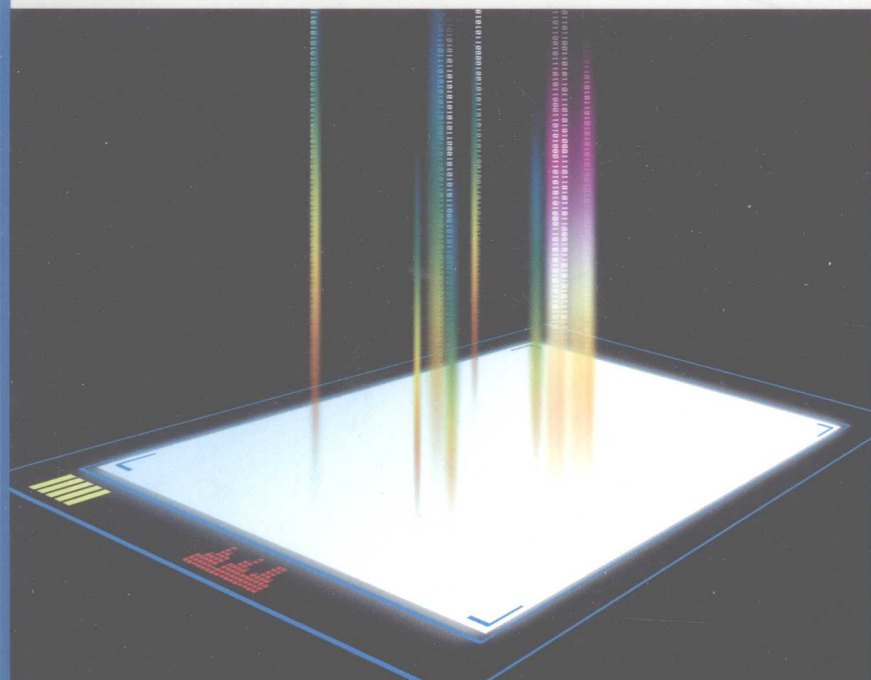
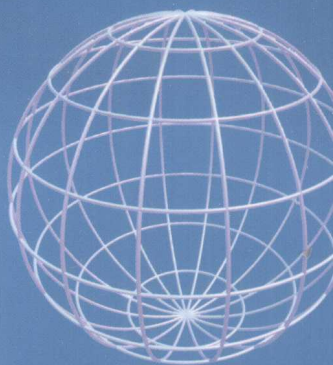




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机仿真技术 及 CAD

郝丽娜 刘兴刚 编著



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机仿真技术 及CAD

郝丽娜 刘兴刚 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,在着重介绍计算机仿真基本理论、方法和技术的基础上,以多领域的仿真需求为牵引,深入浅出地论述计算机仿真应用系统的开发过程,旨在培养学生运用计算机仿真技术解决实际问题的能力。主要内容包括计算机仿真技术的基本概念,计算机仿真涉及的主要技术,仿真建模方法,连续系统和离散事件系统的计算机仿真,仿真与建模的校核、验证和验收,以及先进仿真技术;同时讲述了连续系统、离散事件系统、协同仿真、模型库和运输调度仿真系统的开发工具以及应用实例。

本书可作为高等学校本、专科学生计算机仿真技术课程教材或学习参考书,其丰富的开发实例可作为研究生和工程技术人员开发计算机仿真应用系统的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

计算机仿真技术及CAD/郝丽娜,刘兴刚编著. —北京:
高等教育出版社,2009.7

ISBN 978-7-04-026639-9

I. 计… II. ①郝…②刘… III. ①计算机仿真-高等学
校-教材②计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. TP391.9
TP391.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第077730号

策划编辑	韩颖	责任编辑	许海平	封面设计	于涛	责任绘图	吴文信
版式设计	王莹	责任校对	姜国萍	责任印制	尤静		

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 人民教育出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 27
字数 610 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2009年7月第1版
印次 2009年7月第1次印刷
定价 34.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26639-00

前 言

计算机仿真技术是本、专科院校信息类、工程类专业的专业基础课,也是各个领域解决实际问题的应用科学和实用技术。作为一门实践性很强的课程,其培养目标应在讲授计算机仿真技术的基本理论和方法的同时,培养学生运用计算机仿真技术解决工程实际问题的能力。

虽然目前介绍计算机仿真技术的教材很多,但多数是面向信息类专业的,有些是针对自动控制专业的专用教材,这些教材主要讲述 MATLAB 在控制领域的应用。本书力图提供适用范围较大,能较全面地介绍计算机仿真技术及其工程应用的教材。

本书结合教学和科研的体会,经过多次试用和修正,以及仿真应用实例的不断更新和扩充,最终得以完善,使本书具有基础性、综合性、实用性和先进性等特点。基础性和综合性集中反映于仿真基础和仿真技术的讲解。实用性和先进性体现在仿真工具和仿真实例的介绍。本书附有仿真实例的源代码,可从高等教育出版社网站上下载。

