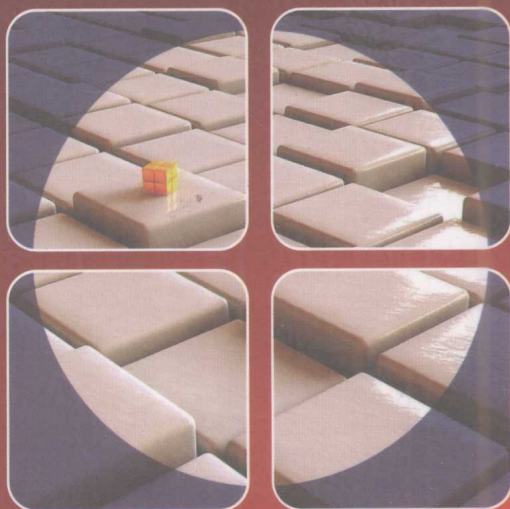


中国仿真科学与技术书系 “十一五”国家重点图书出版规划



SIMULATION SCIENCE

仿真模型设计与执行

Simulation Model Design and Execution

李群 雷永林 侯洪涛 朱一凡 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

“十一五”国家重点图书出版规划
中国仿真科学与技术书系

Simulation Model Design and Execution

仿真模型设计与执行

李群 雷永林 侯洪涛 朱一凡 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

模型是仿真的核心,是仿真试验工作开展的基础,也是仿真应用成功的关键,所以仿真模型设计与执行是系统仿真技术的一个非常重要的研究领域。

本书较系统地介绍了系统建模与仿真的概念、仿真模型设计的原则、方法及应用,突出对仿真模型设计、相关算法和应用的阐述,是关于仿真模型设计与执行的一本内容比较全面的教材。书中各章均附有习题、工程实践和阅读文献,可以满足教学或个人自学的需要。

本书可作为系统工程、自动化及其他相近专业的研究生教材,也可供从事系统仿真工作的工程技术人员和管理人员作为参考书使用。

INTRODUCTION

Models are the core of simulation. Models are also the base to conduct simulation experimentation, and thus key to any successful simulation applications. To this extent, simulation model design and execution is one of the most important research areas in system simulation.

This book provides a systematic introduction to the concepts of system modeling and simulation, the general principles, as well as approaches and applications of simulation model design. Hereinto simulation model design and execution algorithms and examples are specially emphasized and take up most of its space. In the book, lots of common simulation model design methods are introduced, and every chapter provides exercises, practices and references, Which can be used to fulfill the requirement of teaching and self-study.

The authors recommend it as a postgraduate textbook for disciplines such as system engineering, automation, and the like. It can also be used as a reference book for engineers and managers engaged in system simulation field.

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容

版权所有,侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

仿真模型设计与执行 / 李群等编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.2

(中国仿真科学与技术书系)

ISBN 978-7-121-10208-0

I. 仿… II. 李… III. 仿真模型 IV. N032

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 005179 号

策划编辑: 陈韦凯

责任编辑: 贾晓峰

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 印张: 28.25 字数: 720 千字

印 次: 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

“中国仿真科学与技术书系” 编委会

主 编：黄柯棣

副主编：庞国峰 李 革

编委会成员：（按拼音排序）

毕红哲	方胜良	郭齐胜	龚建华	胡晓峰
吕跃广	李 群	李世忠	王维平	王雪松
王中杰	卫军胡	肖田元	杨 峰	杨瑞平
杨西龙	朱一凡			

前 言

仿真是一种利用模型开展模拟试验研究的科学活动。构造系统的模型，用模型代替实际系统进行试验，在很多情况下是十分必要的，有时甚至是研究和解决问题的唯一可行手段。近年来，建模与仿真作为一种新的计算试验技术和试验手段，已经成为一种表示问题、思考问题和解决问题的典型方法。仿真建模是一种创造性的劳动，必须透过事物复杂的表面现象，抓住其本质，找出解决问题的途径。然而，由于研究问题和研究领域差异性的存在，而且模型需要根据研究问题对系统进行合理的简化，往往很难解决好仿真应用中的建模问题。

