



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

系统建模与仿真 (第2版)

System Modeling and Simulation
(Second Edition)

齐欢 王小平 编著

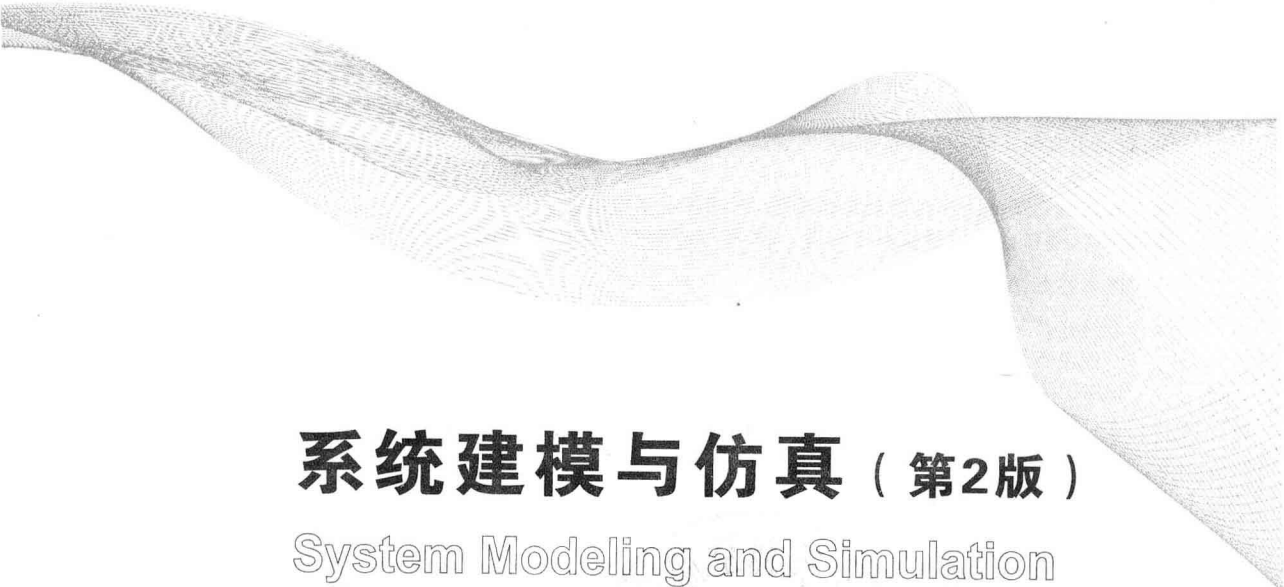
Qi Huan Wang Xiaoping



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

清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会



系统建模与仿真 (第2版)

System Modeling and Simulation
(Second Edition)

齐欢 王小平 编著

Qi Huan Wang Xiaoping

清华大学出版社

内 容 简 介

系统建模与仿真技术的发展已经渗透各行各业,特别是在社会经济系统、环境生态系统、能源系统、生物医学系统、教育训练系统等方面得到了广泛深入的应用。随着近些年系统建模与仿真技术的迅猛发展,又出现了许多新的理论和方法,尤其是三维建模与视景仿真技术提供了更丰富的建模与仿真理论和方法。在这一环境下,本书在2004年出版的《系统建模与仿真》基础上修订而成,此次修订增加了三维建模与视景仿真方法、三维建模与视景仿真平台;在案例部分,添加了白水河滑坡演化过程可视化;在微分方程建模方法部分,对经典的新产品销售模型进行了扩展,增添了新产品销售在其仿制品冲击下的建模与仿真。这些新增的内容都是作者近年来的科研成果。

本书是全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐用书,可以作为控制工程、系统工程专业的工程硕士生的教科书,同时也可以作为控制工程、系统工程、计算机科学、工业工程、管理科学等专业高年级本科生、硕士生的相关课程的参考用书。对于从事建模与仿真工作的专业技术人员,本书也是一本很好的参考书。

