

毕义明 刘良 刘伟 刘颖 编著

军事建模与仿真



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军事建模与仿真

毕义明 刘良 刘伟 刘颖 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

军事建模与仿真 / 毕义明等编著. —北京:国防工业出版社, 2009.3

ISBN 978-7-118-06098-0

I. 军... II. 毕... III. 军用计算机—建立模型—计算机仿真 IV. E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 196532 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 345 千字

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

军事建模与仿真是研究军事问题、探索军事活动规律的基本途径和手段。军事建模与仿真技术被列为美国国防部十大关键技术之一,已引起广泛关注并普遍应用于各个领域。

军事建模与仿真不同于其他领域的建模与仿真。首先从研究对象上看,军事建模与仿真面向的是军事作战问题,其边界、内涵、运行机理都带有更大的不确定性和复杂性,很难完全地经过实际的验证,更具有一次性的特征;其次从研究方法上看,军事建模与仿真不能完全依靠自然科学的研究方法,而必须兼有社会科学、管理科学等综合起来的军事科学研究方法;再次从研究结果上看,军事建模与仿真往往只适用于某一方面、某一特定问题,而且执行结果具有一定的“弹性”,这就使得军事建模与仿真的理论、方法、技术较之工程技术领域的建模与仿真更不完备、更具争议性,也更具有挑战性。

在我们多年从事军事建模与仿真领域的教学和科研实践中,尤其是为研究生开设《军事建模与仿真》这一课程的教学实践中,深感缺乏关于军事、作战领域建模与仿真实论的书籍。《战争复杂系统建模与仿真》和《战争复杂系统仿真分析与实验》是二本对军事学研究生来说很好的读物,其中不乏新的观点和新的理论方法,但较为宏观,适于战略研究,其他真正关于军事作战建模与仿真的书籍很少,从事军事研究的老师和学生都是东拼西凑地学习相关资料并试图理解军事建模与仿真的精髓,而事实上最终得到的好像是“空中漂浮的一支金饼”,看起来金光灿灿,而无法够

得上、吃得着。我们无法得知这一尴尬现象的根本原因,是学科性质决定还是学科理论不完整,或是缺乏深入的研究及系统的理论表述?

本书是在教学实践和参考相关资料、书籍的基础上,特别是总结从事科学实践的基础上编写的,建模与仿真的侧重点放在导弹作战领域,以便读者对军事建模与仿真实践有更切身的理解把握,使从事导弹作战的研究者能够吃到一个“实际的饼”。

编写本书基于两个最根本的考虑:一是体现军事与工程建模仿真的不同;二是从实际作战建模仿真的角度阐述理论方法,使之适用于军事学领域的读者。尽管如此,由于作者水平有限,内容和体系并未完全体现和达到期望的目标,书中的错误也在所难免,期望同仁们给予批评指正;同时,在撰写过程中,参考了大量资料,直接或间接地引用了其他作者的观点,由于多种原因而未提及和列入参考文献的,在此深表歉意。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 军事建模与仿真的概念	1
1.1.1 军事建模	4
1.1.2 军事仿真	5
1.2 军事建模方法与仿真步骤	11
1.2.1 军事建模的基本要求	11
1.2.2 军事建模的基本方法	12
1.2.3 军事仿真的步骤	17
1.3 军事仿真的应用	19
1.3.1 运用仿真手段进行战略分析与战略规划	20
1.3.2 运用军事仿真进行战法研究	20
1.3.3 运用军事仿真进行指战员训练	21
1.3.4 运用仿真手段支撑并参与武器装备建设	21
1.4 军事仿真技术发展面临的机遇与挑战	22
1.4.1 军事领域仿真技术的发展	22
1.4.2 机遇与挑战	25
1.5 作战仿真相关研究综述	26
1.5.1 概述	26
1.5.2 使命空间功能描述	27
1.5.3 综合自然环境建模	30
1.5.4 多分辨率建模	34
1.5.5 智能建模在作战仿真领域的应用	36
1.5.6 复杂大系统建模与仿真的 VV&A	40