本书针对很多领域和系统中的仿真建模技术进行了介绍和分析，主要关注模型的设计方法和应用及模型的串行运行算法。本书首先对仿真的概念、应用类型、开发过程和模型设计方法进行了介绍，然后给出了仿真模型设计的技术基础，分别从描述建模、功能建模、约束建模、限制建模和空间建模的角度介绍了不同领域的模型设计方法，最后介绍面向不同建模方法的多层次抽象建模方法和多分辨率建模的相关问题。考虑到仿真模型设计是一门实践性很强的技术，本书在介绍相关理论方法的同时，提供了相关材料的阅读文献，强调对相关建模方法的研究及实践练习，并对相关软件进行了介绍，便于学生理解和掌握不同建模方法的本质。关于不同领域建模方法和算法的介绍，国内相关书籍中较少见到。

本书的模型分类源于1995年Paul A. Fishwick教授的《Simulation Model Design and Execution》一书，与此同时，作者结合了几年来的“仿真模型设计与实现”教学的实际情况和教学经验、仿真技术的最新发展及作者对仿真模型设计方法的应用体会，修改了原书第1章的内容，补充细化了仿真模型设计基础的相关内容，增加了事件图建模方法、活动周期图建模方法、进程交互建模方法、影响图建模方法、贝叶斯网络、Modelica统一物理建模方法、Agent仿真方法、电子表格建模、多分辨率建模等内容，也补充了原有的一些建模方法中缺少的相关的实例和工程实践内容，使之更符合教学与实践的需要。

全书由李群组织编写和统稿。第1~4章、第6章和第8章由李群编写，第5章由雷永林编写，第7章由侯洪涛编写，朱一凡编写了Bond Graph的相关内容。

感谢Paul A. Fishwick教授在本书相关内容编写过程中给予的支持。

实验室的赵新、张伟、王磊、苏年乐、刘晨、陈超、仲辉、许永平、宋丽丽、朱延广、吴扬波、刘娟、王超、唐苏妍等博士研究生和硕士研究生，在书稿的编写过程中帮助收集了大量资料，并对书稿进行了仔细的校对，在此一并致谢。

最后，感谢所有关心和支持本书编写和出版的人们。

本书涉及的领域非常广泛，错误在所难免，书中不当之处敬请读者批评指正。

编著者

2009年9月于长沙

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 引言	2
1.2 仿真的类型	3
1.3 仿真的应用	5
1.4 仿真的层次	7
1.5 仿真的作用与限制	11
1.5.1 仿真的作用	11
1.5.2 仿真的限制	12
1.6 仿真的开发过程	13
1.7 仿真模型设计	16
1.7.1 基本概念	16
1.7.2 仿真模型的开发过程	18
1.7.3 仿真模型的设计原则	21
1.7.4 模型设计的误区	23
1.7.5 基本的模型设计方法	24
1.7.6 仿真模型的设计方法	26
1.7.7 仿真模型的工程化	27
1.8 本书的组织	29
本章练习	30
本章研究实践	30
本章相关阅读文献	33
第 2 章 仿真技术基础	34
2.1 仿真模型设计	35
2.1.1 系统模型描述规范	35
2.1.2 模型基本组成要素	37
2.1.3 行为抽象	42
2.1.4 描述抽象和功能抽象	44
2.1.5 模型的简化	44
2.1.6 蒙特卡罗仿真方法	46
2.2 仿真模型执行	47
2.2.1 时间片法	47
2.2.2 基本事件调度法	48

2.2.3	结构化的事件调度	49
2.3	仿真中的概率统计模型	57
2.3.1	概率统计基本概念	57
2.3.2	常用概率分布	60
2.3.3	分布假设与检验	67
2.4	随机变量生成	74
2.4.1	伪随机数	74
2.4.2	伪随机数生成方法	75
2.4.3	反变换法	77
2.4.4	函数变换法	79
2.4.5	拒绝法	80
2.5	仿真结果分析	81
2.5.1	终态仿真结果分析	82
2.5.2	稳态仿真结果分析	83
	本章练习	88
	本章研究实践	91
	本章相关阅读文献	91
	本章相关软件	92
第3章	仿真概念模型设计	93
3.1	仿真概念模型	95
3.1.1	仿真概念模型的定义	95
3.1.2	仿真概念模型的组成	95
3.1.3	仿真概念模型的评价	97
3.2	仿真概念模型的开发	99
3.2.1	仿真需求交互	99
3.2.2	仿真概念模型的开发过程	99
3.2.3	仿真需求和概念模型定义	101
3.2.4	概念模型分解	101
3.2.5	表示抽象	103
3.2.6	仿真概念模型文档	104
3.3	基于UML的仿真概念模型开发	104
3.3.1	UML简介	105
3.3.2	基于UML的概念模型的开发过程	106
3.3.3	知识抽取	109
3.4	使命空间概念模型	115
3.5	DoDAF	118
3.5.1	作战视图	118