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

系统建模与仿真/齐欢,王小平编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2013

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-34386-8

I. ①系… II. ①齐… ②王… III. ①系统建模—研究生—教材 ②系统仿真—研究生—教材
IV. ①N945.12 ②TP391.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第260124号

责任编辑:王一玲

封面设计:常雪影

责任校对:白蕾

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者: 北京富博印刷有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×230mm 印 张: 30 字 数: 619千字

版 次: 2004年7月第1版 2013年12月第2版 印 次: 2013年12月第1次印刷

印 数: 1~2500

定 价: 49.00元

产品编号: 054267-01

第2版前言

随着工程硕士教育的深入发展,以及工程硕士教育的特殊性,工程硕士生通常实践知识比较丰富,而理论知识相对缺乏,让理论知识来指导实践工作成为工程硕士教育的一个重点,本书正是在这一背景下产生的专门针对工程硕士教育的书籍,并被列为全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材。

建模与仿真是指构造现实世界实际系统的模型并在计算机上进行仿真的有关复杂活动,它主要包括实际系统、模型和计算机三个基本部分,同时考虑三个基本部分之间的关系,即建模关系和仿真关系。最初仿真技术是作为对实际系统进行试验的辅助工具而应用的,而后用于训练目的,现在仿真系统的应用包括:航空、航天、各种武器系统的研制部门、电力、交通运输、通信、化工、核能等领域以及系统概念研究、系统可行性研究、系统分析与设计、系统开发、系统测试与评估、系统操纵人员的培训、系统预测、系统的使用与维护等各个方面。随着仿真技术的发展,仿真技术应用趋于多样化、全面化。它的应用领域已经发展到军用以及与国民经济相关的各个重要领域。特别是近 20 年来,随着系统工程与科学的迅速发展,仿真技术已从传统的工程领域扩展到非工程领域,在社会经济系统、环境生态系统、能源系统、生物医学系统、教育训练系统都得到了广泛的应用。

本书的目的是阐述建模与仿真的方法和思路,现实世界中各种系统的原理千变万化,也不可能找到一种以一概全的建模方法,所以我们不可能给读者讲解每种模型的原理,而是把面对一个系统建模的问题时,如何解决它的思路介绍给读者,即使是本书中讲解的实例也只是为读者引导一种建模的思考方式。如果将来读者面对一个新的陌生系统,并且要为之建立模型和仿真系统时,不再因为系统的复杂性而无从下手,那么我们的目的也就达到了。

本书摒弃了以往建模与仿真书籍中建模和仿真分开独立编写的惯例,而是将建模与仿真相结合来组织编写,每一部分基本上是先论述建模的原理,然后讲解相应的仿真方法。全书共分 12 章,分别论述了连续系统建模与仿真的方法、离散事件系统建模与仿真的方法、分布参数系统建模与仿真的方法、随机系统建模与仿真的方法、三维建模与视景仿真方法、分布式交互仿真以及建模与仿真未来发展趋势。最后针对这些建模与仿真方

法,分别给出了比较完整的实例,这些实例从模型的建立到仿真的进行都比较详细。这些实例是我们以前所进行的一些研究工作的总结。通过这些实例,我们希望能起到抛砖引玉的作用,对读者以后的建模与仿真能有所帮助。

