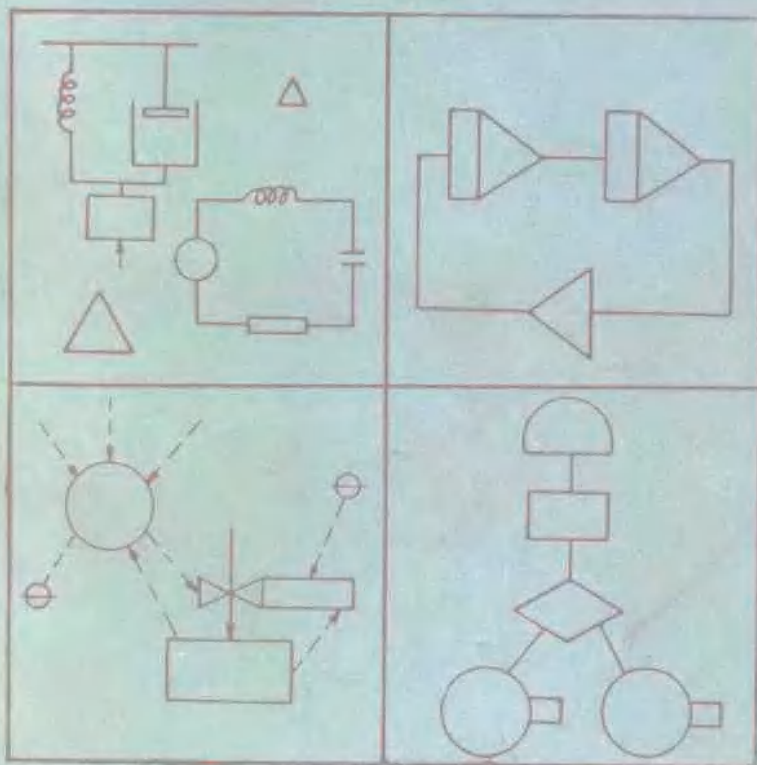


系统仿真技术

王正中 编著



科学出版社

TP371.9
WZZ/1

系统仿真技术

王正中 编著



504207
科学出版社

1986

内 容 简 介

本书系统介绍仿真技术, 重点放在计算机仿真方法及应用方面, 全书共十四章, 按内容划分为六个部分。第一章是概论, 重点介绍仿真方法学的一些基本论题; 第二、三、四章介绍模拟计算机及模拟仿真方法; 第五、六、七章介绍连续系统数字仿真方法, 仿真语言及系统动力学仿真; 第八章至第十一章介绍混合计算机系统及混合仿真方法; 第十二章介绍并行处理的全数字仿真技术; 第十三章及第十四章介绍离散(事件)系统仿真方法及仿真语言。

本书可供从事控制工程、系统工程、系统仿真方面工作的工程技术人员、科研工作者以及大专院校教师和研究生的参考。

JS360/15

系 统 仿 真 技 术

王正中 编著
责任编辑 李淑兰

科学出版社出版
北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年4月第1版	开本: 787×1092 1/32
1986年4月第1次印刷	印张: 12 3/8 插页: 2
印数: 2 000—4, 000	字数: 325, 000

统一书号: 15031·223
半部书号: 1565-13-0
定价: 3.80 元

前 言

仿真就是建立系统模型并进行模型实验。仿真方法的研究与应用已有很长的历史。早期的仿真主要是物理仿真,如用于建筑、船舶、飞机等设计中的比例仿真。现代仿真技术则是与计算机的发展密切相关。五十年代计算机仿真的主要工具是模拟计算机,六十年代发展了混合计算机仿真系统及数字仿真语言,系统仿真技术被广泛应用于航空、空间、核能及工业过程控制等许多领域,以进行系统分析、系统设计、分系统测试、系统功能实验及操作训练。近十年来,系统仿真技术的发展具有两个特点,即应用领域的扩大和工具的改进。在应用方面,系统仿真技术被推广应用于社会、经济、生物等非工程领域,以进行系统的预测及运筹控制的研究。在仿真工具方面,面向用户的高效能的仿真语言以及基于并行处理原理的全数字仿真系统,有了引人注目的发展,对于建立统一的仿真方法学的研究已引起了学术界的重视。