3.5.2 系统视图	120
3.5.3 技术视图	121
3.5.4 DoDAF 标准架构开发过程	122
3.5.5 作战视图开发	123
3.5.6 系统视图开发	123
3.5.7 技术视图开发	124
3.6 SysML	124
3.6.1 SysML 语义	125
3.6.2 SysML 的图形表示	127
本章练习	135
本章工程实践	136
本章相关阅读文献	136
本章相关软件	137
第 4 章 描述模型设计方法	138
4.1 描述模型概述	139
4.2 基于状态的模型设计	140
4.2.1 有限状态自动机建模	140
4.2.2 非确定状态自动机建模	151
4.2.3 超状态	155
4.3 基于事件的模型设计	157
4.3.1 有限事件自动机建模	157
4.3.2 关键帧动画	158
4.3.3 增广事件图	160
4.4 状态事件混合建模	162
4.4.1 状态-事件图	162
4.4.2 库存控制	163
4.5 事件图建模	165
4.5.1 事件图定义	165
4.5.2 事件图建模	168
4.5.3 事件图组合建模	171
4.6 面向活动的模型设计	172
4.6.1 实体流程图方法	173
4.6.2 活动周期图方法	176
4.6.3 面向活动的仿真算法	180
4.7 Petri 网建模	184
4.7.1 Petri 网的定义	185
4.7.2 Petri 网仿真算法	188

4.7.3 建模示例	191
4.8 面向进程的模型设计	194
4.8.1 SLAM 仿真模型设计	194
4.8.2 SIMSCRIPT 仿真模型设计	196
4.8.3 进程交互仿真算法	202
本章练习	204
本章工程实践	207
本章相关阅读文献	209
本章相关软件	210
第 5 章 基于功能的建模	211
5.1 综述	212
5.2 模块图建模	213
5.2.1 模块图建模概述	213
5.2.2 模型结构	215
5.2.3 模型调度算法	217
5.2.4 模块图建模举例	220
5.2.5 方法的问题与不足	225
5.3 系统动力学	225
5.3.1 概述	225
5.3.2 模型的结构表示	226
5.3.3 模型的仿真算法	232
5.3.4 相关应用和示例	234
5.3.5 方法的不足与发展趋势	239
5.4 箱格模型	239
5.4.1 箱格模型概述	239
5.4.2 箱格建模	244
5.4.3 箱格建模示例	248
5.4.4 箱格建模小结	253
5.5 贝叶斯网络	254
5.5.1 贝叶斯网络概述	254
5.5.2 贝叶斯网络的基本结构	255
5.5.3 贝叶斯网络建模实例——功夫游戏	260
5.6 影响图建模	263
5.6.1 影响图建模概述	263
5.6.2 影响图的模型表示	263
5.6.3 影响图的建模过程	266
5.6.4 影响图模型解算	268