1.5.7 仿真支持环境	42
1.5.8 基于网格技术的网络中心战仿真	45
参考文献	46
第2章 军事需求与军事概念建模	48
2.1 概述	48
2.2 军事需求分析	50
2.2.1 军事需求分析的基本概念	50
2.2.2 军事需求分析的一般步骤	55
2.2.3 军事需求分析建模方法	61
2.3 军事概念模型设计	65
2.3.1 军事概念模型基本概念	66
2.3.2 军事概念模型设计方法	72
参考文献	80
第3章 军事建模理论与方法	81
3.1 军事建模方法学	81
3.1.1 军事建模方法体系	82
3.1.2 跨层次建模	86
3.1.3 多分辨率建模	93
3.2 军事建模标准	105
3.2.1 军事模型描述语言	105
3.2.2 军事模型标准化体系结构	108
3.3 军事建模规范	110
3.3.1 模型的表示方法	110
3.3.2 模型规范化描述的优点	111
3.3.3 导弹作战模型描述文件的规范化	111
3.4 军事仿真语言与软件	112
3.5 模糊定性建模简述	122
3.5.1 库泊的定性仿真理论概述	123
3.5.2 定性组合建模概述	124
3.5.3 推理仿真机制	129

参考文献	131
第4章 军事仿真基础	133
4.1 连续系统的建模与仿真	134
4.1.1 连续系统模型描述	135
4.1.2 连续系统的仿真技术	138
4.2 离散系统的建模与仿真	142
4.2.1 离散事件系统概述	143
4.2.2 离散事件系统模型描述	147
4.2.3 离散系统的仿真技术	149
4.3 离散事件仿真结果分析	161
4.3.1 概述	161
4.3.2 终态仿真数据的分析	162
4.3.3 稳态仿真数据的分析	165
参考文献	167
第5章 现代军事仿真技术	168
5.1 概述	168
5.2 分布交互式军事仿真技术(DIS)	171
5.2.1 DIS 体系结构	171
5.2.2 DIS 协议	177
5.3 基于高层体系结构(HLA)的军事仿真	179
5.3.1 基于 HLA 的分布式仿真技术的发展	179
5.3.2 HLA 的基本概念和组成	180
5.3.3 联邦开发过程的模型	186
5.3.4 建立联邦模型的过程和方法	191
5.3.5 基于 HLA 的联邦开发过程	197
5.3.6 DIS 与 HLA 的区别	202
5.4 探索性仿真分析方法	204
5.4.1 问题的提出	204
5.4.2 探索性仿真分析方法概述	205
5.4.3 探索性仿真分析类型	208

5.4.4	探索性仿真分析过程	209
5.4.5	探索性仿真分析关键技术	211
5.4.6	探索性仿真分析应用前景	216
	参考文献	217
第 6 章	军事建模与仿真的验证	218
6.1	概述	218
6.2	军事建模与仿真的校核、验证与确认	223
6.2.1	VV&A 原则	223
6.2.2	VV&A 方法	229
6.2.3	VV&A 过程	234
	参考文献	239
第 7 章	军事建模中的导弹作战模型体系	241
7.1	概述	241
7.2	导弹作战模型体系基本要求	241
7.3	导弹作战模型体系结构	242
7.3.1	作战组织模块	243
7.3.2	防卫作战模块	246
7.3.3	突击作战模块	249
7.3.4	作战保障模块	253
7.3.5	辅助决策模块	254
	参考文献	255
第 8 章	作战运筹实验与军事仿真	256
8.1	作战运筹实验	256
8.1.1	实验、模拟与运筹	256
8.1.2	作战运筹实验设计	257
8.2	作战仿真系统	259
8.2.1	面向运筹模型的计算机仿真系统	259
8.2.2	体系对抗型仿真系统	260
8.2.3	论证评估型仿真系统	262
8.2.4	态势推演型仿真系统	265

8.3	作战运筹中的综合集成方法	268
8.3.1	综合集成的思想	268
8.3.2	综合集成方法辅助军事运筹	269
8.4	作战运筹仿真实验体系	270
8.4.1	作战运筹仿真实验体系概述	271
8.4.2	指挥决策仿真实验系统	273
8.4.3	武器装备仿真实验系统	276
8.4.4	作战规划仿真实验系统	279
8.4.5	环境信息仿真实验系统	281
	参考文献	286
第9章	军事仿真想定	287
9.1	军事想定概述	287
9.1.1	军事想定基本概念	287
9.1.2	军事想定研究综述	290
9.1.3	军事想定的基本要素	293
9.1.4	仿真想定工程	298
9.2	想定语义提取	300
9.3	想定概念建模	303
9.3.1	概念模型	303
9.3.2	想定的概念模型形式	304
9.3.3	UML 简介	305
9.3.4	UML 想定建模	306
9.4	想定映射技术	311
9.4.1	XML 描述语言	311
9.4.2	从 UML 到 XML 的映射	312
9.5	想定存储技术	319
9.5.1	XML 想定数据模型	319
9.5.2	XML 想定的存储分析	321
9.6	想定解析技术	323
9.6.1	DOM 技术简介	323

