



仿真科学与技术及其军事应用丛书

Computer Generated Forces  
(Second Edition)

# 计算机生成兵力 (第2版)

杨瑞平 高国华 张立勤 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

# 计算机生成兵力 (第2版)

杨瑞平 高国华 张立勤 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书共分为 13 章:第 1 章介绍计算机生成兵力的基本含义及其相关内容,阐述了在作战仿真中,构建计算机生成兵力实体的重要性;第 2 章介绍了计算机生成兵力的体系结构;第 3 章对计算机生成兵力人类行为建模的定义、建模内容和方法等基础性知识进行了介绍;第 4 章~第 9 章分别论述了在计算机生成兵力中,如何构建人类态势感知行为、决策行为、学习行为、协同行为、机动行为和火力行为的模型;第 10、11 章分别介绍了聚合级计算机生成兵力和计算机生成兵力的多分辨率建模这两个方面的基本内容;第 12 章分析了计算机生成兵力聚合与解聚的主要方法;第 13 章对面向计算机生成兵力的战场环境建模进行了阐述。

本书适合于从事分布式交互仿真研究,特别是从事计算机生成兵力研究的科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机生成兵力/杨瑞平,高国华,张立勤编著.—2  
版.—北京:国防工业出版社,2013.8  
(仿真科学与技术及其军事应用丛书)  
ISBN 978-7-118-08560-0

I. ①计... II. ①杨...②高...③张... III. ①计  
算机仿真-应用-军事-研究 IV. ①E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 041881 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 12¼ 字数 194 千字

2013 年 8 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—2000 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
黄玺璞	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

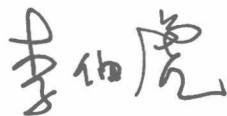
---

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

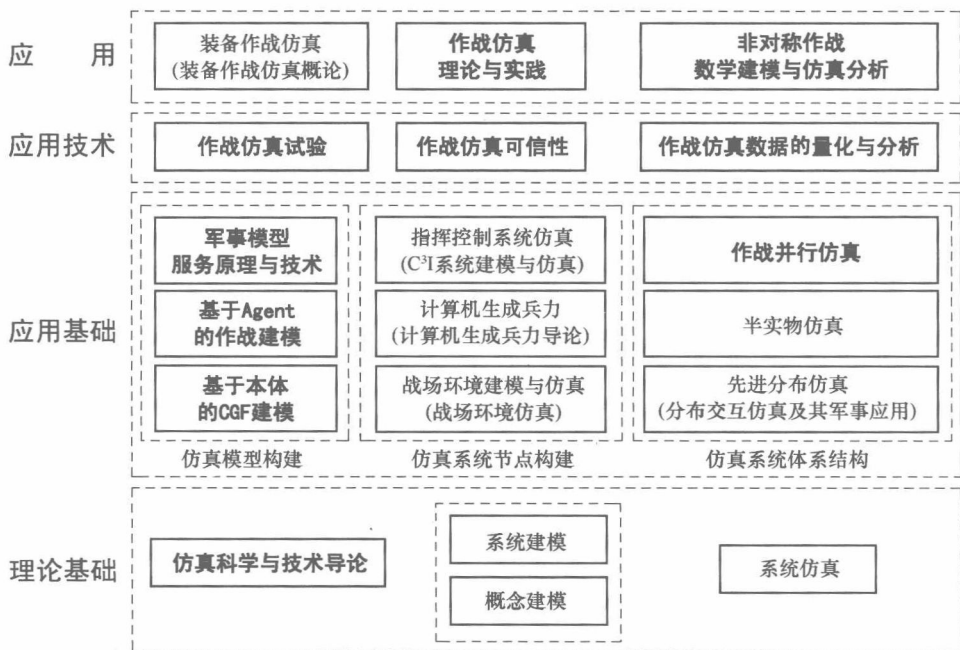
---

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,括号中为修改原原丛书中的书名):



