

Xinxi yu Tongxin Xitong
Fangzhen

信息与通信 系统仿真



别志松 别红霞 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

信息与通信系统仿真

别志松 别红霞 编 著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了信息与通信系统仿真的基本知识,在介绍系统仿真一般理论和通用仿真工具的基础上,重点讨论了在 Matlab/Simulink 环境下进行信息与通信系统建模与仿真的方法。以数字通信系统的基本构成为线索,详细介绍了使用 Matlab 通信工具箱和信息处理工具箱进行数字通信系统仿真的常用函数。本书最后给出综合性较强的三个实例演示了通信系统链路级仿真和系统级(网络)仿真的方法和技巧。

本书可作为高等院校通信工程、信息工程和电子信息工程等专业本科生和相关专业的研究生系统仿真课程的教材或参考书,还可作为通信工程专业技术人员进行仿真评估的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

信息与通信系统仿真/别志松,别红霞编著. --北京:北京邮电大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5635-2413-6

I. ①信… II. ①别…②别… III. ①通信系统—系统仿真 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 171213 号

书 名: 信息与通信系统仿真
作 者: 别志松 别红霞
责任编辑: 赵玉山
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)
发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京忠信诚胶印厂
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 14
字 数: 345 千字
印 数: 1—3 000 册
版 次: 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2413-6

定 价: 26.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

计算机技术的飞速发展,使得仿真技术的应用领域不断扩大,在物理学、航空航天、电力、物流管理、教育培训、机械制造、经济学和社会学等学科领域的科研和生产实践中都占据了相当重要的位置。计算机仿真已经成为工科学生必须掌握的基本理论和技术手段。

就信息与通信类学科而言,通信网、计算机网系统日益复杂,传统的分析和设计手段都已不能满足现实需要,计算机仿真技术作为一种低成本的性能评估手段,在信息与通信系统的科学研究、标准化、设计和运营等各个阶段发挥着越来越重要的作用。有相当一部分信息与通信类专业学生在今后的工作和学习中会接触到大量的仿真任务。另一方面,很多信息与通信理论课难以开设覆盖全面的实验课程,计算机仿真能够作为一种替代手段帮助学生深入理解和巩固其他专业理论课程中的相关知识。因此,在信息与通信类专业高年级有必要开设计算机仿真课程。这是一门实践性很强的课程,同时也兼具理论性。通过对这门课程的学习,学生既要掌握一般的仿真实理论和仿真方法,又要提高运用仿真建模方法解决实际问题的能力,为今后的工作和进一步深造打下良好的基础。

本书理论和实践并重,理论方面,以通用系统仿真实理论为基础,重点讨论信息与通信系统仿真的特点与方法,实践方面以 Matlab 和 Simulink 为建模仿真工具,结合信息与通信类专业实际,设计了大量的仿真实例,全部在 Matlab 2009(b)版本上调试通过。

本书由别志松和别红霞两位老师共同完成,第 1 章、第 6 章由别红霞教授执笔,其余章节由别志松老师执笔,全书由别志松统稿,别红霞教授审阅。

本书不仅是笔者多年在北京邮电大学讲授本课程的沉淀和总结,还同笔者所属科研团队在科研工作中的多年积累密切相关,在此对团队中的相关老师表示诚挚的谢意;北京邮电大学出版社的编辑在本书的编写过程中付出了艰辛的努力,研究生李杨、李娜、郝芳芳、王佳、苏晓蕾等做了大量工作,在此一并感谢。

目 录

第 1 章 计算机仿真概论	1
1.1 系统、模型与仿真.....	1
1.2 计算机仿真的一般步骤	3
1.3 计算机仿真的分类	4
1.4 仿真的必要性和优势	5
1.4.1 仿真的必要性	5
1.4.2 仿真的优势	6
1.5 计算机仿真的应用	6
1.6 计算机仿真在信息与通信领域中的应用	7
1.7 小结	7
思考题与习题.....	7
第 2 章 连续系统仿真方法	8
2.1 一般连续系统模型	8
2.2 数值积分的基本概念	9
2.2.1 欧拉法.....	10
2.2.2 龙格库塔法.....	12
2.2.3 近似精度.....	13
2.2.4 线性多步法.....	14
2.3 信息与通信系统中的连续系统仿真.....	14
2.4 小结.....	15
思考题与习题	15
第 3 章 离散事件系统仿真方法	16
3.1 离散事件仿真中的一些基本概念.....	16
3.1.1 实体.....	16
3.1.2 事件.....	17
3.1.3 活动.....	17