作者在编著本书的过程中,力图反映现代仿真技术的变化与发展,并把重点放在仿真方法及应用技术方面。

本书内容较多,涉及面较广,不可能在每个方面都更深入地进行讨论。同时,由于作者的水平所限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

在编写本书的过程中,北京航空学院文传源教授给予了热情的指导并阅读了全书。中国科技大学的胡忠超同志对本书的出版给予了具体的帮助。在此谨致谢忱。

1985年

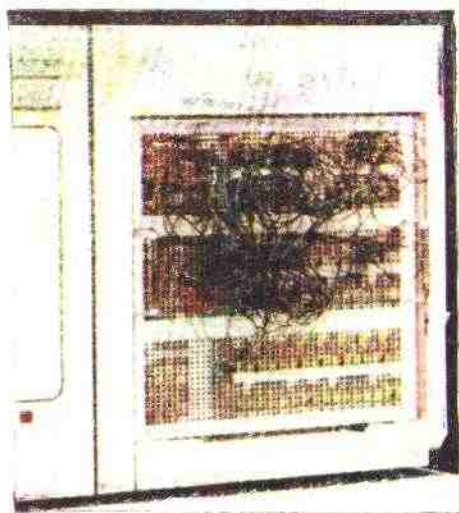


图 2.23 可移动式模拟拼题板



图 1.5 模型试验水槽中的船体比例模型

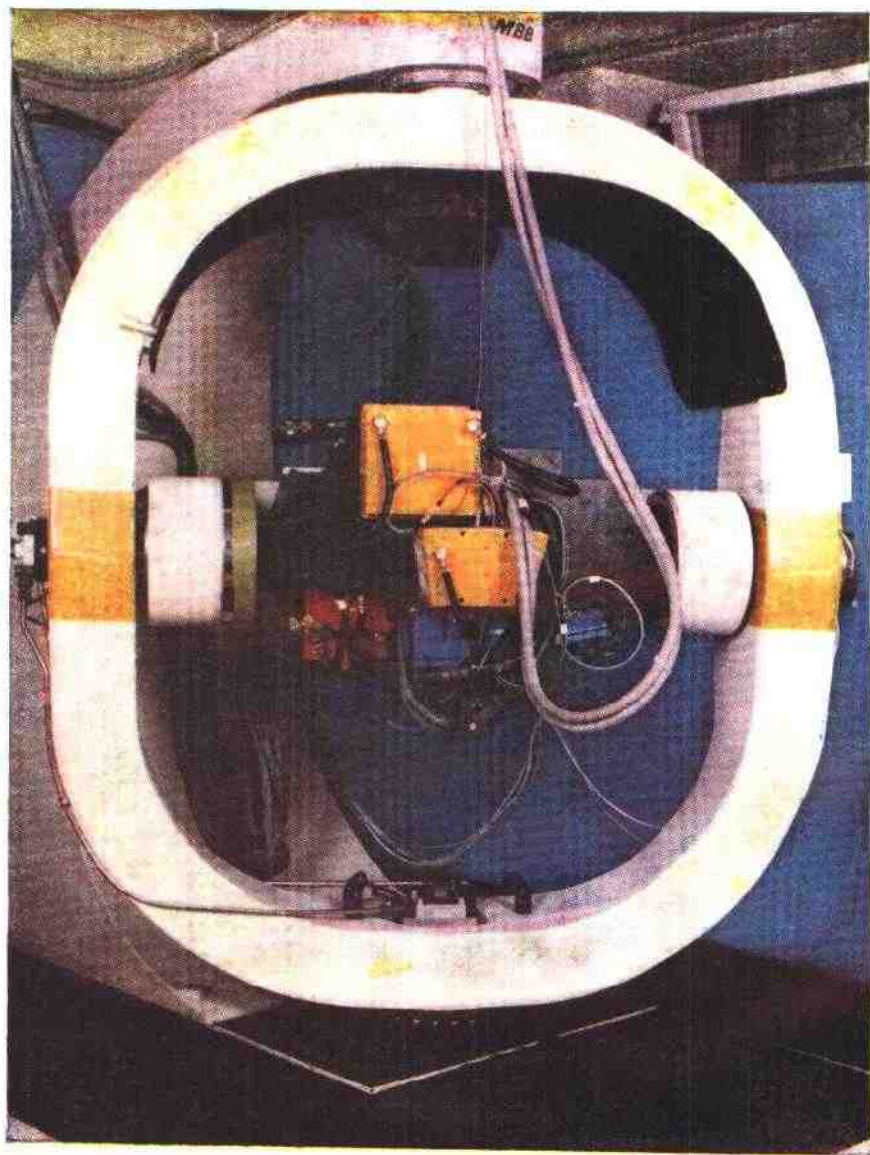


图 1-6 二自由度飞行运动仿真器



图 1.9 混合计算机

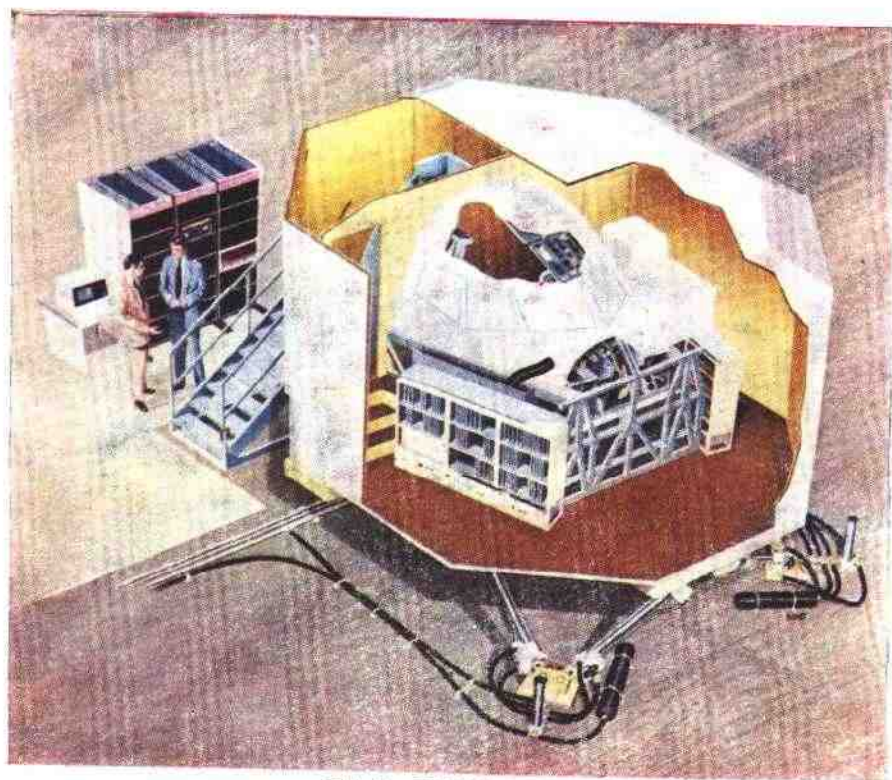


图 1.22 飞行训练仿真器



海淀走读 0021628

目 录

前言

第一章 系统仿真	1
1.1 系统、模型、仿真	1
1.2 模型建立 (数学仿真)	6
1.3 计算机仿真方法	10
1.4 系统仿真的应用	18
第二章 模拟计算机	23
2.1 低速模拟计算机	22
2.2 基本运算部件	24
2.3 计算机系统	43
2.4 混合模拟计算机	47
第三章 连续动态系统的模拟仿真方法	56
3.1 微分方程描述的系统, 幅值及时间比例尺	58
3.2 非线性微分方程描述的系统	67
3.3 传递函数描述的系统	69
3.4 状态方程描述的系统	75
3.5 分布参数系统仿真	79
3.6 模拟仿真方法的典型应用	83
第四章 模拟仿真中的寻优技术	94
4.1 参数寻优问题	94
4.2 迭代寻优方法	101
4.3 步距的选择和结果的判断	111
4.4 随机过程的统计寻优	115
4.5 最优控制——函数寻优问题	117
第五章 连续系统的数字仿真方法	119
5.1 数字仿真的基本原理	119