本书由东北大学郝丽娜、刘兴刚担任主编,负责全书的规划和统稿。参加本书编写的主要人员有东北大学罗小川、林明秀、陈文林,中国科学院金属研究所李金国,宝钢集团宝钢分公司赵会平,沈阳工业大学吴伟、向青春。具体分工是:第1章由吴伟编写;第2章由刘兴刚和郝丽娜编写;第3、9章由林明秀和陈文林编写;第4章由罗小川编写;第5章由向青春编写;第6章由郝丽娜和罗小川编写;第7章由郝丽娜编写;第8章由刘兴刚编写;第10章由刘兴刚和罗小川编写;第11章由赵会平和吴伟编写。研究生程军、周逸然、再现宾、李智、刘丹、陈伟、孙广庭、李天适和本科生刘鸿智,完成了部分章节的资料录入、插图绘制和程序调试。书中部分内容的编写参照了有关文献,恕不一一列举,在此谨对书后所有参考文献的作者表示衷心的感谢,这里凝聚了国内外各位前辈和同仁们的耕耘与奉献!

在本书内容的取舍、编写和定稿过程中,东北大学的薛定宇教授、北京航空航天大学刘金琨教授提出了大量宝贵意见,并对全书进行了仔细、全面的审阅。此外,华东理工大学吴胜昔,辽宁大学韩映辉参加了部分章节的资料收集;宝钢集团研究院周坚刚和李山青两位首席专家,对仿真实例的统稿和编写工作提出了许多建设性意见,在此一并表示最诚挚的谢意!

最后,特别感谢恩师东北大学信息学院徐心和教授在本书的申请、规划到最终定稿的整个过程所给予的指导和鞭策,本书浸透着徐老多年的心血和智慧。也感谢东北大学信息学院人工智能与机器人研究所和机械学院机械电子工程研究所的各位同事。另外,在本书编写过程中,也得到了东北大学材料成形与控制工程研究所所长张国志、丁桦教授的鼓励 and 大力支持。本书能作为“十一五”国家级规划教材顺利出版,得益于高等教育出版社的督促和协助,在此一并致以谢忱!

II 前言

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请各位专家、同行和读者批评指正，联系信箱：haolina@me.neu.edu.cn。

编者

2009 年 2 月

目 录

第 1 章 计算机仿真技术概述	1
1.1 计算机仿真的概念	1
1.1.1 系统、模型和仿真	1
1.1.2 计算机仿真的特点	6
1.1.3 计算机仿真的过程 与步骤	7
1.2 计算机仿真的分类	9
1.3 计算机仿真涉及的主要技术	12
1.3.1 计算机硬件技术	12
1.3.2 计算机软件技术	14
1.3.3 仿真数据库技术	15
1.3.4 仿真模型库技术	16
1.3.5 数据预处理技术	16
1.3.6 可视化技术	17
1.4 计算机仿真的应用	17
1.4.1 在系统分析中的应用	18
1.4.2 在系统设计中的应用	18
1.4.3 作为系统观测器	18
1.4.4 作为系统预测器	19
1.4.5 作为系统训练器	19
1.5 计算机仿真技术发展趋势	19
1.5.1 仿真技术的新进展	19
1.5.2 仿真技术的发展趋势	22
练习题	23
第 2 章 数学建模方法	24
2.1 系统建模的基本要求	24
2.2 数学模型的分类	24
2.3 系统数学模型的作用	26
2.4 系统模型的可信性	26
2.5 系统建模的途径与应用	27
2.5.1 机理建模方法	27
2.5.2 经验建模方法	30
2.5.3 数据建模方法	31
2.5.4 神经网络建模	47
2.6 常用的数学模型	62
2.6.1 线性连续系统常用的数学 模型	62
2.6.2 线性离散时间系统常用的 数学模型	69
2.6.3 线性离散时间系统模 型转换	70
2.7 连续系统数学模型的实例	71
练习题	80
第 3 章 连续系统的数值仿真算法 ...	81
3.1 微分方程数值解的基本思想	81
3.1.1 微分方程的离散化	81
3.1.2 微分方程的递推化	82
3.2 连续系统数值积分法的 基本原理	82
3.3 单步数值积分法	84
3.3.1 欧拉法	84
3.3.2 改进欧拉法	88
3.3.3 数值积分法的几个基本 概念	90
3.3.4 龙格-库塔(RK 积分)法	92
3.4 线性多步法	97
3.4.1 线性多步法公式的泰勒级数 展开法导出	98
3.4.2 线性多步法公式的数值积分 法导出	101

