



仿真科学与技术及其军事应用丛书

Agent-based Warfare Modeling

基于Agent的 作战建模

李雄 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



014003855

E83-39
05

仿真科学与技术及其军事应用丛书

国家自然科学基金项目(70901075)和军队科研项目资助
总装备部“双百计划”人才工程经费支持

基于 Agent 的作战建模

李雄 著



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1691104

E83-39
05

内 容 简 介

基于 Agent 的建模,既是涉及复杂适应系统理论和人工智能科学的新兴交叉领域,也是仿真科学与技术的热点研究领域。基于 Agent 的作战建模,作为基于 Agent 建模的军事应用,为解决复杂作战系统建模难题提供了新途径。

本书分绪论、基于 Agent 作战建模的相关概念、基于 Agent 的作战建模框架、作战 Agent 模型、多 Agent 作战交互行为模型、基于 Agent 的作战建模 VV&A、基于 Agent 的作战建模平台、基于 Agent 的作战建模案例、基于 Agent 的网络中心战建模领域新挑战等 9 章,全面系统地研究了基于 Agent 作战建模的理论、方法、技术及应用。主要内容不仅是国内外本研究领域进展的体现,而且是作者近 10 年来作战建模研究的汇集,是作者负责的国家自然科学基金项目和多个相关军队科研项目成果的反映。

本书可作为高等院校仿真工程专业本科及相关专业研究生教学用书,也可供广大仿真建模研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Agent 的作战建模/李雄著. —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 978-7-118-08694-2

I. ①基... II. ①李... III. ①软件工具—应用—作战模拟—研究 IV. ①E83—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 108356 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 23¼ 字数 408 千字

2013 年 8 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				

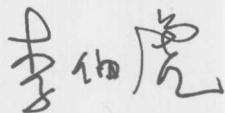
总序

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

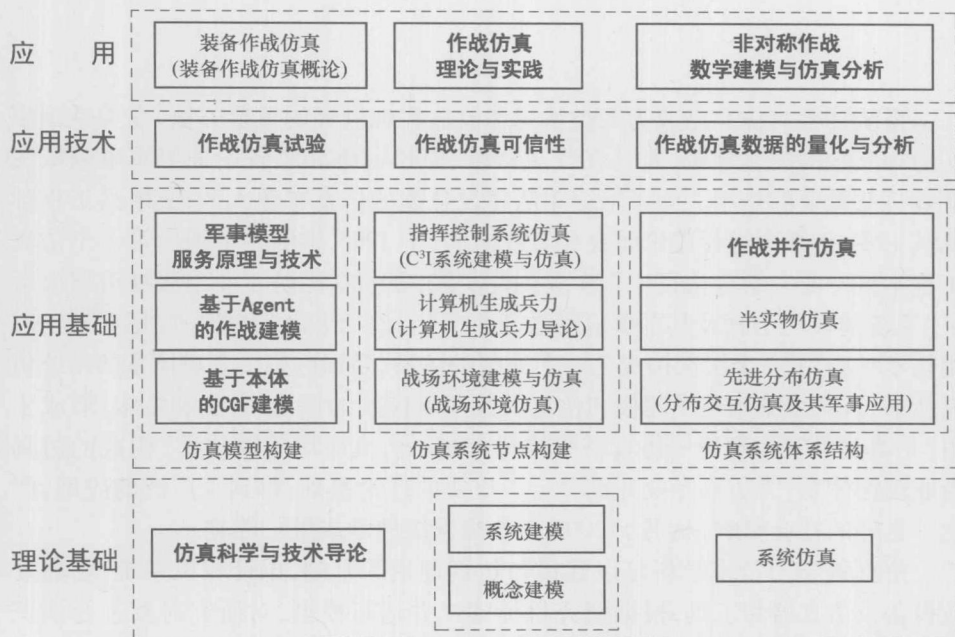
序 言

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

Agent 是当前计算机科学领域中一个重要概念,它为刻画分布计算实体、分析复杂适应系统提供了合理的概念模型。将 Agent 与仿真建模技术有机结合起来,可充分而有效地利用知识的表示方法及推理方法等人工智能领域研究成果。当前,基于 Agent 的建模,已引起国内外科技界的高度重视。基于 Agent 的作战建模,是基于 Agent 建模技术在复杂作战系统建模中的应用,近年来已经成为军事研究的热点领域。

