

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
信息管理与信息系统

离散事件系统建模仿真 及GPSSWorld教程

谢毅 缪亚萍 著

清华大学出版社



高等学校教材
信息管理与信息系统

离散事件系统建模仿真 及GPSSWorld教程

谢毅 缪亚萍 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教程比较详细地介绍了离散事件系统建模仿真的理论方法和 GPSSWorld 仿真语言,旨在使读者对离散事件系统建模仿真的理论方法和技术有较为深入的理解,并能用 GPSSWorld 进行建模仿真以解决管理工作中的实际问题。

本教程分 3 部分共 6 章。第一部分包括第 1 章和第 2 章,主要介绍了离散事件系统建模仿真的基本概念、理论方法和算法实现;第二部分包括第 3 章至第 5 章,重点介绍了 GPSSWorld 仿真语言,讲解了编写 GPSSWorld 仿真程序的一些方法和技巧;第三部分即第 6 章,以作者的科研工作作为应用实例介绍了基于 GPSSWorld 的工作流建模仿真。

本教程可作为高等院校信息管理与信息系统、工业工程、电子商务、物流管理等专业师生的参考教材和教学参考书,也可作为研究生和相关工程技术人员的参考用书。

本教程在清华大学出版社的网站上提供了电子课件和所有课后习题的参考答案,可供参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

离散事件系统建模仿真及 GPSSWorld 教程/谢毅等著. —北京:清华大学出版社,2011.3
(高等学校教材·信息管理与信息系统)

ISBN 978-7-302-24364-9

I. ①离… II. ①谢… III. ①离散系统(自动化)—系统仿真 ②仿真语言 IV. ①TP391.9
②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 239199 号

责任编辑:魏江江 李 晔

责任校对:焦丽丽

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.25 字 数:292 千字

版 次:2011 年 3 月第 1 版 印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

产品编号:033745-01

出版说明

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色

精品教材包括：

- (1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。
- (6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

系统仿真科学与技术已广泛地应用于管理、经济、工业、农业、军事、能源、交通、通信、商业、生物、医疗、卫生、文化娱乐等领域,是一种具有很强实用性的技术。实际中大量的系统都属于离散事件系统,离散事件系统一般都具有很强的随机性、动态性和复杂性,通常很难用数学方程形式加以描述,也很难得到系统动态过程的解析表达。经典的概率及数理统计、随机过程理论虽然为研究离散事件系统提供了理论基础,并能对一些简单的系统提供解析解,但对实际中大量的系统,只有依靠计算机仿真技术才能提供较为完整的结果,因此仿真也是研究这类系统最重要、最有效的方法。

目前信息管理与信息系统、工业工程、电子商务、物流管理等许多专业开设了“系统建模与仿真”、“系统模型与模拟”或“管理系统仿真”等课程,需要相应的参考教材和参考资料。

仿真软件/语言可以划分为3类:第一类是通用编程语言,如C、C++和Java等。第二类是仿真编程语言,如GPSS/H、SIMAN V和SLAM II等;第三类是仿真环境,如Arena、Witness、Flexsim、Anylogic等;第一类到第三类仿真软件/语言,从建模的效率和易学易用程度来说依次提高,但从通用型、适用性和灵活性以及教学角度,对于帮助学生理解仿真基本原理、方法和算法机制实现的作用来说依次降低。GPSSWorld是在GPSS语言的基础上推出的基于Windows平台的可视化仿真集成平台。一方面,GPSSWorld保留了GPSS的所有特征,具有第二类仿真语言的特点,有较强的通用型、适用性和灵活性,得到了广泛的应用,把它作为一种仿真软件/语言的学习,也有助于学生进一步了解离散事件系统仿真的基本原理和方法,非常适合教学;另一方面,GPSSWorld也适应了仿真语言向图形化、集成化、一体化的仿真建模环境发展的趋势,具有第三类仿真环境的特点,进一步提高了仿真建模的效率,易学易用。然而,目前还没有一本较为详细地介绍GPSSWorld的教程。仅有的一本有关GPSSWorld的教程(王明亮著,GPSSWorld模拟仿真系统实验教程)是面向操作实验的。

基于以上背景分析,结合作者及其团队近10年本科教学和科研工作,在“系统模型与模拟”、“系统建模与仿真”、“管理仿真”等课程原讲义的基础上,参考了GPSSWorld系统参考指南和国内外相关教材,由浙江工商大学谢毅、缪亚萍老师编写了本教程。