9.6.2 XML 想定解析	324
9.7 分布式仿真想定系统	327
9.7.1 系统设计需求	327
9.7.2 系统框架结构	329
参考文献	333
第 10 章 导弹信息化作战效能评估仿真	335
10.1 信息化作战背景	335
10.1.1 信息	335
10.1.2 物理域、信息域与认知域	336
10.1.3 信息化作战与装备体系	337
10.2 装备体系效能分析与评估	339
10.2.1 装备体系效能	339
10.2.2 装备体系效能评估方法	341
10.3 导弹作战体系效能评估	343
10.3.1 导弹作战体系效能评估方法	343
10.3.2 作战背景分析	346
10.3.3 作战效能指标体系	349
10.3.4 作战效能评估流程	354
10.3.5 作战效能评估建模	364
10.3.6 作战效能仿真评估系统	387
参考文献	395

第 1 章 绪 论

1.1 军事建模与仿真的概念

在介绍军事建模与仿真的概念之前先了解一下现代建模与仿真技术体系。

20 世纪 90 年代的海湾战争爆发前,美国军事人员已经利用美国 RDA 公司开发的“军团作战模拟系统”,对即将执行的地面作战的战斗和指挥计划进行了逼真的模拟与分析,并且通过这个作战模拟系统获得了命名为“100 小时战争”(也称为“4 天计划”)的作战方案,准确地预测了伊拉克将把主力部队用于防御对科威特的攻击,并推测出迂回到伊军西侧的盟军装甲部队的攻击具有最大成功的可能性。后来海湾战争最后的决战“沙漠军刀”行动结果证明,作战前的模拟确实精确地描绘了实战,而实战又忠实地体现了模拟,战争进程表明这一判断是完全正确的。

在随后美国中央司令部实施的一项代号为“内部观察”的演习中,也使用了这样一个想定,极大地改进了许多在以后实战中经受检验的作战思想和作战计划。这是一个典型的分布式军事仿真演习,它使用了“联合演习支持系统”、“增强型海战模拟系统”、“战术仿真”和“特种战斗非常规战争分析模型”等一系列的建模与仿真技术。

其他的例如美国陆军的“联合精确打击演示计划”,这个演示计划把未来战场看做一个“系统的系统”,通过将设在弗吉尼亚州的贝尔沃堡里的“综合集成与鉴定中心”的分布交互式模拟网络、陆军的作战实验室、战区/军/师司令部、战略侦察与监视系统、陆军装备司令部所属的系统司令部,以及主要的训练基地和靶场联系在一起,

快速进行样机模拟,并量化其作战能力。2002 年 7 月,美军在“千年挑战 2002”演习中也采用了分布交互式仿真技术,将分散在全美 26 个指挥中心和训练基地的各军兵种指挥人员置于同一战争背景、同一战场态势、同一作战想定之下,成功组织了一次实时同步的大规模联合指挥作战模拟演练。

