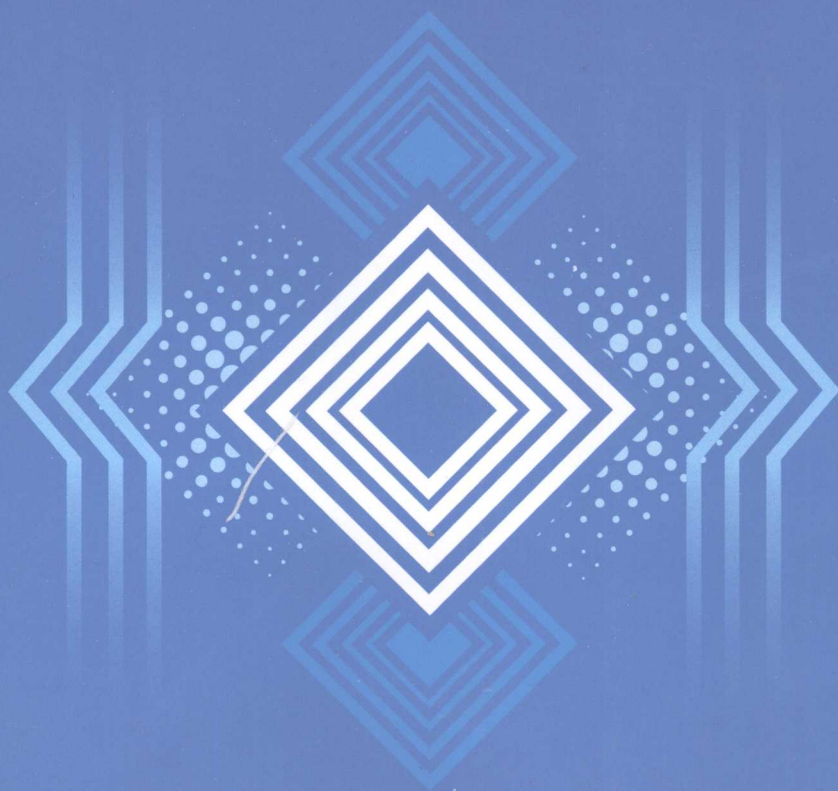


系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

半实物仿真

单家元 孟秀云 丁艳 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

半实物仿真

单家元 孟秀云 丁艳 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要从半实物仿真的概念、理论和设计三个方面,对半实物仿真系统和技术作了较为详细的介绍。涉及半实物仿真基本概念、半实物仿真系统和技术、仿真计算技术、场景仿真技术、目标与环境物理特性及其仿真技术、运动特性仿真技术、力与力矩特性仿真技术、卫星定位信号仿真技术、半实物仿真系统设计与集成技术以及半实物仿真试验技术等内容。

本书可作为教材供导航制导与控制、飞行器设计等相关专业的研究生使用,也可以供从事半实物仿真工作的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

半实物仿真 / 单家元, 孟秀云, 丁艳编著. —北京: 国防工业出版社, 2008. 4

(系统建模与仿真及其军事应用系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 05648 - 8

I. 半... II. ①单...②孟...③丁... III. 计算机仿真 - 应用 - 武器装备 IV. TJ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 042699 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 18 1/4 字数 410 千字

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

总 序

仿真技术具有安全性、经济性和可重复性等特点,已成为继理论研究、科学实验之后第三种科学研究的有力手段。仿真科学是在现代科学技术发展的基础上形成的交叉科学。目前国内出版的仿真技术方面的著作较多,但系统的仿真科学与技术丛书还很少。郭齐胜教授主编的“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”在这方面作了有益的尝试。

该丛书分为基础、应用基础和应用三个层次,由《概念建模》、《系统建模》、《半实物仿真》、《系统仿真》、《战场环境仿真》、《C³I 系统建模与仿真》、《计算机生成兵力导论》、《分布交互仿真及其军事应用》、《装备效能评估概论》、《装备作战仿真概论》10 部组成,系统、全面地介绍了系统建模与仿真的理论、方法和应用,既有作者多年来的教学和科研成果,又反映了仿真科学与技术的前沿动态,体系完整,内容丰富,综合性强,注重实际应用。该丛书出版前已在装甲兵工程学院等高校的本科生和研究生中应用过多轮,适合作为仿真科学与技术方面的教材,也可作为广大科技和工程技术人员参考书。

