



仿真科学与技术及其军事应用丛书

An Introduction to Simulation
Science and Technology

仿真科学 与技术导论

郭齐胜 徐享忠 徐豪华 等编著



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

军队高层次科技创新人才工程专项经费 资助
总装备部科技创新人才团队专项经费

仿真科学与技术导论

郭齐胜 徐享忠 徐豪华 编著
杨学会 谭亚新 王 浩

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书力图从学科的角度对仿真科学与技术进行比较系统的阐述,内容包括:学科基础(学科的产生、内涵、理论体系、与相关学科的关系及发展展望),学科理论体系(仿真建模基本理论与方法、仿真系统构建理论与支撑技术、仿真可信度理论、仿真应用技术、仿真标准化)等内容。

本书可供高等院校有关专业本科生和研究生作为教材或参考书使用,也适合科研人员和工程技术人员作为技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

仿真科学与技术导论/郭齐胜等编著. —北京:国防工业出版社,2014.1

(仿真科学与技术及其军事应用丛书)

ISBN 978-7-118-09038-3

I. ①仿... II. ①郭... III. ①计算机仿真—应用—作战模拟 IV. ①E83—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239850 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 21 $\frac{3}{4}$ 字数 381 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 60.00 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				

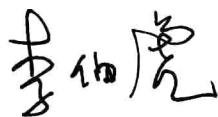
总序

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

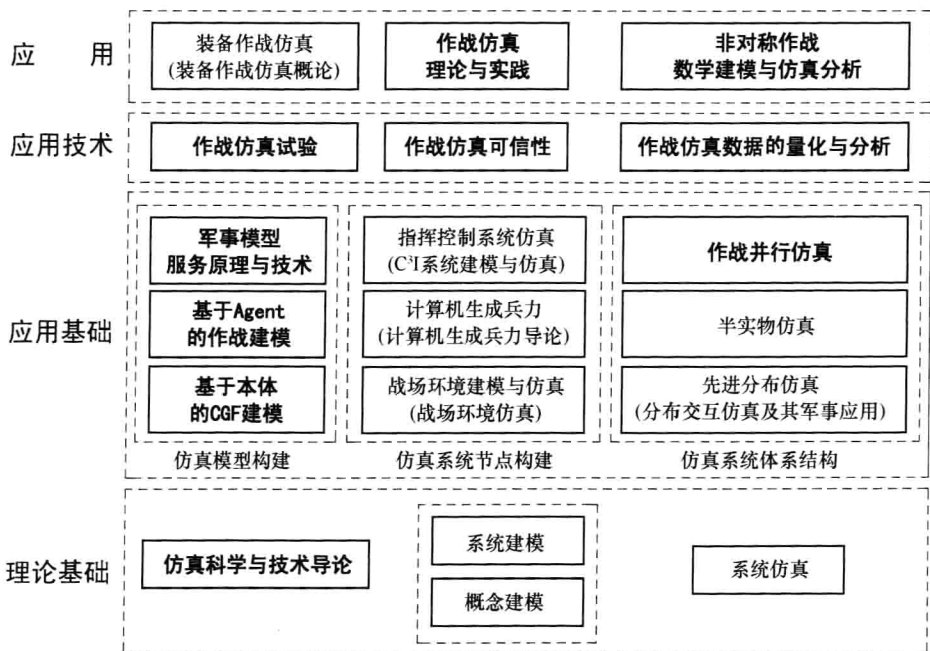
序 言

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—应用技术—应用”4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、应用技术和应用4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

有关仿真科学与技术的研究成果非常丰富,但从学科的角度对其进行系统阐述的著作还没有。作为“仿真科学与技术及其军事应用丛书”的核心,本书按照基础和理论的层次组织内容,力图比较系统地阐述仿真科学与技术的基本原理、方法与技术,结构如下:

基础篇		第 1 章	绪论
	理论篇	仿真建模理论	第 2 章
第 3 章			仿真建模方法
仿真系统理论		第 4 章	仿真系统构建理论
		第 5 章	仿真系统支撑技术
仿真应用理论		第 6 章	仿真可信度理论
		第 7 章	仿真应用技术
	第 8 章	仿真标准化	

本书由郭齐胜设计总体框架结构,徐享忠、徐豪华、杨学会、谭亚新、王浩和郭齐胜共同编写(其中第1章由杨学会编写,第2、3章由徐豪华编写,第4、5、7章由徐享忠编写,第6章由谭亚新编写,第8章由郭齐胜和王浩编写,郭齐胜统稿。本书编写过程中参考或直接引用了国内外有关文献,出版得到了军队高层次科技创新人才工程专项经费和总装备部科技创新人才团队专项经费资助,在此一并表示感谢。