3.5 数值积分法稳定性分析	105	4.5 输入数据分析	151
3.5.1 数值解法稳定性的含义	105	4.5.1 分布类型的辨识	151
3.5.2 数值解法稳定性的分析	106	4.5.2 分布参数估计	152
3.5.3 数值算法中的“病态” 问题	108	4.6 仿真的输出分析	154
3.6 数值积分法的选择与计算 步距的确定	108	4.6.1 终态仿真与稳态仿真	154
3.6.1 数值积分方法的选择因素	108	4.6.2 终态系统的输出分析	154
3.6.2 积分步长的确定	109	4.6.3 稳态仿真的输出分析	156
3.6.3 计算机仿真主流程	110	4.7 离散事件系统仿真举例	157
3.7 数值积分法的 MATLAB 函数	110	练习题	175
3.8 离散相似法	113	第 5 章 建模与仿真的 VV&A	177
3.8.1 离散相似法基本原理	113	5.1 引言	177
3.8.2 离散相似法的步骤	117	5.2 建模与仿真的 VV&A	177
练习题	119	5.2.1 VV&A 的概念	177
第 4 章 离散事件系统的建 模与仿真	120	5.2.2 VV&A 的基本原则	178
4.1 离散事件系统仿真概述	120	5.2.3 VV&A 的工作过程	179
4.1.1 离散事件系统仿真的基 本要素	121	5.2.4 模型文档	180
4.1.2 离散事件系统仿真原理	123	5.3 模型校核方法	182
4.1.3 离散事件系统仿真的一 般步骤	124	5.4 仿真模型验证的主要技术 方法	183
4.2 离散事件系统的建模方法	126	5.4.1 可用于模型验证的软件验 证方法	183
4.2.1 实体流程法	126	5.4.2 模型验证的常用方法介绍	184
4.2.2 Petri 网法	127	5.5 仿真可信度	186
4.3 离散事件系统的仿真方法	137	5.5.1 仿真可信度的概念	186
4.3.1 事件调度法的原理	140	5.5.2 模型/数据对仿真可信度 的影响	187
4.3.2 事件调度法的仿真策略	140	5.5.3 仿真算法对仿真可信度的 影响	187
4.3.3 事件例程举例	141	5.5.4 仿真可信度与 VV&A 的 关系	187
4.3.4 队列系统的仿真	141	第 6 章 先进仿真技术	189
4.4 随机数与随机变量	145	6.1 分布式仿真	189
4.4.1 随机数的产生	145	6.1.1 分布式仿真的概念	189
4.4.2 随机变量的产生	147	6.1.2 分布式仿真协议	190

6.1.3 分布式仿真的发展及相关技术	191	7.2.2 Simulink 常用模块集介绍	232
6.2 协同仿真	194	7.3 Simulink 模型的建立	232
6.2.1 协同思想的由来	194	7.4 Simulink 中的基本操作	233
6.2.2 协同仿真的概念	195	7.5 Simulink 系统仿真环境的设置	236
6.2.3 协同仿真的应用和开发	196	7.6 S 函数模块及其应用	242
6.3 虚拟现实	197	7.6.1 S 函数概述	242
6.3.1 虚拟现实的概念	197	7.6.2 用 MATLAB 语言编写 S 函数的方法	243
6.3.2 虚拟现实的基本特征	199	7.6.3 用 C 语言编写 S 函数的方法	244
6.3.3 虚拟现实系统的构成与分类	200	7.6.4 S 函数的有关概念	245
6.3.4 虚拟现实的建模技术	201	7.6.5 S 函数举例	247
6.3.5 虚拟现实技术的研究基础	203	7.7 系统设计实例	250
6.3.6 虚拟现实的发展	204	7.8 VC 与 MATLAB 混合编程	255
6.3.7 虚拟现实技术的应用	206	7.8.1 MATLAB 与 VC 混合编程的实现方法	255
6.3.8 可视化工具 VTK	208	7.8.2 振动控制工具箱函数在 VC 中的调用	258
6.4 半实物仿真与 dSPACE 实时仿真系统	213	练习题	268
6.4.1 dSPACE 的开发流程	214	第 8 章 离散系统仿真 CAD 及应用	269
6.4.2 dSPACE 系统特点	215	8.1 离散事件系统仿真语言	269
6.4.3 dSPACE 软件环境介绍	216	8.2 GPSS 及 GPSS/H 离散仿真工具与应用	269
6.5 MATLAB 实时仿真工具	216	8.2.1 GPSS 仿真语言概述	269
6.5.1 Real-Time Workshop 仿真原理与功能	217	8.2.2 GPSS 的语言元素	272
6.5.2 Simulink 环境下的实时仿真与实时控制	218	8.2.3 GPSS 的基本模块及其定义语句	273
练习题	222	8.2.4 GPSS/H 的标准输出报告	278
第 7 章 MATLAB 与连续系统仿真	224	8.2.5 GPSS/H 应用示例——自选商场购物模型	281
7.1 MATLAB 语言简介	224	8.2.6 GPSS 应用示例——家电维修部模型	285
7.1.1 MEX 文件	224	8.3 ProModel 软件与应用	287
7.1.2 MAT 文件	225	8.3.1 ProModel 软件简介	287
7.1.3 编译器简介	225		
7.2 Simulink 功能介绍	225		
7.2.1 Simulink 常用模块组介绍	226		