5.6.5 相关建模方法.....	273
5.6.6 Analytica 建模软件.....	276
本章练习.....	281
本章工程实践.....	282
本章相关阅读文献.....	284
本章相关软件.....	284
第 6 章 约束建模.....	287
6.1 约束模型概述.....	288
6.2 差分方程.....	289
6.2.1 离散延迟.....	289
6.2.2 Fibonacci 增长.....	290
6.2.3 循环队列的差分方程编码.....	291
6.2.4 差分方程的规范形式.....	292
6.3 微分方程.....	293
6.3.1 微分方程算法.....	293
6.3.2 捕食者与被捕食者生态模型.....	298
6.3.3 弹道.....	300
6.3.4 简谐振动.....	301
6.3.5 混沌行为——Lorenz 系统.....	303
6.3.6 时滞微分方程.....	303
6.4 电路图.....	304
6.5 Bond Graph.....	306
6.5.1 Bond Graph 的引入.....	306
6.5.2 Bond Graph 的基础.....	308
6.5.3 Bond Graph 的图元.....	309
6.5.4 Bond Graph 建模过程.....	315
6.5.5 因果分析.....	319
6.5.6 应用实例.....	322
6.6 Modelica.....	326
6.6.1 微分方程模型.....	327
6.6.2 Modelica 语言基础.....	335
6.6.3 基于组件的 Modelica 模型.....	340
本章练习.....	348
本章工程实践.....	349
本章相关阅读文献.....	351
本章相关软件.....	352

第7章 空间建模	354
7.1 空间建模概述	355
7.2 元胞自动机	356
7.2.1 元胞自动机概述	356
7.2.2 生命游戏	357
7.2.3 森林火灾模型	360
7.2.4 格子气自动机	362
7.3 基于 Agent 建模	363
7.3.1 概述	363
7.3.2 Agent 的基本概念	366
7.3.3 SMART 框架	368
7.3.4 Agent 建模过程	369
7.3.5 Agent 环境和交互模式	372
7.3.6 Agent 仿真模型设计	375
7.3.7 Agent 建模示例——狼羊捕食模型	378
7.4 L-System 建模	382
7.4.1 L-System 建模概述	382
7.4.2 上下文无关的 L-System	383
7.4.3 上下文相关的 L-System	390
7.5 电子表格建模	391
7.5.1 电子表格建模概述	391
7.5.2 电子表格空间划分方法与建模步骤	392
7.5.3 电子表格建模的适用性	394
7.5.4 电子表格建模实例——赶工问题	395
本章练习	398
本章研究实践	400
本章相关阅读文献	401
本章相关软件	401
第8章 多层次抽象建模	404
8.1 多层次抽象建模概述	405
8.2 模型的聚集和分解	406
8.3 模型的抽象和细化	407
8.4 模型抽象的同态性	408
8.5 系统的非连续性	412
8.6 多方法建模的抽象和细化	413
8.7 多方法建模实例和应用	415
8.7.1 摆的相位空间	415

8.7.2 双水壶系统.....	417
8.7.3 工业控制	420
8.7.4 加热水	421
8.7.5 细化 Petri 网.....	427
8.7.6 柔性制造系统实例.....	431
8.8 多分辨率建模	434
本章练习	436
本章工程实践	437
本章相关阅读文献	437
本章相关软件	438

第

1

章

概论

SIMULATION SCIENCE

本章内容安排如下:

- ★ 引言
- ★ 仿真的类型
- ★ 仿真的应用
- ★ 仿真的层次
- ★ 仿真的作用与限制
- ★ 仿真的开发过程
- ★ 仿真模型设计
- ★ 本书的组织
- ★ 本章练习
- ★ 本章研究实践
- ★ 本章相关阅读文献

1.1 引言

仿真是一种利用模型开展模拟试验研究的科学活动。构造系统的模型,用模型代替实际系统进行试验,在很多情况下是十分必要的,有时甚至是研究和解决问题的唯一可行手段。虽然在流体力学、能源系统、物流管理、军事训练等领域以不同形式应用了大量仿真技术,但一般情况下并不容易概括建模与仿真的特征。在不同的应用背景下,建模与仿真经常被认为是系统理论、控制理论、数值分析、计算机科学、人工智能或运筹研究领域的一个子集。然而,随着建模和仿真技术及其应用的不断发展,建模与仿真逐渐将上述学科领域的技术集成起来,成为一门综合性很强的技术,仿真应用的开发、集成和使用已经属于典型的系统工程问题。近年来,建模与仿真作为一种新的计算试验技术和试验手段,已经成为一种表示问题、思考问题和解决问题的典型方法。