第1章主要介绍了建模与仿真的基本概念,如系统、模型与仿真的定义,建模与仿真的历史、难点、主要方法、应用、主要研究领域以及未来发展趋势等。第2章概括了一些当前常用的系统建模方法,论述了系统模型的分类,建模方法的分类及原则、基本过程等,另外还论述了图解建模方法、层次分析法、概率统计法等。第3~5章分别详细论述了连续系统建模与仿真方法、离散事件系统建模和仿真方法,分别从各种方法的概念、基本原理、实际应用实例等角度来组织编写,力图使读者对这些方法能有一个全面、直观的体验。针对复杂系统的不确定性问题,在第6章和第7章对随机模型进行了阐述,包括随机模型常用的几种分布类型、随机变量的实现、随机数发生器等。在后续章节里,重点介绍了一些新兴的建模和仿真方法、新兴的系统体系结构,如面向对象技术,统一建模语言 UML,基于 Agent 建模方法、三维建模与视景仿真方法、模型校核、验证与确认、分布式交互仿真 DIS、高层体系结构 HLA,以及常用建模与仿真工具 MATLAB、Swarm、HLA 开发平台、Creator Pro、Vega Prime 等。为了使读者能对上述建模与仿真方法的综合使用有一个全面的理解,在本书的最后一章里,结合作者研究工作的实际情况,给出了一些研究实例,包括密闭空间内的气体泄漏扩散仿真、调节作用下投资策略的模型、三峡永久船闸运行可视化仿真、肿瘤细胞生长模型及仿真、钙离子扩散仿真、白水河滑坡演化过程可视化等。

本书是2004年出版的《系统建模与仿真》的修订版,修订版中主要编写人员如下:齐欢负责第3章、王小平负责第8、11、12章的修订。全文由王小平统稿。

本书的出版得到华中科技大学自动化学院、华中科技大学系统工程研究所的大力支持,在此表示由衷的敬意和诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中难免出现错误,敬请广大读者批评指正。

作者

2013年9月于武汉喻家山

第1版前言

工程硕士教育具有其特殊性,工程硕士生通常实践知识比较丰富,而理论知识相对缺乏,因此让理论知识来指导实践工作是工程硕士教育的一个重点。目前,缺乏专门针对工程硕士教育的书籍,本书正是在这一背景下专门针对工程硕士教育编写的,已评为全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材。

建模与仿真是指构造现实世界实际系统的模型和在计算机上进行仿真的有关复杂活动,它主要包括实际系统、模型和计算机三个基本部分,同时考虑三个基本部分之间的关系,即建模关系和仿真关系。最初仿真技术是作为对实际系统进行试验的辅助工具,而后用于训练目的,现在仿真系统的应用包括航空、航天、各种武器系统的研制部门、电力、交通运输、通信、化工、核能各个领域、系统概念研究、系统的可行性研究、系统的分析与设计、系统开发、系统测试与评估、系统操纵人员的培训、系统预测、系统的使用与维护等各个方面。随着仿真技术的发展,仿真技术应用的目的趋于多样化、全面化。它的应用领域已经发展到军用以及国民经济相关的各个重要领域。特别是近 20 年来,随着系统工程与科学的迅速发展,仿真技术已从传统的工程领域扩展到非工程领域,因而在社会经济系统、环境生态系统、能源系统、生物医学系统、教育训练系统也得到了广泛的应用。

本书的目的是阐述建模与仿真的方法和思路。现实世界中各种系统的原理千变万化,不可能找到一种以一概全的建模方法,所以我们不可能给读者讲解每种模型的原理,而是给读者介绍一个解决系统建模问题的思路,即使是本书中讲解的实例也只是为读者引导一种建模的思考方式。如果将来读者面对一个新的陌生系统并且要为之建立模型和仿真系统时,不再因为系统的复杂性而无从下手,那么我们的目的也就达到了。

本书摒弃了以往建模与仿真书籍建模和仿真分开独立编写的惯例,而是将建模与仿真相结合来组织编写,每一部分基本上是先论述建模的原理,然后讲解相应的仿真方法。全书共分 12 章,分别论述了连续系统建模与仿真的方法、离散事件系统建模与仿真的方法、分布参数系统建模与仿真的方法、随机系统建模与仿真的方法、分布式交互仿真以及建模与仿真未来发展趋势,最后针对这些建模与仿真方法分别给出了比较完整的实例,这些实例是我们一些研究工作的总结。通过这些实例,我们希望能起到抛砖引玉的作用,对

