

1-3-2019

A Practical Approach for Building the Model Family's Framework of a Simulation System

Xiaocheng Liu

1. Troop 31002 of the PLA, Beijing 100049, China; ;2. School of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Bin Chen

2. School of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Xiaogang Qiu

1. Troop 31002 of the PLA, Beijing 100049, China; ;2. School of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

A Practical Approach for Building the Model Family's Framework of a Simulation System

Abstract

Abstract: The model architecture of a simulation system is derived from its family's framework, and the building approach is the first issue to be tackled to build a simulation system. Considering the experience for building model family's framework of some typical simulation systems and the recent development of modeling technology, this paper gives *a measure-centred guidable procedure* for building the model family's framework of a simulation system, summarizes its basic rules, as well as lists some key technologies and supporting tools. The approach describes step-by-step the process of framework building by two phases (eight steps). Our proposed approach has been applied in some large-scale simulation systems, which is practical to some extent.

Keywords

model family's framework, component-based modeling, architecture design, M&S

Recommended Citation

Liu Xiaocheng, Chen Bin, Qiu Xiaogang. A Practical Approach for Building the Model Family's Framework of a Simulation System[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(12): 4529-4535.

一种构建仿真系统模型体系框架的工程方法

刘晓铖^{1,2}, 陈彬^{2*}, 邱晓刚^{1,2}

(1.中国人民解放军31002部队, 北京100094; 2.国防科技大学系统工程学院, 湖南长沙410073)

摘要: 模型体系框架决定着仿真系统的模型构成与功能, 其构建是仿真系统建设的难点。综合国内外典型仿真系统模型体系框架构建经验和建模技术最新发展, 提炼了一套模型体系框架构建的基本原则, 提出了一种以评估指标为中心的模型体系框架构建指导性方法, 给出了一些关键技术及辅助支持工具。该方法通过两个阶段八个步骤逐步给出了模型体系框架的迭代构建过程, 目前已经在多个大型仿真系统建设过程中得到了运用, 具有一定的可操作性。

关键词: 模型体系框架; 组件化建模; 架构设计; 建模与仿真

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 12-4529-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201812005

A Practical Approach for Building the Model Family's Framework of a Simulation System

Liu Xiaocheng^{1,2}, Chen Bin^{2*}, Qiu Xiaogang^{1,2}

(1. Troop 31002 of the PLA, Beijing 100049, China;

2. School of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The model architecture of a simulation system is derived from its family's framework, and the building approach is the first issue to be tackled to build a simulation system. Considering the experience for building model family's framework of some typical simulation systems and the recent development of modeling technology, this paper gives a *measure-centred guidable procedure* for building the model family's framework of a simulation system, summarizes its basic rules, as well as lists some key technologies and supporting tools. The approach describes step-by-step the process of framework building by two phases (eight steps). Our proposed approach has been applied in some large-scale simulation systems, which is practical to some extent.

Keywords: model family's framework; component-based modeling; architecture design; M&S

引言

模型是对所研究对象的一种抽象表达, 仿真是一种基于模型的活动, 通过建立系统模型、运算系统模型和分析运行结果来进行科学研究和实/试验, 已成为几乎所有科学技术领域必不可少的研究

方法和手段^[1]。随着仿真技术在各领域的广泛深入应用, 仿真系统的复杂程度也变得日趋复杂, 困扰着仿真系统建设的首要难题就是“这个仿真系统需要哪些模型, 这些模型之间的关系是什么?”, 即模型体系框架的设计问题。

模型体系是各类类型、不同层次仿真模型的集合以及它们之间相互关系的集合, 模型体系框架是对模型体系结构的形式化描述, 但不涉及各模型的实现细节。模型体系框架设计, 就好比软件架构设计之于软件系统, 对仿真系统建设具有重要的工程



收稿日期: 2018-05-28 修回日期: 2018-06-27;
基金项目: 国家自然科学基金(71673292);
作者简介: 刘晓铖(1984-), 男, 江西莲花, 博士, 高工, 研究方向为仿真建模方法; 陈彬(通讯作者 1981-), 男, 安徽芜湖, 博士, 副研究员, 研究方向为平行实验方法等; 邱晓刚(1963-), 男, 江西宁都, 博士, 研究员, 博导, 研究方向为并行与分布式仿真等。

<http://www.china-simulation.com>

• 4529 •

价值,主要体现在:①统筹设计模型粒度分辨率,提高模型针对性和一致性;②提高模型可重用程度,减少重复开发;③降低模型 VV&A 难度,提高模型可信程度;④增强模型规范性,提高模型开发效率。