5.2	仿真算法及仿真模型的建立	120
5.3	仿真模型误差和稳定性问题的一般性讨论	131
5.4	仿真算法的选择和比较	132
5.5	连续动态系统仿真程序和程序包	134
5.6	实时仿真	142
第六章	连续系统仿真语言及应用	145
6.1	述评	145
6.2	CSMP 语言简介	148
6.3	CSMP 语言的应用	152
6.4	连续系统仿真语言 CSSL	160
6.5	一种基于 BASIC 语言的简易仿真语言 SBASIC	171
第七章	工程及非工程系统动力学数字仿真	176
7.1	工程控制系统的动力学仿真	176
7.2	系统动力学及其基本模型	180
7.3	系统动力学框图	186
7.4	社会经济系统	194
7.5	生物系统	197
7.6	世界动力学系统	199
7.7	DYNAMO 语言	201
第八章	混合计算机系统	207
8.1	混合计算机硬件	207
8.2	混合计算机软件	215
8.3	结合式混合计算机系统 (HYSHARE)	236
第九章	HAP-2/DJS-106 混合计算系统	244
9.1	HAP-2 的用途和基本功能	244
9.2	HAP-2 的规模、部件配置和特性	245
9.3	控制系统	248
9.4	系统的界面操作	250
9.5	混合操作软件 HYBASIC	257
9.6	应用举例	262

第十章 混合计算系统的误差分析	273
10.1 误差分析	273
10.2 误差类型	274
10.3 时延误差及其对采样频率的限制, 预测补偿方法	275
10.4 采样、再现误差及其对采样频率的限制	280
10.5 量化误差	284
10.6 多路扫描器及分配器引入的误差	285
第十一章 混合仿真模型的频域研究方法	287
11.1 z 变换	287
11.2 用 z 变换求差分方程	289
11.3 数值积分公式的 z 变换	290
11.4 s 平面和 z 平面的转换	292
11.5 采用数值积分求解一阶微分方程的 z 变换分析	295
11.6 采用数值积分求解二阶微分方程的 z 变换分析	297
第十二章 并行处理及仿真	301
12.1 计算机与仿真	301
12.2 并行处理原理	302
12.3 并行处理系统	306
12.4 并行仿真算法	313
12.5 SYSTEM-10 及 SYSTEM-10 + PLUS	327
第十三章 离散(事件)系统的数字仿真方法	339
13.1 概述	339
13.2 离散(事件)系统仿真中概率的概念	340
13.3 离散(事件)系统仿真模型的建立	342
13.4 到达模式、服务过程及排队规则	346
13.5 离散(事件)系统的仿真程序	350
13.6 时间的表示	355

13.7	仿真中任意分布随机数的产生方法	355
13.8	仿真结果的处理及产生报告	361
第十四章	离散(事件)系统仿真语言	366
14.1	概述	366
14.2	通用仿真系统语言 GPSS	367
14.3	离散系统仿真语言 SIMSCRIPT	375
参考文献		385

第一章 系统仿真

1.1 系统、模型、仿真

系统仿真就是建立系统的模型并在模型上进行实验。

这里所指的系统是广义的。系统是指相互联系又相互作用着的对象之间的有机组合。这种比较概括的含义包含所有工程的及非工程的系统。电气、机械、机电、水力、声学、热系统都属于工程系统。经济、社会、交通、管理、生物系统都属于非工程系统。

图 1.1 所示的飞机自动驾驶系统是工程的系统。

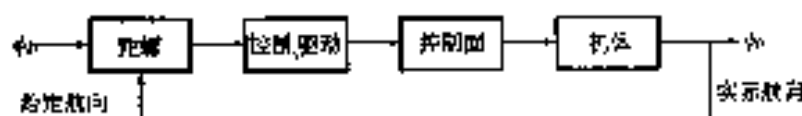


图 1.1 飞机自动驾驶系统

图 1.2 所示的工厂系统是非工程的系统。



图 1.2 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；

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。

对于一个飞机自动驾驶系统，系统的实体是机体、控制面、舵

螺仪及控制器。它的属性是航向、速度、控制面角度、陀螺仪及控制特性等。它的活动则是对控制面的驱动及机体对控制面运动的响应。对于工厂系统、系统的实体是部门、部件、定单、产品。它的属性是部件类型、定单数量、各部门的设备数量。它的活动则是各个部门的加工过程。