本教程分3部分共6章。第一部分包括第1章和第2章,主要介绍了离散事件系统建模仿真的基本概念、理论方法和算法实现;第二部分包括第3章至第5章,重点介绍了GPSSWorld仿真软件/语言,讲解了编写GPSSWorld仿真程序的一些技巧和方法;第三部分即第6章,以作者的科研工作作为应用实例介绍了基于GPSSWorld的工作流建模仿真。

本教程具有以下两个特色:

(1) 体系结构合理、内容详略得当,既有概念、理论、方法的论述,又有软件语言和实际应用案例研究的介绍,相得益彰。

(2) 实例和例题丰富,紧密结合实例和例题来讲解离散事件系统仿真的基本理论、方法

和 GPSSWorld 语言的使用,讲解由浅入深,实例由简单到复杂,符合认识规律。

本教程可作为信息管理与信息系统、工业工程、电子商务、物流管理等专业师生的参考教材和教学参考书,也可作为研究生和相关工程技术人员的参考用书。

董祥祥、沈艳、张磊、鲍虎光、尹梓邴、楼铁莹等同学参与完成了本教程的部分校订工作,在此对他们做出的贡献表示感谢。

由于作者的知识和水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

本教程得到浙江省育才工程项目的资助,在此特别表示感谢!

编 者

2011 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 系统、模型与仿真	1
1.1.1 系统	1
1.1.2 模型	3
1.1.3 仿真	5
1.2 仿真的分类	7
1.3 计算机仿真的特点和作用	9
1.4 计算机仿真的基本步骤	10
1.5 计算机仿真的应用与发展	11
1.5.1 计算机仿真的应用	11
1.5.2 计算机仿真的发展	13
1.6 计算机仿真软件的分类	15
习题	16
第 2 章 离散事件系统建模仿真基本原理和方法	17
2.1 离散事件系统建模仿真的基本术语	17
2.1.1 描述系统结构模型的基本术语	17
2.1.2 描述系统仿真模型的基本术语	20
2.2 离散事件系统图形化建模方法	22
2.2.1 实体流图法	22
2.2.2 活动周期图法	25
2.2.3 实体流程图与活动周期图的比较	31
2.3 离散事件系统的仿真策略	31
2.3.1 事件调度法	32
2.3.2 活动扫描法	35
2.3.3 三段扫描法	38
2.3.4 进程交互法	39
2.3.5 四种仿真策略小结	43
习题	44
第 3 章 初级 GPSSWorld 语言	46
3.1 GPSSWorld 的运行环境	47

3.2	GPSSWorld 中实体的分类	53
3.3	GPSSWorld 程序的基本结构、语句组成及自定义符号	54
3.3.1	GPSSWorld 程序的基本结构	54
3.3.2	GPSSWorld 语句的组成	55
3.3.3	GPSSWorld 中的用户自定义符号	56
3.4	与活动实体有关的模块	56
3.4.1	GENERATE(产生活动实体)模块	57
3.4.2	ADVANCE(活动实体延时)模块	59
3.4.3	ASSIGN(活动实体参数赋值)模块	59
3.4.4	TRANSFER(转向)模块	60
3.4.5	PRIORITY(改变优先级)模块	66
3.4.6	BUFFER 模块	66
3.4.7	TERMINATE(消除活动实体)模块	67
3.5	与设施有关的模块	67
3.5.1	SEIZE(获得设施控制权)模块	68
3.5.2	RELEASE(释放设施控制权)模块	68
3.6	与队列有关的模块	68
3.6.1	QUEUE(进入队列排队)模块	69
3.6.2	DEPART(离开队列)模块	69
3.7	与存储器有关的模块及定义语句	70
3.7.1	STORAGE 定义语句	70
3.7.2	ENTER(进入存储器)模块	70
3.7.3	LEAVE(离开存储器)模块	71
3.8	相关控制语句	71
3.8.1	START 语句	72
3.8.2	RESET 语句	72
3.8.3	CLEAR 语句	72
3.9	初级 GPSSWorld 语言编程举例	73
3.10	GPSSWorld 仿真程序在计算机中的执行过程	94
	习题	98

