



仿真科学与技术及其军事应用丛书

Advanced Distributed Simulation
(Second Edition)

先进分布仿真 (第2版)

徐享忠 郭齐胜 张伟 徐丙立 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

仿真科学与技术及其军事应用丛书

军队“2110 工程”专项经费资助

先进分布仿真 (第2版)

徐享忠 郭齐胜 张 伟 徐丙立 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

先进分布仿真是作战仿真的一个新的方向,在军事领域得到了广泛的应用。先进分布仿真的相关文献资料很多,但这方面的著作或教材极少。本书第1版填补了先进分布仿真领域著作和教材的空白。

本书力图比较全面、系统地介绍先进分布仿真技术,首先简要介绍先进分布仿真的产生、发展、分类、应用、面临的挑战;接着详细介绍先进分布仿真的主要技术,包括体系结构、信息交换标准、时空一致性、仿真管理、VV&A与仿真可信度;尔后详细介绍先进分布仿真系统的构建,重点是开发时支撑工具和运行时支撑工具;最后简要介绍典型的先进分布仿真系统以及先进分布仿真的新进展,包括基础对象模型、基于Web服务的仿真、基于网格的仿真、云仿真。

本书可作为相关专业本科生和硕士研究生的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进分布仿真/徐享忠等编著. —2版. —北京:国防工业出版社,2013.1

(仿真科学与技术及其军事应用丛书)

ISBN 978-7-118-08183-1

I. ①先... II. ①徐... III. ①分布式计算机—仿真系统 IV. ①TP338.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第182556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100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16½ 字数 279千字

2013年1月第2版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 45.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

丛书编写委员会

主任委员 郭齐胜

副主任委员 徐享忠 杨瑞平

委 员 (按姓氏音序排列)

曹晓东	曹裕华	丁 艳	邓桂龙	邓红艳
董冬梅	董志明	范 锐	郭齐胜	黄俊卿
黄玺瑛	黄一斌	贾庆忠	姜桂河	康祖云
李 雄	李 岩	李宏权	李巧丽	李永红
刘 欣	刘永红	罗小明	马亚龙	孟秀云
闵华侨	穆 歌	单家元	谭亚新	汤再江
王 勃	王 浩	王 娜	王 伟	王杏林
徐丙立	徐豪华	徐享忠	杨 娟	杨瑞平
杨学会	于永涛	张 伟	张立民	张小超
赵 倩				

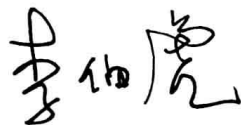
总序

为了满足仿真工程学科建设与人才培养的需求,郭齐胜教授策划在国防工业出版社出版了国内第一套成体系的系统仿真丛书——“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”。该丛书在全国得到了广泛的应用,取得了显著的社会效益,对推动系统建模与仿真技术的发展发挥了重要作用。

系统建模与仿真技术在与系统科学、控制科学、计算机科学、管理科学等学科的交叉、综合中孕育和发展而成为仿真科学与技术学科。针对仿真科学与技术学科知识更新快的特点,郭齐胜教授组织多家高校和科研院所的专家对“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”进行扩充和修订,形成了“仿真科学与技术及其军事应用丛书”。该丛书共 19 本,分为“理论基础—应用基础—应用技术—应用”4 个层次,系统、全面地介绍了仿真科学技术的理论、方法和应用,体系科学完整,内容新颖系统,军事特色鲜明,必将对仿真科学与技术学科的建设与发展起到积极的推动作用。