由于仿真试验和仿真分析工作主要围绕模型展开,因此模型是仿真的核心,是仿真试验工作开展的基础,也是仿真应用成功的关键。模型是系统或问题的一种简化、抽象和(或)类比表示。它不再包括原系统或问题的全部属性,但能描述符合研究目的的本质属性,以易用的形式提供关于该系统或问题的知识,是帮助人们合理进行思考和解决问题的工具。

客观世界中各种各样的现实系统,有些彼此之间具有同型性,同型性是利用模型来研究现实系统的理论依据。模型不是实体本身,不可能描述实体的一切,只能描述实体某方面的本质属性,而本质属性的选取完全取决于研究目的。模型来源于实际,反映实际,由于它的抽象特征,因此又高于实际,在某种意义上更优于实际。通过模型而达到抽象,是人们对系统认识的深化,是认识的一个飞跃。模型只是解决问题的有力工具,不是分析问题的归宿,不能代替决策。模型能增加人们的洞察力,使人们的认识超越模型,从而“淘汰”模型。好的模型能做出自身否定。模型一定要走向于问题,不能过分热心于纯数学研究。也不能认为,不管问题多么复杂,总可以通过使模型越构造越复杂的办法来解决问题。模型要具有现实性、简洁性和适应性。仿真模型设计(仿真建模)是根据研究目的把实际系统或问题抽象简化为模型的技术,亦称模型化技术。仿真建模是一种创造性的劳动,必须透过事物复杂的表面现象,抓住其本质,找出解决问题的途径。

然而,由于研究问题和研究领域差异性的存在,而且模型需要根据研究问题对系统进行合理的简化,往往很难解决好仿真应用中的建模问题。人们心目中的理想模型是该模型能够适应所有的应用领域和应用问题,然而实际上只有所研究的系统本身才能达到这种要求。因此有些建模人员往往在仿真研究中追求高分辨率模型,希望建立的模型越细越好,这样与实际系统的行为越接近,得出的仿真结论也越可信。然而,RAND公司在多分辨率仿真模型研究中发现,模型太细,需要收集的仿真试验数据、仿真试验设计、仿真模型开发、仿真试验分析的工作量将会呈指数增长,直到人们无法承受这样的工作,尤其是在高层次仿真中,该问题表现得尤为明显。建模仿真理论专家 Zeigler 经过理论研究也发现,模型的分辨率越高,并不等于模型的逼真度越高,因为模型的高分辨率会带来影响因素的

增加,一旦数据假设不当或忽略了主要因素,将会使模型受到次要因素影响,不能抓住影响问题的主要矛盾,使得模型的真实度由于分辨率的提高而下降。所以 RAND 公司在多分辨率仿真模型研究中建议应加强模型自底向上的校准和自顶向下的抽象简化工作。

在仿真研究中根据研究的问题对系统进行合理、正确的抽象和简化是建立有效的仿真模型的关键。实际上,人们在思考问题时也常常需要对系统的要素、关系和行为进行合理的抽象和简化,在很多科学研究中,由于系统内在机理的复杂性,往往也通过归纳和演绎方法建立简化模型,否则将会陷入无穷无尽的分析和思考过程中,可能忽略对问题产生影响的主要因素,不能抓住问题的主要矛盾,不能真正解决实际问题。系统的抽象和简化并不是一个容易掌握的工作,它一般需要很强的专业背景和丰富的建模经验,甚至可能包含一定的艺术成分。然而仿真模型还不能完全等同于领域模型,因为其中针对研究问题包含了相关的简化和假设条件,建立的模型也需要特定的仿真算法支持,所以完全依靠领域人员也不能很好地解决仿真建模问题。另外,由于人们在对系统抽象时,可以使用各种各样的方法和不同的思维方式,导致仿真建模具有很大的灵活性,建立的模型不容易被他人理解、验证和使用。经过长时间的仿真工程和仿真系统研究,当前在很多领域已经形成了大量的系统抽象方法和建模技术,积累了很多建模经验,很多建模技术(如有限状态自动机、活动图、功能模块图等)已经成为了相关领域的行业标准和规范,并提高了仿真模型的可用性。