以后的建模与仿真能有所帮助。

第1章主要介绍了建模与仿真的基本概念,如系统、模型与仿真的定义,建模与仿真的历史、难点、主要方法、应用、主要研究领域以及未来发展趋势等。第2章概括了一些当前常用的系统建模方法,论述了系统模型的分类、建模方法的分类及原则、基本过程等,另外还论述了图解建模方法、层次分析法、概率统计法等。第3章~5章分别详细论述了连续系统建模与仿真方法、离散事件系统建模和仿真方法,分别从各种方法的概念、基本原理、实际应用实例等角度来组织编写,力图使读者对这些方法能有一个全面、直观的体验。针对复杂系统的不确定性问题,在第6章和第7章对随机模型进行了阐述,包括随机模型常用的几种分布类型、随机变量的实现、随机数发生器等。在后续章节里,重点介绍了一些新兴的建模和仿真方法、新兴的系统体系结构,如面向对象技术、统一建模语言 UML、基于 Agent 建模方法、模型校核、验证与确认、分布式交互仿真 DIS、高层体系结构 HLA,以及常用建模与仿真工具 Matlab、Swarm、HLA 开发平台等。为了使读者能对上述建模与仿真方法的综合使用有一个全面的理解,在本书的最后一章里,结合作者研究工作的实际情况,给出了一些研究实例,包括密闭空间内的气体泄漏扩散仿真、调节作用下投资策略的模型、三峡永久船闸运行可视化仿真、肿瘤细胞生长模型及仿真、钙离子扩散仿真。

本书的编写分工如下:王小平编写第1、3、4、7、9、10、11、12章,刘云峰编写第5、6章,肖恒辉编写第2章,吴金编写第8章,全文由齐欢教授统稿。

本书的出版得到华中科技大学控制科学和工程系、华中科技大学系统工程研究所及其系统分析与集成研究室的大力支持,在此表示由衷的敬意和诚挚的谢意。本书的出版也是华中科技大学系统工程研究所系统分析与集成研究室多年来研究成果的一次总结和展望,在此对研究室以前研究生们的研究工作表示衷心的感谢。另外,还要特别感谢研究室的代建民老师,研究生唐青山、刘驰洋、张晓盼,他们仔细地阅读和校对了本书的原稿,并提出了宝贵的意见。

由于作者水平有限,书中难免出现错误,敬请广大读者批评指正。

作 者

2003年10月于武汉喻家山

目 录

第 1 章 绪论 /1

1.1 系统、模型、仿真的基本概念	1
1.2 系统建模与仿真的发展历史	3
1.3 系统建模与仿真的发展趋势	5
1.4 系统建模与仿真的应用	7
1.4.1 系统建模与仿真技术在军事领域中的应用	7
1.4.2 系统建模与仿真技术在工业领域中的应用	8
1.4.3 系统建模与仿真技术在教育与训练中的应用	8
1.4.4 系统建模与仿真技术在其他领域中的应用	9
1.5 关于复杂系统建模与仿真的几点补充	10
参考文献	12

第 2 章 常用系统建模方法 /13

2.1 系统模型的概述	13
2.1.1 系统模型的分类	14
2.1.2 建模方法的分类及建模原则	15
2.1.3 建模步骤的划分	15
2.2 建模的逻辑思维方法	19
2.2.1 抽象	19
2.2.2 归纳	21
2.2.3 演绎	22
2.2.4 类比	24
2.2.5 移植	25
2.3 图解建模法	26

2.3.1	图的概念	26
2.3.2	城市公共交通网络模型	27
2.3.3	网络模型的有向图结构	28
2.3.4	权值的设定	30
2.4	层次分析法	33
2.4.1	层次分析法的基本原理	33
2.4.2	层次分析法的计算方法	36
2.4.3	层次分析法的实例	38
2.5	概率统计法	40
2.5.1	时间序列预测模型	41
2.5.2	聚类分析在群决策问题中的运用	44
	参考文献	53