中国工程院院士

中国系统仿真学会理事长



2011 年 10 月

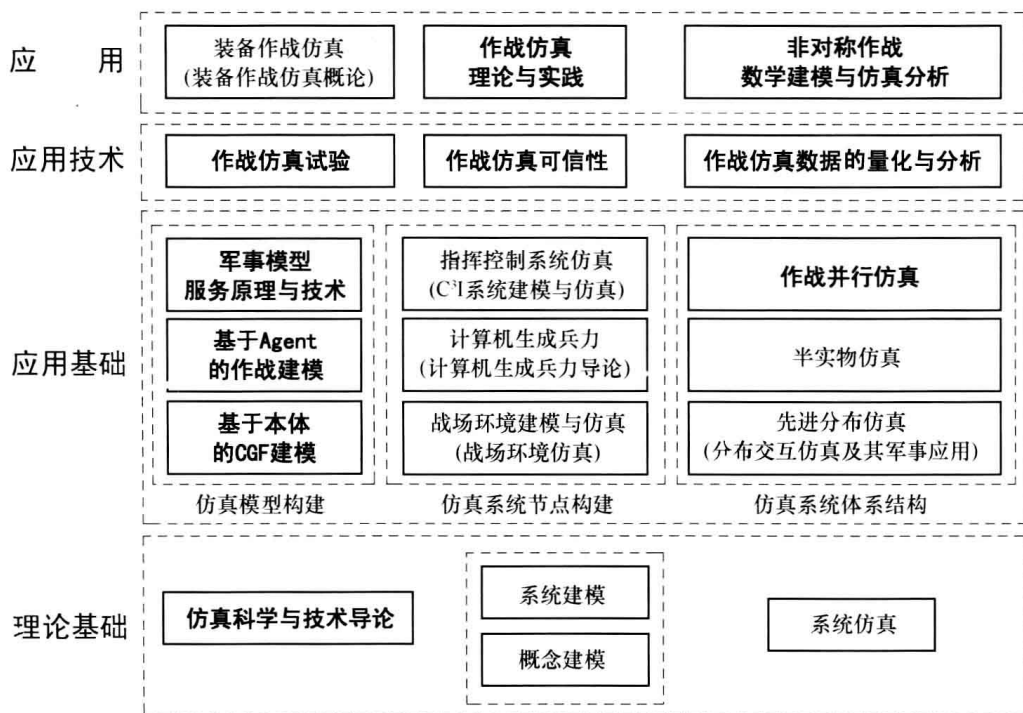
序 言

系统建模与仿真已成为人类认识和改造客观世界的重要方法,在关系国家实力和安全的关键领域,尤其在作战试验、模拟训练和装备论证等军事领域发挥着日益重要的作用。为了培养军队建设急需的仿真专业人才,装甲兵工程学院从1984年开始进行理论研究和实践探索,于1995年创办了国内第一个仿真工程本科专业。结合仿真工程专业创建实践,我们在国防工业出版社策划出版了“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”。该丛书由“基础—应用基础—应用”三个层次构成了一个完整的体系,是国内第一套成体系的系统仿真丛书,首次系统阐述了建模与仿真及其军事应用的理论、方法和技术,形成了由“仿真建模基本理论—仿真系统构建方法—仿真应用关键技术”构成的仿真专业理论体系,为仿真专业开设奠定了重要的理论基础,得到了广泛的应用,产生了良好的社会影响,丛书于2009年获国家级教学成果一等奖。

仿真科学与技术学科是以建模与仿真理论为基础,以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具,根据研究目标建立并运行模型,对研究对象进行认识与改造的一门综合性、交叉性学科,并在各学科各行业的实际应用中不断成长,得到了长足发展。经过5年多的酝酿和论证,中国系统仿真学会2009年建议在我国高等教育学科目录中设置“仿真科学与技术”一级学科;教育部公布的2010年高考招生专业中,仿真科学与技术专业成为23个首次设立的新专业之一。

最近几年,仿真技术出现了与相关技术加速融合的趋势,并行仿真、网格仿真及云仿真等先进分布仿真成为研究热点;军事模型服务与管理、指挥控制系统仿真、作战仿真试验、装备作战仿真、非对称作战仿真以及作战仿真可信性等重要议题越来越受到关注。而“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”中出版最早的距今已有8年多时间,出版最近的距今也有5年时间,部分内容需要更新。因此,为满足仿真科学与技术学科建设和人才培养的需求,适应仿真科学与技术快速发展的形势,反映仿真科学与技术的最新研究进展,我们组织国内8家高校和科研院所的专家,按照“继承和发扬原有特色和优点,转化和集成科研学术成果,规范和统一编写体例”的原则,采用“理论基础—应用基础—应

