



仿真科学与技术及其军事应用丛书

Warfighting Simulation
Experiments

作战仿真试验

徐享忠 汤再江 于永涛 徐豪华 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



013053546

E83-33
01

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

作战仿真试验

徐享忠 汤再江 于永涛 徐豪华 编著



E83-33
01

国防工业出版社

·北京·



北航

C1660227

01302328

内 容 简 介

作战仿真试验是解决复杂作战问题的重要手段,仿真试验设计、仿真样本生成、仿真试验控制与仿真试验分析又是作战仿真试验中的核心技术。本书提出了作战仿真试验的理论框架,包括试验目标、方法模式、支撑工具等内容,并在此基础上探讨了贯穿于仿真试验设计、仿真样本生成、仿真试验控制、仿真试验分析等作战仿真试验基本过程的相关概念、算法、工具以及应用实例。

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

作战仿真试验 / 徐享忠等编著. —北京:国防工业出版社, 2013.3

(仿真科学与技术及其军事应用丛书)

ISBN 978-7-118-08626-3

I. ①作... II. ①徐... III. ①作战模拟-计算机仿真-实验技术 IV. ①E83-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 030397 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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16½ 字数 273 千字

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 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				

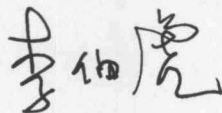
总序

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与技术的理论、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

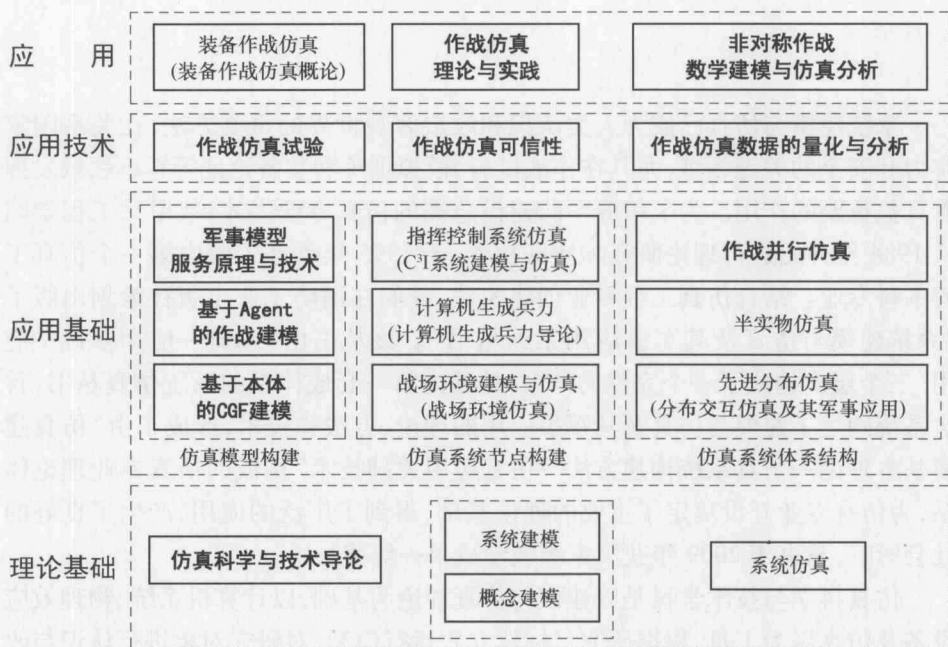
序言

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实论为基础,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

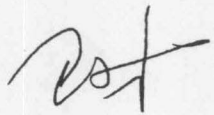
系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

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

序言

系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

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

试验方法是近代科学与工程技术的基石。由于作战的高度复杂性,完成有效的作战试验非常困难。作战仿真试验具有经济、安全与良好的可控性等优点,成为解决复杂作战问题的重要手段,特别是成为了军队转型的重要支撑。而由于作战本身的复杂性和人们认知水平的局限性,作战仿真试验面临着许多难题有待解决。

本书是作者阶段性研究成果的总结,围绕作战仿真试验的理论框架展开论述,按照“基础—方法—工具—应用”的思路编写,体系结构如下:



全书共7章,第1章介绍作战仿真试验的基本概念、特点和一般过程,提出了作战仿真试验的理论框架,介绍了作战仿真试验的理论基础及典型系统。第2章介绍了作战仿真试验设计的作用、主要特点、基本原则、一般过程,着重分析了其常用方法及实例。第3章分析了仿真系统上的随机数发生器在算法设计及功能设计方面的不足,重点研究了适用于作战仿真试验的优质、高效的多样本生成算法,特别是多样本并行生成及优化算法。第4章论述了作战仿真试验的控制,包括状态保存与恢复、成员迁移、多样本连续运行、容错运行等。第5章论述了作战仿真试验分析的方法和机制,包括输入/输出数据的分析方法及机制建设。第6章介绍了作战仿真试验支撑工具,包括仿真试验设计、仿真样本生成、

仿真试验控制、仿真试验分析等工具。第7章通过两个典型案例来说明作战仿真试验是如何解决实际重大问题的。

本书由徐享忠设计框架,徐享忠、汤再江、于永涛、徐豪华共同编写,其中,徐享忠负责第1、3、4、5、6章的编写,汤再江负责第2、7章的编写,于永涛、徐豪华参与了第1、6章的编写。全书由徐享忠统稿。

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。

由于作战仿真试验是一个很新的领域,加之作者理论基础和专业知识有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2013年2月

目录

第 1 章 绪论	001
1.1 作战仿真试验概述	002
1.1.1 基本概念	002
1.1.2 作战仿真试验的特点	008
1.2 作战仿真试验的基本过程	009
1.2.1 仿真试验准备	010
1.2.2 仿真试验实施	012
1.2.3 仿真试验分析	013
1.2.4 仿真试验的迭代	014
1.3 作战仿真试验框架	014
1.3.1 试验目标	015
1.3.2 方法模式	017
1.3.3 支撑工具	018
1.4 作战仿真试验的理论基础	019
1.4.1 预测论	019
1.4.2 先进分布仿真	024
1.4.3 并行仿真	028
1.5 美军典型的作战仿真试验系统	029
第 2 章 作战仿真试验设计	034
2.1 引言	034
2.2 作战仿真试验设计的主要特点	036
2.3 作战仿真试验设计的基本原则	037
2.4 作战仿真试验设计的一般过程	038
2.5 作战仿真试验设计的常用方法	040

2.5.1	全因子试验设计	041
2.5.2	正交试验设计	042
2.5.3	均匀试验设计	045
2.5.4	分式因子设计法	048
2.5.5	中心复合设计	048
2.5.6	Box - Behnken 设计	050
2.5.7	单因子试验设计	051
2.5.8	小结	052
2.6	作战仿真试验设计的实例	053
第3章 作战仿真试验样本生成		057
3.1	引言	057
3.2	用数学方法生成随机序列的基本原理	059
3.2.1	乘同余法	059
3.2.2	混合同余法	060
3.2.3	移位寄存器随机数发生器	061
3.2.4	产生均匀分布随机数的若干新方法	064
3.2.5	组合发生器	066
3.3	当前仿真系统主流开发平台上的随机数发生器	068
3.3.1	随机数发生器算法的一般形式	068
3.3.2	统计品质的缺陷	069
3.3.3	功能设计的不足	072
3.4	适用于作战仿真试验的多样本生成算法	073
3.5	高效的多样本生成技术	074
3.5.1	标准 C/C++ 运行库求余方法	075
3.5.2	模分解方法	075
3.5.3	移位操作方法	076
3.6	多样本并行生成算法及优化	077
3.6.1	子序列初始值的确定	077
3.6.2	多样本的并行生成	079
3.7	随机数序列的统计检验	080
3.7.1	概述	081

3.7.2	Diehard 检验	082
3.7.3	NIST SP800 - 22 标准	085
第 4 章	作战仿真试验控制	088
4.1	引言	088
4.2	状态保存与恢复	089
4.2.1	状态保存与恢复概述	090
4.2.2	联邦执行中的保存与恢复机制	091
4.2.3	成员外部状态的保存与恢复方法	093
4.3	成员迁移	099
4.3.1	概述	099
4.3.2	进程迁移的一般原理	100
4.3.3	成员迁移的策略	101
4.3.4	成员迁移的机制	109
4.3.5	可迁移成员的设计规范	114
4.4	多样本连续运行	115
4.4.1	概述	116
4.4.2	重新创建联邦法	117
4.4.3	不重新创建联邦法	118
4.4.4	不同方法的比较	119
4.5	容错运行	121
4.5.1	异常捕获概述	121
4.5.2	异常捕获的实现	122
4.5.3	联邦执行的容错	127
第 5 章	作战仿真试验分析	131
5.1	引言	131
5.2	输入数据分析	132
5.2.1	确定随机变量的统计特征	132
5.2.2	分组试验设计	139
5.2.3	试验初始状态的设置	140
5.3	输出数据分析	140