8.3.2 ProModel 的基本仿真元素	288	10.3 冷连轧仿真模型库系	
8.3.3 ProModel 建模仿真的步骤	289	统功能设计	360
8.3.4 ProModel 软件的安装	290	10.3.1 系统功能结构	360
8.3.5 ProModel 模块	291	10.3.2 系统数据结构	361
8.3.6 ProModel 软件的基本操作	291	10.4 冷连轧仿真模型库系统	
8.3.7 ProModel 基本建模元素的		软件体系结构设计	361
创建	296	10.4.1 面向对象的软件层次化	
8.4 ProModel 仿真应用实例	299	模块化体系结构	361
8.4.1 ATM 系统	299	10.4.2 运用可重用技术的动态	
8.4.2 理发店仿真实例	302	仿真系统	363
8.4.3 家具厂仿真实例	307	10.5 冷连轧仿真模型库系	
8.4.4 堵塞问题仿真	313	统的软件实现	365
8.5 ProModel 的输出模块	315	10.5.1 仿真系统硬件组成	365
练习题	322	10.5.2 仿真平台	366
第 9 章 机械系统协同仿真 CAD		10.5.3 领域模型库的开发	375
及应用	324	10.6 冷连轧仿真模型库系	
9.1 仿真软件环境与接口实现	324	统应用评价	379
9.1.1 仿真环境简介	325	第 11 章 铁水运输调度智能仿	
9.1.2 接口实现	328	真系统	381
9.1.3 利用 ADAMS 和 MATLAB		11.1 铁水运输调度系统概述	381
进行联合仿真	328	11.2 仿真需求分析	382
9.2 天线系统的协同仿真	329	11.3 研究内容及实施方案	382
9.2.1 仿真要求	329	11.3.1 研究内容	382
9.2.2 主要步骤及仿真结果	329	11.3.2 实施方案	384
9.3 仿生腿设计中的协同仿真	343	11.4 仿真系统的软件设计与	
9.3.1 构造 ADAMS 机械系		实现	385
统样机模型	344	11.4.1 仿真系统的组成及框架	
9.3.2 控制系统建模	346	结构	385
9.3.3 协同仿真分析	350	11.4.2 仿真系统的 Petri 网建模	387
9.4 协同仿真中的注意事项	353	11.4.3 仿真系统的调度机制	392
练习题	354	11.4.4 仿真系统的功能模块	
第 10 章 冷连轧仿真模型库系统	355	设计	393
10.1 冷连轧系统概述	355	11.4.5 仿真系统的数据结构	
10.2 冷连轧仿真模型库需求		设计	403
分析	359	11.4.6 运行环境和开发工具	406
		11.4.7 人工干预过程的实现	407

11.5 仿真结果及分析	411
11.5.1 仿真条件设定	411
11.5.2 仿真方案的确定	412
11.5.3 仿真系统性能指标统计	

及分析	413
11.6 仿真系统综合评价	417
参考文献	418

第1章 计算机仿真技术概述

计算机仿真是分析和研究系统运行行为、揭示系统动态过程和运动规律的一种重要手段和方法。随着系统科学、控制理论、计算技术、计算机科学与技术的深入发展,计算机仿真技术打破了各学科之间固有的界限,改变了科学的疆域,已发展成为一门新兴的学科。据最新统计资料表明,计算机仿真技术是当前应用最广泛的实用性技术之一。研究和应用计算机仿真技术已经成为各行各业的一种战略选择。以美国为代表的西方发达国家,更是高度重视计算机仿真技术的发展和运用,将其提升到“服务于国家利益的关键技术”的高度。

关于计算机仿真技术的概念,有多种定义形式。总体认为:计算机仿真技术是以计算机为工具,以相似原理、系统技术、控制理论、信息处理技术以及各种相关领域技术为基础,以计算机和其他专用物理效应设备为工具,根据系统试验目的,建立系统模型,并在不同的条件下,对模型进行动态运行试验的一门综合性技术。随着计算机硬件性能的提高、软件功能的日臻完善、离散数学算法稳定性的改善以及各种仿真模型和验证方法准确性的提高,计算机仿真的有效性得到认可,也使计算机仿真的广度、深度和精度在社会各个领域获得了极大拓展。这门技术所涵盖的内容日益广泛,同时,各种 CAD(Computer Aided design 计算机辅助设计)软件也门类繁多,如何更好地利用先进的仿真技术与 CAD 软件为不同领域的科技工作者服务?掌握计算机仿真基本理论就是实现这一目标的第一步。本章从计算机仿真的概念、分类、应用、相关技术和发展趋势等方面引领大家步入该领域。