用技术—应用”的编写体系,保留了原“系列丛书”中除《装备效能评估概论》外的其余9本,对内容进行全面修订并修改了5本书的书名,另增加了10本新书,形成“仿真科学与技术及其军事应用丛书”,该丛书体系结构如下图所示(图中粗体表示新增加的图书,括号中为修改前原丛书中的书名):



中国工程院院士、中国系统仿真学会理事长李伯虎教授在百忙之中为本丛书作序。丛书的出版还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,空军指挥学院作战模拟中心毕长剑教授,装甲兵工程学院训练部副部长王树礼教授、装备指挥与管理系副主任王洪炜副教授和国防工业出版社相关领导的关心、支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

仿真科学与技术涉及多学科知识,而且发展非常迅速,加之作者理论基础与专业知识有限,丛书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

郭齐胜
2012年3月

总序

系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

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 本组成,系统、全面地介绍了系统建模与仿真的理论、方法 and 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的参考书。

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

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”人才工程和军队“2110 工程”重点建设学科专业领域经费的资助。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,以及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、招生培养处处长钟孟春副教授、装备指挥与管理系主任王凯教授、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。

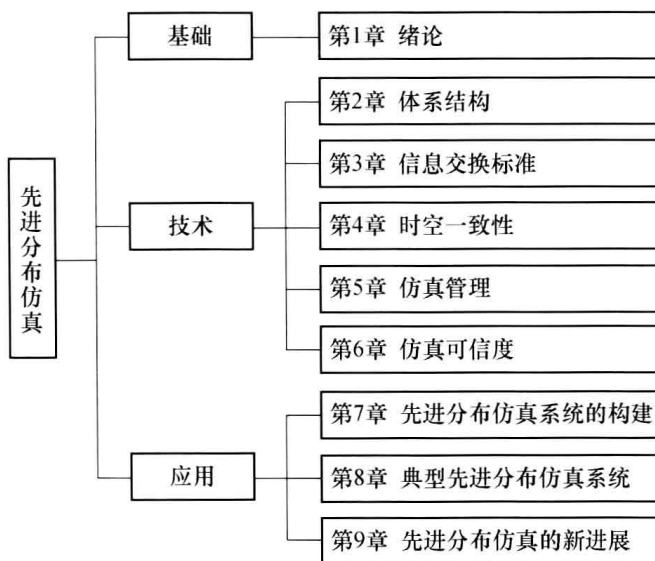
郭齐胜

2005 年 10 月

前言

先进分布仿真(ADS)是系统仿真的一个新的方向,发展速度很快,有关的文献资料很多,但这方面的著作或教材极少。本书在第1版的基础上,主要做了三方面的修订:一是考虑各册丛书之间的分工,删节了分布交互仿真的战场环境、分布交互仿真中的人在回路仿真器、分布交互仿真的计算机生成兵力等章节;二是面向先进分布仿真技术的发展,增加了先进分布仿真的新进展、数据工程理论与方法等内容,对分布交互仿真的DR算法与时钟同步、分布交互仿真的应用程序开发部分内容进行了整合;三是着眼“它山之石,可以攻玉”,增加了美军典型先进分布仿真系统等内容。

本书是作者阶段性研究成果的总结,按照下图所示的“基础—技术—应用”的体系结构编写。



全书共9章,第1章为绪论,主要介绍先进分布仿真的产生、发展和分类,分析了先进分布仿真面临的共性问题,简要阐述了先进分布仿真在军事领域与非军事领域的典型应用。第2章介绍了先进分布仿真的体系结构,包括DIS、

ALSP 与 HLA 各自的基本概念和逻辑拓扑结构,分析了 DIS 与 HLA 的互连技术。第 3 章研究了先进分布仿真的信息交换标准,包括 DIS 协议、HLA 规范。第 4 章研究了先进分布仿真的时空一致性,包括时间一致性、空间一致性、自然环境一致性、电磁环境一致性。第 5 章论述了仿真管理,包括 DIS 系统的管理和 HLA 仿真系统的管理。第 6 章介绍了先进分布仿真的可信度,包括仿真可信度的基本概念、评估方法、技术途径及控制策略,以及数据工程理论与方法在先进分布仿真可信度评估上的应用。第 7 章介绍了先进分布仿真系统的构建,包括联邦开发与执行过程、开发时支撑工具、运行时支撑工具,分析了先进分布仿真系统构建面临的挑战,并给出了一个实例。第 8 章介绍了美军典型的先进分布仿真系统,包括 WARSIM 2000、JWARS、JSIMS、JTLS、JMASE。第 9 章讨论了先进分布仿真的新进展,包括基础对象模型、基于 Web 服务的仿真、基于网格的仿真、云仿真。