3.1.4	进程	17
3.1.5	仿真时钟	18
3.1.6	统计计数器	18
3.2	离散事件仿真策略	18
3.2.1	事件调度法	19
3.2.2	活动扫描法	19
3.2.3	进程交互法	19
3.2.4	三阶段法	19
3.3	三阶段法实例	20
3.4	小结	25
	思考题与习题	25
第4章	计算机仿真工具	26
4.1	高级语言编程仿真	26
4.2	Matlab 与 Simulink	28
4.3	专业级仿真工具	30
4.4	信息与通信系统专业级仿真工具概述	31
4.4.1	CCSS(Cocentric System Studio)	31
4.4.2	Signal Processing Designer(SPD)	32
4.4.3	MLDesigner	32
4.4.4	OPNET	33
4.4.5	GloMoSim/QualNet	33
4.4.6	NS2	34
4.4.7	OMNeT++	35
4.5	小结	36
	思考题与习题	36
第5章	Matlab 基础	37
5.1	Matlab 的优势和特点	37
5.2	Matlab 工作环境	38
5.3	Matlab 的数据类型	39
5.4	Matlab 基本矩阵操作	41
5.4.1	矩阵的构造	41
5.4.2	元素的引用	43
5.4.3	矩阵相关信息的获取	43
5.4.4	矩阵运算	44
5.4.5	稀疏矩阵	45
5.5	Matlab 程序设计	46
5.5.1	解释执行	46

5.5.2	脚本 m 文件与函数 m 文件	46
5.5.3	几种特殊的 Matlab 函数	49
5.5.4	Matlab 控制流语句	51
5.6	Matlab 程序设计技巧	52
5.7	Matlab 图形处理	54
5.7.1	二维绘图	54
5.7.2	绘图的辅助操作	57
5.7.3	其他二维绘图	58
5.7.4	常用三维绘图函数	58
5.8	Matlab 数值计算	61
5.8.1	数据插值	61
5.8.2	曲线拟合	62
5.8.3	多项式计算	62
5.8.4	线性方程组求解	62
5.8.5	非线性方程数值求解	63
5.8.6	常微分方程初值问题的数值解法	64
5.8.7	函数极值	64
5.8.8	数值积分	65
5.8.9	数值微分	66
5.9	Matlab 符号运算	67
5.9.1	建立符号对象	67
5.9.2	符号表达式运算	69
5.9.3	符号微积分	69
5.9.4	符号方程求解	70
5.10	小结	71
	思考题与习题	71
第 6 章	Matlab 信号处理	72
6.1	信号处理基础	72
6.1.1	信号的表示	72
6.1.2	信号生成	73
6.1.3	信号的基本运算	74
6.1.4	离散傅里叶变换	75
6.1.5	信号的能量和功率	77
6.1.6	多速率信号处理	77
6.2	线性时不变系统的表示及分析	78
6.2.1	线性时不变系统的基本模型	78
6.2.2	卷积	80
6.2.3	线性时不变系统的频域分析	83

6.3 滤波器的设计、分析与实现	86
6.3.1 数字线性滤波器设计的基本概念	86
6.3.2 模拟滤波器和无限冲激响应(IIR)数字滤波器设计	88
6.3.3 FIR 滤波器设计	90
6.3.4 滤波器实现与分析	93
6.4 随机信号分析	94
6.4.1 随机信号序列特征参量的计算	94
6.4.2 谱分析	96
6.5 小结	99
思考题与习题	99
第7章 Simulink 基础	100
7.1 简单 Simulink 模型的建立	100
7.2 Simulink 工作原理	106
7.3 子系统	108
7.3.1 子系统创建	108
7.3.2 子系统的条件执行	108
7.3.3 子系统封装	109
7.4 Simulink 调试方法	111
7.5 S-函数	112
7.6 小结	116
思考题与习题	116
第8章 通信系统仿真方法	117
8.1 通信系统仿真的特征	117
8.1.1 通信系统仿真的多学科性特征	117
8.1.2 通信系统仿真的层次性特点	118
8.2 蒙特卡罗仿真原理	119
8.2.1 蒙特卡罗方法求解问题的一般步骤	120
8.2.2 二进制反极性基带通信系统的蒙特卡罗仿真	122
8.2.3 蒙特卡罗仿真精度分析与仿真量确定方法	125
8.3 方差缩减方法:重要性采样	128
8.3.1 基本概念	129
8.3.2 实例	130
8.4 小结	131
思考题与习题	131
第9章 随机变量的产生	132
9.1 均匀分布随机数发生器	132