相信该丛书的出版会对仿真科学与技术学科的发展起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2005年3月27日

序 言

仿真科学与技术具有广阔的应用前景,正在向一级学科方向发展。仿真科技人才的需求也在日益增大。目前很多高校招收仿真方向的硕士和博士研究生,军队院校中还设立了仿真工程本科专业。仿真学科的发展和仿真专业人才的培养都在呼唤成体系的仿真技术丛书的出版。目前,仿真方面的图书较多,但成体系的丛书极少。因此,我们编写了“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”,旨在满足有关专业本科生和研究生的教学需要,同时也可供仿真科学与技术工作者和有关工程技术人员参考。

本丛书是作者在装甲兵工程学院及北京理工大学多年教学和科研的基础上,系统总结而写成的,绝大部分初稿已在装甲兵工程学院和北京理工大学相关专业本科生和研究生中试用过。作者注重丛书的系统性,在保持每本书相对独立的前提下,尽可能地减少不同书中内容的重复。

本丛书部分得到了总装备部“1153”人才工程专项经费的资助。中国工程院院士、中国系统仿真学会副理事长、《系统仿真学报》编委会副主任、总装备部仿真技术专业组特邀专家、哈尔滨工业大学王子才教授在百忙之中为本丛书作序。丛书的编写和出版得到了中国系统仿真学会副秘书长、中国自动化学会系统仿真专业委员会副主任委员、《计算机仿真》杂志社社长兼主编吴连伟教授、装甲兵工程学院训练部副部长王树礼教授、学科学位处处长谢刚副教授、培养处处长钟孟春副教授、装备指挥与管理主任王凯教授、政委范九廷大校和国防工业出版社的关心、支持和帮助。作者借鉴或直接引用了有关专家的论文和著作。在此一并表示衷心的感谢!

由于水平和时间所限,不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

郭齐胜

2005年10月

前言

半实物仿真是系统仿真的重要分支,是系统仿真技术在工程领域尤其是制导武器研制领域的最早、也是最成功的应用。半实物仿真技术充分体现了系统仿真中系统、模型和仿真的关系,以及仿真基本原理——相似原则的具体体现和实现方法,涉及面广,在数学、物理、力学等基础学科,以及机械、电气、电子、光电、信息、计算机和网络技术中都有具体应用。

仿真系统尤其是半实物仿真系统,其建设与具体仿真对象密切相关,与系统仿真中的系统、模型和仿真作为其核心技术和概念相类似,作为系统仿真中最重要的相似关系,半实物仿真的核心就是上述概念在半实物仿真系统中的具体体现,以及相似关系的构建和实现。如果抛开具体的仿真对象,一般可以按照自然环境中存在的物理特性及其效应作为共性的相似关系,研究这些物理特性的实验室模拟方法、构建半实物仿真系统、开展半实物仿真试验,这就是半实物仿真技术的内涵。

本书力图脱离具体的仿真对象,分析半实物仿真中系统、模型和仿真等概念的具体内涵,从系统物理特性、相似关系及其实现方法等方面,全面而系统地总结和介绍半实物仿真技术。本书按照半实物仿真中涉及到的关键技术进行组织,从仿真计算技术、视景仿真技术、目标与环境物理特性及其仿真技术、运动特性仿真技术、力与力矩特性仿真技术、卫星定位信号仿真技术、半实物仿真系统设计与集成技术以及半实物仿真试验技术等方面,对半实物仿真技术的内涵作了详细介绍。

本书在第1章、第2章介绍了系统仿真和半实物仿真的基本概念,重点阐述了系统仿真和半实物仿真中系统、模型的关系及其具体体现。

第3章从仿真计算机技术、仿真软件技术和仿真算法三个方面介绍了仿真技术,读者可以从了解到半实物系统仿真中软硬件实时性实现技术的多种方案,便于根据实际情况,从经济、使用、技术角度加以选择。

第4章针对人眼和光学成像设备的视景仿真问题,介绍了三维视觉建模理论和方法,如何采用计算机实现三维图形生成、显示和输出方法,如何构建视景仿真系统。

制导武器是利用目标和环境的物理特性对其目标进行探测,从而获取目标与飞行器的相对信息进行工作的,因此第5章从目标和环境的光学、电磁等物理特性建模入手,详细介绍了典型目标及其环境的物理特性模型,根据特性及其仿真方法的不同,分别介绍可见光、红外成像、激光、雷达射频、声波目标的各种半实物仿真方案和技术。

