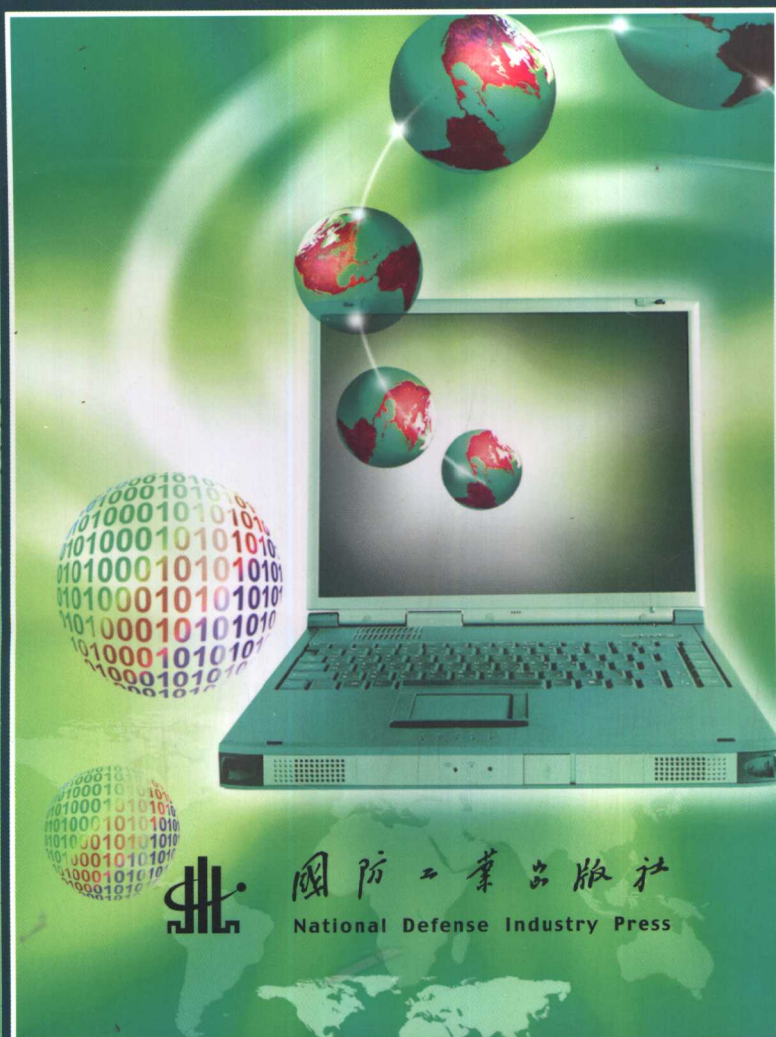


仿真技术与软件

Simulation Technology and Software

贾连兴 主编



國防工業出版社

National Defense Industry Press

仿真技术与软件

Simulation Technology and Software

贾连兴 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍了仿真技术及其应用软件,既包括仿真的基本理论方法,又包括相关实用技术。全书共分为9章,内容涉及仿真的主要概念及其发展、建模技术、高层体系结构HLA及其开发过程、数据库系统、地理信息系统、三维视景仿真、作战仿真和仿真系统应用实例。

本书主要面向从事仿真技术研究、应用、教学及相关专业的科研人员、教师、大学高年级学生和研究生。

图书在版编目(CIP)数据

仿真技术与软件/贾连兴主编. —北京:国防工业出版社,2006.8

ISBN 7-118-04617-5

I. 仿... II. 贾... III. ①计算机仿真②仿真程序
IV. ①TP391.9②TP31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072473 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 351 千字

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

仿真技术与软件

主 编 贾连兴

编著人员 贾连兴 汪 霖 刘德祥 朱英浩
邢小平 鲁云军 单维峰 易 慧

前 言

20 世纪 40 年代末,系统仿真开始兴起并逐步发展起来。随着计算机技术的发展,利用计算机对系统进行仿真越来越受到人们的重视,对系统仿真的理论方法和应用技术的研究也逐步深入,应用的领域也越来越广。目前,仿真技术已经成为当今世界最实用的技术之一。