第 4 章 中级 GPSSWorld 语言

4.1	系统数字属性	101
4.2	GPSSWorld 中的表达式	104
4.3	中级 GPSSWorld 定义语句	105
4.3.1	EQU 符号定义语句	105
4.3.2	VARIABLE 变量定义语句	106
4.3.3	FUNCTION 函数定义语句	106
4.3.4	RMULT 设定随机数种子	111

4.4 中级 GPSSWorld 模块语言及其相关的 INITIAL 初始化语句	112
4.4.1 LOGIC 逻辑开关	112
4.4.2 SAVEVALUE 保存值模块	113
4.4.3 INITIAL 初始化语句	114
4.4.4 TEST 比较测试模块	114
4.4.5 GATE 测试模块	115
4.4.6 SELECT 测试模块	116
4.5 中级 GPSSWorld 语言编程举例	119
习题	131
第 5 章 高级 GPSSWorld 语言	134
5.1 活动实体的居留时间和过境时间	134
5.2 表格实体	135
5.2.1 TABLE 定义语句	135
5.2.2 TABULATE 模块	135
5.2.3 QTABLE“表格”实体	137
5.3 LOOP 循环模块	137
5.4 活动实体的复制和装配模块	138
5.4.1 SPLIT 模块	138
5.4.2 ASSEMBLE 模块	139
5.4.3 GATHER 模块	140
5.4.4 MATCH 模块	141
5.5 用户链及其模块	141
5.5.1 LINK 模块	142
5.5.2 UNLINK 模块	142
5.6 综合编程举例	143
习题	159
第 6 章 基于 GPSSWorld 的工作流建模仿真	162
6.1 工作流概述	162
6.1.1 工作流的基本概念和术语	162
6.1.2 工作流中的 4 种基本模型结构	163
6.1.3 工作流执行的两种模式	164
6.2 基于 GPSSWorld 的工作流建模仿真	166
6.2.1 基于共享队列的工作流建模仿真	166
6.2.2 基于独立队列的工作流建模仿真	169
习题	178
参考文献	181

第1章

绪论

早在几千年前,我们的祖先就懂得用替代品模拟原物做试验这一朴素的仿真思想。20世纪中期以来,随着计算机技术和信息技术的发展,在应用需求的牵引下,系统仿真已经发展成为一项能在工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、娱乐、生活、服务等众多领域广泛采用的技术。逐渐成为继理论研究、实验研究之后人类认识世界和改造世界的“第三种手段”,被认为是“迄今为止最为有效、经济的综合集成方法”,是“推动科技进步的战略技术”。

本章首先介绍了系统仿真密切相关的三个基本概念:系统、模型和仿真,接着从不同的角度对系统仿真进行了分类,然后重点分析了计算机仿真的特点、作用、基本步骤、应用与发展,最后对计算机仿真软件进行了分类。

1.1 系统、模型与仿真

1.1.1 系统

系统(system)是指具有某些特定功能、按照某些规律结合起来、互相作用、互相依存的所有物体的集合或总和。

系统具有整体性、相关性和目的性等基本特征。整体性是指系统是1个整体,它的各部分是不可分割的。例如:1个工业企业,它由管理部门、原材料仓库、生产车间及销售部门所组成,缺少其中之一就无法构成系统。相关性是指系统内部各物体之间以一定规律联系着,它们的特定关系形成了具有特定性的系统。如一个工业企业的各部门都围绕着特定产品市场组织用户的订货、原材料采购、生产和销售,既相互依存又相互制约,按某一平衡关系运动着。目的性是指设计或者综合一个系统是为了实现预定的目的。如一个工业企业的目标是满足顾客的要求,同时达到赢利的目的。一个系统的目的性表现在两个方面:一是系统要完成特定的功能;二是在完成基本功能的同时要使系统达到最优化。

1) 系统的分类

系统的范围很广,可谓包罗万象,可以泛指人类社会和自然界的一切存在、现象与过程。系统分类的方法很多,主要有以下几种。

(1) 工程系统和非工程系统

按物理特征可以将系统划分为工程系统和非工程系统。工程系统是指人类为满足某种

需要,利用工业手段构造的具有预定功能的系统,例如机械、机电、电气、动力、化工、武器等系统。非工程系统是指在自然和人类发展过程中自身形成的系统,也可以称为自然系统,例如生态、社会、经济、军事、管理、交通等系统。