本书得到军队“2110 工程”专项经费资助;在编写过程中参阅了大量著作和文献,吸收了同行们辛勤劳动的成果,在此一并表示感谢。

由于先进分布仿真是一个发展非常迅速的领域,加之作者理论基础和专业知识有限,书中疏漏、不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

徐享忠

2012 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 先进分布仿真的产生和发展	001
1.2 先进分布仿真的分类	005
1.3 先进分布仿真的共性问题	007
1.3.1 模型和数据	007
1.3.2 数据管理和时间管理	008
1.3.3 运行时环境和开发时环境	008
1.3.4 计算机生成技术	009
1.3.5 可视化技术	009
1.3.6 综合自然环境的建模与仿真	009
1.3.7 C ⁴ ISR 与 M&S	009
1.4 先进分布仿真的应用	010
1.4.1 军事领域的应用	010
1.4.2 非军事领域的应用	012
第 2 章 体系结构	013
2.1 仿真系统体系结构理论	013
2.1.1 仿真系统体系结构的内涵	013
2.1.2 仿真系统体系结构的类别	014
2.1.3 仿真系统体系结构的视图	015
2.1.4 仿真系统体系结构的性能要求	015
2.2 DIS 体系结构	016
2.2.1 DIS 中的基本概念	016
2.2.2 DIS 逻辑拓扑结构	017
2.3 ALSP 体系结构	019
2.4 HLA 体系结构	020

2.4.1	HLA 中的基本概念	020
2.4.2	HLA 逻辑拓扑结构	021
2.5	两种体系结构的互连	024
第 3 章 信息交换标准		026
3.1	引言	026
3.2	DIS 协议	026
3.3	HLA 规范	030
3.3.1	HLA 规则	031
3.3.2	HLA 对象模型模板	032
3.3.3	HLA 接口规范	036
3.3.4	MOM	042
第 4 章 时空一致性		049
4.1	引言	049
4.1.1	时空一致性的概念	049
4.1.2	时空一致性影响因素	050
4.2	通信机制	051
4.2.1	网络通信服务需求	051
4.2.2	传输方式	053
4.2.3	Multicast 技术	053
4.3	时钟同步	056
4.3.1	时钟同步的概念	056
4.3.2	硬件时钟同步方法	057
4.3.3	软件时钟同步方法	057
4.4	空间一致性	061
4.4.1	常用坐标系	061
4.4.2	常用坐标转换	064
4.5	DR 算法	064
4.5.1	基本思想	065
4.5.2	算法描述	065
4.5.3	DR 算法的执行过程	066
4.5.4	DR 算法的应用	067

4.6	自然环境一致性	067
4.6.1	综合自然环境	068
4.6.2	综合自然环境数据表示与交换规范	068
4.7	电磁环境一致性	069
4.7.1	基本概念	069
4.7.2	电磁环境仿真的基本方法	071
第5章	仿真管理	072
5.1	引言	072
5.2	DIS 系统的管理	073
5.2.1	分层递阶管理模式	073
5.2.2	“四加三”管理模式	076
5.3	HLA 仿真系统的管理	079
5.3.1	联邦全过程全系统管理的体系结构	080
5.3.2	联邦全过程全系统管理控制环境	081
5.3.3	联邦全过程全系统管理的关键技术	082
第6章	仿真可信度	088
6.1	引言	088
6.2	仿真可信度的概念	089
6.2.1	仿真可信度的定义	089
6.2.2	仿真可信度的性质	090
6.2.3	仿真可信度研究的历程	091
6.2.4	仿真可信度研究中的难题与方向	094
6.3	模型与仿真的 VV&A	097
6.3.1	VV&A 的概念	097
6.3.2	VV&A 的工作过程	098
6.3.3	VV&A 的基本原则	099
6.3.4	VV&A 相关人员及其职责	100
6.3.5	VV&A 的相关技术	101
6.3.6	仿真可信度与 VV&A 的关系	102
6.4	数据的 VV&C	103
6.4.1	VV&C 的基本概念	104