作为飞行器最基本的物理模拟设备——飞行模拟器,第6章从运动仿真的角度,重点

介绍了运动特性仿真中的控制系统技术,并详细介绍了分别用于姿态运动模拟——转台、姿态和质心运动模拟——平台和质心运动模拟——离心台的组成原理和技术方案。

第7章从力与力矩特性的仿真技术和力伺服控制技术入手,并详细介绍了舵机负载模拟器、力/触觉模拟器、压力模拟器等几种典型仿真设备及其实现技术。

与利用目标的射频特性进行制导的原理不同,卫星制导利用的是卫星定位信号。第8章针对这类系统的仿真,首先介绍了卫星定位原理及其数学模型,然后从原理、模型、软件和射频等方面详细介绍了卫星信号模拟器技术。

第9章则力图从系统论、方法论的角度介绍半实物仿真系统的总体设计和系统集成技术。本章介绍了半实物仿真系统设计的一般思路,强调了设计中的基本原则,相似关系和系统组成的确定原则,然后详细介绍了半实物仿真系统中仿真设备的指标论证方法、系统VVA方法,以及半实物仿真系统中的接口技术。本章重点介绍了飞行器制导控制半实物仿真系统的工作原理、相似关系及其相似方法,针对典型的应用实例,给出了详细的数学模型和实现方法。

作为半实物仿真系统建设最终目的是开展仿真试验,为此第10章则从试验目的与要求的制定、试验方案内容和流程设计、试验的启动与终止、试验故障处理、试验数据分析和处理等方面,对半实物仿真试验的具体操作进行分析和总结。

本书编者多年从事系统建模与仿真、拟实系统理论和设计方法、计算机控制、控制工程基础、微机原理与应用、导弹制导控制系统原理的教学工作,主持承担了多项制导弹药型号、预研项目的制导控制系统设计和半实物仿真工作,建立了可兼容激光、电视、捷联/卫星组合制导方式的制导弹药半实物仿真试验系统。本书是编者多年从事飞行器制导控制与仿真教学与科研工作的总结,但也借鉴参考了同行专家的研究成果,在此表示衷心感谢。虽然编者尽力避免,但仍难免挂一漏万,不足和错误之处,敬请读者批评指正。

本书的编写过程得到了北京理工大学系统与仿真实验室各位教师的大力协助,相关研究生参与了资料收集、整理和排版工作,李钟武教授、刘藻珍教授对全书进行了审阅,提出了很多宝贵意见,在此深表谢意。

编者

2007年1月

目 录

第1章 半实物仿真基本概念	1
1.1 系统仿真	1
1.1.1 系统仿真定义	1
1.1.2 系统仿真技术的历史与现状	2
1.1.3 系统仿真的一般过程	4
1.1.4 系统仿真的作用和意义	5
1.2 模型与仿真	6
1.3 系统仿真分类	7
1.4 仿真系统与仿真实体	9
1.4.1 仿真系统	9
1.4.2 仿真实体	11
1.5 半实物仿真与半实物仿真技术	14
第2章 半实物仿真系统与半实物仿真技术	17
2.1 半实物仿真系统	17
2.1.1 组成与功能	17
2.1.2 半实物仿真系统中的模型	18
2.1.3 半实物仿真系统中相似原理与相似方法	20
2.2 半实物仿真技术	23
2.2.1 视景仿真技术	23
2.2.2 目标特性仿真技术	27
2.2.3 运动特性仿真技术	28
2.2.4 力与力矩特性仿真技术	30
第3章 仿真计算技术	32
3.1 模拟混合仿真计算机技术	32
3.1.1 模拟计算机简介	32
3.1.2 混合计算机简介	32
3.2 全数字仿真计算机技术	34
3.2.1 ADI 公司系列产品	34
3.2.2 MAXION	38
3.2.3 dSPACE	39
3.2.4 银河亚星仿真工作站	40
3.2.5 RT-LAB	41