5.3.1	输出数据不稳定及自相关的处理方法	141
5.3.2	终止型仿真结果分析	142
5.3.3	稳态型仿真结果分析	147
5.3.4	仿真结果的重抽样统计分析	156
5.3.5	基于数据立方体的仿真结果分析	163
5.4	作战仿真试验分析的机制建设	163
5.4.1	明确作战仿真试验分析的内容与标准	164
5.4.2	健全作战仿真试验分析的机制	164
5.4.3	完善作战仿真试验分析的方法	165
5.4.4	建立作战仿真试验分析的规范和渠道	165
第6章	作战仿真试验支撑工具	167
6.1	仿真试验设计工具	167
6.1.1	分式因子设计	168
6.1.2	中心复合设计	171
6.1.3	Box - Behnken 设计	172
6.2	仿真样本生成工具	173
6.2.1	设计思想	174
6.2.2	UML 类图	174
6.2.3	部分测试结果	176
6.2.4	应用效果	179
6.3	仿真试验控制工具	180
6.3.1	守护进程	180
6.3.2	联邦和成员状态监控	184
6.3.3	节点负载监测	187
6.3.4	仿真运行控制	192
6.3.5	仿真日志管理	196
6.4	仿真试验分析工具	196
6.4.1	数理统计	196
6.4.2	自助法	198
6.4.3	克里格估计	201
6.4.4	支撑向量机	203

第7章 作战仿真试验案例	204
7.1 人在环坦克单车对抗仿真试验	204
7.1.1 仿真试验系统简介	204
7.1.2 仿真试验设计及试验准备	206
7.1.3 仿真试验实施	209
7.1.4 仿真试验数据处理与分析	209
7.2 某海峡军事冲突模拟	211
7.2.1 联合一体化应急模型概述	212
7.2.2 联合一体化应急模型主要内容	217
7.2.3 《恐怖的海峡I》	227
7.2.4 《恐怖的海峡II》	232
参考文献	240

绪 论

仿真技术具有经济、安全、无破坏性、可重复等特点,其应用已有很长的时间,计算机的出现更是极大促进了仿真技术的发展。当前,仿真技术的应用日益广泛,涉及国防军工、航空航天、能源、环境、信息、工业、农业、交通、海洋、经济、建筑、体育文化、公共事业、生命医学等各个行业,基本覆盖了现代社会的各个重要领域。在信息技术及其应用领域不断深化的背景下,2005年6月,美国总统信息技术顾问委员会在给总统的建议报告“Computational Science: Ensuring America's Competitiveness”中指出,由算法与建模仿真软件、计算机与信息科学以及计算基础设施三大元素构成的计算科学,已经逐步成为继理论研究和试验研究之后认识、改造客观世界的第三种重要手段。

军事领域是仿真技术最主要的应用领域之一,仿真技术的每一次进步都与军事领域应用的推动密切相关。现代信息化条件下作战样式正处于飞速变革的时代。从伊拉克战争这一初具信息化形态的战争来看,在作战思想上,已由集中兵力转化为集中效能,由对称作战转化为非对称作战,由基于消耗的作战转化为基于效果的作战,由攻城略地转化为攻心灭志,由持久战转化为快速决定性作战;在作战样式上,已由粗放式打击转化为精确打击,由接触作战转化为非接触作战,由顺序作战转化为并行作战,由平台中心战转化为网络中心战,由协作式联合作战转化为一体化联合作战。可见,现代信息化条件下的作战系统要素数量庞大,交互关系复杂,呈现高度的非线性动态演变特点,不仅难以对其进行有效的建模,而且即使有了模型也往往难以求解。这就急需采用作战仿真试验这种定性定量相结合的研究手段。美国国防部(Department of Defense, DoD)将仿