第3章 连续系统建模与仿真方法 /54

3.1	连续系统模型的概述	54
3.2	微分方程建模方法	56
3.2.1	新产品销售模型	57
3.2.2	新产品销售在其仿制品冲击下的建模与仿真	61
3.3	分布参数系统建模方法	71
3.3.1	分布参数系统模型研究的必要性	71
3.3.2	分布参数系统的数学描述	72
3.3.3	分布参数系统模型的特点	73
3.3.4	一个典型的分布参数系统例子	73
3.4	频域建模方法	75
3.4.1	替换法	75
3.4.2	根匹配法	80
3.5	连续系统数值仿真方法	81
3.5.1	数值积分法	81
3.5.2	数值积分法的稳定性分析	90
3.5.3	分布参数系统仿真算法	91
	参考文献	97

第4章 离散事件系统建模方法 /99

4.1	离散事件系统模型	99
-----	----------------	----

4.1.1	离散事件系统的基本要素	100
4.1.2	离散事件仿真模型的部件与结构	102
4.2	Petri 网建模	104
4.2.1	Petri 网的基本概念	104
4.2.2	条件/事件系统	108
4.2.3	库所/变迁网	110
4.3	活动循环图法和实体流图法	114
4.3.1	活动循环图法	114
4.3.2	具有逻辑实体和到达活动的 ACD	120
4.3.3	实体流图法	122
4.4	排队系统	127
4.4.1	排队系统的基本概述	127
4.4.2	单服务员排队服务系统的仿真方法	128
4.4.3	快餐店排队问题	131
4.5	库存模型	134
4.5.1	库存系统的基本概念	135
4.5.2	确定型库存系统	135
4.5.3	随机型库存系统	138
4.5.4	库存系统的仿真方法	142
	参考文献	142

第 5 章 离散事件系统仿真方法

/144

5.1	离散事件系统仿真基本策略	144
5.1.1	事件调度法	144
5.1.2	活动扫描法	147
5.1.3	进程交互法	150
5.2	仿真时钟推进机制	154
5.3	消息驱动的仿真机制	161
5.4	混合系统仿真策略	167
5.4.1	混合系统的一般模型	168
5.4.2	混合系统的仿真算法	170
5.5	蒙特卡罗仿真方法	172
5.5.1	蒙特卡罗法概述	172
5.5.2	股票价格的蒙特卡罗仿真	174

5.5.3 蒙特卡罗法在系统可靠性仿真中的应用	176
参考文献	180

第6章 随机模型的确定 /181

6.1 随机模型概述	181
6.2 已知分布类型估计分布参数	184
6.2.1 分布参数的类型	185
6.2.2 分布参数估计	187
6.3 假定分布类型	197
6.3.1 归纳统计量法	197
6.3.2 直方图法	199
6.3.3 概率图法	201
6.4 经验分布	202
参考文献	203

第7章 随机变量的实现 /204

7.1 随机变量实现的概述	204
7.2 随机数发生器设计	206
7.2.1 线性同余法	206
7.2.2 混合同余法	209
7.2.3 乘同余法	209
7.2.4 取小数法	210
7.2.5 其他随机数发生器的设计方法	211
7.3 随机数发生器测试	212
7.4 随机变量实现的原理	216
7.4.1 逆变法	217
7.4.2 组合法	220
7.4.3 取舍法	222
7.4.4 卷积法	225
7.5 常用分布类型随机变量的实现	226
7.5.1 常用连续分布类型随机变量的实现	226
7.5.2 常用离散分布类型随机变量的实现	230
参考文献	232

第 8 章 高层建模与仿真方法

/233

8.1 面向对象的建模与仿真	233
8.1.1 面向对象方法概述	233
8.1.2 面向对象的概念和技术	236
8.1.3 面向对象的离散事件系统的建模与仿真	243
8.1.4 面向对象的连续系统的建模与仿真	247
8.2 统一建模语言 UML	254
8.2.1 UML 的起源	254
8.2.2 UML 语义	255
8.2.3 UML 的图形表示	257
8.2.4 UML 的特点	265
8.3 基于 Agent 建模方法	266
8.3.1 Agent 的基本概念和原理	266
8.3.2 基于 Agent 的建模方法	270
8.4 多分辨率建模技术	276
8.4.1 概述及多分辨率建模的发展历史	276
8.4.2 多分辨率建模的基本概念	277
8.4.3 研究多分辨率建模的必要性	278
8.4.4 目前的研究方法的介绍	279
8.4.5 模型间的一致性问题	284
8.4.6 高层体系结构下多分辨率建模的实现问题	285
8.5 三维建模与视景仿真	286
8.5.1 概述	286
8.5.2 三维可视化建模	287
8.5.3 视景仿真	291
参考文献	292