3.3	仿真语言与仿真软件	42
3.3.1	仿真语言	42
3.3.2	仿真软件	44
3.4	一体化建模仿真系统	56
3.4.1	ADSIM	56
3.4.2	银河一体化仿真环境	58
3.4.3	海鹰仿真集成开发环境	58
3.5	实时仿真算法	60
3.5.1	仿真算法基本概念及内容	60
3.5.2	实时数字仿真	61
3.5.3	实时仿真算法	63
3.5.4	一些基本的实时仿真算法	63
第4章	视景仿真技术	68
4.1	三维图形建模技术	68
4.1.1	虚拟环境的建模	68
4.1.2	三维视觉建模理论与方法	69
4.2	三维视景的图形生成与显示	71
4.2.1	图形生成算法	71
4.2.2	三维视景生成的实现办法	75
4.2.3	三维立体显示技术	80
4.3	视景仿真系统及其应用	83
4.3.1	视景仿真系统	83
4.3.2	视景仿真技术应用	84
第5章	目标与环境的物理特性及其仿真技术	87
5.1	概述	87
5.2	目标与目标特性	87
5.2.1	目标与环境光学特性	88
5.2.2	激光目标特性的研究	94
5.2.3	雷达目标特性	98
5.3	可见光图像仿真技术	100
5.3.1	基于球形屏幕分区投影的图像目标半实物仿真方案	101
5.3.2	基于平面直角大屏幕的图像目标半实物仿真方案	101
5.3.3	基于非球面反射镜的图像目标半实物仿真方案	102
5.3.4	多目标源的图像目标半实物仿真方案	103
5.3.5	其它可见光图像目标半实物仿真系统	104
5.4	红外成像目标半实物仿真技术	104
5.4.1	红外景象生成技术简介	105
5.4.2	非实时的红外成像目标背景模拟器半实物仿真方案	109
5.4.3	基于CIG系统的实时红外成像目标背景模拟器半实物	

仿真方案	109
5.4.4 基于变焦系统的红外成像目标背景模拟器半实物仿真方案	110
5.4.5 红外景象模拟器性能评估的研究	111
5.5 激光目标特性仿真技术	112
5.5.1 激光目标特性仿真	112
5.5.2 基于半导体发光二极管的仿真方案	113
5.5.3 利用 LD 馈电系统和衰减片的仿真方案	114
5.5.4 基于渐变衰减片和变焦光学系统的激光目标模拟器的仿真方案	115
5.5.5 基于模拟靶板的半实物仿真方案	116
5.6 射频特性仿真技术	117
5.6.1 射频信号特性分析及建模	117
5.6.2 射频目标/环境物理模拟技术	119
5.6.3 射频目标仿真计算机控制系统	124
5.6.4 射频目标仿真技术	126
5.7 声音特性仿真技术	127
5.7.1 三维声场的特性与建模	127
5.7.2 目标声音定位与仿真	129
5.7.3 目标背景信号模拟	130
5.7.4 声音目标仿真技术	132
第 6 章 运动特性仿真技术	134
6.1 运动特性仿真技术	134
6.2 运动控制系统技术	134
6.2.1 运动控制系统的分类及基本组成	134
6.2.2 角速度控制——调速系统	135
6.2.3 位置控制——位置随动系统	136
6.2.4 数字控制系统	137
6.2.5 液压控制系统	137
6.3 角运动仿真技术——转台	138
6.3.1 转台的组成及工作原理	138
6.3.2 转台的分类	139
6.3.3 飞行模拟转台控制技术	141
6.3.4 转台的技术指标及发展趋势	142
6.4 线运动仿真技术——平台	143
6.4.1 平台的组成及工作原理	143
6.4.2 平台结构原理	143
6.4.3 平台的运动空间位置关系	144
6.5 过载特性仿真技术——线加速度模拟器	145
6.5.1 离心机的组成	145
6.5.2 离心机的控制原理	146

6.5.3	离心机的主要技术指标	147
第7章	力与力矩特性仿真技术	148
7.1	力与力矩特性仿真技术	148
7.2	力伺服控制系统技术	148
7.3	随动负载特性仿真技术	149
7.3.1	舵机力矩平衡方程	149
7.3.2	负载力矩仿真器的类别	149
7.3.3	舵机负载台的技术指标及需解决的问题	151
7.4	触觉/力反馈技术	152
7.4.1	触觉/力反馈概念	152
7.4.2	触觉/力反馈接口技术分类	153
7.4.3	触觉/力反馈技术及工具	153
7.5	压力仿真技术	155
7.5.1	气压仿真	155
7.5.2	水压仿真	156
第8章	卫星定位信号仿真技术	157
8.1	卫星导航系统原理及特点	157
8.1.1	卫星导航系统原理	157
8.1.2	卫星导航系统特点	157
8.1.3	各种卫星导航系统简介	158
8.2	卫星定位信号数学模型	160
8.2.1	静态定位及其测量方程	160
8.2.2	动态定位及观测方程	165
8.2.3	误差分析	169
8.2.4	GPS 信号	174
8.3	卫星定位信号模拟器技术	175
8.3.1	GPS 卫星信号模拟器工作原理	175
8.3.2	软件组成	177
8.3.3	卫星信号模拟器主要技术指标	178
8.3.4	关键技术分析	178
8.3.5	GPS 卫星信号模拟器的应用	180
第9章	半实物仿真系统总体设计与系统集成技术	183
9.1	仿真系统总体技术	183
9.1.1	总体方案设计思路	183
9.1.2	仿真系统总体方案设计	184
9.1.3	仿真系统 VVA	195
9.1.4	仿真系统应用软件	200
9.2	飞行器半实物仿真系统集成	201
9.2.1	飞行器制导控制系统数学模型	201