(2) 静态系统和动态系统

根据系统是否处于平衡状态(状态是否变化)可将系统分为静态系统和动态系统。处于平衡状态的系统称为静态系统,状态随时间不断变化着的系统称为动态系统。如:处于平衡状态的一根梁,如果没有外界的干扰,则其是一个静态系统;处于稳定运行状态下的电力系统,在没有受到大的扰动时,也属于一个静态系统。动态系统的状态是可以改变的。如:运行中的电力系统,在受到外界的干扰后,系统的运行状态(电压、电流和功率)都会发生相应的改变,如果调节器起作用,系统就会到达一个新的平衡点。在状态改变过程中的系统就是动态系统。

(3) 确定系统和随机系统

按系统是否存在随机过程,可将系统分为确定系统和随机系统。一个系统的每一个连续状态是唯一确定时,这个系统就是确定系统。如果一个系统在指定的条件和活动下,从一种状态转换成另一种状态不是确定的,而是带有一定的随机性,也就是相同的输入经过系统的转化过程会出现不同的输出结果时,这个系统就是随机系统。

(4) 连续系统、离散系统和连续/离散混合系统

按系统状态变化是否连续可将系统分为连续系统、离散系统和连续/离散混合系统。连续系统的状态变量是连续变化的,包括集中参数系统(如动力学系统和生态系统)和分布参数系统(如物理和工程领域中场的问题)。离散系统的状态变量是随时间呈间断或突然改变的,包括离散时间系统(如采样数据系统)和离散事件系统(如社会、经济、军事运筹和有限资源竞争问题)。混合系统则是由连续系统和离散事件系统组成(如含指挥决策的多武器作战系统)。虽然采样数据系统一类的离散时间系统的变量是间断的,但是它和连续系统具有相似的性能,它们的模型都能用方程的形式加以描述。例如,采样数据系统在一定的采样频率(如每秒 1000 次、10 000 次等)下所测得的数据是间断的,而被测系统是连续的。离散事件系统的状态变化是由事件驱动的,而且,事件具有离散性和随机性,即事件的发生不是确定性的,而是遵循某种概率分布发生在离散的时间点上,因而离散事件系统一般都具有随机特性,系统的状态变量也往往是离散变化的。例如,理发店系统中,顾客的状态可以用“排队等待”或“接受服务”描述,理发师的状态则要么处于“忙”状态,要么处于“闲”状态。所以,其模型通常不能完全用解析的方程形式描述(通常需要借助于活动图、流程图等进行描述)。同时,离散时间系统、集中参数系统和分布参数系统的系统研究的方法是控制论,而离散事件系统的系统研究的方法是排队论和运筹论,也就是说,从系统仿真研究的角度,根据描述形式和研究方法的不同,将系统区分为连续系统和离散事件系统两大类。

此外,常用的分类方法还有:按系统的复杂程度(系统内子系统/元素之间的关联程度)分为简单系统和复杂系统;按系统的生命特征可以划分为生命系统和非生命系统;按方程类型分为线性系统 and 非线性系统;按参数类型分为定常系统和时变系统;按变量的个数分为单变量系统和多变量系统等。

需要说明的是,系统类型的划分是相对的,复杂情况下某些系统可能是两类系统的混合系统。在一定条件下,系统可以分解为若干既相对独立又相互联系的子系统(或称分系统)。

本课程中主要研究的对象属于动态的、随机的、复杂的离散事件系统。

2) 系统的研究内容

任何系统的研究都需要关注三个方面的内容,即实体、属性和活动。

- 实体(entity):组成系统的具有实际意义的物理或逻辑单元。实体确定了系统的构成,也就确定了系统的边界。
- 属性(attribute):是对实体所具有的主要特征的描述,属性可以用参数或状态(state)变量加以描述。
- 活动(activity):系统内实体随时间推移而发生的状态变化,反映了系统变化的规律。

如:在一个理发店系统中,实体包括理发师、顾客、队列等,而理发师的状态(忙或闲)是其属性,顾客的到达时间是顾客的属性,队长是队列的属性,活动包括排队活动和理发活动。

在进行系统研究时需要说明以下两点:

(1) 研究目的不同,系统的实体可能会因之而发生变化。例如,对于商品销售系统,如果仅研究商品库存量的变化情况,那么系统只需包括销售部、采购部及仓储部即可。但若若要研究商品的销售与市场的关系时,系统中还要包括市场部门,因为该部门负责调查、分析商品的市场需求、销售情况及其对进货的影响。此外,一个客观实体的属性可能很多,其属性的选取也应当服从系统研究的目的。