9.1.1	线性同余(Linear Congruence)	132
9.1.2	复合线性同余法	134
9.1.3	其他随机数产生方法	135
9.1.4	Matlab 中(0,1)区间上均匀分布随机变量的产生	135
9.2	其他分布随机变量产生的一般方法	135
9.2.1	反变换法	135
9.2.2	分布分解法	137
9.2.3	舍选法	140
9.3	高斯分布随机变量的产生	140
9.3.1	均匀随机变量求和	141
9.3.2	Box-Muller 方法	141
9.3.3	舍选法与 Box-Muller 算法的组合	141
9.3.4	Matlab 中高斯随机变量的产生	143
9.4	有色高斯随机过程的产生	143
9.4.1	产生具有给定相关系数的高斯分布随机变量	143
9.4.2	生成具有给定功率谱密度的高斯随机过程	144
9.5	随机数发生器测试	146
9.5.1	平稳性测试	146
9.5.2	不相关性测试	146
9.5.3	拟合度测试	147
9.6	小结	147
	思考题与习题	147
第 10 章	Matlab/Simulink 通信链路仿真	148
10.1	通信链路基本模型	148
10.2	Matlab/Simulink 通信链路仿真资源	149
10.2.1	信号处理工具箱简介	149
10.2.2	通信工具箱简介	149
10.2.3	信号处理模块集简介	150
10.2.4	通信模块集简介	151
10.3	信源产生	151
10.4	信源编译码	152
10.4.1	量化	152
10.4.2	对数压扩	154
10.4.3	DPCM	154
10.5	信道编译码	156
10.5.1	线性分组码	156
10.5.2	卷积码	158
10.6	调制解调	162

10.6.1	模拟调制解调	162
10.6.2	数字调制解调	164
10.7	滤波	168
10.8	均衡	169
10.9	信道模型	169
10.9.1	信道建模概述	169
10.9.2	离散信道建模	169
10.9.3	波形信道建模	170
10.9.4	Jakes 模型	172
10.9.5	Matlab 实现	173
10.10	同步	176
10.11	小结	176
	思考题与习题	176
第 11 章	通信系统仿真实例	177
11.1	CDMA 系统 Rake 接收机性能仿真	177
11.1.1	CDMA 与 Rake 接收机原理	177
11.1.2	仿真代码分析	179
11.2	卷积编码 OFDM 系统性能仿真	184
11.2.1	OFDM 系统的基本原理	184
11.2.2	保护间隔与循环前缀	185
11.2.3	单抽头频域均衡	187
11.2.4	仿真模型组成	187
11.2.5	AWGN 信道下的仿真配置与代码分析	187
11.2.6	多径瑞利衰落信道下的仿真配置与代码分析	191
11.3	随机多址接入协议性能仿真比较	194
11.3.1	通用仿真假设	194
11.3.2	纯 ALOHA	202
11.3.3	时隙 ALOHA	206
11.3.4	非连续性 CSMA	207
11.4	小结	211
	思考题与习题	211
	参考文献	212

在信息与通信系统的研究、分析和设计过程中经常会遇到这些问题：

- 采用某种视频压缩编码方式经过某种信道后恢复的视频质量是否能满足要求？
- 新的传输技术是否能有效改善不同信道条件下的链路性能？
- 协议如何配置能够更有效地利用资源？
- 在某一区域提供移动通信服务需要多少基站才能够满足通信需求？
- 局域网的资源配置方式能容纳多少台计算机？
- 路由器中缓冲区配置多大才能够满足要求？