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》、《C<sup>3</sup>I 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

---

计算机生成兵力是分布交互仿真系统的一个重要组成部分。本书是在《计算机生成兵力导论》一书的基础上,结合作者近年来的研究成果并参考有关文献修订,具体包括以下几个方面:一是将人类行为进行更为细致的划分,增加了对人类感知行为、学习行为和协同行为等描述的章节,丰富了计算机生成兵力对人类行为描述的内容。二是去掉了其中的物理行为建模,这部分内容不完全属于计算机生成兵力的范畴,与具体的仿真应用相关。三是根据丛书的特点,去掉了对人工智能技术的描述。通过上述几个方面的调整,使全书结构更为合理,内容更为完善。

本书既从理论上对计算机生成兵力这一领域的原理方法进行了探讨,包括计算机生成兵力的一般性知识、基本概念、理论和方法等;又结合工作实际,对计算机生成兵力的实例进行了分析。这样使得全书内容全面、层次清晰、结构完整。同时又尽可能地给出实例供读者参考,力图使本书的内容更加实用,为从事作战仿真专业的读者提供一本好的参考书。

本书参考或直接引用了一些国内外的论文和著作,在此向这些论文和著作的作者表示感谢。

在本书的成稿过程中,得到了中国系统仿真学会理事长、中国工程院院士李伯虎研究员和总装备部装甲兵工程学院郭齐胜教授的悉心指导,在此一并表示深深的谢意。

编著者  
2013年1月

# 目录

---

<b>第1章 绪论</b>	<b>001</b>
1.1 计算机生成兵力的定义 .....	001
1.2 计算机生成兵力的作用和意义 .....	002
1.3 计算机生成兵力的关键技术 .....	003
<b>第2章 计算机生成兵力体系结构</b>	<b>004</b>
2.1 引言 .....	004
2.2 计算机生成兵力体系结构设计的原则 .....	005
2.3 计算机生成兵力体系结构 .....	006
2.3.1 基于联邦成员的体系结构 .....	006
2.3.2 层次化服务的体系结构 .....	007
2.3.3 基于OODA过程的体系结构 .....	008
2.3.4 基于信念愿望意图的体系结构 .....	012
<b>第3章 计算机生成兵力的人类行为</b>	<b>016</b>
3.1 引言 .....	016
3.2 人类行为建模定义 .....	017
3.3 人类行为建模内容 .....	018
3.3.1 态势感知 .....	018
3.3.2 决策 .....	018
3.3.3 规划 .....	019
3.3.4 记忆与学习 .....	019
3.3.5 协同 .....	019
3.4 人类行为描述方法 .....	020
3.4.1 结构化文本 .....	020
3.4.2 离散 Petri 网 .....	021

3.4.3	有限状态机 .....	021
3.4.4	控制论 .....	021
3.4.5	动作行为描述原语 .....	022
<b>第4章</b>	<b>计算机生成兵力的态势感知</b> .....	<b>027</b>
4.1	引言 .....	027
4.2	感知行为建模框架 .....	028
4.3	态势感知中的观察行为分析 .....	030
4.4	态势感知模型 .....	032
<b>第5章</b>	<b>计算机生成兵力的决策行为</b> .....	<b>036</b>
5.1	引言 .....	036
5.2	决策过程描述 .....	038
5.2.1	方案集生成 .....	038
5.2.2	感知态势描述 .....	039
5.2.3	主体效用分析 .....	039
5.2.4	方案优选 .....	040
5.2.5	决策的时间特性分析 .....	040
5.3	决策行为实现方法 .....	042
5.3.1	基于规则推理的方法 .....	042
5.3.2	基于语境推理的方法 .....	042
5.3.3	基于案例推理的方法 .....	042
5.3.4	一种不完全信息下的决策模型 .....	043
<b>第6章</b>	<b>计算机生成兵力的学习行为</b> .....	<b>047</b>
6.1	引言 .....	047
6.2	学习行为模型框架 .....	048
6.3	学习方式 .....	049
6.4	离线学习 .....	051
6.5	在线学习行为 .....	052
6.5.1	基于增强学习的主动学习过程 .....	053
6.5.2	在线学习实现策略 .....	055