为使仿真建模技术成为一种可操作的方法,可以像工程研制一样开展仿真系统的建模工作,像使用工程图纸一样使用模型,支持仿真模型的交流、管理和重用,有必要从模型设计角度出发,对不同领域中的建模方法和技术进行总结,加强仿真研究人员对系统进行抽象和简化的能力,以便更有效地建立仿真应用模型。为此,本书针对很多领域和系统的仿真建模技术进行了介绍和分析,主要强调模型的设计方法和应用模型的串行运行算法。本章首先对仿真的概念、仿真的应用类型、仿真的开发过程和仿真的开发方法进行介绍,并按照 Paul A. Fishwick 的观点从模型的设计特点出发对模型设计方法进行分类,进而介绍面向仿真模型设计的模型工程化方法。

1.2 仿真的类型

“模型”一词会使人联想起不同的概念。人们可能会联想起一个飞机、汽车或舰船模型,这些模型一般由不同的部件装配起来,并可能喷涂不同的颜色;有些人可能会记起电影中军事演习或作战计划分析使用的地形沙盘;甚至有人可能联想起时装表演中的模特。在仿真中存在许多关于模型的不同描述和定义。美国国防部 DoD 5000.59 指令中在建模与仿真管理部分将模型定义为:一个模型是一个系统、现象或过程的物理、数学或逻辑的表示。而仿真是:模型随时间运行的实现方法;采用真实系统或由模型再现的概念系统支持测试、分析或训练的技术。仿真的基本特点是:要有一个对象系统,要有一个或一组模型,要在模型上做试验以获取所需的数据结果。由此可见,系统、模型、试验是仿真研究

的基本要素,任何包含系统、模型和试验的科学活动,都可称之为仿真。系统是仿真的对象和问题的本源,试验是解决问题、达到研究目的的手段,而模型则是连接系统和试验(问题和手段)的桥梁。一般仿真类型可以根据仿真研究的基本要素进行分类。任何仿真都必须达到一定的研究目的,所以可以将仿真的定义补充为:根据研究目的,建立系统模型,并在模型上进行试验,从而更深入地认识系统并发现系统运行规律的过程。

根据仿真所用模型的性质,可以将仿真分为物理仿真(Physical Model)、数学仿真(Mathematical Model)和数学-物理混合仿真。物理仿真形象、直观、逼真,但仿真的代价较大;数学仿真的特点是经济、方便、灵活;数学-物理混合仿真将数学模型与系统的部分实物混合使用,也称为半实物仿真或硬件在回路仿真。类似地,也可以将用于控制、制导、导航等用途的计算机软件接入数学仿真回路,以测试这些软件在系统环境中的正确性,这就是软件在回路仿真。如果将驾驶员、飞行员、航天员或者其他装置的操作人员接入仿真回路进行操纵试验或训练,就形成人在回路仿真。将实物、软件或人员接入仿真回路后,一般会对仿真提出实时性要求。

根据仿真所用计算机的性质,可以将仿真分为模拟仿真(Analog Simulation)、数字仿真(Digital Simulation)和模拟-数字混合仿真。模拟仿真基于数学相似原理,仿真的工具是模拟计算机;模拟仿真的特点是直观、运算速度快,但精度较差。数字仿真基于数值计算原理,仿真的工具是数字计算机和软件;数字仿真自动化程度高,具有复杂逻辑判断能力,而且结果的精度相对较高。模拟-数字混合仿真将模拟仿真和数字仿真相结合,仿真的工具是混合计算机系统,这种混合仿真兼备模拟仿真和数字仿真的优点,可以快速地进行多次仿真研究,因此特别适用于参数寻优、统计分析等方面的应用,尤其是在复杂系统的实时仿真方面体现出较大的优越性。

根据被仿真系统的性质,可以将仿真分为连续系统仿真(Continuous System)、离散事件系统仿真(Discrete Event System)、连续与离散事件混合系统仿真。很多工程系统以连续系统为主要特征,其模型主要用描述物理、化学、生物等方面变化规律的数学关系来表达。反之,很多非工程系统以离散事件系统为主要特征,其模型主要用描述实体、事件、行为及其逻辑和时序关系的流程图及必要的数学公式和形式化描述规范来表达。需要指出的是,大量的系统以连续与离散事件混合的形式存在,其仿真方法是上述两种方法的有机结合,并且可以建立统一的描述规范。1992年,美国国防科学委员会根据仿真试验特点定义了如表1.1所示的模型和仿真的类型。