仿真技术是一门利用计算机对系统模型进行科学实验的技术。它具有经济、可靠、实用、安全、灵活、可多次重复使用的优点,已经成为对系统进行分析、设计、试验和评估的有效方法。

本书注重仿真技术的实用性。仿真技术的应用主要体现在仿真软件的开发和使用上,本书各章在阐述仿真理论方法的基础上,比较全面、系统地介绍了常用的仿真软件。建模技术和高层体系结构是仿真技术的基本理论方法;数据库技术和地理信息系统是开发仿真系统的基础;三维视景仿真技术是仿真技术的一个重要发展方向;作战仿真是仿真技术在军事领域的应用。最后一章,还专门给出了两个实例介绍仿真系统的开发过程。

全书共分为 9 章。第 1 章介绍计算机仿真的基本概念及其发展,第 2 章介绍建模技术,第 3 章介绍高层体系结构,第 4 章介绍 HLA 开发过程,第 5 章介绍数据库系统,第 6 章介绍地理信息系统,第 7 章介绍三维视景仿真,第 8 章介绍作战仿真,第 9 章介绍仿真系统的应用实例。

近 20 年来,我们围绕系统仿真、作战仿真,结合院校军事训练,开发和研制了一些仿真系统,并为本科生、硕士生和博士生开设了一系列仿真课程,特别是军队重点实验室成立后的这些年,我们这支教学研究队伍也在不断壮大。本书是作者在对系统仿真进行多年研究、教学实践的基础之上,综合国内外最新的研究成果撰写而成的,是集体智慧的结晶。

本书由贾连兴筹划、设计、统稿,并编写了第 1 章、第 3 章及 8.4.3 节;汪霖编写了第 4 章、7.1 节、7.3 节、8.4.1 节和 9.2 节;刘德祥编写了第 2 章;朱英浩编写了第 6 章;邢小平编写了 5.1 节、5.2 节、5.3 节和 7.2 节;鲁云军编写了 8.1 节、8.2 节、8.3 节和 8.4.2 节;单维峰编写了第 9.1 章和 5.4 节。参加本书初期排版和校对工作的还有易慧和单维峰。

由于作者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。作者的联系方式是 E-mail: simulab@126.com。

作者

2006 年 5 月于武汉

V

目 录

第1章 仿真概论

1.1 仿真的概念	1
1.1.1 系统	1
1.1.2 模型	2
1.1.3 仿真	4
1.2 仿真的分类	5
1.3 仿真的一般步骤	6
1.4 仿真技术的应用	7
1.5 仿真技术的发展	8
1.5.1 仿真网络	8
1.5.2 分布交互仿真	9
1.5.3 聚合级仿真协议 ALSP	9
1.5.4 高层体系结构	10
参考文献	10

第2章 建模技术

2.1 建模基本原理	12
2.1.1 模型的形式与基本假定	12
2.1.2 建模方法学	13
2.2 模型校核、验证和确认	15
2.2.1 基本内容	15
2.2.2 模型校核方法	16
2.2.3 模型验证方法	17
2.2.4 模型确认方法	18
2.3 统一建模语言	18
2.3.1 视图	18
2.3.2 图	19
2.3.3 模型元素	20
2.3.4 通用机制	20
2.3.5 扩展机制	20
2.4 建模工具与软件	21
2.4.1 Rational Rose	21
2.4.2 PowerDesigner	21
2.4.3 Microsoft Office Visio	22