为了激发广大读者研究基于 Agent 作战建模的热情,共同推进军事仿真建模技术发展,作者紧密跟踪当前国内外本领域研究现状,在广泛阅读大量中外文献资料的基础上,结合自身学术科研成果,全面系统地研究了基于 Agent 作战建模的理论、方法、技术及应用。本书既属于“仿真科学与技术及其军事应用”专题系列,又自成体系,知识新颖,涉及面宽,内容丰富。

本书是在作者负责的国家自然科学基金项目“基于 Meta-Agent 交互链的作战系统建模研究”(编号:70901075)资助下完成的,撰写基础还包括作者主持完成的全军军事学研究生课题、军队武器装备科研项目。借本书出版之际,向国家自然科学基金委员会、军事科学院、总装备部机关表示衷心感谢。

本书的出版,还得到总装备部“双百计划”人才工程的大力资助,得到装甲兵工程学院、国防工业出版社各级领导和广大同仁的鼎力支持和热心帮助,在此特别鸣谢。

感谢我的博士生导师徐宗昌教授、硕士导师黄侠峰教授、本科导师梁计春教授和“双百计划”带教导师肖田元教授、胡晓峰教授的谆谆教诲和提携帮带,感谢郭齐胜教授长期以来像导师一样给予我的技术指导和方法启迪,感谢国内外多位专家在课题研究和书稿撰写过程中给予的专业评审和中肯建议。

感谢课题组汤再江博士、董志明博士、付佳硕士、谢秀全硕士围绕本书内容

开展的合作研究,感谢硕士生董斐、白桦、李智国在本书资料收集整理及文稿校对等方面的辛勤工作。

由于基于 Agent 的作战建模是一个学科跨度大、发展步伐快的新领域,加之作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

李 雄

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 作战与作战系统	001
1.1.1 现代条件下作战及其特点	001
1.1.2 作战系统的相关概念	005
1.2 作战建模及其基本方法	009
1.2.1 作战建模的基本概念	009
1.2.2 作战建模的基本方法	011
1.3 作战建模中的复杂性问题的	020
1.3.1 复杂系统、作战复杂性及复杂作战系统	020
1.3.2 复杂作战系统建模的新需求	024
第 2 章 基于 Agent 作战建模的相关概念	029
2.1 Agent	029
2.1.1 Agent 定义	029
2.1.2 Agent 分类	031
2.2 多 Agent 系统	036
2.2.1 多 Agent 系统概念	036
2.2.2 多 Agent 系统应用	039
2.3 基于 Agent 的建模	043
2.3.1 基于 Agent 的建模概念	043
2.3.2 基于 Agent 的建模应用	047
2.4 基于 Agent 的作战建模	051
2.4.1 基于 Agent 的作战建模概念	051
2.4.2 基于 Agent 的作战建模应用	056
第 3 章 基于 Agent 的作战建模框架	059
3.1 基于 Agent 的作战建模过程	059