9.2.2	飞行器半实物仿真系统中的相似方法	219
9.2.3	飞行器半实物仿真系统中的几何相似关系的实现	223
9.3	半实物仿真系统接口技术	235
9.3.1	概述	235
9.3.2	接口的抗干扰技术	236
9.3.3	专用仿真实时数字通信接口技术	238
9.3.4	数字实时通信网络技术	240
第 10 章	半实物仿真试验技术	245
10.1	概述	245
10.1.1	试验目的和要求	245
10.1.2	试验方案制定	250
10.2	试验设计	251
10.3	试验流程	253
10.3.1	部件动态测试	253
10.3.2	分系统半实物仿真	254
10.3.3	全系统半实物仿真	257
10.4	仿真试验的启动与结束	257
10.4.1	初始条件设置	258
10.4.2	转台的零位设置	259
10.4.3	干扰设置	260
10.4.4	转台的安全保护与归零设置	263
10.4.5	系统复位	264
10.5	故障处理	264
10.5.1	故障现象与故障原因分析	264
10.5.2	故障避免及故障处理方法	265
10.6	结果分析	267
10.6.1	半实物仿真系统 VV&A	267
10.6.2	仿真结果的评定与分析	268
参考文献		273

第1章 半实物仿真基本概念

仿真技术综合了当代科学技术中多种现代化尖端手段,极大地扩展了人类的视野、时限和能力,在科学技术领域起到了极其重要的作用。近10年来,我国仿真技术得到了迅速的发展。从应用的广泛程度看,已经从早期的航空、航天、火力发电和核动力发电部门等代价昂贵、周期长、危险性大、实际系统试验难以实现的少数领域,扩展到今天的军事、电子、通信、交通、舰船、冶金、建筑、气象、地质、机械制造、轻工、技术训练等多种行业和部门,其应用已经渗透到系统生命周期的全过程,并进一步扩大到社会系统、经济系统、交通运输系统、环境与生态系统等一些非工程系统领域,在国民经济建设中发挥了重要作用。

半实物仿真作为仿真技术的一个分支,涉及的领域极其广泛,包括机电技术、液压技术、控制技术、接口技术等。从某种角度上讲,一个国家的半实物仿真技术的发展水平也代表其整体的科技实力。半实物仿真是工程领域内一种应用较为广泛的仿真技术,是计算机仿真回路中接入一些实物进行的试验,因而更接近实际情况。这种仿真试验将对象实体的动态特性通过建立数学模型、编程,在计算机上运行,这是在飞机与导弹控制和制导系统中必须进行的仿真试验。下面将全面介绍仿真的基本概念。

1.1 系统仿真

系统仿真是20世纪40年代末伴随着计算机技术的发展而逐步形成的一类试验研究的新兴方法。仿真(Simulation)就是通过建立实际系统模型(数学模型、物理效应模型、或数学-物理效应模型)并利用所建模型对实际系统进行试验研究的过程。它为进行实际系统的研究、分析、决策、设计,以及对专业人员的培训提供了一种先进的方法,增强了人们对客观世界内在规律的认识能力,有力地推动了那些过去以定性分析为主的学科向定量化方向发展。