有三种方法能够帮助回答这些问题。第一种方法是理论分析,对于一些较简单的系统,理论分析方法能够给出闭式解,较复杂的系统则往往简化为较简单的数学公式后通过数值方法进行计算,随着信息与通信系统的日益复杂化,多种错综复杂的因素互相交织在一起,很难进行合理的简化,因此理论分析方法往往很难奏效;第二种方式是实验,所谓实验是指构造与实际系统非常相似的物理实体,通过在物理实体上施加相应的输入得到我们所需要的答案,由于所构造的实验系统可以做到与实际系统高度相似,所得到的结果可信度较高,但是由于现代信息与通信系统规模很大,系统很复杂,构造高度相似的物理模型经济成本和社会成本都很高,往往不可能实现;第三种方式就是所谓的系统仿真方法。

究竟什么是系统仿真?与前两种方法相比它有什么优缺点?如何进行系统仿真?信息与通信系统仿真要用到哪些理论与技术?这就是本书要讨论的主要问题。

1.1 系统、模型与仿真

系统和模型是与仿真密切相关的两个概念。从古希腊古典唯物主义哲学家德谟克利特开始,不同领域的学者对系统给出过多种不同的定义。G. 戈登在总结前人思想的基础上,将系统定义为“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”。

系统是普遍存在的,大至渺茫的宇宙,小至微观的原子,一个班级、一个学校、一个社会团体等都是系统,整个世界就是系统的集合。系统有大有小,取决于研究对象和目的。单单着眼于信息与通信领域,研究对象可以是一个通信网络、一个移动通信的基站、一个调制解调器、一块电路板,甚至可以是一个集成电路芯片。尽管系统千差万别,但它们都具有一些共同的特征。

从系统与外界关系来看,作为研究对象的系统必然被限制在某一个范围内,并且与外界

的其他系统进行交互。外界的其他系统称为环境,系统与环境的分界面称为边界,由环境传递给系统的信息称为系统的输入,系统向环境传递的信息称为系统的输出,如图 1-1 所示。

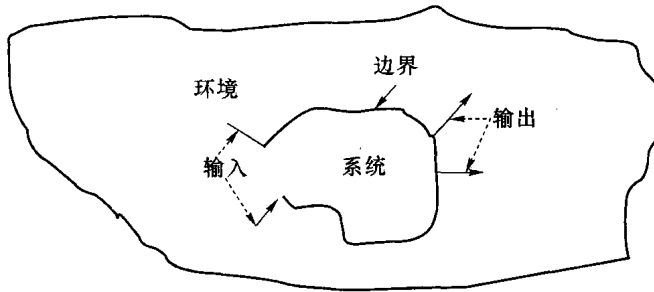


图 1-1 系统与外界关系

从系统内部来看,所有系统都由三大要素组成,分别为实体、属性和活动。所谓实体就是系统内存在的确定的物体,如通信系统的调制器、解调器等,实体确定了系统的构成,也确定了系统边界;属性是指系统内每一物体的有效特征,如滤波器的通频带、带内波动等,属性也称为描述变量;活动则包括系统内部发生的任何变化过程,如一个图片从一台计算机传递到另一台计算机,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发生的变化过程。系统中各要素不是孤立地存在着,每个要素在系统中都处于一定的位置上,起着特定的作用,要素之间相互关联,构成了一个不可分割的整体。

根据系统中活动的随机性可以将系统分为确定系统与随机系统,确定型系统是指活动具有完全确定性的系统,系统的输入一旦给定,系统内各个参量和系统输出随时间的变化关系都将完全确定;随机系统是指具有随机型活动的系统,随机型活动通常用概率分布加以描述,如电路系统中的噪声、电话系统中通话时间的长短等都是随机的,信息与通信系统都属于随机系统。

为了便于对系统进行研究,经常需要对实际系统本质进行抽象、简化和近似,构造各种各样的模型。与直接在真实系统上进行实验相比,基于模型的实验方法占据了越来越重要的位置,原因是直接在真实系统上进行实验有非常多的限制。在系统的设计阶段,真实系统还没有建立,只能通过对模型实验;在某些实际系统上进行实验可能会引起系统破坏或发生故障,造成较大损失;需多次实验时才能获得可信结果时,直接在实际系统上实验难以保证每次实验条件的一致性,对实验结果的分析不利;有的系统活动持续时间太长,直接实验可能耗费大量的时间和人力成本。基于模型的实验则可以克服这些限制,并且具有时间短、成本低的优点。