(2) 在动态系统中,实体的某些属性通常会随着时间的变化而持续发生变化,例如,理发店系统中,理发师的状态、队列的长度总是在不断变化的。

1.1.2 模型

模型是根据一定的研究目的对所研究系统的特征和规律的准确描述、表现或抽象,用于提供关于系统的有用信息,模型不必与实际一一对应,但应描述系统的本质。模型具有一些基本性质,例如:相似性,即模型与所对应的系统必须具有相似的特性和规律;简化性,即模型只是对系统的近似表达;多样性,即同一系统的模型表示并不一定是唯一的。

1. 物理模型和数学模型

根据模型的构造方法或结构和实现手段,可将模型分为实体模型(又称为实物或物理模型)和非实体模型(又称为数学模型)。

实体模型,是根据系统之间的相似性而建立起来的实物模型。静态的实体模型最常见的是比例模型。如风洞试验中的飞行器外形和船体外形,或是生产过程中试制的样机模型,用于水洞试验以及试验水槽中的鱼雷比例模型等。动态实体模型的种类更多,如用于鱼雷姿态运动仿真的三自由度运动姿态模拟转台,又譬如在电力系统动态模拟试验中,有时利用由小容量的同步机、感应电动机与直流机组成的系统,作为电力网的实体模型来研究电力系统的稳定性。

数学模型相对于实体模型一般采用文字、符号、数学、逻辑或其他抽象的方法(数据表格、流程图等)对系统进行描述。如:国家或地区的人口增长模型、经济增长预测模型、数控机床可靠性模型、零部件生产加工过程模型等。数学模型并非都具有精确的数学表达形式。数学模型具有理论模型(theoretical model)和仿真模型(simulation model)两种存在形式,

一般情况下数学模型泛指前者。理论模型是对所研究系统的理论描述(称为系统的一次建模或系统建模),仿真模型是在理论模型基础上建立的更易于在计算机上进行运算和试验的模型(称为系统的二次建模或仿真建模)。仿真模型可以直接采用某种通用程序设计语言实现,也可以采用某种基于通用程序设计语言的专用仿真语言加以实现,后者有利于提高仿真建模的能力和效率。

相对而言,实体模型的造价昂贵且耗时长,一旦建立模型也不易改变,形式比较单一、应用有一定的限制;而数学模型的产生和应用则更为方便、灵活和经济,因此,系统仿真中更多的是使用数学模型。

2. 理论模型的类型

理论模型的类型主要指模型是随机性还是确定性的,是集中参数型的还是分布参数型的,是线性的还是非线性的,是时变的还是时不变的,是动态的还是静态的,是时域的还是频域的,是连续的还是离散事件的等。根据所用仿真方法的不同,通常将理论模型分为连续系统模型和离散事件系统模型。理论模型分类如表 1.1 所示。

表 1.1 数学模型中理论模型的分类

模型类型	静态系统模型	动态系统模型			
		连续系统模型			离散事件系统
		集中参数	分布参数	时间离散	
数学描述	代数方程	微分方程 传递函数 状态方程	偏微分方程	差分方程 Z 变换离散 状态方程	概率分布排队论
应用举例	系统稳态解	工程动力学 系统动力学	热传导场	计算机数据采 样系统	交通系统、市场系统、电话 系统、计算机分时系统

连续系统模型是由表征系统变量之间关系的方程来描述的,主要特征是用常微分方程、偏微分方程和差分方程分别描述集中参数系统、分布参数系统和采样数据系统,其中常微分方程、偏微分方程也可以转换成差分方程形式。究竟采用哪一种,取决于研究者是对系统状态随时间变化的整个过程感兴趣,还是仅对某些时间点感兴趣,或者是所能得到的数据仅仅限于某些时间点。

离散事件系统模型中的状态变量只在某些离散时刻由于某种随机事件而发生变化,系统模型很难全部用人们熟悉的数学方程形式(如微分方程或差分方程等)来描述,通常需要借助于一些图表来表示。例如一个理发店系统模型除了用一些随机概率模型来描述顾客到达模式、理发服务过程外,通常还需要用实体流图或活动周期图等来描述系统的动态特性。

此外,数学模型中理论模型根据模型的描述手段不同可以分成以下几种类型:

- 文字式模型。运用文字形式简明地阐述系统的构成、所处的环境、主要功能和研究目的等。
- 数学式模型。用数学逻辑关系(数学公式)抽象地表述系统中各种变量及其相互关系。
- 流程图和图解式模型。用流程图或图解的形式描述系统组成部分之间的基本逻辑关系。