1.1 计算机仿真的概念

1.1.1 系统、模型和仿真

1.1.1.1 系统

1. 系统的定义

仿真领域的多样化使得它所处理的对象千差万别,合理地描述对象是计算机仿真的基础。同样的对象也会有不同的描述,这个对象的描述过程就是系统的建立过程。那么如何定义系统呢?系统是一个内涵十分广泛的通用概念,它是计算机仿真研究的对象,通常认为它是由相互联系、相互制约、相互依存的若干组成部分(要素)结合在一起形成的具有特定功能和作用规律的有机整体。下面以典型的机电一体化系统为例,详细地加以论述。

典型的自主移动机器人小车是由 CPU 模块、供电模块、控制模块、执行模块、接口电路等构成。CPU 模块的核心部分是 PC 机,其主要任务就是通过并行 I/O 接口接收外部模块送来

的信息, 对其进行运算, 输出控制信号, 用以控制机器人驱动系统, 以及协调各模块之间的合理工作。供电模块主要指机器人系统的电源, 其主要作用是对直流电动机提供驱动电压(模拟电压)及对整个机器人小车系统提供逻辑电压。控制模块又可分为编码器模块和驱动模块, 编码器模块的主要作用是为 PC 机提供计数脉冲、电动机旋转方向信号、为 PID 控制回路提供反馈信息, 从而保证电动机在系统要求的状态下运行; 驱动模块的作用是将 CPU 发来的 PWM 信号转换成模拟电压, 驱动直流电动机运转。执行模块主要指由直流电动机、车轮、齿轮组组成的运动执行部件。接口电路的作用是和外部输入/输出设备相连。从该例中可知, 机器人小车系统包括多个子系统, 每个子系统又可以拆分成若干个小系统。对于同一个研究对象, 根据研究目标的不同, 系统的描述不尽相同。

作为一个通用概念, 系统在现代科学研究和工程实践中扮演着重要的角色, 不同领域的事物都可以用系统来概括, 不同学科的问题都可以用系统的框架来解决。但一个系统究竟是由什么构成的, 这取决于观测者的观点。例如, 一个系统可以是由一些电子部件组成的放大器, 或者是一个可能包括该放大器在内的控制回路。系统一般应具有以下重要性质: 整体性、相关性、有序性、动态性和目的性。

系统的整体性指系统作为一个整体, 各部分是统一不可分割的。就好像人体, 它由头、躯干、四肢等多个部分组成, 如果把这些部分拆开, 就不能构成完整的人体。至于人们熟悉的自动控制系统, 其基本组成部分, 如控制对象、测量元件、控制器等, 同样缺一不可。整体性是系统的第一特性。

系统的相关性是指系统内部各部分之间存在一定规律的相互依存关系, 它们之间的特定关系形成了具有特定性能的系统。有时系统各要素之间的关系并不是简单的线性关系, 而是纷繁复杂的非线性关系。也正是由于这种非线性关系, 才构成了五彩缤纷的现实世界。相关性是系统的第二特性, 也是目前系统研究的主要问题。

系统还具有有序性和动态性。比如, 生命是一种高度有序的结构, 它所具有的复杂功能组织与现代化大工业生产线非常相似, 是一种结构上的有序性, 这一点对任何系统都是适用的。如果一个非平衡系统需要经过状态 A 和 B 才能到达 C, 那么对状态 C 的解释就必定暗含着对状态 A 和 B 的了解, 这便是系统的动态性。

系统还应具有目的性。一个自然存在的系统, 或人工设计的系统, 都有其固有的目的。系统的目的性表现在两个方面: 一是系统要完成特定的基本功能; 二是系统完成基本功能的过程是最优的。

尽管世界上的系统千差万别, 但都可以用系统的“三要素”来描述, 即实体、属性和活动。实体描述了组成系统的具体要素(对象)。例如, 自主机器人系统是由驱动、决策和传感器等几部分实体组成的。速度控制部分可看成是一个子系统, 它是由调速装置、直流电动机、光电码盘、指令控制器等实体组成的一个有机整体。

实体可分为永久性或固定的实体和临时性或流动的实体两类。在系统中只存在一段时间的实体称为临时实体, 永久性地驻留在系统中的实体称为永久实体。例如, 在超市服务系统中,

服务员(或服务台)为永久性或固定的实体,而接受服务的顾客为临时性或流动的实体。

属性是对系统实体的性能和特征的变量描述。如调速系统中的转速就是描述直流电动机这个实体的一个属性。活动则定义了系统内部实体之间的相互作用,从而确定了系统内部状态发生变化的一种过程或行为。比如,在超市服务系统中顾客接受服务就是一项活动。表1-1-1所示为几个系统的实例。

