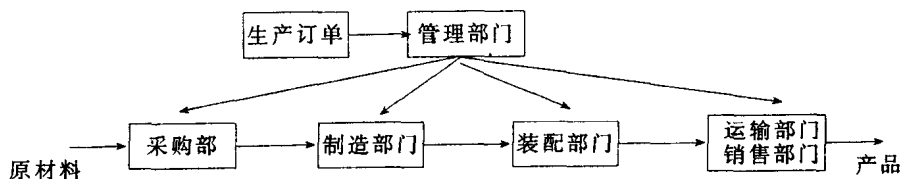


图 1.1 工厂系统

任何系统都存在三个方面需要研究的内容:即实体、属性、活动。

实体:组成系统的具体对象元素;

属性:实体的特性(状态和参数);

活动:对象随时间推移而发生的状态变化。

对于工厂系统而言(图 1.1),系统的实体是工厂的部门、订单和产品;它的属性是部门类型、定单数量、各部门的设备数量;它的活动则是各个部门的计划、采购、装配和销售过程。

由于组成系统的实体之间相互作用而引起实体属性的变化,通常用“状态”的概念来描述。研究系统就是研究系统状态的改变,即系统的演变。

系统研究除了研究系统的实体、属性和活动外,还应研究系统的环境。环境是指对系统的活动结果产生影响的外界因素。自然界的一切事物都存在着相互联系和相互影响,而系统是在外界因素不断变化的环境中演变发展的,因此,环境因素是必须考虑的。对开放的非工程系统更是如此。

系统与环境的边界往往不易确定,它们随研究的目的而异。例如:对于工厂系统的订货问题,既可将其视为环境对生产产生的影响,也可将订货纳入系统内的活动来研究。

系统研究包括系统分析、系统综合及系统预测等三个方面。

系统具有以下四个主要特性:

(1) 目的性。即设计和运行某一系统是为了实现一定的目的,它包括两个相互紧密联系的含义,即实现某些特定功能及系统优化;

(2) 集合性。系统的各个组成部分(元素或子系统)之间具有一定的独立性,但它们同时构成一个有机整体;

(3) 相关性。组成系统的子系统间相互联系、相互作用,某一子系统的输入则是与之联系的前一子系统的输出。为使系统正常运行,各子系统间存在着一定的逻辑关系;

(4) 环境适应性。任何系统都有确定的边界和环境,系统从外部环境接受输入(包括正常输入和随机干扰),经过系统转换,再向外部环境产生输出。由于外部环境是变化的,为了使系统优化,系统生存必需进行相应调节使之适应环境的变化。

### 1.2.2 模型

模型是对现实系统有关结构信息和行为的某种形式的描述。它是对应的真实对象和真实关系中那些有用的和令人感兴趣的特性的抽象化与简化。它以各种可用的形式提供被研究系统的信息。模型在所研究系统的某一侧面具有与系统相似的数学描述或物理描述。

模型的建立不是“原型的重复”,而是按研究目的的实际需要和侧重面,寻找一个便于进行系统研究的“替身”。同一系统根据研究的目的可以描述成不同的模型。比如一栋建筑物,建筑师画出的是一幅水彩画,土木工程师画出的是结构图,电气师画出的是布线图。

一般模型反映实际系统的部分属性,仅强调系统某些侧面;只有一些模型能反映简单系统全部属性。并描述它的全部实体。

模型建立的任务是要确定模型的结构和参数。建立模型有三种途径:

(1) 对内部结构和特性清楚的系统,即所谓的白箱(多数的工程系统都是),可以利用已知的一些基本定律,经过分析和演绎导出系统模型;

(2) 对那些内部结构和特性不清楚或不很清楚的系统,即所谓的黑箱和灰箱,如果允许直接进行实验性观测,则可假设模型并通过实验验证和修正;

(3) 对那些内部结构和特性不清楚或不很清楚但又不允许直接实验观测的系统(非工程系统多属于这一类),则采用数据收集和统计归纳的方法来假设模型。

在选择模型结构时,要以能方便达到模型研究的目的为前提。通常遵循下述原则:

(1) 相似性。即模型与被研究系统在属性上有相似的特性和变化规律,这就是说,“模型”与“替身”之间具有相似的数学描述或物理特征。相似原则是选择模型最重要的原则,相似理论是计算机模拟的专门基础理论。

(2) 简单性。从实用的观点来看,由于在模型的建立过程中,忽略了一些次要因素和某些非可测变量的影响,因此模型实际上已是一个被简化了的近似。一般而言,在实用的前提下,模型越简单越好。

(3) 切题性。模型应该针对研究目的的有关方面,而不是一切方面。这是因为对于同一系统,其模型可能不是唯一的,模型的选择应针对研究目的。