<b>第7章</b>	<b>计算机生成兵力的协同行为</b>	<b>057</b>
7.1	引言 .....	057
7.2	协同机制 .....	059
7.3	典型协同行为建模框架 .....	060
7.3.1	Steam .....	060
7.3.2	GRATE .....	061
7.3.3	协作和协商行为建模框架 .....	061
7.4	计划协同 .....	062
7.5	按指挥级别进行协同 .....	063
7.5.1	含义 .....	063
7.5.2	协同方案的产生 .....	063
7.5.3	协同行动的实施 .....	065
<b>第8章</b>	<b>计算机生成兵力的机动行为</b>	<b>066</b>
8.1	引言 .....	066
8.2	路径规划 .....	066
8.2.1	全局路径规划 .....	067
8.2.2	局部路径规划 .....	069
8.3	避开障碍物 .....	070
8.3.1	圆形避障 .....	071
8.3.2	多边形避障 .....	071
8.3.3	过通道 .....	072
8.4	队形保持 .....	073
8.5	队形变换 .....	073
8.5.1	问题引出 .....	073
8.5.2	队形变换方法 .....	075
8.5.3	基于逼近法的队形变换 .....	075
<b>第9章</b>	<b>计算机生成兵力的火力行为</b>	<b>078</b>
9.1	引言 .....	078
9.2	目标威胁判断 .....	078
9.3	多目标多平台火力分配 .....	080

9.3.1	基于线性规划方法的目标火力分配 .....	080
9.3.2	基于兰彻斯特方程的目标火力分配 .....	081
9.4	单平台火力分配 .....	084
9.5	弹种选择模型 .....	085
9.6	瞄准射击模型 .....	086
9.6.1	射击方法选择 .....	086
9.6.2	射击诸元解算 .....	086
9.6.3	外弹道模型 .....	090
9.6.4	射弹散布模型 .....	092
<b>第 10 章</b>	<b>聚合级计算机生成兵力</b> .....	<b>094</b>
10.1	引言 .....	094
10.2	功能构成 .....	096
10.2.1	体系结构 .....	096
10.2.2	指挥决策 .....	096
10.2.3	数据分发与时间管理 .....	097
10.3	机动模型 .....	097
10.3.1	机动模型的结构 .....	097
10.3.2	机动模型实现流程 .....	098
10.3.3	机动模型的数学描述 .....	100
10.4	损耗模型 .....	103
10.4.1	射击与毁伤 .....	103
10.4.2	兵力指数损耗模型 .....	107
10.4.3	兰彻斯特方程类损耗模型 .....	109
10.4.4	一致性问题 .....	112
10.5	损耗模型参数的估计 .....	113
10.6	损耗模型参数的校准 .....	116
<b>第 11 章</b>	<b>计算机生成兵力多分辨率建模</b> .....	<b>119</b>
11.1	引言 .....	119
11.2	多分辨率建模的相关含义 .....	119
11.2.1	术语辨析 .....	119
11.2.2	研究范畴 .....	121

11.3	多分辨率建模关键技术 .....	123
11.3.1	多重表示间的交互性 .....	123
11.3.2	多重表示间的一致性 .....	124
11.3.3	资源开销的有效性 .....	124
11.4	多分辨率建模方法 .....	124
11.4.1	优化选择法 .....	124
11.4.2	聚合—解聚法 .....	125
11.4.3	多重表示建模 .....	125
11.5	多分辨率建模仿真应用 .....	126
11.5.1	作战想定 .....	127
11.5.2	仿真系统设计 .....	128
11.5.3	基于 HLA 的多分辨率建模实现 .....	130