模型可以分为物理模型与数学模型,所谓物理模型是指采用一定的比例按真实系统的“样子”制作的看得见、摸得着的模型;数学模型则是指用各种数学表达方式来描述系统内在规律的抽象模型。

所有基于模型的实验活动就是广义的仿真(Simulation),仿真活动包括“建模—实验—分析”三个步骤。基于物理模型的实验活动称为物理仿真,其优点是直接、形象、可信,但模型受限、易破坏、难以重用。直接在数学模型上进行仿真活动是不现实的,现代仿真技术往往需要把数学模型转化为仿真模型在计算机上进行实验活动,这种仿真称为计算机仿真。我们通常所说的仿真都是指借助计算机编程实现仿真模型对系统进行研究的实验活动,这

种仿真称为狭义的仿真。

系统、模型与仿真三者之间的关系是：系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真通过对模型的实验以达到研究系统的目的。

1.2 计算机仿真的一般步骤

计算机仿真是指在计算机上建立系统模型，并进行实验和分析的活动，包括系统建模、仿真建模、仿真实验、结果分析、验证与校核等相互交织在一起的多个过程，如图 1-2 所示。

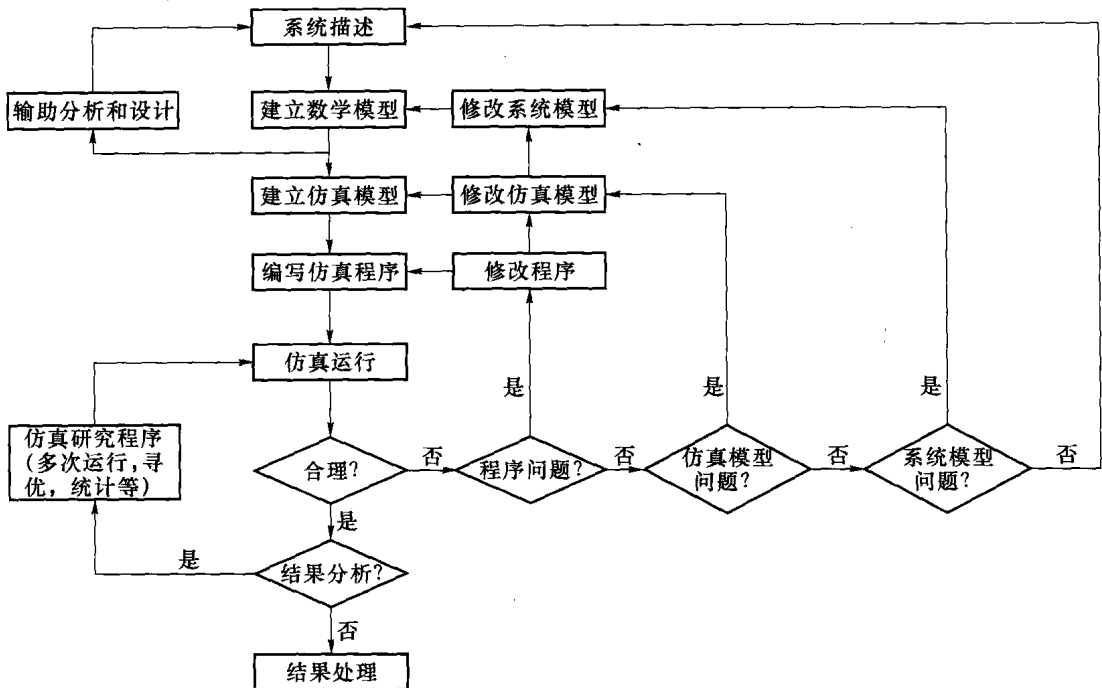


图 1-2 计算机仿真的一般步骤

计算机仿真的第一步是将实际系统用概念模型进行描述，这个阶段称为系统建模阶段。这个步骤包括系统边界和输入输出的确定、系统抽象和关键因素分析、实体划分、参数定义、变量模型的确定等。概念模型可以用各种形式的数学语言给出，比如微分方程、差分方程、数据流图、状态图、伪代码甚至它们的组合等。确定概念模型的过程中可能需要反复进行模型可信度检验以确定概念模型确实能够反映出我们所关心的系统特征。