表 1.1 模型和仿真的类型

类 型	英 文	说 明	应 用
模拟	Constructive Simulation	作战模拟,模型和分析工具	JTLS、JWARS、Thunder、STORM、NSS、JMASS
虚拟	Virtual Simulation	仿真的系统包括物理实体和计算机生成实体,通过仿真器作战人员可以在合成战场环境中作战	SIMNET、ModSAF、OneSAF
实拟	Live Simulation	包含真实作战兵力、作战环境和武器装备的作战行动	Red Flag

其中模拟仿真系统包含各类计算机仿真模型、与作战有关的各种模型及各种仿真分析工具。武器装备论证、研究和作战运用中需要使用不同层次的、大量的模拟仿真模型,下

至描述武器装备或其部件功能的单元工程模型,上至描述大型战役的集成模型。低层次的模拟仿真可以用于详细的工程设计和费用估算,以及系统和子系统的性能计算。高层次的模拟仿真可用于获取作战信息,分析、评估作战任务需求或后勤保障需求。模拟仿真可以在与人交互的情况下运行,也可以不与人交互。在前一种情况下,仿真常以作战模拟的形式出现,可用于军事人员训练或战术、条令研究。在后一种情况下,仿真常以性能/效能仿真的形式出现,可用于计算具有一定统计置信度的评估结果。

虚拟仿真通常是指在虚拟环境中进行的人在回路仿真。典型的人在回路仿真系统有三维虚拟仿真器、联网仿真器系统等。在虚拟仿真中,被仿真系统可以包括硬件,但其运行要受计算机仿真结果的驱动。例如,在武器系统训练模拟器中可以包含一个近乎真实的操作室,里面放置各种修正装置、显示设备和操作仪表盘。计算机生成的合成虚拟环境显示在操作人员前面的屏幕上,并反映在显示设备和操作仪表盘上。武器平台的运动受动力学仿真模型的驱动,仿真过程中发出的各种声响直接录自实际声源。在虚拟仿真环境中,操作人员看到的、感受到的和所做的与实际情况一样,从而产生一种沉浸感。在进行实战演习、试验或演练之前,人在回路中的仿真可以为军事人员提供一个训练平台。将多种武器系统模拟器互连,可以检验多武器平台之间的互联能力,支持战术和作战条令研究。虚拟仿真也为研制过程中武器系统硬件和软件的评估提供了强有力的支持。

实拟仿真是由实际的战斗人员操作使用实际的武器装备,在接近实际的作战环境中进行的武器装备试验和作战演练。实拟仿真系统与试验靶场配套使用,可以采集武器装备(系统)及其指挥控制软件在作战使用环境中的实际性能数据。与使用部队和现役武器装备在实战环境条件进行实战演习相比,实拟仿真更容易进行,并且耗费和损失较少;尽管如此,实拟仿真也要耗费大量人力、物理和财力,并花费大量的时间。从实拟仿真中采集的数据,可以用于评估未来武器装备的实战性能和作战使用原则,也有助于对用于武器装备虚拟管理的模型和仿真系统的结果进行确认和验证。在进行实拟仿真之前,可以先进行模拟仿真或虚拟仿真,对实拟仿真的试验或演练计划、方案和人员进行先期演练,发现需要研究的关键问题,实拟仿真可以印证虚拟仿真形成的重要结论,多武器平台实拟仿真还可以对武器装备之间的实际交互能力和互操作性进行更为客观的评价。

另外,依据不同模型的代表方法或采用的模型设计方法,也可以将仿真分为多种类型。由于不同的模型设计方法与仿真算法相关,而且这种基于模型设计方法的分类也是本书的重点,相关介绍请参照 1.6 节。仿真读者也不必执著于上述的仿真分类方法,因为不同类型的模型和仿真应用之间的界限正变得越来越模糊,人们谈到的仿真和模型通常也是跨越多种类型的混合仿真。

1.3 仿真的应用

今天仿真已经应用于几乎所有的应用领域,日益成为一门与不同专业交叉的基础技术。当前模型的开发部门既包括面向民用的大学、公司、实验室,也包括面向军事研究的