不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

郭齐胜
2013年5月

缩略词英中对照

缩略词	全称	含义
3I	Immersion, Interaction, Imagination	沉浸、交互、构思
AAR	After Action Review	事后分析
ABMS	Agent Based Modeling And Simulation	基于 Agent 的建模与仿真
ACD	Activity Cycle Diagram	活动周期图
ADS	Advanced Distributed Simulation	先进分布仿真
ADS	Authority Data Source	权威数据源
AHP	Analytic Hierarchy Process	层次分析法
ALSP	Aggregative Level Simulation Protocol	聚合级仿真协议
AV	Antithetic Variable	对偶变量法
BDM	Block Distributed Model	分组分布式模型
BEEP	Blocks Extensible Exchange Protocol	块可扩展交换协议
BOM	Base Object Model	基础对象模型
BOSS	Burroughs Operational System Simulator	宝来操作系统仿真语言
BSP	Bulk Synchronous Parallel	大同步并行
CLIMB	Confidence Levels In Model Behavior	模型行为置信度等级
CLR	Common Language Runtime	公共语言运行时库
COM	Component Object Model	组件对象模型
COTS	Commercial Off The Shelf	商用现货供应
CRN	Common Random Number	公用随机数法
CSMP	Continuous System Modeling Program	连续系统建模语言
CSSL	Continuous System Simulation Language	连续系统仿真语言
CTS	Common Type System	公共类型系统
DARE	Differential Analyzer Replacement	微分分析器置换语言

DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	国防高级研究计划局
DAS	Digital Analog Simulator	数字模拟仿真语言
DESS	Discrete Event System Specification	离散事件系统描述
DFD	Data Flow Diagram	数据流图
DIS	Distributed Interactive Simulation	分布交互式仿真
DMSO	Department of Defense Modeling and Simulation Office	国防部建模与仿真办公室
DMT	Distributed Mission Training	分布式训练系统
DOE	Design Of Experiments	试验设计
DOM	Document Object Model	文档对象模型
DSR	Distributed Simulation Repository	分布式仿真资源库
DYNAMO	Dynamic Models	系统动力学建模语言
EFC	Entity Flow Chart	实体流图法
EME	Electromagnetic Environment	电磁环境
FDD	Federation Object Model Document Data	联邦对象模型文档数据
FOM	Federation Object Model	联邦对象模型
GASP	General Activity Simulation Program	一般活动仿真语言
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique	图示评审法
GONFR	Goal-Oriented Non-Function Requirement	面向目标的非功能需求
GOTS	Government Off The Shelf	政府现货供应
GPSS	General Purpose Systems Simulator	通用系统仿真语言
GPSS	General Purpose Simulation System	通用仿真系统
GVT	Global Virtual Time	全局虚拟时钟
H3M	Hybrid Heterogeneous Hierarchical Modeling	混合异构层次化建模
HCI	Human-Computer Interface	计算机人机界面
HL1	Hybrid Language 1	混合仿真语言
HLA	High Level Architecture	高层体系结构
HPC	Human Performance Center	人类行为研究中心
HPMI	Human Performance Modeling Integration	人类行为建模合成
IL	Intermediate Language	中间语言

JIT Debugger	Just-In-Time Debugger	即时调试器
JMASE	Joint Modeling And Simulation Environment	联合建模与仿真环境
JSB	Joint Synthetic Battlespace	联合综合战场空间
KAOS	Knowledge Acquisition In Automated Specification	知识的自动化获取规范
LBTS	Lower Bound Time Stamp	时戳下限值
LCC	Linear Congruential Generator	线性同余法
LFSRG	Linear Feedback Shift Register Generator	线性反馈移位寄存器法
LP	Logical Program	逻辑进程
LVC	Live, Virtual, Constructive	实况、构造、虚拟仿真
M&S	Modeling and Simulation	建模与仿真
MAS	Multi-Agent System	多 Agent 系统
MDA	Model Driven Architecture	模型驱动的体系结构
MIDAS	Modified Digital Analog Simulator	改进型数字模拟仿真语言
MOM	Management Object Model	管理对象模型
MPIP	Multiple Parallel replication In Parallel	多个并行样本的并行运行
MPM	Multi-Paradigm Modeling	多范式建模
MSD	Module Structure Diagram	模块结构图
MSRR	Modeling and Simulation Resource Repository	建模与仿真资源库
MTBF	Mean Time Between Failures	平均无故障时间
OM	Object Model	对象模型
OMG	Object Management Group	对象管理组织
OMT	Object Modeling Technology	对象建模技术
OMT	Object Model Template	对象模型模板
OOA	Orient Object Analysis	面向对象分析
OOD	Orient Object Design	面向对象设计
OOMS	Object Oriented Modeling & Simulation	面向对象的建模与仿真
OOS	Object Oriented Simulation	面向对象仿真
OOSI	Object Oriented Simulation Implementation	面向对象仿真实现
PDES	Parallel Discrete Event Simulation	并行离散事件仿真

PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PIM	Platform-Independent Model	平台无关模型
PRAM	Parallel Random Access Machine	并行随机存取机器
PRNG	Pseudo Random Number Generator	伪随机数发生器
PSM	Platform-Specific Model	平台相关模型
RO	Receive Order	接收顺序
RPG	Recommended Practice Guide	推荐实施指南
RS	Rough Set	粗糙集
RS-FSE	Rought Set-Fuzzy Synthetic Evaluation	粗糙—模糊综合评判
RTI	Run Time Infrastructure	运行支撑平台
SA	Structured Analysis	结构化分析
SAFOR	Semi-Automated Forces	半自动兵力
SCSI	the Society for Modeling & Simulation International	国际建模与仿真协会
SD	Structured Design	结构化设计
SDG	Signed Directed Graph	符号定向图
SEDRIS	Synthetic Environment Data Representation Interchange Specification	综合环境数据表示和交换规范
SIMNET	SIMulator NETworking	模拟器联网
SISO	Simulation Interoperability Standards Organization	仿真互操作性标准组织
SLAM	Simulation Language for Alternative Modeling	交替建模仿真语言
SMDL	Simulation Model Definition Language	仿真模型定义语言
SNE	Synthetic Natural Environments	综合自然环境
SOA	Service Oriented Architecture	面向服务的架构
SOAP	Simple Object Access Protocol	简单对象访问协议
SOM	Simulation Object Model	仿真对象模型
SP	Structured Programming	结构化程序设计
TENA	Test and training ENabling Architecture	试验与训练使能体系结构
TSO	Time Stamp Order	时间戳顺序
URI	Uniform Resource Identifier	统一资源标识符

V&V	Verification and Validation	校核与验证
VM	Virtual Machine	虚拟机
VR	Virtual Reality	虚拟现实
VV&A	Verification, Validation and Accreditation	校核、验证与确认
VV&C	Verification, Validation and Certification	校核、验证与证明
XMSF	Extensible Modeling and Simulation Framework	可扩展建模仿真框架

目 录

第1章 绪论	001
1.1 仿真科学与技术学科的形成	001
1.1.1 应用需求	001
1.1.2 发展历史	007
1.1.3 研究队伍	015
1.1.4 理论研究	016
1.2 仿真科学与技术学科的内涵	020
1.2.1 定义	020
1.2.2 研究对象	020
1.2.3 主要研究内容	021
1.3 仿真科学与技术学科的理论体系	021
1.3.1 仿真建模理论	021
1.3.2 仿真系统理论	023
1.3.3 仿真应用理论	024
1.3.4 各理论之间的关系	027
1.4 仿真科学与技术的相关学科	027
1.4.1 控制科学与工程	028
1.4.2 系统科学	028
1.4.3 管理科学与工程	028
1.4.4 计算机科学与技术	029
1.5 仿真科学与技术学科的发展展望	029
1.5.1 理论发展展望	029
1.5.2 技术发展展望	032
1.5.3 应用发展展望	037
参考文献	038
第2章 仿真建模基本理论	040
2.1 仿真建模基本理论体系框架	040

2.2	模型基础理论	040
2.2.1	模型的基本概念	041
2.2.2	仿真建模基本原理	044
2.2.3	模型相似理论	050
2.3	模型共性理论	061
2.3.1	模型多态理论	061
2.3.2	模型重用理论	068
2.3.3	模型互操作理论	071
2.3.4	模型可信性理论	074
2.4	模型构建理论	076
2.4.1	一般系统建模理论	076
2.4.2	变结构建模理论	077
2.4.3	混合异构层次化建模理论	077
2.4.4	多范式建模理论	078
2.4.5	柔性仿真建模理论	079
2.4.6	综合性建模理论	084
	参考文献	085
第3章	仿真建模方法	087
3.1	仿真建模方法体系	087
3.1.1	仿真建模方法体系框架	087
3.1.2	仿真建模方法归类	088
3.2	观察分析建模方法	091
3.2.1	理论建模方法	091
3.2.2	实验建模方法	094
3.2.3	混合建模方法	095
3.3	概念模型抽象表述方法	099
3.3.1	面向过程的抽象表述方法	099
3.3.2	面向结构的抽象表述方法	101
3.3.3	面向整体的抽象表述方法	111
3.4	数学模型形式化描述方法	115
3.4.1	基于数学变量的描述方法	115
3.4.2	基于离散事件的描述方法	124