概念模型确定之后，系统中各实体之间的交互关系、实体属性随时间的变化关系、实体的输入状态和输出等关键要素就完全确定了，这时可以进行仿真策略选择，仿真策略主要包括仿真过程中仿真时钟的控制、仿真中各种活动的处理方式等。

在确定仿真策略的基础上，需要将系统的概念模型转换为适合在这种策略下进行仿真的仿真模型，这一步骤可以称为仿真建模。仿真建模的关键就是要针对概念模型中总结出的各种数学描述，结合计算的稳定性、仿真精度要求和仿真速度等因素，选择适当的算法实现概念模型中以各种数学语言描述的实体及其交互过程。仿真策略选择可以看做仿真建模的一个部

分,仿真建模是计算机仿真的第二步。仿真建模步骤同样涉及模型的可信度验证问题。

第三步是程序设计,即将仿真模型用计算机能执行的程序描述出来。程序的测试与检验是必不可少的,这里的测试与检验不但包括仿真程序本身的检测与调试,更重要的是要检验仿真程序与仿真模型的吻合程度。

有了通过检验的仿真程序,就可以在这个模型上进行实验了,这是实实在在的仿真活动,可以根据仿真的目的设定不同的条件对模型进行多方面的实验,相应地得到模型的输出,这是计算机仿真的第四步。

仿真过程的第五步是要对仿真输出进行分析,仿真输出分析的过程既是对研究对象得出结论的过程,也是对模型的可信性进行进一步检验的过程。

V&V(Verification and Validation)贯穿计算机仿真的全过程,只有在各个步骤执行有效的 Verification 和 Validation,才能保证仿真结果能够反映实际系统的运行状况。

这里,我们仅仅对计算机仿真过程中的主要步骤进行了简要说明,在实际仿真过程中,上述每一个步骤可能都需要多次反复和迭代。

总体来看,计算机仿真包含三个要素和三个基本活动,三个要素是系统、模型和计算机;三个基本活动是系统建模、仿真建模和仿真实验,它们之间的关系可以用图 1-3 来表示。

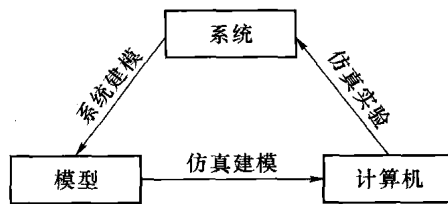


图 1-3 计算机仿真的三个要素和三个基本活动

1.3 计算机仿真的分类

计算机仿真技术能够应用于各种领域,不同领域的仿真方式明显不同,即使同一领域中的计算机仿真也会因为目的的不同而具有完全不同的特征。尽管仿真方法千差万别,但是不同领域、不同目的的仿真技术总可以找出一些共同的因素,从而划分为不同的类别。

计算机仿真技术的分类标准有多种,这里重点关注按照系统模型特性进行分类的标准。

按照系统模型的动态性可以将仿真技术分为静态仿真和动态仿真。所谓静态仿真是指仿真模型是静态的,即模型本身不随时间变化而变化,在这种仿真模型中不需要考虑时间因素,也就是说仿真模型中不考虑仿真时钟的管理与更新问题。与之相对应,大部分仿真模型中必须包含时间因素,模型本身的各种行为都与时间密切相关,针对这种模型的仿真都属于动态仿真。

按照系统模型中各个状态变量变化的连续性可以将仿真分为连续系统仿真和离散事件系统仿真两大类。众所周知,计算机只能处理时间离散、取值也离散的数据,因此所有计算机仿真的模型都不可能是真正连续的,只能是离散化的模型,这里所说的连续系统仿真是指

系统本身的状态变量是连续变化的,这种系统往往可以建模为微分方程形式,在实际计算机处理时,则需要转换为差分方程的求解问题进行处理;另一类系统则完全不同,系统中的状态变量只在某些离散的时间点上发生变化,典型的例子是排队模型,顾客的到达、被服务、离去等事件引起系统状态的变化,只有在发生这些事件的时间点上,系统的状态才会发生变化,因此这种系统被称为离散事件系统,针对这种系统模型的仿真称为离散事件系统仿真。离散事件系统仿真与连续系统仿真不同,往往很难用统一的数学形式描述出来,其仿真过程也不再是差分方程求解问题,往往需要在统一的仿真时钟控制下仿真不同事件的处理过程,跟踪系统状态的变换,得到相应的输出。连续系统仿真和离散事件系统仿真具有完全不同的处理方式,这一点将在后续章节专门讨论。