通俗地讲,军事建模与仿真就是在特定的平台上,以模型为基础,来模拟执行实际军事行动。基于上述实例,可以从直观上初步理解现代军事建模与仿真的基本含义。

经过半个多世纪的发展,现代建模与仿真的技术体系日趋形成。从宏观上看,现代建模与仿真的技术体系由 3 部分组成,即模型构建技术,仿真应用技术,建模与仿真支撑技术。

1. 模型构建技术

模型构建技术是仿真实施的基础,可以按照不同的标准进行分类。按照被建模系统类型划分,建模技术包括人体建模技术、环境建模技术和实体建模技术。其中,①人体建模技术,主要涉及模拟人体器官组织和人体在外界物理刺激下反应的人体外表、功能、性能和行为等的建模技术。②环境建模技术,主要解决环境仿真模型的建立问题(如地形/地貌/海洋/大气/空间/电磁环境等)。③实体建模技术,涉及工程与非工程领域各类实体的建模技术。按照建模技术原理分类,建模技术包括机理建模技术、辨识建模技术、面向对象建模技术、面向组件/服务建模技术、多视图建模技术、多模式建模技术、多分辨率建模技术、数据可视化建模技术和多媒体建模技术等。其中,典型的机理建模技术包括微分方程、差分方程、代数方程描述线性/非线性、连续/离散、确定/随机、集中/分布、定常/时变、存储/非存储等连续系统建模技术;面向活动、面向事件、面向进程等离散事件系统建模技术;神经网络、模糊神经网络、智能代理、本体论等智能系统建模技术等;典型的辨识建模技术包括最小二乘、极大似然、结构辨识、模糊辨识等;典型的面向对象建模技术包括 UML、HLA/OMT 等;典型的面向组件/服务建模技术包括一体化分布仿真平台建模技术、美国学者 Bernard P. Zeigler 提出的一种离散事件系统形

式化描述模型 (Discrete Event System Specifications, DEVS)、协同仿真平台建模 (COSIM-Platform) 等;典型的多视图建模技术包括 Petri 网、Bond 图、IDEF 族方法等;典型的数据可视化建模技术包括标量/矢量/张量、动态数据场/流场、多参数数据场可视化建模技术等;典型的多媒体建模技术包括声音、图形及图像建模技术等。

2. 仿真应用技术

仿真应用技术包括共性应用技术及应用领域相关的专用仿真应用技术。其中,①共性应用技术涉及系统的校核、验证与确认技术、仿真运行实验技术、仿真结果评估技术等。②应用领域相关的专用仿真应用技术涉及自然科学与工程、社会科学、管理科学、生命科学及军事等各领域。例如,自然科学与工程领域中的制造领域仿真应用技术涉及产品研制各阶段有关的仿真技术,包括虚拟产品及其在虚拟环境中功能、性能、行为、外观的仿真技术和对其成本、加工、制造过程,直至使用、报废的仿真分析技术,以及企业层次的企业建模(包括结构、资源、过程、供应链等)、战略决策分析、市场评估分析、风险预测、效益评估、质量成本分析等仿真技术。军事领域仿真应用技术涉及分析、训练与工程等不同应用目的与应用对象,以及战略、战役、战术与技术等多个层次的军事仿真技术。

3. 建模与仿真支撑技术

建模与仿真支撑系统技术包括系统总体技术、建模/仿真实验/评估工具引擎技术、虚拟现实/可视化环境技术、数据库/模型库/知识库/内容管理技术、中间件/平台技术、网络/通信技术、仿真计算机技术等。其中,①系统总体技术包括规范化体系结构和采用的标准、规范与协议,系统集成技术和集成方法,以及系统运行模式等。②工具引擎技术涉及支持复杂仿真工程全生命周期各类活动、面向问题的建模/仿真实验/评估算法、程序、语言、环境及工具集。③虚拟现实/可视化环境技术包括计算机图形生成技术、多媒体技术、虚拟现实技术、人机交互技术等。④数据库/模型库/知识库/内容管理技术涉及关系/面向对象等数据库技术,分布式数据库、主动数据库、实时数据库、演绎数据库、并行数据库、多媒体数据库等数据库建立与管

理技术,数据/知识的挖掘技术,数据/知识仓库技术,实时/分布模型库技术,内容管理技术等。⑤典型的中间件/平台技术包括 CORBA、COM、DCOM、XML、DIS/HLA,以及新一代面向服务中间件技术等。⑥典型的网络/通信技术包括以 IP 和 ATM 融合的技术(Multi-Protocol Label Switching, MPLS),IPv6 为重点的下一代 IP 网技术,以智能光网为核心的下一代光网络技术,采用 3G、4G 的下一代无线通信网技术等。⑦仿真计算机包括适合于仿真的各类个人计算机、大/中型计算机、并行机及基于 Internet/web/网格技术的网络计算系统。

1.1.1 军事建模

建模(Modeling)就是按照一定的目的对所研究的系统特征进行提取、描述的过程,是利用模型代替系统原型的抽象化过程。军事建模就是依据某种军事目的,如训练人员、评估方案及模拟作战等,对军事对象实施抽象化的过程。军事模型和数据是军事仿真的基础。