第 9 章 建模与仿真的校核、验证及确认

/294

9.1 建模与仿真 VV&A 概述	294
9.1.1 VV&A 的基本概念	294
9.1.2 VV&A 的一般原则	296

9.1.3	VV&A 作用于 M&S 生命周期	298
9.2	校核与验证的技术与方法分类	300
9.3	随机模型拟合优良度常用检验方法	304
9.3.1	χ^2 检验	304
9.3.2	柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验	305
9.4	仿真系统输出统计分析	308
9.4.1	置信区间法	308
9.4.2	谱分析法	310
9.5	贝叶斯方法	312
	参考文献	314

第 10 章 分布式交互仿真 /316

10.1	分布式交互仿真的起源、发展与意义	316
10.1.1	分布式交互仿真的起源及发展历程	316
10.1.2	分布式交互仿真的意义与应用	317
10.2	DIS	318
10.2.1	DIS 系统的设计原则	319
10.2.2	DIS 系统的关键技术	320
10.2.3	DIS 系统体系结构	321
10.2.4	现有 DIS 标准简介	324
10.3	高层体系结构	329
10.3.1	高层体系结构的起源	329
10.3.2	HLA 的组成	331
10.3.3	HLA 规则	332
10.3.4	对象模型模板	335
10.3.5	RTI 接口规范分析	351
	参考文献	359

第 11 章 常用建模与仿真工具简介 /360

11.1	MATLAB 简介	360
11.1.1	矩阵生成和运算	361
11.1.2	复杂矩阵运算	362

11.1.3	程序控制流与函数 M-文件	363
11.1.4	图形输出功能	365
11.1.5	高级数值计算	366
11.1.6	Simulink	368
11.2	Swarm——multi-Agent 的仿真平台	373
11.2.1	Swarm 与复杂适应系统简介	373
11.2.2	Swarm 的逻辑结构	374
11.2.3	Swarm 仿真系统结构	378
11.3	HLA 仿真开发平台	381
11.3.1	LabWorks 介绍	381
11.3.2	pRTI 介绍	389
11.3.3	其他 HLA 开发平台	392
11.4	三维建模与仿真平台——Creator pro 和 Vega Prime	392
11.4.1	Creator pro	392
11.4.2	Vega Prime	399
	参考文献	408

第 12 章 建模与仿真实例汇编

/409

12.1	密闭空间内的气体泄漏扩散仿真	409
12.1.1	密闭空间内的气体泄漏后的自由扩散过程仿真	409
12.1.2	密闭空间内的气体泄漏后的对流扩散仿真	414
12.1.3	密闭空间打开通风口时气体对流扩散仿真	416
12.2	调节作用下投资策略的模型	419
12.2.1	项目价值路径的模拟	420
12.2.2	期权定价公式	421
12.2.3	数值求解期权价值	423
12.2.4	调节作用参数对期权价值的影响分析	424
12.3	三峡船闸运行二维可视化仿真	425
12.4	肿瘤细胞生长模型及仿真	434
12.4.1	含有抑制物质的肿瘤生长模型	434
12.4.2	含有肿瘤血管生长因子的数学模型	439
12.5	钙离子扩散仿真	441

12.5.1	钙振荡的意义	442
12.5.2	钙的调控机制	442
12.5.3	钙振荡形成机制的几种学说	443
12.5.4	三磷酸肌醇影响钙释放的数学模型	446
12.6	白水河滑坡演化过程可视化	450
12.6.1	案例背景简介及数据	450
12.6.2	地形建模	452
12.6.3	视景仿真	458
	参考文献	462