2.4.4 Trufun Plato	22
参考文献	22

第3章 高层体系结构

3.1 仿真通用技术框架.....	23
3.1.1 任务空间概念模型.....	23
3.1.2 高层体系结构.....	25
3.1.3 数据标准.....	26
3.2 HLA 规则	27
3.2.1 联邦规则.....	27
3.2.2 联邦成员规则.....	28
3.3 HLA 对象模型模板	30
3.3.1 概述.....	30
3.3.2 对象模型鉴别表.....	31
3.3.3 对象类结构表.....	33
3.3.4 交互类结构表.....	36
3.3.5 属性表.....	38
3.3.6 参数表.....	43
3.3.7 属性表/参数表的子表	45
3.3.8 路径空间表.....	47
3.3.9 FOM/SOM 词典	49
3.4 HLA 接口规范	51
3.4.1 概述.....	51
3.4.2 联邦管理.....	54
3.4.3 声明管理.....	56
3.4.4 对象管理.....	58
3.4.5 所有权管理.....	59
3.4.6 时间管理.....	61
3.4.7 数据分发管理.....	64
参考文献	66

第4章 HLA 开发过程

4.1 联邦运行支撑环境.....	67
4.1.1 RTI 的作用	67
4.1.2 RTI 的体系结构模型	68
4.1.3 常用的 RTI 软件	68
4.2 联邦开发过程.....	69
4.2.1 定义联邦目标.....	70
4.2.2 开发联邦概念模型.....	70
4.2.3 设计联邦.....	70

4.2.4 开发联邦.....	71
4.2.5 集成和测试联邦.....	71
4.2.6 运行联邦并分析结果.....	71
4.3 HLA 程序设计基础	71
4.3.1 联邦执行生命周期.....	72
4.3.2 程序框架.....	72
参考文献	74

第5章 数据库系统

5.1 概述.....	75
5.1.1 数据库系统概述.....	75
5.1.2 数据库系统的组成.....	79
5.1.3 数据库技术的发展.....	80
5.2 关系数据库标准语言.....	87
5.2.1 SQL 概述	87
5.2.2 数据定义.....	88
5.2.3 数据查询.....	89
5.2.4 数据更新.....	91
5.2.5 数据控制.....	92
5.3 数据库设计.....	93
5.3.1 需求分析.....	94
5.3.2 概念模型设计.....	94
5.3.3 逻辑模型设计.....	94
5.3.4 数据库物理设计.....	95
5.3.5 数据库运行.....	95
5.3.6 数据库维护.....	95
5.4 数据库管理系统.....	96
5.4.1 Oracle 数据库管理系统	96
5.4.2 SQL Server 数据库管理系统	99
5.4.3 Access 数据库管理系统	103
参考文献.....	104

第6章 地理信息系统

6.1 GIS 的基本概念	106
6.1.1 GIS 的定义与内涵	106
6.1.2 GIS 的组成与分类	107
6.1.3 GIS 的基本功能	111
6.1.4 GIS 的应用	112
6.2 GIS 技术的发展	113
6.2.1 GIS 技术体系的发展	113

6.2.2	GIS的数据结构与数据模型发展	114
6.2.3	组件式地理信息系统	116
6.2.4	万维网/互联网地理信息系统	118
6.2.5	嵌入式/移动式地理信息系统	119
6.2.6	三维/虚拟现实地理信息系统	120
6.2.7	开放式地理信息系统	122
6.2.8	3S集成技术的发展	123
6.2.9	GIS与专家系统、神经网络结合	124
6.2.10	GIS的发展特点	124
6.3	常用的GIS软件	125
6.3.1	ArcGIS系列	126
6.3.2	MapInfo系列	127
6.3.3	SuperMap系列	131
6.3.4	MapGIS系列	133
6.3.5	GeoStar系列	136
	参考文献	140

第7章 三维视景仿真

7.1	基本概念	142
7.1.1	概念	142
7.1.2	分类	143
7.1.3	关键技术	143
7.1.4	应用	144
7.1.5	视景仿真系统的开发	144
7.2	三维几何建模	144
7.2.1	三维几何建模概述	144
7.2.2	三维建模原理	147
7.2.3	基于MultiGen/Creator的三维建模	149
7.3	常用仿真软件	160
7.3.1	OpenGL	160
7.3.2	OpenGL Performer	165
7.3.3	Vega和Vega Prime	172
7.3.4	其他软件简介	174
	参考文献	176