表 1-1-1 几个系统的实例

系 统	实 体	属 性	活 动
交通系统	汽车 驾驶员 道路	速度、距离 年龄、性别 路况	驾驶
银行系统	存折 出纳员 储户	存款额、余额 账户 年龄	储蓄
超市购物	顾客 服务员 商品	购物单 货物 价格	选购 付账

定义系统时,还要确定系统边界。边界确定了系统的范围,取决于系统研究的目的。在系统边界之外,对系统有影响的外界因素定义为环境。边界以外的环境对系统的作用就是所描述系统的输入。系统对边界以外的环境的作用定义为系统的输出。它们之间的关系如图1-1-1所示。

例如,一个系统可以由许多控制回路组成的化学处理装置,或者是一些装置组成的一个工厂,或者是一些工厂的联合作业形成的工程系统,而世界经济就是这个系统的环境。

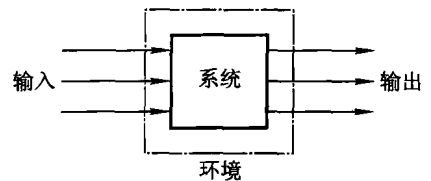


图 1-1-1 系统边界概念图

2. 系统的分类

(1) 以系统的物理特征为依据,通常可以将其分成工程系统和非工程系统两大类。工程系统是指人们为了满足某种需要或某个预定的功能,采用某种手段构造的系统,如电气系统、机械系统、化工系统和热工系统等;非工程系统是指在自然和社会的发展过程中,通过长期的生产劳动和社会实践,被人们逐步认识的系统,如管理系统、生态系统、社会系统和经济系统等。

(2) 以系统的状态随时间变化为依据,通常可以将其分成连续系统和离散系统。系统状态随时间连续且光滑变化的系统称为连续系统,通常可用微分方程来描述其状态变化。系统状态的变化只发生在一系列离散时间点上的系统称为离散系统。离散系统可分为时间离散系统和离散事件系统。时间离散系统指系统状态连续变化,但离散采样,仅研究采样点的输出,其动态

特性一般可用差分方程来描述。由于系统状态是连续变化的,因此也可把它归于连续系统的范畴。离散事件系统指系统状态变化只发生在一系列离散的时间点上,且导致状态改变的事件往往是随机的。其数学模型一般很难用数学方程描述,而用流程图或网络图表示。离散事件系统广泛存在于人们的日常生活中,如银行服务系统、订票系统、库存系统、加工制造系统、交通控制系统、计算机系统等。

(3) 按照对系统内部特性的了解程度,把系统分为白箱系统、黑箱系统和灰箱系统。白箱系统是指内部特性全部已知的系统;黑箱系统是指内部特性完全未知的系统,它是对系统进行行为水平的描述。建模方法是将所研究的系统看成一个黑箱,并且对它施加一个输入信号,然后观测其输出信号。灰箱系统是内部特性部分已知、部分未知的系统。

(4) 按照系统的物理结构和数学性质,可分为线性系统和非线性系统,定常系统和时变系统,集中参数系统和分布参数系统,单输入单输出系统和多输入多输出系统。线性系统具有叠加性和齐次性,叠加性体现在当线性系统的输入信号可以分解为多个输入的叠加时,其输出响应也等于这些输入信号单独作用时响应的叠加;齐次性指系统输入信号放大常数 n 倍时,系统的输出响应也放大为原输出响应的 n 倍。不具备上述特性的系统为非线性系统。定常系统可以用常系数微分方程描述,时变系统可以用系数为时间函数的微分方程描述。集中参数系统指系统可以用有限个状态来描述,例如,用微分方程描述;分布参数系统不能用有限个状态来描述,例如,用偏微分方程描述。

(5) 按照系统内部子系统的关联关系,系统又分为简单系统和复杂系统。简单系统是指组成系统的子系统数量较少,它们之间的关系比较简单,或尽管子系统数量多,但它们之间的关联关系比较简单。复杂系统最主要的特征是系统具有众多的状态变量,反馈结构复杂,输入与输出之间呈现非线性特征。

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,还要定量地分析和综合系统,以便能比较准确地解决工程、社会和自然世界中存在的种种复杂问题。定量地分析、综合系统最有效的方法是建立系统模型,并使用高效的数值计算工具和算法对系统的模型进行求解。

1.1.1.2 模型

从经济性、安全性和实现的难易程度等方面考虑,人们通常不会直接在一个实际的系统上进行试验研究,而往往先建立对应于该系统的模型,通过对模型的深入研究,从中抽取系统的基本性能测度。例如,在设计阶段,由于未建立真实系统,不可能在真实系统上进行试验,而且使用真实系统试验时间太长,造价太高,风险较大,试验后无法复原,浪费巨大资源和费用。比如,系统控制器的设计和制造,设计者将新设计的控制器直接应用于真实系统,很可能由于控制方法不合理,导致原有的机械设备损坏,成本大幅度提高。由于上述几种因素,人们通常更多地将试验在系统模型上进行。