按照系统模型的确定性可以将计算机仿真分为确定性仿真和随机性仿真。所谓确定性仿真是指所研究的系统模型中所有元素的数学和逻辑关系都是确定的,不包含任何随机成分,如能够归结为确定系数差分方程组模型的连续系统仿真就属于确定性仿真。若在所研究的系统模型中包含随机元素,则只能采用随机性仿真方式。

按照系统模型的驱动方式可以将计算机仿真分为数据流驱动、时间驱动和事件驱动仿真方式。有的系统模型可以看做输入经过实体中的一系列操作最后体现在系统的输出端,完成一次数据流动过程,这种系统适合于采用数据流驱动的仿真机制,数据流从前端的实体流向后端的实体,各个实体依次处理,在一次数据流的整个处理过程中不需要考虑时间变量。这种处理方法适合于实体间相互作用较为简单的系统。单个通信链路的仿真往往可以采用这种方式。另一大类系统模型则不能不考虑时间变量对于系统的影响,即模型内部需要包含仿真钟部件。如果时间变量按一定步长推进,整个仿真模型在仿真时间变量的驱动下工作,则属于时间驱动仿真机制。如果系统模型是离散事件系统模型,则仿真钟可以在事件控制下推进,所对应的仿真机制属于事件驱动仿真机制。

1.4 仿真的必要性和优势

1.4.1 仿真的必要性

随着现代科学技术的不断发展,各领域的研究对象都变的越来越复杂,真实系统实验和理论分析方法往往都没有办法满足系统研究的要求,使得仿真成为一种必不可少的研究手段。

一方面,真实系统实验在很多情况下是无法实现的。首先,真实系统不存在的条件下,必须基于模型对系统进行实验和研究;其次,在很多情况下,即使真实系统存在也不能在真实系统上进行实验,例如,在通信、电力等关乎国计民生的系统上进行实验可能引起系统破坏或发生故障,甚至带来极其严重的社会影响;在真实系统不能保证多次实验的条件相同;水文地质等系统中进行实验需要耗费的时间太长;导弹实验成本过于昂贵等。

另一方面,数学分析方法也有其局限性。首先,对于复杂系统而言,实体之间交叉互连、相互影响,要得到一个能用简单数学表达式表示的数学模型几乎是不可能的,往往需要在很多假设的基础上才能得到可求解的数学模型;其次,实际系统中的实体往往具有时变性和随机性,这使得实际系统往往具有组合复杂性和动态复杂性。

随着现代信息与通信系统的日益复杂化,真实系统实验和纯粹的数学分析方法都显得无能为力了,仿真已经成为一种必不可少的技术手段。

1.4.2 仿真的优势

与真实系统实验相比,仿真具有许多突出优点。首先是成本优势,现代仿真技术往往在计算机上完成,随着微电子技术的不断发展,PC的计算能力已经能够和传统的仿真工作站相匹敌,分布式计算技术又提供了充分利用多台PC完成一个复杂任务的解决方案,使得相对于真实系统实验而言,仿真的设备成本基本上可以忽略不计;其次是时间优势,搭建一个真实系统进行实验往往需要很长时间,特别是对天文、水文地质等变化很缓慢的系统而言,在真实系统上实验是不可能的,而仿真则只需要很短时间就能得到结果;另外,在对实验条件的控制和可重现性方面,仿真也具有无可比拟的优势,在真实系统上进行实验,必然受到周围环境等因素的影响,导致某些实验条件不可控,每次实验结果都会有较大差别,而仿真模型完全是由仿真技术人员建立的,所有实验条件都是受控的,如果多次实验施加相同的实验输入,可以得到完全相同的输出,具有可重现性,对于关键问题的分析和排查都带来了便利。