第8章 作战仿真

8.1	作战仿真概述	177
8.1.1	作战仿真的概念和分类	177
8.1.2	现代作战仿真的主要特点	178
8.1.3	作战仿真技术综述	179

8.2 计算机生成兵力技术	181
8.2.1 CGF 概述	181
8.2.2 CGF 的工作原理及体系结构	185
8.2.3 CGF 的建模技术	189
8.2.4 典型的 CGF 系统——ModSAF 系统	192
8.3 多分辨率建模技术	195
8.3.1 MRM 概述	195
8.3.2 MRM 常用的方法	198
8.3.3 MRM 的未来研究重点	202
8.4 主要作战仿真软件	204
8.4.1 Stage 作战仿真软件	204
8.4.2 MAK 公司系列软件	208
8.4.3 战术仿真开发环境(STRIVE)	213
参考文献	217

第9章 仿真系统的应用实例

9.1 战场通信业务生成系统设计与实现	219
9.1.1 系统体系结构	219
9.1.2 系统功能结构设计	220
9.1.3 系统接口设计	224
9.1.4 系统数据库设计	226
9.1.5 系统主要功能模块的实现	229
9.2 基于HLA的三维视景仿真系统	231
9.2.1 系统应用需求	231
9.2.2 系统设计目标	231
9.2.3 基于HLA的三维视景仿真系统结构设计	231
9.2.4 相关联邦成员的设计要求	232
9.2.5 三维视景仿真系统的设计与实现	233
参考文献	237

仿真技术是一门利用计算机并通过建立模型进行科学实验的技术。它具有经济、可靠、实用、安全、灵活、可多次重复使用的优点，已成为对系统进行分析、设计、试验和评估的有效方法，广泛应用于军事和非军事领域，并具有十分广阔的发展前景。

本章主要介绍系统、模型及仿真的基本概念，仿真的一般步骤，仿真技术的应用及发展。

1.1 仿真的概念

仿真与系统和模型有着密切的关系。系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真是通过对模型进行实验以达到研究系统的目的。为了对仿真建立起一个全面、系统的概念，下面就从系统和模型谈起。

1.1.1 系统

系统是由相互联系、相互制约、相互依存的若干部分结合在一起而形成的具有特定功能和运动规律的有机整体。

系统是一个被广泛使用的基本概念。在自然界和人类社会存在各种系统，有的由自然界和自然物组成，如星际系统、海洋系统和生物系统等；有的由人工制造的各种物体组成，如计算机系统、存储系统和光盘系统等。

系统的各个组成部分通常被称为子系统或分系统，而系统本身又是它所从属的更大系统的一个组成部分。例如，一个计算机的存储系统由内存、光盘和硬盘所组成，光盘是存储系统的一个子系统；而存储系统又是更大系统——计算机系统的一个组成部分。

系统的基本特征主要表现为系统的整体性和相关性。首先，系统是一个整体，它的各个组成部分是不可分割的。由内存、光盘和硬盘组合在一起构成的存储系统才能很好地满足用户对数据进行处理、保存和交换的目的。其次，系统各个部分之间以一定的规律相互联系，它们的特定关系形成了具有特定功能的系统。计算机内部需要高速处理的数据存放于内存系统，需要读入的大量数据从光盘系统读入，用户相互交换的文件可保存到软盘里，正是这种对不同特点的数据采取不同保存方式的灵活性，很好地满足了用户的需求。

对系统的研究主要包括：实体、属性和活动。

- ① 实体：组成系统的具体对象
- ② 属性：实体所具有的每一有效特征
- ③ 活动：系统内对象随时间推移而发生的状态变化

一些系统经常会受到外界因素变化的影响。例如，对生态系统的研究就需要考虑人类活动对它的外部影响。在建立系统模型时，要注意正确划分系统的边界。

建立系统概念的目的在于深入认识并掌握系统的运动规律，不仅要定性地了解系统，而且要定量地分析系统，从而比较准确地解决自然、社会和工程中的各种复杂问题。建立系统模型是实现定量分析系统的有效方法。

1.1.2 模型

模型是对客观事物的简化和抽象。模型实质是用某种形式来近似描述或模拟研究对象或过程。模型可以描述系统的本质和内在联系，通过对模型进行分析和研究，达到了解原系统的目的。模型的表达形式一般分为物理模型和数学模型。