第1章

绪 论

建模与仿真是指构造现实世界实际系统的模型和在计算机上进行仿真的有关复杂活动,它主要包括实际系统、模型和计算机三个基本部分,同时考虑三个基本部分之间的关系,即建模关系和仿真关系,如图 1-1 所示。建模关系主要研究实际系统与模型之间的关系,它通过对实际系统的观测和检测,在忽略次要因素及不可检测变量的基础上,用数学的方法进行描述,从而获得实际系统的简化近似模型。仿真关系主要研究计算机的程序实现与模型之间的关系,其程序能为计算机所接受并在计算机上运行。

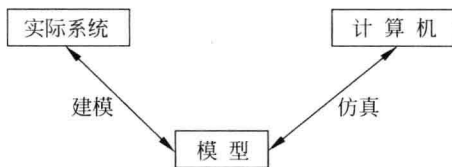


图 1-1 建模与仿真的基本组成与相互关系

1.1 系统、模型、仿真的基本概念

系统这一词最早见于古希腊原子论创始人德谟克利特(公元前 460 年至公元前 370 年)著作《世界大系统》一书。该书明确地论述了关于系统的含义:“任何事物都是在联系中显现出来的,都是在系统中存在的,系统联系规定每一事物,而每一联系又能反映系统的联系的总貌。”据此我们可以定义系统为“按照某些规律结合起来,互相作用、互相依存的所有实体的集合或总和”^[1]。系统可能是自然的或人工的、现在存在的

或是未来所计划的。例如,一个理发馆是一个人工系统,该系统中的实体有服务员和顾客。顾客按照某种规律到达,服务员根据顾客的要求,按一定的程序为顾客服务,服务完毕后顾客离去。在该系统中,顾客和服务员互相作用,顾客到达模式影响着服务员的工作忙闲状态和理发馆的排队状态,而服务员的多少和服务效率也影响着顾客接受服务的质量。

构造一个系统的模型,在模型上进行实验成为系统分析、研究的十分有效的手段。为了达到系统研究的目的,系统模型用来收集系统有关信息和描述系统有关实体。模型是对相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,是对系统某些本质方面的描述,它以各种可用的形式提供被研究系统的描述信息。模型可分为三大类,一类是物理模型,就是采用一定比例尺按照真实系统的样子制作,沙盘模型就是物理模型的典型例子,有些风景名胜区的模型也是物理模型的典型例子。另一类是数学模型,就是用数学表达式形式来描述系统的内在规律,它通常是模型的形式描述。还有一类就是模型的非形式化描述,模型的非形式化描述,说明了模型的本质但不是细节,它帮助建模者随着对模型的深入研究能保持对模型的完整形态有清晰的认识。非形式化描述帮助用户和同行抓住模型的基本轮廓,并能想象模型在概念框架中如何进行工作。因此模型的非形式化描述是与读者直观建立联系的最自然而有效的方法,也是模型与其他的世界联系的自然而有效的方法。

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本质的实现。另一典型的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进一步将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。实际上,随着科学技术的进步,特别是信息技术的迅速发展,仿真的技术含义不断地得以发展和完善,从A. Alan和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。无论哪种定义,仿真基于模型这一基本观点是共同的,仿真是通过对模型的实验以达到研究系统的目的^[1,2]。

现代仿真技术均是在计算机支持下进行的,因此,系统仿真也称为计算机仿真。系统仿真有三个基本的活动,即系统建模、仿真建模和仿真实验,联系这三个活动的是系统仿真的三要素,即系统、模型、计算机(包括硬件和软件)。

在复杂系统仿真方法学的发展中,常常还提及以下一些概念^[4]:

(1) 黑箱、白箱与灰箱。对于一个可观测到其输入和输出值,但不知其内部结构的系统,可以视为一个黑箱,黑箱方法认为系统的输入及输出值中包含了系统的结构信息,因此可以通过研究其外部特性去研究它的内部结构和关系。对于那些已知其内部结构的系