---

**第 12 章 计算机生成兵力的聚合—解聚** 133

12.1	引言 .....	133
12.2	聚合 .....	134
12.2.1	概念 .....	134
12.2.2	聚合的特点 .....	134
12.2.3	聚合的基本形式 .....	135
12.3	解聚 .....	136
12.3.1	完全解聚法 .....	136
12.3.2	部分解聚法 .....	137
12.3.3	空间区域解聚法 .....	137
12.3.4	伪解聚法 .....	137
12.4	聚合—解聚的要求 .....	138
12.4.1	一致性 .....	138
12.4.2	逼真度 .....	139
12.5	将战场划分为多个战斗分区时的聚合模型 .....	139
12.5.1	战斗分区的兰切斯特定律 .....	140
12.5.2	均匀兵力分布 .....	141
12.5.3	集中兵力的影响 .....	142
12.5.4	增援和机动集中对聚合模型的影响 .....	148
12.6	一个基于 HLA 的多分辨率仿真中的聚合解聚建模研究 .....	149

12.6.1	系统模型构成 .....	150
12.6.2	聚合—解聚思路 .....	151
12.6.3	技术层模型与战术层模型之间的聚合—解聚 .....	151
12.6.4	战术层模型与作战层模型间的聚合—解聚 .....	152
<b>第 13 章 计算机生成兵力战场环境模型</b>		<b>155</b>
13.1	引言 .....	155
13.2	战场环境数据库特点 .....	156
13.2.1	实时性 .....	156
13.2.2	实用性 .....	157
13.3	战场环境数据库结构 .....	157
13.3.1	战场环境数据组成 .....	157
13.3.2	战场环境数据库结构 .....	158
13.3.3	基本网格信息层结构 .....	160
13.3.4	网格索引信息层结构 .....	161
13.3.5	线状抽象特征层结构 .....	162
13.3.6	面状抽象特征层结构 .....	163
13.3.7	战场环境数据库的对象模型设计 .....	163
13.4	战场环境数据库编译器 .....	164
13.5	战场环境数据库 API 设计与实现 .....	166
13.5.1	实现机制 .....	166
13.5.2	API 体系结构 .....	167
<b>参考文献</b>		<b>172</b>



## 绪 论

---

### 1.1 计算机生成兵力的定义

计算机生成兵力(Computer Generated Forces, CGF),顾名思义,是指在仿真环境中由计算机生成的兵力,即 CGF 是由计算机程序(算法)实现的软件。相对于现实世界中真实的作战人员和武器装备来说,CGF 是虚拟的。CGF 还有一些其他的称呼,如实体的计算机表示(Computer Representation of Entities)、智能仿真兵力(Intelligent Simulated Forces)、合成兵力(Synthetic Forces)等。

构建一个完整的 CGF 实体至少需要建立其所描述对象的物理模型和思维模型,物理模型反映 CGF 实体的外在能力,如机动装置、火力系统和探测设备的性能,思维模型描述 CGF 实体内在的“心理活动”,即展现 CGF 实体所描述对象中的作战人员的决策能力。CGF 的决策分为两个层次,低层次决策如在作战过程中通过对战场态势的判断,决定“自己”或其他 CGF 实体是前进还是后退,前进或后退的速度多大,高层次决策如对多个来袭目标进行威胁程度判断,对多个来袭目标分配打击火力的数量、类型和型号。

根据 CGF 实体是否具有高层次决策能力,可将其划分为半自主兵力(Semi-Automated Forces, SAF)和自主兵力(Automated Forces, AF)两类。SAF 是指在作战仿真过程中,高层次决策由真实操作人员实现,低层次决策通过运行仿真决策模型实现;而 AF 的高层次决策和低层次决策均通过运行仿真决策模型实现。也就是说,在仿真运行过程中,SAF 需要真实操作人员通过人机接口协