3.1.1	基于 Agent 的作战建模过程概述	059
3.1.2	MaSE 方法视角下的建模过程	065
3.1.3	AUML 方法视角下的建模过程	075
3.1.4	角色模型方法视角下的建模过程	079
3.1.5	组织模型方法视角下的建模过程	082
3.2	基于 Agent 的作战建模仿真系统体系结构	086
3.2.1	基于 Agent 的作战建模仿真设计模式	086
3.2.2	基于 Agent 的作战建模仿真系统总体框架	089
3.3	基于 Agent 的作战建模仿真控制体系结构	091
3.3.1	基于 Agent 的作战建模仿真控制框架	091
3.3.2	基于 Agent 的作战建模仿真控制功能描述	093
第 4 章	作战 Agent 模型	099
4.1	作战 Agent 的形成过程	099
4.1.1	作战 Agent 形成的一般过程	099
4.1.2	作战组织体系结构分析	101
4.1.3	作战任务层次性及求解条件	105
4.1.4	作战 Agent 模型的形成	111
4.2	任务层次、实体级别与 Agent 粒度分析	115
4.2.1	任务层次及任务分解、分配	115
4.2.2	实体的级别及聚合/解聚	118
4.2.3	任务层次、实体级别与 Agent 粒度的一致性	124
4.3	作战 Agent 的推理机制及心智状态	128
4.3.1	作战 Agent 的推理机制设计	128
4.3.2	作战 Agent 的心智状态描述	134
第 5 章	多 Agent 作战交互行为模型	139
5.1	多 Agent 作战交互行为概述	139
5.1.1	多 Agent 交互关系	139
5.1.2	多 Agent 作战交互行为组织结构	142
5.2	多 Agent 作战协作模型	145
5.2.1	多 Agent 协作概述	145
5.2.2	面向联合意图的多 Agent 协作	147

5.2.3	基于改进型合同网的多 Agent 协作	153
5.3	多 Agent 作战通信模型	169
5.3.1	多 Agent 作战通信机制	169
5.3.2	多 Agent 作战通信语言	171
5.4	作战 Agent 与战场环境交互关系模型	179
5.4.1	战场环境的相关概念及量化描述	179
5.4.2	作战 Agent 与战场环境交互关系描述	181
第 6 章	基于 Agent 的作战建模 VV&A	186
6.1	基于 Agent 的作战建模 VV&A 概述	186
6.1.1	VV&A 概念	186
6.1.2	VV&A 标准/规范	190
6.1.3	基于 Agent 的作战建模 VV&A 方法论	193
6.2	基于 Agent 作战模型校核与验证	197
6.2.1	概念模型的校核与验证	197
6.2.2	仿真模型的校核与验证	201
6.3	基于 Agent 作战模型确认	204
6.3.1	确认框架	204
6.3.2	确认的主要工作	206
第 7 章	基于 Agent 的作战建模平台	210
7.1	EINSTEIN	210
7.1.1	EINSTEIN 概述	210
7.1.2	EINSTEIN 应用	217
7.2	Swarm	222
7.2.1	Swarm 概述	222
7.2.2	Swarm 应用	224
7.3	Repast	228
7.3.1	Repast 概述	228
7.3.2	Repast 应用	232
7.4	其他主要建模平台	234
7.4.1	StarLogo	235
7.4.2	NetLogo	237

7.4.3	AnyLogic	239
7.4.4	有关建模平台	242
第 8 章	基于 Agent 的作战建模案例	247
8.1	联合作战指挥决策建模	247
8.1.1	联合作战指挥决策概述	247
8.1.2	联合作战指挥决策多 Agent 系统结构设计	250
8.1.3	联合作战指挥决策 Agent 结构设计	252
8.2	陆战场多传感平台系统建模	255
8.2.1	情报侦察任务分析	255
8.2.2	传感平台 Agent 研究	259
8.2.3	多传感平台 Agent 仿真演示	266
8.3	装甲合成营战斗建模	276
8.3.1	作战行动描述	276
8.3.2	从实际组元到 Agent 的映射	278
8.3.3	Agent 及多 Agent 模型构建	286
第 9 章	基于 Agent 的网络中心战建模领域新挑战	292
9.1	网络中心战概述	292
9.1.1	网络中心战相关概念	292
9.1.2	网络中心战概念模型	295
9.2	自同步建模	305
9.2.1	自同步概念	305
9.2.2	自同步模型问题	309
9.3	复杂网络建模与网络中心战效能评估	316
9.3.1	复杂网络理论与网络中心战效能概念	316
9.3.2	复杂网络建模与网络中心战效能模型问题	324
	参考文献	336