1.1.3 仿真

人们在研究一个较为复杂的系统时,通常可以用两种方法,一种是直接在实际系统上进行研究,另一种就是在系统的模型上进行研究。在实际系统上研究固然有其真实可信的优点,但是在很多情况下是不合适甚至是不可行的。这主要有以下几方面的原因。

(1) 安全性考虑

在研究重要的、有人身安全或设备安全的系统时,不允许在实际系统上进行实验。例如,宇航系统、核能系统、航空系统等。

(2) 系统的不可逆

有很多系统是不可逆的,例如已经发生的灾害、生态系统等。

(3) 投资风险过大、试验花费过大

一些重大的工程项目、重大设备系统很复杂,投资巨大,不允许在实际系统上进行破坏性的实验,试验的花费过大,例如,飞机发动机和火箭发动机的设计过程中,需要进行大量的试验,而每次试验都要消耗巨额经费等。

(4) 研究时间过长

多数情况下,在实际系统上研究问题往往需要历经较长的时间。例如研究复杂的生态系统,需要历经数十年;研究一个交通运输系统,至少也需要研究数天甚至数月的运行情况。

(5) 真实的系统尚未建成

在系统规划设计阶段希望评价方案的优劣,显然无法在真实系统中进行。

出于以上等主要原因,利用模型来研究系统不仅是必要的,而且在某些情况下是唯一可行的方法。简单地说仿真就是利用模型来模仿实际系统的运行过程,以达到研究实际系统的目的。显然其属于第二种研究方法。

1961年,G. W. Morgenthater首次对“仿真”进行了技术性定义,即“仿真意指在实际系统尚不存在的情况下对于系统或活动的实现”。另一个对“仿真”进行技术性定义的是Korn,他在1978年的著作《连续系统仿真》中将仿真定义为“用能代表所研究的系统的模型做实验”。1982年,Spriet进一步把仿真的内涵加以扩充,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年在给出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”,被认为是现代仿真技术的一个重要概念。实际上,随着科学技术的进步,特别是控制理论、计算技术、信息技术的迅速发展,计算机软硬件的突破,以及各个领域对仿真技术的迫切需求,使“仿真”的技术含义不断地得以发展和完善,从艾伦(A. Alan)和普里茨克(B. Pritsker)撰写的“仿真定义汇编”一文我们可以清楚地观察到这种演变过程。到目前为止,“仿真”一词的确切含义仍有一定的争论,不过仿真基于模型这一观点是公认的。

通过以上有关仿真的定义的分析可以发现,“系统、模型、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,是仿真的桥梁,而试验是仿真的手段。

计算机仿真的定义在仿真的一般定义上,限定了模型是在计算机上能够运行的,是用计算机作为工具来完成对系统的模仿。有代表性的定义是雷诺于1966年给出的“计算机仿真是在数字计算机上进行实验的数字化技术……”。实际上,随着科学技术的进步,特别是信

息技术的迅速发展,“计算机仿真”的技术含义不断地得以发展和完善。1979年 A. Alan 和 B. Pritsker 汇编了 23 条仿真学者关于计算机仿真的定义,包括许多国际著名仿真专家当时的观点,这些定义从以下几方面描述了“计算机仿真”的概念。

- 对象:是系统,包括客观存在的系统和设计中的系统。
- 目的:获得系统的动态行为,这是直接目的。由此而分析、设计、优化系统或进行决策是仿真活动的间接目的。间接目的的实现以直接目的的获取为前提,需要对仿真获得的结果进行分析,以优化的方式提交给用户。早期仿真更关注的是直接目的,而后则逐渐转向间接目的。
- 方法:通过展开系统模型的方法来获得系统的行为或特征。使用模型是仿真的一个基本特征,这表明获得系统的行为不是直接对系统进行操作,而是对系统的模型进行操作。
- 方法的实现:应用数值计算的方法来展开模型,获得模型在一定输入下的输出,这是仿真与其他基于模型分析方法的主要区别。
- 设施/工具:以计算机为主要工具。系统模型是在计算机上运行、展开的,即数值计算是在计算机上进行的。
- 方式:使用模型获得系统行为是通过实验的方式来进行的,即仿真的实验特征。计算机仿真是一系列有目的、有计划的数值计算,也就是说,模型的展开是在一定的方案控制下进行的。