1. 物理模型

物理模型是描述对象的物理再现，它的抽象级别最低。物理模型又分为实物模型和类比模型。

实物模型：根据相似性理论制造的按一定比例缩小或放大的实物。例如，风洞实验中的飞机模型、水力系统实验中的船舶模型等。

类比模型：用其他现象或过程来描述所研究的现象或过程，用模拟的性质来代表原来系统的性质。例如，用电流来模拟热流、流体的流动，用流体来模拟车流等。

2. 数学模型

数学模型是系统的本质特征的数学表达式，即用数学公式来描述所研究对象或系统的某一方面的规律。通过对系统数学模型的研究来揭示系统的内在规律。

数学模型包括原始系统数学模型和仿真系统数学模型。原始系统数学模型又包括概念模型和正规模型。概念模型是指用说明文字、框图、流程图和资料等形式对原始系统进行描述；正规模型是用符号和数学方程式来表示系统的模型，其中系统的属性用变量表示，系统的活动则用相互关联的变量之间的函数关系式来表示。

原始系统数学建模被称为一次建模。仿真系统数学模型是一种在计算机上进行运算和试验的模型，主要根据计算机的运算特点、仿真方式、计算方法和精度要求，将原始系统数学模型转换为能够用计算机进行程序设计的数学模型。仿真系统数学建模被称为二次建模。为叙述方便，将原始系统数学模型和仿真系统数学模型分别简称为数学模型和仿真模型。

通常，物理模型的造价昂贵而且制作时间长，而数学模型的建立和应用则比较方便和经济。因此，大多采用数学模型进行系统仿真研究。

1) 数学模型分类

通常将数学模型分为连续系统模型和离散事件系统模型。

(1) 连续系统模型

连续系统模型又可分为确定性模型和随机性模型。当系统有确定的输入时，由于受

到一些复杂因素的影响,使得输出是不确定的,这可用随机性模型来描述。当系统的输入是确定的且系统的输出也是确定的,这可用确定性模型来描述。常见的确定性模型主要有以下几种:

① 宏观数学模型和微观数学模型。如果系统在一个空间或一段时间内存在某种规律,根据这种规律建立的模型称为宏观模型。宏观模型常用积分式、积分方程、联立方程组来表示。如果系统在局部空间或瞬间存在某种规律,它反映了所研究系统的某种属性,这样得到的模型称为微观模型。微观模型通常用常微分方程和差分方程来描述。

② 线性数学模型和非线性数学模型。如果系统的输出随输入呈线性变化,即系统满足均匀性和叠加性,这种模型称为线性模型。不满足均匀性和叠加性的模型称为非线性模型。

③ 集中参数模型与分布参数模型。如果输入进入系统后,输入的激励几乎同时波及到系统的每一点,即激励只与时间有关,与系统点的位置无关,对此系统建立的模型称为集中参数模型。如果输入的激励要经过一段时间才能传播到系统的各点,激励不但是时间的函数还是系统各点位置的函数,对此系统建立的模型称为分布参数模型。集中参数模型用常微分方程表示,分布参数模型用偏微分方程表示。

④ 定常数学模型与时变数学模型。如果系统的参数均与时间无关,则该系统称为定常系统;如果系统的参数与时间有关,则该系统称为时变系统。定常系统主要用常系数微分方程和常系数差分方程来表示,时变系统主要用变系数的微分方程和变系数的差分方程来表示。

(2) 离散事件系统模型

离散事件系统模型,是指系统中的状态变量只在某些离散时刻发生变化的模型,一般用流程图、网络图或表格来表示。

① 时间离散系统模型。这种系统模型一般用差分方程、离散状态方程和脉冲传递函数来描述。系统实际上是连续的,由于只是在采样的时刻点上对系统进行研究,才构成了时间离散系统。各种数字控制器的模型均属于此类。