研究系统需要研究系统的实体、属性和它的活动,还需要研究系统的环境。

世界上的一切事物都是相互联系和相互影响的,例如飞机的运动受到空气阻力的影响,空气阻力是和大气密度有关的,而空气

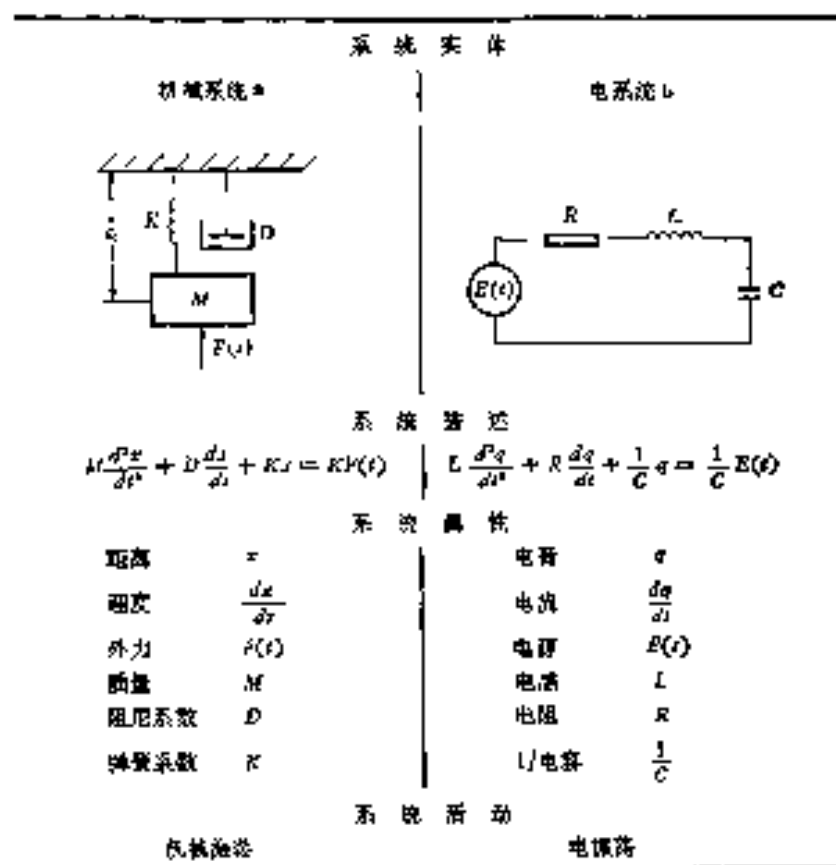


图 1.3 机械系统 * 与电系统 * 互为相似机电

密度又是飞行高度的函数,所以在研究飞机运动时,高度这个环境因素是必须考虑的。

研究系统首先需要描述清楚所研究系统的实体、属性、活动及环境。因为系统的概念不仅与实体有关,而且与研究者的目的及观点有关。一架飞机在研究自动驾驶时,可以看成是一个系统,但它在空中交通管理系统中,⁷则仅仅是一个子系统。同一架飞机可以用于研究自动驾驶的控制过程,也可以用于空气阻力和结构强度的研究。因此一个系统,只有在对实体、属性、活动、环境作了明确的描述后,这个系统才是确定的,才可能去考虑系统模型的建立。

系统研究包括系统分析、系统综合及系统预测。

模型是系统本质方面的表达,它以各种可用的形式(数学或物理的)提供被研究系统的信息,它具有与系统相似的数学描述或物理属性。

例如,建立在数学描述相似基础上的模型:一个由质量、弹簧、阻尼器组成的机械系统^a和一个由电阻、电感和电容组成的电路系统^b。它们具有相似的数学描述并在参数上一一对应,它们的活动都具有振荡的特性。如图 1.3 所示。