系统模型本质上是对实际系统属性和变化规律的一种定量抽象,是人们认识事物的一种方法。首先,模型必须是现实系统或拟建系统的一种抽象,它是在一定假设条件下对系统的简

化。其次,模型中必须包含系统中的主要因素,模型不一定与实际系统做到一一对应,但应当包含那些决定系统本质属性的重要因素。第三,为了进行定量分析,模型中必须反映出各主要因素之间的逻辑和数学关系,即模型必须对系统具有代表性。所以,模型是建模者根据建模目的,按照相似原理,对于实际系统的科学抽象与简化描述。在计算机仿真中常将模型按其性质分为物理模型、数学模型和仿真模型。

物理模型主要基于相似性原理对系统进行模拟,是按照真实系统的物理性质构造系统的模型,与实际系统有相似的物理性质。系统行为通过模型的物理性质、规律来反映的模型称为动态物理模型。例如,机器人姿态运动仿真的六自由度姿态模拟就属于动态物理模型。另一类物理模型是静态物理模型,它是直接将所研究对象的形式按比例进行放大或缩小的处理。如实际系统的缩小(或放大)、样机模型等。

根据真实系统中变化量之间的数学关系构造系统的模型称为系统的数学模型(本书以下简称数学模型)。通过对数学模型的研究可以揭示系统的内在运动规律和动态性能。常用的数学模型描述方法有函数、方程、图和表等形式。对于接近“白箱”的动力学系统,如电子电路系统、空间系统及过程控制系统,主要是用常微分方程来描述;而接近“灰箱”的空气污染系统、水文液动系统,则主要是用偏微分方程来描述;接近“黑箱”的经济系统、社会系统等,由于数据量少,目前常采用离散时间的差分方程形式来加以描述。

数学模型按建立的方法又分为机理模型、统计模型和混合模型。机理模型是采用演绎方法,运用已知的物理定律,以推理方法建立的数学模型;统计模型则是采用归纳法,根据大量实测或观察的数据,用数理统计的方法和规律估计的系统模型;混合模型是理论上的逻辑推理和实验观测数据的统计分析相结合建立的模型。按所描述的系统运动特性和运用的数学工具特征,数学模型可分类为线性、非线性、时变、定常、连续、离散、集中参数、分布参数、确定、随机等系统模型。

仿真模型,又叫仿真数学模型,是一种可以在计算机上进行运算和试验的模型。借以对真实系统进行数值模拟。仿真模型多数通过模型的转换,将数学方法描述的模型通过各种适当的算法和计算机语言转换成为计算机能够处理和运行、由一组相关的程序和数据组成的形式,即为计算机仿真建模过程中的二次建模。这个过程是进行计算机仿真的关键。

1.1.1.3 仿真

随着信息技术和计算机技术的发展,“仿真”的概念得以不断发展和完善。明确而清晰地定义“仿真”概念是十分困难的。“仿真”一词译自英文 Simulation,曾用的译名是“模拟”。1961年 G. W. Morgenthaler 首次对“仿真”一词作了技术性的解释,认为“仿真”是指在实际系统尚不存在的情况下对系统或活动本质的复现。简单地说,仿真就是运用计算机技术对某个实际系统进行模拟分析的过程,通过这种模拟来达到对实际系统的分析和理解。仿真的另一个典型的技术定义是 Korn 在 1978 年所做的定义:仿真是用能代表所研究系统的模型进行的实验活动。Spriet 进一步将仿真的概念和内涵加以扩充,定义为:所有支持模型建立与模型分析的活动即为仿真活动。Oren 在 1984 年给出了仿真的基本概念框架——“建模-实验-分析”,

在此基础上,提出了现代仿真技术的重要概念——“仿真是一种基于模型的实验活动”,即用模型对系统进行试验研究的过程。由此可以看出,系统、模型和仿真三者之间存在着极为密切的联系。系统是仿真研究的对象,模型是系统的抽象和数学描述,仿真是通过模型的实验对系统进行的研究活动。

由于对系统进行的仿真几乎全部是在计算机平台上完成的,因此,系统仿真即为计算机仿真。计算机仿真又称计算机模拟或计算机实验。所谓计算机仿真是指在实体尚不存在或者不宜在实体上进行实验的情况下,先对考察对象建模,用数学方程式表达出其物理特性,然后编制计算机程序,并通过计算机运算出考察对象在系统参数以及内外环境条件改变的情况下,其主要参数如何变化,达到全面了解和掌握考察对象特性的目的。综上所述,计算机仿真有三要素,即系统、模型和计算机,三要素之间的联系纽带是计算机仿真的三个基本活动:系统建模、仿真建模和仿真试验,它们之间的关系如图1-1-2所示。