1.1.1 系统仿真定义

仿真界专家和学者对仿真下过不少定义,其中雷诺(T. H. Naylor)于1966年在其专著中对仿真作了如下定义:“仿真是在数字计算机上进行试验的数字化技术,它包括数字与逻辑模型的某些模式,这些模型描述某一事件或经济系统(或者它们的某些部分)在若干周期内的特征。”还有一些定义只是对仿真作一些概括的描述:仿真就是模仿真实系统;仿真就是利用模型来做实验等。从这些有关仿真的定义中可以看出,系统和系统模型是进行仿真试验的两个主要因素。同时由于对复杂系统的模型处理和模型求解离不开高性能的现代化的计算机,所以系统仿真(尤其是数学仿真)实质上应该包括三个基本要素:

系统、系统模型和计算机。而联系这三项要素的基本活动则是:模型建立、仿真模型建立和仿真试验,如图 1.1 所示。



图 1.1 仿真三要素

系统仿真技术作为分析和研究系统行为、揭示系统运动规律的一种重要的手段,随着 20 世纪 40 年代第一台计算机的诞生而迅速发展。特别是近些年来,随着系统科学研究的深入,控制理论、计算技术、信息处理技术的发展,计算机软件、硬件技术的突破,以及各个领域对仿真技术的迫切需求,使得系统仿真技术有了许多突破性的进展,在理论研究、工程应用、仿真工程和工具开发环境等许多方面都取得令人瞩目的成就,形成了一门独立发展的综合性科学。

综合国内外仿真界学者对系统仿真的定义,可以对系统仿真做如下的定义:

系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等理论基础之上的,以计算机和其它物理效应设备为工具,利用系统模型对真实或假想的系统进行试验,并借助于专家经验知识、统计数据和信息资料对试验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合性的和试验性的学科。

上述定义中的计算技术,除了包含通常意义下的计算理论和技术,还应该包括现代运筹学的绝大部分内容。对信息理论、控制理论、运筹学等概念和术语,其它一些有关系统科学和系统工程的著作都给予了明确的解释。定义中模型可以是定量的,也可以是定性的;可以是物理的,也可以是数学的,或者是它们的综合。要对某一系统进行研究,其“白色”部分,可以建立定量的解析模型;“灰色”部分则可以通过实验、观测和归纳推理获得其模型结构,并根据专家经验和知识来辨识其参数;而对于“黑色”部分则只能借助于各种信息知识(感性的、理性的、经验的、意念的、行为的等)给予定性描述。

1.1.2 系统仿真技术的历史与现状

仿真技术的发展主要源于军事领域的研究和应用。最初阶段它主要应用于对实弹打靶的模拟仿真,以减少因多次打靶而消耗的研制费用。在进入 20 世纪 90 年代以来,仿真技术迅猛发展,它综合集成了计算机、网络技术、图形图像技术、多媒体、软件工程、信息处理、自动控制等多个高新技术领域的知识。作为一种研究、发展新产品、新技术的科学手段,它在航天、航空、船舶、兵器等与国防科研相关的行业中逐步发展起来,并显示出了巨大的社会效益和经济效益。以美国为首的发达国家非常重视仿真在军事上的研究和应用,1986 年—1990 年间,美国用于仿真技术研究的年平均投资为 1.62 亿美元。而且,在“冷战”结束之后,更呈逐步增长的趋势。在未来高技术条件下的局部战争中,武器装备系统是由多个武器平台、电子战装备、C4ISR 系统等有机构成的体系,单件武器系统作战效能的发挥,依赖于整个武器装备体系的正常运作。20 世纪 80 年代初,随着军事需求与

技术的发展,单项武器系统的仿真已不能满足武器装备发展的需要。军事部门开始考虑将已建成的、分散在各地的单武器平台仿真系统或仿真实验室,通过信息互联构成多武器平台的仿真系统,进行武器系统作战效能的研究。1983年,美国国防高级研究计划局(DARPA)首先提出并与陆军共同制定了一项合作研究计划——仿真组网(SIMNET)计划。该计划是将分散在各地的坦克仿真器同计算机网络联结起来,进行各种复杂作战任务的训练和演习。80年代末,SIMNET计划结束时,已形成了约260个地面装甲车辆仿真器以及通信网络、指挥所和数据处理设备等互联的网络,结点分布在美国和德国的11个城市。为了大幅度增加仿真器的数量,逐步发展了异构型网络互联的分布交互仿真(DIS)系统,美国在20世纪80年代末专设软件与仿真专委会,负责管理军用仿真。20世纪90年代,针对扩展防空体系概念,美国陆军战略防御司令部及陆军导弹司令部,合作进行了“扩展的防空仿真系统”(EADSIM)研制计划。EADSIM是一个能用于攻防体系对抗研究的作战仿真系统,它连接美国本土、北约、英国、以色列等地100多个军事、工业部门,可给用户提供一个逼真的环境,用以分析准备建立的战术导弹防御系统,评估系统性能参数、作战过程及战术导弹防御系统的构成。海湾战争验证EADSIM是评估作战方案的一个有力工具,但EADSIM仍是一个纯数字仿真系统,为了更好地评估武器系统,在此基础上,现正在研制硬件与人在回路中的EADTB仿真系统。科索沃战争中各种现代化武器装备联结成一个有机体系,呈现出信息化、智能化、一体化的发展趋势,战争形态、作战样式也随之在发生一系列新变化,如远程攻击能力大大增强,打击精度空前提高,杀伤力成倍增长。其中,争夺信息优势,取得战争制信息权已成为现代作战的重心之一,利用计算机仿真技术研究和探索信息战的特点和规律,也成为人们关注的热点和焦点。