综合起来,对计算机仿真作如下定义:计算机仿真是以控制理论、相似原理、系统技术、信息技术、计算机技术及应用领域有关的专业技术为基础,以计算机和其他各种专用物理效应设备为工具,通过建立模型对真实和设计的系统,按照一定的实验方案,通过数值计算的方法展开系统模型进行试验来获得系统的动态行为,并借助于专家经验知识、统计数据和信息资料对系统的动态行为即试验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合性的试验性的技术。

因此,计算机仿真技术至少由两部分组成,一是模型的建立;二是要在计算机上对模型进行数值计算,即利用计算机运行、求解这个模型。如加以区分,前者称为建模,后者称为展模。

从以上对计算机仿真定义的分析,可以发现计算机仿真存在三个要素:系统、模型和计算机。这三个要素之间存在三个活动:系统建模、仿真建模和仿真实验,它们之间的关系如图 1.1 所示。

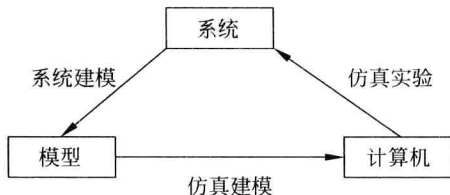


图 1.1 计算机仿真的三个要素及三个活动

系统建模是通过对实际系统的观测或检测,在忽略次要因素及不可检测变量的基础上,用物理或数学逻辑的方法进行描述,从而获得实际系统的简化近似模型。系统建模又称为

一次建模。

仿真模型反映了系统模型(简化模型)同仿真器或计算机之间的关系,它应能为计算机所接受,并能进行运行。因此,仿真建模就是对系统的数学模型进行一定的算法处理,使其在变成合适的形式(如将数值积分变为迭代运算模型)之后,能在计算机上进行数字仿真的“可计算/可执行模型”。仿真建模又称为二次建模。

仿真实验是指在计算机上通过对模型的不断运行、分析其结果,进一步认识系统、得到问题解答的过程。

1.2 仿真的分类

可以从不同的角度对系统仿真加以分类。比较典型的分类方法是:根据模型的构造方法分类;根据仿真所采用的计算机类型分类;根据仿真时钟与实时时钟的比例关系分类;根据系统模型的特性分类。

1. 根据模型的构造方法分类

根据模型的构造方法或结构和实现手段,模型分为物理模型和数学模型,因此系统仿真可分为三种:物理仿真、数学仿真和半实物仿真。

在物理模型上进行实验的过程称为物理仿真。在计算机问世以前,基本上是物理仿真,也称为“模拟”。物理仿真要求模型与原型有相同的物理属性,其优点是直观、形象、模型能更真实全面地体现原系统的特性;缺点是模型制作复杂、成本高、周期长、模型改变困难,实验限制多,投资较大。

在数学模型上进行实验的过程称为数学仿真。计算机技术的发展为数学仿真创造了环境,使得数学仿真变得方便、灵活、经济,因而数学仿真亦称为计算机仿真。数学仿真的缺点是受限于系统建模技术,即系统的数学模型不易建立。

将一部分实物接在仿真试验回路中,用计算机和物理效应设备实现系统模型的仿真,即将数学模型与物理模型甚至实物联合起来进行实验的过程称为半实物仿真。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;而对比较复杂的部分或对规律尚不十分清楚的系统,其数学模型的建立比较困难,则采用物理模型或实物。仿真时将两者连接起来完成整个系统的实验。

2. 根据系统模型的特性分类

根据系统模型的特性的不同,系统模型可分为两大类:一类称为连续系统模型,另一类称为离散事件系统模型。相应地,系统仿真技术也分为两大类:连续系统仿真和离散事件系统仿真。连续系统仿真是指基于连续系统模型的仿真,连续系统仿真的目的是要得到状态变量的动态变化过程(行为的点轨迹),并由此分析系统的性能。需要说明的是,离散时间变化模型中的差分模型可归为连续系统仿真范畴。原因在于,当用数字仿真技术对连续系统仿真时,其原有的连续形式的模型必须进行离散化处理,并最终也变成差分模型。离散事件系统仿真是指基于离散事件系统模型的仿真,由于离散事件系统模型很难用人们熟悉的数学方程形式(如微分方程或差分方程等)来描述,而一般只能借助于活动图或流程图,这