绪 论

1.1 作战与作战系统

1.1.1 现代条件下作战及其特点

作战 (Warfare), 是具有作战能力的各种作战单元, 在一定的时间、空间和社会背景下进行的一种有组织的对抗性活动。在作战过程中, 履行指挥员或战斗员职责的人及其操作控制下的武器装备, 是作战实施的基本行为主体。

战场环境 (Battlefield Environment), 是战场及其周围对作战主体行为活动有影响的各种情况和条件的统称。随着世界新军事变革的深入发展, 各国军队十分重视构成现代战场的五大重点发展领域, 即 5 个战场职能的改进: 赢得信息化战争; 支配机动战; 实施精确打击; 保护部队; 投送和维持兵力。这体现了现代条件下战场发展的基本框架, 如图 1-1 所示。

从某种意义上讲, 现代条件下作战的实质, 就是为了打赢现代战争而依靠感知战场态势, 投送兵力和维持兵力并同时保护部队, 通过实施机动作战精确打击敌人。现代条件下作战的特点, 主要包括以下几方面。

1.1.1.1 指挥决策速度快

为适应现代军队由机械化向“信息化 + 机械化”的方向发展, 世界军事大国进一步加强部队的信息化建设, 增加通用的数字信息装备, 利用战术互联网在各级、各军兵种、各武器平台之间力求形成共同的战场信息感知能力, 加

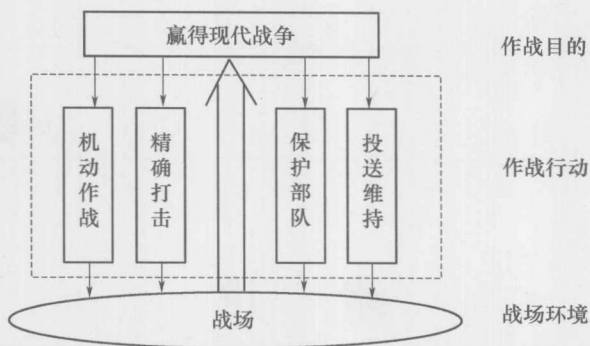


图 1-1 现代条件下战场发展的基本框架图

快决策和作战的速度,改进作战和保障行动的及时性与准确性,增强部队的战斗力。

(1) 以“无缝”连接形成指挥决策信息高速公路。随着指挥信息系统的高度成熟与发展,现代条件下作战,能实现侦察监视、情报收集、通信联络和指挥控制的无缝链接,可高度自动化地确保指挥员近实时地感知战场,定下决心,指挥部队和武器平台的作战与打击行动。现代战争中,通过运用指挥信息系统,可使部队指挥员观察战场和指挥作战的能力大幅度提高。

(2) 以实时态势感知加速指挥决策进程。在现代战场特别是战场核心区域,作战信息的优裕程度高,可获取的信息多,与信息共享能力相关的探测能力也相应得到提高,达成以通用作战图像为基础的共享态势感知,使战场向己方单向透明,提高指挥人员决策能力,在敌人的决策反应周期时间以内先敌发现,先敌了解,先敌决策,先敌行动,实施快速有效的打击。

1.1.1.2 作战行动控制好

控制的目的是更好地把握部队的作战行动。通过对作战目的、作战样式、打击方式、作战节奏、作战进程、作战时机、作战结局等全要素、全节点的控制,使部队的作战行动始终朝着预定和有利的方向发展。控制主要包括以下几个方面。

(1) 控制信息。控制信息是控制作战行动其他要素的基础和前提,是现代条件下作战的基本要求和基本手段。通过控制信息,使战场信息体系正常运转,产生应有的系统效果,有利于信息体系的对抗和信息优势的争夺。控制的主要环节是信息网络。信息只有通过有序流动才能产生应用价值。信息流动主要是通过信息网络。控制了信息网络,就等于控制了信息。控制的