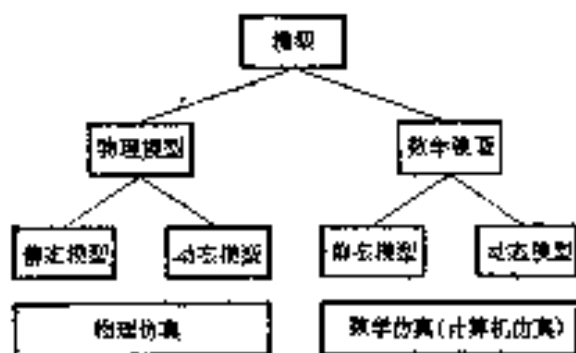


图 1.4 模型分类的一种方法

因此,系统^b可以认为是系统^a的一种模型。在电路^a上进行实验,若比例尺选择适当,其过程可以用来研究机械系统^b的特

性和品质。这称为相似仿真。由于模型的类型不同，仿真方法也不相同。模型分类的一种方法如下(见图 1.4)。

物理模型与系统之间具有相似的物理属性，它常常是一种专用仿真器。静态的物理模型最常见的是比例模型，如用于风洞实验中的飞机比例模型及试验水槽中的船体比例模型，见图 1.5(附书后)。动态物理模型如飞行器姿态运动仿真中的三自由度飞行运动仿真器，见图 1.6(附书后)。在物理模型上进行实验称之物理仿真。

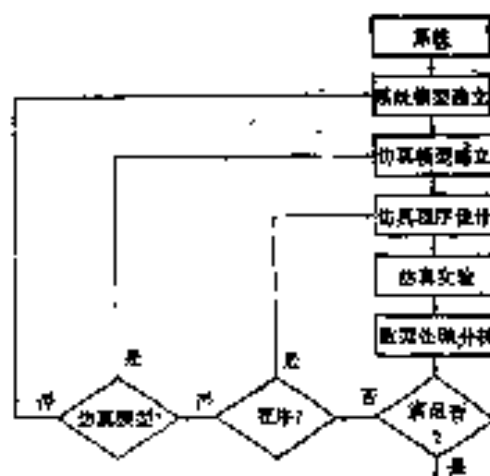


图 1.7 计算机仿真程序流程图

数学模型是对研究系统的数学描述。简单的数学模型的研究，可以采用分析的方法。对于复杂的数学模型，则采用仿真的方法进行研究。即在计算机上构成计算机模型（仿真模型）进行实验。计算机为模型的建立和实验提供了巨大的灵活性和方便。它实际上是一个“活的数学模型”，在计算机上进行仿真实验称之数学仿真。计算机仿真过程的程序如图 1.7 所示。

数学仿真即计算机仿真的三个基本要素是：系统、模型、计算机。联系着它们的有三个基本的活动：模型建立、仿真模型建立、仿真实验（运行），见图 1.8。

模型建立反映了系统和模型间的关系。它的主要任务是通过

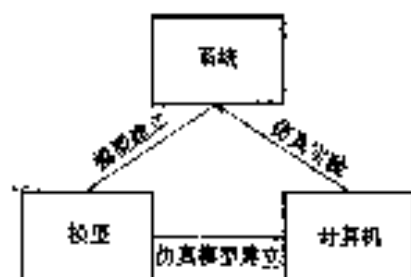


图 1.8 计算机仿真三要素及它们之间的关系

对系统的观测，辨识一个实际系统以建立系统的模型。在模型建立过程中，由于对次要因素的影响和某些不可观测变量的忽略，因而实际模型常常是一个被简化了的模型。

仿真模型的建立反映了系统模型(简化模型)和计算机间的关系。它的主要任务是要设计一种算法，以便使系统模型能为计算机接受并能在计算机上运行。显然，由于算法设计上存在着的误差，仿真模型对于实际系统将是一个二次简化模型。

仿真实验是对模型的运转。对于模型运转需要设计一个合理的，方便的服务于系统研究的实验程序和软件。

系统仿真技术实质上就是建立仿真模型并进行仿真实验的技术。

在某些系统研究中，还把计算机仿真模型和物理模型以及实物联合在一起运转，称之为数学-物理仿真或半物理仿真。一般将仿真分为三级：

软件级——数学仿真(一级)

软件/硬件级——半物理仿真(二级)

硬件级——物理仿真(三级)

现代仿真技术的发展是与计算机的应用和发展紧密联系的。四十年代末期，第一台模拟计算机被用于三自由度飞机系统的仿真。五十年代末期到六十年代，由于宇航系统研究的需要，发展了混合计算机系统(将数字计算机和模拟计算机联合在一起工作)，如图 1.9(附书后)所示。最近十年，由于数字计算机速度的提高