军事模型有多种划分形式,就构成虚拟战场而言,其主要模型包括:

- (1) 实体模型(Entity Model);
- (2) 行为模型(Behavior Model);
- (3) 环境模型(Environment Model)。

其中实体模型描述武器平台、传感器、无线电通信设备等;行为模型描述机动、交战、碰撞等;环境模型描述地形、电磁、大气、气象、海洋等。

数据是执行模型时所必须的,数据的取值根据特定的仿真对象而不同,大多数军事仿真系统涉及的数据包括性能数据、状态数据、环境数据和装备数据等。其中性能数据描述军事对象的本质属性,如某型号导弹的射程、射击精度,飞行器的气动系数等;状态数据描述军事对象的活动状态,如某型号导弹当前的飞行高度、飞行速度、姿态、俯仰角等;环境数据描述军事系统所处的环境背景,如战场天气情况、地况、地貌等;装备数据描述军事活动过程部队配置情况,如

人员编制、武器配置情况等。

军事模型主要描述军事现象,反映军事作战规律。针对军事系统的特性,所建立的军事模型主要有以下特点:

1. 定量计算与定性分析相结合

在各种军事活动和作战过程中,军事任务的艰巨性和作战时间的紧迫性,客观上决定了建立模型的复杂性。一方面,军事运筹学、数学、计算机等相关科学的发展和运用使得作战过程日益向量化的方向发展。另一方面,战争的不确定性又阻碍了量化的精确性。实践表明,只有在定量计算与定性分析相结合的基础上建立的军事模型,才能更加真实有效地反映军事系统的活动过程,使军事模型满足军事仿真的需求,达到军事仿真的目的。

2. 多种形式的军事模型表示

目前模型的表示方法主要有程序方式、数据方式和逻辑方式三种,军事问题的多数模型都可以用任意一种方式来表示,这导致了模型的表示形式多样性和不规范性。

3. 模型的可描述性

军事模型除了不同的表示形式外,还可以用一定的文字进行描述,从而体现建立军事模型的环境背景和运行情况,如输入和输出参数、约束条件、主要功能及关联性等。这些文字描述都是军事模型标准化过程中需要简化但又必不可少的因素。

1.1.2 军事仿真

1. 军事领域的仿真技术

系统仿真技术是以相似原理、控制理论、计算机技术、信息技术及其应用领域的专业技术为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用数学模型或部分实物对实际的或设想的系统进行动态实验研究的一门综合性技术。用于国防和军事领域的仿真技术,称为军事仿真技术,是系统仿真应用领域的一个重要分支。

系统仿真技术是一门通用的支撑性技术,具有学科面广、综合性强、应用领域宽、无破坏性、可多次重复、安全、经济、可控、不受

气候条件限制、不受场地空间的限制等十大独特优点,这是其他技术所无法比拟的。系统仿真技术能以其他方法无法替代的特殊功能,为决策者对一些重大、难点问题的处理,提供关键性的见解和创新的观点,高效地帮助人们理解事物的本质,进行科学的决策与推断。

系统仿真技术是一门正在发展的高新技术,它的发展既与专业领域的相关技术,如光、机、电、声和信息等学科的发展密切相关,同时又具有相对的独立性。当今仿真技术在国防和国民经济建设中的应用日益广泛,作用越来越突出,与“科学理论”和“实验研究”并称为三种认识和改造世界的工具。

军事应用是推动系统仿真技术发展的重要源动力,国防和国民经济各个领域不断发展的新需求,是牵引仿真技术发展的生命线。仿真技术的发展与服务于国防和国民经济应用领域的仿真系统的发展紧密结合,能有效促进仿真技术自身的发展。国内外军用仿真技术发展的实践表明,仿真需求、仿真系统、仿真技术三者之间,有着如下的辩证关系:

- (1) 需求牵引系统;
- (2) 系统带动技术;
- (3) 技术促进系统;
- (4) 系统服务于应用。

具体层次关系如图 1-1 所示。

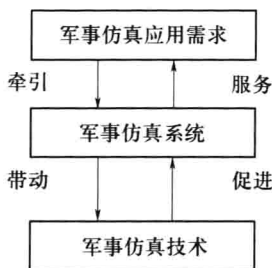


图 1-1 军事仿真层次关系图