国际上,仿真技术在高科技中所处的地位日益提高。在美国的国家关键技术和国防关键技术计划中,建模与仿真都排名于前列,海湾战争结束后不久,美国国防部建立了“国防建模与仿真办公室”并提出了新的建模与仿真投资战略。1992年美国国防部对关键技术项目进行了调整,确定了七个优先发展的技术领域,仿真技术仍为其中的一项。欧洲共同体在1989年制定的“欧几里德”计划中,也将建模与仿真列为11项优先发展的合作发展技术领域之一。由于各国都预测,在今后的10年~15年内,爆发世界大战的可能性不大,因此,大型的武器试验和大批量的武器生产计划将受到限制。于是,发达国家欲在军事上保持领先地位,都把目光转向仿真技术,实行“多研制,少生产”的武器系统发展和采办方针。仿真技术便成为研制和鉴定现代武器系统的既经济又有效的必要手段,成为国防科技战略的关键性的推动力。

在我国,仿真技术的研究与应用发展迅速,并且越来越受到国家的重视。20世纪50年代开始,自动控制领域就首先使用了仿真技术,面向方程建模和采用模拟计算机的数学仿真获得较普遍的应用,同时采用自行研制的三轴模拟转台的自动飞行控制系统的半实物仿真试验已经开始应用于飞机、导弹的工程型号研制中。60年代,在开展连续系统仿真的同时,已开始了对离散事件系统(例如交通管理、企业管理)的仿真进行研究。70年代,我国的训练仿真器获得迅速发展,我国自行设计的飞行模拟器、舰艇模拟器、火电机组培训仿真系统、化工过程培训仿真系统、机车培训仿真器、坦克模拟器、汽车模拟器等相继研制成功,并形成了一定市场,在操作人员培训中发挥了很大的作用。80年代,我国建设

了一批水平高、规模大的半实物仿真系统,如各种类型的导弹半实物仿真系统、歼击机半实物仿真系统、驱逐舰半实物仿真系统等,它们在武器型号研制中发挥了重大的作用。90年代,我国开始对分布式交互仿真、虚拟现实等先进仿真技术及其应用进行研究,开展了较大规模的复杂系统仿真,由单个武器平台的性能仿真发展为多武器平台在作战环境下的对抗仿真。同时,仿真技术在国民经济的各个领域,如发电工程、化工过程等方面都得到了应用和发展。

目前,在武器系统研制过程中,用得最多的是数学仿真和半实物仿真技术。半实物仿真又称为“数学-物理”仿真,是20世纪70年代在混合计算机和高速数字计算机技术蓬勃发展的环境下发展起来的。半实物仿真与全数字仿真相比较,有两个最大的优点:一个是可以建造的目标/环境(包括背景与人工干扰)模拟器,逼真地生成实战空间的目标/环境场景,提供给导弹的制导控制系统进行仿真试验;另一个是可以把导弹制导系统中某些非线性比较高的关键部件实物(如导引头、自动驾驶仪等)引入仿真回路,这样就避免了全数字仿真中,由于非线性部件建立数学模型的正确性所带入的误差,从而可以大大提高仿真的可信度,这是全数字仿真所无法比拟的。