6.4.2	建模与仿真中数据的分类	104
6.4.3	数据 VV&C 原则	105
6.4.4	仿真数据校核与验证的关键过程	106
6.4.5	数据工程理论与方法	109
6.5	仿真可信度评估方法	113
6.5.1	基于相似理论的可信度分析	114
6.5.2	基于模糊综合评判法的可信度评估	115
6.5.3	基于层次分析法的可信度评估	116
6.5.4	基于粗糙集理论的仿真的可信度评估方法	116
6.5.5	基于模糊推理的仿真可信度评估方法	119
6.5.6	基于粗糙-模糊综合评判的仿真可信度评估方法	121
6.5.7	各种方法的分析对比	122
6.6	仿真可信度评估的技术途径与支撑环境	123
6.6.1	技术途径	123
6.6.2	支撑环境	125
6.7	仿真可信度的控制	128
第 7 章	先进分布仿真系统的构建	130
7.1	联邦开发与执行过程	130
7.1.1	FEDEP 的基本步骤	130
7.1.2	FEDEP 描述方法比较	133
7.2	开发时支撑工具	134
7.2.1	仿真对象模型开发工具	134
7.2.2	仿真成员框架自动生成工具	135
7.2.3	仿真系统调试工具	136
7.2.4	仿真系统集成工具	139
7.2.5	仿真语言	142
7.3	运行时支撑工具	144
7.3.1	仿真引擎	144
7.3.2	仿真管理	145
7.3.3	数据记录与回放	156
7.3.4	仿真可视化	156
7.4	开发实例	157

7.4.1	需求分析	157
7.4.2	联邦概念模型开发	159
7.4.3	联邦设计与开发	160
7.4.4	系统的集成、测试与运行	169
7.4.5	联邦执行和结果准备	170
7.5	先进分布仿真系统构建面临的挑战	171
7.5.1	仿真对象的复杂性	171
7.5.2	军事需求问题	173
7.5.3	技术需求问题	174
第8章 典型先进分布仿真系统		178
8.1	引言	178
8.1.1	美军作战仿真系统的主要特点	179
8.1.2	美军作战仿真系统的应用领域	181
8.2	WARSIM 2000	181
8.2.1	系统简介	182
8.2.2	体系结构	182
8.2.3	应用领域	183
8.3	联合作战系统	184
8.3.1	系统简介	184
8.3.2	体系结构	184
8.3.3	主要功能	189
8.3.4	应用领域	190
8.4	联合仿真系统	190
8.4.1	系统简介	190
8.4.2	组织结构	191
8.4.3	体系结构	192
8.4.4	主要功能	192
8.4.5	应用领域	193
8.5	联合战区级仿真系统	194
8.5.1	系统简介	194
8.5.2	体系结构	194
8.5.3	模型构成	196

8.5.4	多分辨率联邦的体系结构	197
8.5.5	应用领域	198
8.6	联合建模与仿真环境(JMASE)	199
8.6.1	JMASE 概述	199
8.6.2	调度服务	199
8.6.3	日志服务	200
8.6.4	JMASE 的通信机制	200
第9章	先进分布仿真的新进展	202
9.1	基础对象模型	204
9.1.1	BOM 方法的基本内容	204
9.1.2	BOM 的创建方法	209
9.1.3	封装 BOM 的实现	211
9.1.4	BOM 的重用方法	213
9.2	基于 Web 服务的仿真	213
9.2.1	Web 服务简介	213
9.2.2	可扩展建模与仿真框架	214
9.2.3	Web 服务与 HLA	220
9.3	基于网格的仿真	221
9.3.1	基于网格仿真的必要性	221
9.3.2	基于网格仿真的研究方向	222
9.3.3	Web 服务与网格计算	224
9.3.4	仿真网格	224
9.4	云仿真	228
9.4.1	虚拟化技术	228
9.4.2	基于云仿真平台的云仿真系统体系结构	233
9.4.3	云仿真平台关键技术	235
	参考文献	238