与解析分析方法相比,仿真也有一些优点。首先,对时变性的支持方面,仿真明显优于解析方法,解析分析方法往往只适用于静态系统,对动态系统建立数学表达式通常是比较困难的,而仿真模型中可以包含时间变量,适用于模拟动态系统;其次,与解析分析方法相比,仿真所需要的假设条件较少,建立一个系统的数学模型往往需要进行大量假设和简化,这些假设和简化的合理性决定了分析结果的有效性和准确性,而仿真则可以在多种不同的抽象层次进行建模,假设条件可多可少,可以根据仿真目的决定抽象层次;其次,由于仿真模型通常与真实系统之间存在某些对应关系,仿真输出通常以图形化的方式给出,与解析分析方法的纯数学语言相比,仿真显然还具有直观性强的优点。

1.5 计算机仿真的应用

计算机仿真技术的应用领域非常广泛,既包括核物理、生物学、化学、天文学等自然科学领域,也包括机械制造、航空航天、电力、化工、冶金、电子设备制造等工程技术领域,还广泛应用于气象、交通、水文地质、公共事业管理、教育培训、经济学和社会学等关系国计民生的各个领域。小到夸克、大至宇宙,具体如飞机上的一个油箱,抽象如人类社会,形形色色的系统被不同领域的研究者抽象为仿真模型,在计算机上进行各个层次的仿真,并对科学研究、生产设计和科学决策发挥着不同作用。

在工程技术领域,计算机仿真已经应用到可行性论证、系统设计、设备制造、操作人员训练、系统维护与改造等各个阶段。在可行性论证阶段,通过计算机仿真能进行定量或定性分析比较,为系统设计打下坚实的基础;在系统设计阶段,通过仿真能够对不同设计方案进行比较,得到优选方案;在设备制造阶段,计算机仿真也起着越来越重要的作用,虚拟制造(Virtual Manufacturing)技术是传统制造方式与计算机仿真结合产生的一种新型制造技术,是仿真技术以制造过程为对象的全方位应用,一个典型例子是波音公司的777客机,其整机设计、部件测试、整机装配以及各种环境下的试飞均是在计算机上完成的,使其开发周

期从过去8年时间缩短到5年;在操作人员训练阶段,许多行业都采用了所谓的仿真训练系统,其本质就是将计算机仿真技术与各种传感器、操纵设备和显示设备相结合构造的实时交互式仿真系统,在航空航天、汽车驾驶、电力设备操控等领域这种仿真训练系统应用非常广泛;在系统维护和改造阶段,计算机仿真技术被用来作为分析问题的手段和系统改造的依据,在这个阶段,实际系统已经存在,但是往往不能直接在实际系统中进行破坏性实验,应用于这个阶段的计算机仿真模型能够利用从实际系统中采集到真实数据使得系统模型更加完善和可信,甚至能够与真实系统的某些部分结合起来进行仿真,为系统维护和改造提供第一手的实验数据。

1.6 计算机仿真在信息与通信领域中的应用

计算机仿真已经在信息与通信领域得到了全方位应用,从学术研究、技术预研和标准化、系统设计与规划、算法选择与优化、设备研制、网络部署与参数设置,直到网络运营过程中的优化与参数调整等信息与通信系统发展的全过程。在该领域的绝大多数学术论文中,都把仿真作为理论分析和方案设计的一个明证。各种标准化组织在讨论技术规范时,具体技术方案的优劣往往需要通过翔实可信的仿真数据作出判断。信息与通信系统的设计与规划需要将各种相关因素进行综合,建立一个相对复杂的系统模型,为预测网络性能提供可信的参考。在设备研制之前,算法选择与优化是一个关键步骤,往往需要在各种最优和次优算法中作出选择,选择的依据往往是在性能和成本之间获得较好的折中,这个阶段产品还不存在,评估性能只能依靠算法仿真。设备研制过程中,各种电子设计自动化(EDA)工具为设备功能的正确性和可靠性提供了多种多样的仿真环境。网络部署阶段,往往有许多参数需要设置,参数配置的主要依据依然是仿真。网络运营过程中,需要针对网络运营中出现的问题进行优化,此时仿真更加有的放矢,输入数据往往可以直接从网络运营日志数据中获得,在仿真模型中重现问题,找到问题的起因,进行适当的参数调整,使网络获得更好的运营效果。

1.7 小 结

本章对计算机仿真的一般特点、分类和应用进行了简要介绍,希望读者通过阅读本章能对计算机仿真技术有一个全面了解。

思考题与习题

1. 如何理解系统、模型和仿真之间的关系?
2. 连续系统和离散事件系统的主要区别是什么?