② 离散事件系统模型。这种系统模型用概率模型来描述。系统的输出不完全由输入作用的形式来描述,往往存在着多种可能的输出。这种系统是一个随机系统。例如,排队模型就是一个离散事件模型。排队现象在社会中广泛存在,如理发、就医、超市购物的付款等等。在这种系统的研究中主要有两种类型的活动,即实体到达和实体接受服务。一般情况下,实体到达和实体接受服务的事件都是不确定的,从而队列的长短也是随机的。

2) 数学建模方法

建立数学模型的方法一般有以下3种:

① 演绎法。通过定理、定义、公理及已经验证了的理论推演得出数学模型。这是最早的一种建模方法,它适用于内部结构和特性都很明确的系统。电路系统、力学系统等都可以采用演绎法来建立数学模型。

② 归纳法。通过对大量试验数据的分析和总结,归纳得出系统的数学模型。对那些内部结构不十分明确的系统,可以根据系统的输入/输出的测试数据来建立系统的数

学模型。

③ 混合法。综合使用演绎法和归纳法来建立数学模型。通常通过先验的知识确定系统模型的结构形式，再用归纳法来确定具体的参数。

最后，需要对建立的模型进行检验和修正，检验模型是否真实地反映系统，是否满足精度要求等。不断对模型进行检验和修正，直到满足各项要求。

1.1.3 仿真

1961 年，G.W.Morgenthater 首次对“仿真”进行了技术性定义，即“在实际系统尚不存在的情况下对系统或活动本质的实现”。1984 年 Oren 在给出了仿真的基本概念框架“建模—实验—分析”的基础上，提出了“仿真是一种基于模型的活动”的定义，被认为是现代仿真技术的一个重要概念。随着科学技术的不断发展，“仿真”的定义不断地得到完善。尽管“仿真”有众多不同的定义，但“仿真基于模型”这一基本观点是共同的。

系统、模型和仿真三者之间有着密切的关系。系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真则是通过对模型进行实验以达到研究系统的目的。

从以上的分析可以看出，系统仿真实质上包括了 3 个基本要素：系统、模型和计算机。联系这 3 个要素的基本活动是：系统建模、仿真建模和仿真实验。这些关系如图 1-1 所示。

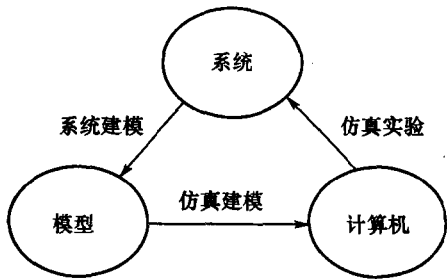


图1-1 仿真三要素及3项基本活动

综合国内外仿真学者对系统仿真的定义，可对系统仿真做出如下的定义：

系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等基础之上，以计算机和其他专用物理效应设备为工具，利用模型对真实的或假象的系统进行实验，并借助专家经验知识、统计数据和信息资料对试验结果进行分析和研究，进而做出决策的一门综合性和试验性学科。

上述定义中的计算技术，除了包含通常意义下的计算理论和技术，还包括现代运筹学的绝大部分内容。

“模拟”是一个与“仿真”意思相近的词，它们都译自英文的 Simulation。一般来说，早期称模拟的多，近期称仿真的多；俄译称模拟的多，英译称仿真的多；在我国军界称模拟的多；民用称仿真的多；侧重技能训练的称模拟，侧重系统环境的称仿真。现在的趋势是，越来越多地将 Simulation 翻译为“仿真”。

1.2 仿真的分类

依据不同的分类标准，可对仿真进行不同的分类。

1. 根据计算机分类

按照仿真所使用的计算机类型，可将仿真分为：模拟计算机仿真、数字模拟混合仿真和数字计算机仿真。

模拟计算机是由运算放大器组成的模拟计算装置，包括运算器、控制器、模拟结果输出设备和电源等。模拟计算机的基本运算部件有加（减）法器、积分器、乘法器、函数器和其他非线性部件。这些运算部件的输入/输出都是随时间连续变化的模拟量，故称为模拟计算机。