总之,随着计算机科学的发展,仿真技术已经渗透到各个领域,如航空、航天、生物工程、石油、化工、环境保护、农业、商业等。并且,仿真技术不仅仅应用于简单的单个系统,也应用于多个系统综合构成的复杂系统。当前仿真研究的前沿课题主要有:仿真与人工智能技术的结合;分布交互仿真模型的并行处理;实时仿真与半实物仿真系统的实现;图形与动画等可视化仿真、建模环境与仿真支持系统,人在回路仿真,随机作战仿真,高层体系结构(HLA)等。

1.1.3 系统仿真的一般过程

系统仿真是对系统进行试验研究的综合性技术科学。对于任何一个系统的仿真研究都是一项或简或繁的系统工程,特别是对复杂系统或综合系统的总体仿真研究是一件难度很大的工作。诸如系统仿真实验总体方案设计,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、验证及确认,仿真系统的可靠性和精度分析与评估,仿真结果的认可和置信水平分析等,涉及面十分广泛。为了使仿真试验顺利进行并获得预期效果,必须把针对某一实际系统的仿真试验切切实实作为一项系统工程来抓。通常系统仿真试验是为特定目的而设计的,是为仿真用户服务的,因此,复杂的系统仿真试验需要仿真工作者与仿真用户共同参与,从这个意义上讲,仿真试验过程包括这样几个工作阶段:

(1) 建模阶段。在这一阶段中,通常是先分块建立子系统的模型。若为数学模型则需要模型变换,即把数学模型变为可以在计算机上运行的模型,并对其进行初步的校验;若为物理模型,它需在功能与性能上覆盖系统的对应部分。然后根据系统的工作原理,将子系统的模型进一步集成为全系统的仿真实验模型。

(2) 模型实验阶段。在这一阶段中,首先要根据实验目的制定实验计划和实验大纲,在计划和大纲的指导下,设计一个好的流程,选定待测量变量和相应的测量点,以及适当的测量仪表。之后转入模型运行,即进行仿真实验并记录结果。

(3) 结果分析阶段。结果分析在仿真过程中占有重要地位。在这一阶段中需要对实

验数据进行去粗取精、去伪取真的科学分析,并根据分析结果做出正确的判断和决策。因为实验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,往往得由仿真用户或熟悉系统领域的专家来判定。如能得到认可,则可以转入文档处理,否则,需返回建模和模型实验阶段查找原因,或修改模型结构和参数,或检查实验流程和实验方法,然后再进行实验,如此往复,直到获得满意的结果。

1.1.4 系统仿真的作用 and 意义

随着军事科学技术的迅猛发展,仿真已成为各种复杂系统研制工作的一种必不可少的手段。尤其是在航空航天领域,仿真技术已是飞行器和卫星运载工具研制必不可少的手段。在研制、鉴定和定型全过程都必须全面地应用先进的仿真技术。否则,任何新型的、先进的飞行器和运载工具的研制都将是不可能的。下面,以武器的研制为例说明仿真在研制工作中的作用:

1. 方案设计阶段

- (1) 通过作战运用研究,评定战术技术指标的合理性;
- (2) 论证战术技术指标的可行性;
- (3) 确定各分系统最佳指标并研究这些指标的协调性、可行性;
- (4) 制导系统各模块功能的确定,作战体制研究,作战软件编制等;
- (5) 控制系统设计;
- (6) 检验各种抗干扰措施的有效性;
- (7) 确定指控系统总体指标和方案;
- (8) 全系统功能仿真。

2. 武器研制阶段

- (1) 进行制导系统和指挥系统的性能仿真,以检查各分系统实际性能是否协调,能否满足系统指标要求并确定各分系统允许公差范围;
- (2) 为各种飞行试验作事先准备及结果分析;查找出现故障的原因,为系统改进提供依据;
- (3) 进行作战配合仿真、判断引信启动和杀伤物质动态飞散区的配合效果,计算武器杀伤效率;
- (4) 进行系统软件的开发,解决各分系统硬、软件的功能协调,优化系统软件;
- (5) 利用打靶测量结果进行辨识、校验模型;通过仿真与靶场试验结合,设计最佳靶场试验方案,以提高经济效益。

3. 武器定型阶段

- (1) 进行全系统仿真,结合打靶确定武器系统在作战空域内的精度及杀伤概率;
- (2) 提供作战软件;
- (3) 研究定型过程出现的问题并加以解决;
- (4) 与靶场试验结合对武器系统性能作出鉴定。

4. 武器装备部队阶段

- (1) 对部队使用过程发现的问题进行分析研究并予以解决;
- (2) 协助部队进行训练和作战运用,攻防对策的研究;