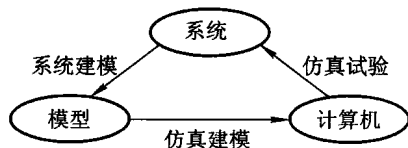


图 1-1-2 计算机仿真的三要素及三项基本活动

系统建模就是建立系统的数学模型,用数学语言来描述系统行为子集的特性。将建立的系统模型转化为可以模拟实际系统中各元件之间的关联关系,并可在计算机上运行的程序单元(即为仿真模型),这个过程就是仿真建模。仿真试验就是根据已知条件和已知数据运行仿真模型,得出相应的仿真结果。

1.1.2 计算机仿真的特点

(1) 安全性 仿真技术在应用上的安全性是其被重用的最主要原因。航空、航天、武器系统、核电站及潜艇等一直是仿真技术应用的最主要领域,其广泛采用仿真技术来设计这类系统及培训这类系统的操作人员。

(2) 经济性 仿真技术在应用上的经济性也是其被采用的十分重要的因素。几乎所有大型的发展项目,如阿波罗登月计划、战略防御系统、计算机集成制造系统都十分重视仿真技术的应用。这是因为这些项目投资极大,风险较高,而仿真技术的应用可以用较小的投资换取风险上的大幅降低。

(3) 可重复性 由于计算机仿真运行的是系统的模型,在模型确定的情况下,稳定的系统输入条件,可以复现某一仿真过程。这样可以在稳定的实验条件下对系统进行重复的研究,也可以通过过程复现培养受训人员的反应处理能力,提高训练效果。如飞行模拟器、电厂仿真器训练中的故障功能设置等。

(4) 模型形式不拘一格 根据仿真建模方法的不同,计算机仿真的模型形式既可以用数学符号表示的解析模型,又可以用图、表形式来描述,还可以是数据建模得到的神经网络等形式。模型的描述形式随系统的特性而不同。

(5) 模型参数可任意调整 模型参数可根据要求通过计算机程序随时进行调整、修改或

补充,使人们能够掌握各种可能的仿真结果,为进一步完善研究方案提供了极大的方便。

(6) 系统模型快速求解 借助于先进的计算机系统,人们在较短时间内就能知道仿真运算的结果(数据或图像),从而为人们的实践活动提供强有力的指导。这是通常的数学模型方法所无法实现的。

(7) 实物仿真形象直观 把仿真模型、计算机系统和物理模型及实物联结在一起的实物仿真(有些还同时是实时仿真),形象直观,状态逼真,因而在一些工程技术领域如宇宙航行、核电站控制等发挥了独特的作用。

1.1.3 计算机仿真的过程与步骤

计算机仿真是用模型对系统进行试验研究的综合性技术,对于系统来说,任何一个局部的或整体的仿真都是一个系统工程,其研究过程根据研究目标和任务的不同而简繁有别,而对于一个复杂系统或综合系统的总体仿真研究则是一个难度很大的工程。计算机仿真的主要工作有:计算机仿真试验总体方案的设计;仿真系统的集成;仿真试验规范和标准的制定;各类模型的建立、校核、验证和确认;仿真系统的可靠性和精确度分析与评估;仿真结果的认可和置信度的分析等,涉及面非常广泛。为了使仿真试验顺利达到预期的目标和效果,必须参照软件工程的要求来设计和开发仿真系统。由于仿真系统的研制是为特定目的而进行的,是为分析和研究实际系统搭建的平台,所以,复杂的仿真系统需要开发者和用户共同参与。因此,从这个意义上讲,计算机仿真过程应包括以下三个阶段:

1.1.3.1 建模阶段

在这一阶段,通常需要按结构组成把系统分成多个子系统,分别建立各个子系统的数学模型,并将这些数学模型转换为仿真模型,对其进行初步校验,然后根据系统的结构和组成,将子系统的模型集成为全系统的仿真模型。数学模型是系统的一次近似模型,仿真模型则是系统的二次近似模型。

1.1.3.2 模型试验阶段

在这一阶段,首先要根据试验目的制定试验计划和试验大纲,然后在计划和大纲的指导下,设计计算机仿真的流程,确定实际系统可控、可测的变量,设置相应的测量点,并选定合适的测量仪表和数据存储方式,之后转入仿真模型的运行,进行仿真试验,记录相应的仿真结果。

1.1.3.3 结果分析阶段

结果分析在仿真过程中占有举足轻重的地位。这一阶段中,需要对试验数据进行去粗取精、去伪存真的科学分析,并根据分析结果做出正确的判断和决策。由于试验的结果反映的是仿真模型系统的行为,这种行为能否代表实际系统的行为,往往要由仿真用户或者熟悉系统领域的专家来判定。如果判定为是,则转入文档处理,否则,返回建模和模型试验阶段查找原因,修改模型的参数甚至结构,或者检查试验流程和试验方法,然后再进行试验,如此反复,直至得到满意的仿真结果。