模拟计算机仿真是将数学模型在模拟计算机上实现并进行的试验。实际系统中的物理量，如距离、速度、角度和质量等，都用按一定比例变化的电压来表示，实际系统某一物理量随时间变化的关系和模拟计算机上与该物理量对应的电压随时间变化的关系是相似的。因此，原系统的数学方程和模拟机上的排题方程是相似的。只要原系统能用微分方程、代数方程描述，就可以在模拟计算机上求解。模拟计算机是 20 世纪 50 年代到 60 年代普遍采用的仿真设备。

20 世纪 60 年代到 70 年代，在数字计算机技术还处于较低水平时，产生了数字模拟混合仿真。数字模拟混合仿真是将系统模型分为两部分，其中一部分放在模拟计算机上运行，另一部分放在数字计算机上运行，两个计算机之间利用模数和数模装置交换信息。

随着数字计算机技术的发展，计算机的计算速度和并行处理能力不断提高，模拟计算机仿真和数字模拟混合仿真逐步被数字计算机仿真取代。数字计算机仿真是将系统数学模型用计算机程序加以实现，通过运行程序得到数学模型的解，从而达到系统仿真的目的。今天的计算机仿真一般指的就是数字计算机仿真。

2. 根据模型分类

根据模型的种类不同，可将仿真分为：物理仿真、数学仿真和半实物仿真。

物理仿真是按照真实系统的物理性质构造系统的物理模型，并在物理模型上进行试验的过程。物理仿真的优点是直观和形象。在计算机问世以前，基本上是物理仿真，也称为“模型”。物理仿真的缺点是：模型难以改变，实验限制多，投资较大。

数学仿真是对实际系统进行抽象，建立系统的数学模型，并在数学模型上进行实验的过程。计算机技术的发展为数学仿真创造了良好的环境，使其成为一种方便、灵活和经济的试验手段，因而数学仿真也称为计算机仿真。数学仿真的缺点是：系统仿真过分依赖于系统建模，而有些系统的建模是困难的。

半实物仿真是将数学模型与物理模型或实物相结合进行试验的过程。半实物仿真对系统中比较简单的部分或对其规律比较清楚的部分建立数学模型，并在计算机上加以实现；对比较复杂的部分或对其规律尚不清楚的部分，则直接采用物理模型

或实物。

3. 根据仿真时间分类

现实世界中的时钟称为实际时钟，而系统仿真时所采用的时钟称为仿真时钟。根据仿真时钟与实际时钟之间的关系，可将系统仿真分为：实时仿真、亚实时仿真和超实时仿真。

实时仿真：仿真时钟与实际时钟完全一致，即模型仿真的速度与实际系统运行的速度相同。包含物理模型或实物的仿真系统，通常都采用实时仿真。例如，各种训练仿真器一般都采用实时仿真。

亚实时仿真：仿真时钟慢于实际时钟，即模型仿真的速度慢于实际系统运行的速度。例如，对原子弹爆炸的仿真就可以采用亚实时仿真，以便计算机有足够的时间计算出爆炸瞬间的各种复杂模型。

超实时仿真：仿真时钟快于实际时钟，即模型仿真的速度快于实际系统运行的速度。例如，作战仿真往往采用超实时仿真，以便在较短的时间内研究一个持续时间较长的战斗。

1.3 仿真的一般步骤

仿真的一般步骤围绕仿真的 3 项基本活动展开，主要是系统建模、仿真建模和仿真实验。系统仿真的一般步骤可用图 1-2 来描述。

① 系统建模。仿真是基于模型的活动，所以首先要针对实际系统建立模型。通常，根据系统试验知识、仿真目的和试验资料来确定系统数学模型的框架、结构和参数。模型的繁简程度应与仿真目的相匹配。要确保模型的有效性和仿真的经济性。

② 仿真建模。根据数学模型的形式、计算机的类型以及仿真目的将数学模型转变成仿真模型，建立仿真试验框架。要进行模型变换正确性校核。

③ 程序设计。将仿真模型用计算机程序来描述。程序中包括了仿真试验的要求，如仿真运行参数、控制参数和输出要求等。早期的仿真往往采用高级语言编写。随着仿真技术的发展，适合不同需要的仿真语言被开发出来，从而减轻了程序设计的工作量。

④ 试验。根据仿真目的，在计算机上对模型进行试验。

⑤ 结果分析。根据试验要求，对结果进行分析、整理和文档记录。根据分析的结果修正数学模型、仿真模型和仿真程序，重新进行试验。

以上，我们仅仅对仿真的主要步骤做了简要说明，在实际的系统仿真过程中，上述的每一个步骤往往需要多次反复地进行。

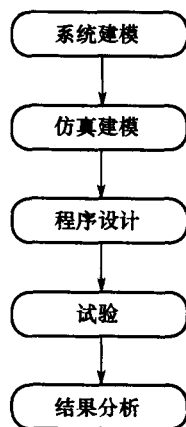


图1-2 系统仿真的一般步骤

1.4 仿真技术的应用



系统仿真由于其突出的特点，为仿真应用奠定了良好的基础。系统仿真的特点主要表现在：不管系统是否存在，均可通过建立模型研究系统；能够将实物接入仿真系统，使仿真系统更加贴近实际；系统仿真试验具有良好的可控性、无破坏性、可多次重复、经济、安全、不受气象条件和场地环境的限制；系统仿真的实时性，使实时系统的仿真应用成为可能。

系统仿真技术是分析、研究各类系统的一种有力工具和手段，目前已被广泛应用于几乎所有的科学技术领域。仿真技术可应用于军事、能源、水利、交通、工业、农业、经济、管理、教育、训练等领域，也可应用于产品研制的方案论证、设计分析、生产制造、试验评估、运行维护、人员训练的全过程。

本节仅从军事领域对仿真技术的应用做一简要介绍。

传统的武器系统研制周期长、试验次数多、耗资大；传统的军事训练需要投入大量的人力、物力和财力，而且重复困难，甚至可能造成人员意外伤亡。现代仿真技术的应用为武器系统的研制和军事训练带来了一场新的革命。

系统仿真技术通过网络技术将分散在各地的人在回路中的仿真器（Simulators）、计算机生成的兵力（Computer Generated Forces, CGF）以及其他设备连接为一个整体，形成一个可以在时间和空间上互相耦合的虚拟战场合成环境，参与者可以自由地交互作用。这样，各用户（包括武器装备的研制部门、采购部门、训练部门和军事使用部门）可在合成环境中根据需要综合应用各种仿真手段进行演习、训练和试验，鉴定现有的和研制中的武器装备的性能、战术部署和后勤保障。它使过去主要依靠野战演习完成的工作将来可以在室内利用计算机、仿真器和人工合成的虚拟环境进行。

仿真技术具有可控性、无破坏性、安全、可多次重复和经济性等特点，在武器系统研制、军事训练等方面有明显的优势。在武器系统研制方面，计算机交互仿真技术有助于缩短研制周期、减少研制经费。例如，在新武器研制计划开始之前，可利用基于现代仿真技术的分布仿真系统检验武器系统的设计方案和战术技术指标，避免过去在研制计划开始以后经常出现的修改设计、拖延时间的现象。

在军事训练方面，利用仿真器产生动态的、直观的环境，配合仿真的地形、烟雾和“敌人”的武器装备，使部队能够进行生动逼真的空战和坦克交战等军事演习。同传统的实物演习相比，采用分布仿真系统进行军事训练有如下优点：一是节省费用，无需动用大量人员、装备和弹药进行野战演习，可节省大笔开支。二是有助于保持部队的高水平战备状态，无需消耗大量人力、物力和占用大面积场地，可反复进行多次演练，有利于部队熟练掌握新式武器装备的使用和新战术的运用。而且，演习的全过程都可以记录下来，便于及时发现和解决问题。三是可避免因实战演习可能造成的人员意外伤亡、武器装备损耗和环境污染。

此外，在军事理论研究、战法研究和后勤保障等方面，仿真技术也有着广泛的应用。