国内外对模型体系框架设计的多个相关方面一直有广泛研究,也已取得了大量成果,对模型体系框架设计起到很好的支撑作用。但从公开发表的文献来看,很少有团队整体性系统性地深入研究过这一问题,目前也还没有形成一套成体系的、覆盖模型体系框架设计全过程的工程方法。已有相关成果要么只是针对模型体系框架设计的一个环节而没有考虑整体过程,要么只是给出了设计目标原则而未明确方法手段,要么只阐述了特定仿真系统的模型体系设计结果而未给出具体方法。造成这种现状的主要原因有:①问题比较小众,模型体系框架设计更多的是个工程问题,只有少数大型项目总体单位才会面临;②问题不够严峻,之前的仿真系统建设更多的是解决有无问题,其模型体系建设更多的是对已有模型的集成或者是简单的“有什么用什么、缺什么建什么”;③建模技术水平的限制,之前的仿真建模,大都将研究对象的模拟能力实现在一个代码空间内,缺乏组件化建模、插件化建模、服务化建模、参数化建模、智能体建模等可组合建模支持技术,模型体系框架设计的效益不能彰显。现如今,随着组合化建模技术的发展成熟、随着大型仿真系统项目的日益增多,模型体系框架的优化空间愈发可观,模型体系框架设计的重要性和紧迫性也日益凸显。

为此,本文在总结多项大型仿真系统建设经验教训的基础上,充分借鉴吸收建模技术的最新发展成果以及外军典型仿真系统模型体系建设成果,提出一套仿真系统模型体系框架设计工程方法。该方法以面向对象建模思想为基础、以组件化建模技术为基本支撑,分实体类模型体系框架设计和组件类模型体系框架设计两个阶段,每个阶段又都包含了若干个较为明确的实施步骤。该方法成功地指导了

国内多个大型仿真系统的模型体系建设,提升了模型体系的针对性和完备性,降低了模型体系的构建及管理成本。目前,该方法也正作为多个在建大型仿真系统总体技术方案的一部分,具有较强的可操作性,可以提供给业界交流探讨。

1 相关研究

自上世纪 90 年代以来,建模与仿真从业人员在模型体系框架设计相关方面进行了大量研究工作,取得了很多值得本文学习借鉴的成果,主要包含:理论研究、工程方法和已有模型体系成果三个方面。

1.1 相关理论研究

张斌等在文献[2]中针对武器装备体系论证,提出了“自下而上、自点到网、由少到多、由静到动、由单到双”的模型体系构建方法。王志勇等在文献[3]中提出了“概念模型、实体模型、联邦模型”模型体系层次结构。熊嵩在文献[4]中提出了模型重用的一些思考。梁义芝等在文献[5]中提出了基于过程分解的模型组件化方法和基于功能分解的模型组件化方法。郑世明等在文献[6]中、彭勇在文献[7]中都提出了一种模型体系架构规范化描述方法。Zeigler 等在文献[8]中给出了模型体系框架构建的一些思路及关键技术。他们的研究成果是本文重要支撑。

1.2 相关工程方法

王勇等在文献[9]中提出了概念模型体系框架的构建过程。唐凯等在文献[10]中针对陆军战术级装备保障系统仿真概念模型,提出了一套六视图展示分析方法。邱晓刚等在文献[11]中针对联合作战模拟中的体系问题,提出了模型体系的分类方法。蒋亚民在文献[12]中针对联合作战实验模型体系军事设计问题,提出了一套仿真模型和分析模型两层分段构建方法。马全峰等在文献[13]中给出了面向对象的分层仿真模型体系框架的大致构建流程。

金伟新等在文献[14]中给出了联合作战仿真模型体系的设计原则目标。他们的成果给本文带来了极大启发。

1.3 相关模型体系框架

外军相关模型体系框架,文献[15-16]等对EADSIM (Extended Air Defense Simulation, 可扩展防空仿真系统)、JWARS (Joint Warfare System, 联合作战仿真系统)、JSIMS (Joint Simulation System, 联合仿真系统)、JMASS (Joint Modeling and Simulation System, 联合建模与仿真系统)、WARSIM2000 (Warfighters Simulation, 战士仿真系统)、OneSAF (The One Semi-Automated Forces, 美军下一代半自动兵力系统)、JTLS (Joint Theater Level Simulation, 联合战区模拟系统)、FLAMES (Flexible Analysis Modeling and Exercise System, 柔性分析建模与演习系统)等的模型体系进行了较为详细的介绍。

我军相关模型体系框架,金伟新等在文献[14]中、杜国红等在文献[17]中、孙光明等在文献[18]中、李群等在文献[19]中、丁红勇在文献[20]中分别给出了联合作战、陆上作战、海上作战、空中作战、空间作战等相关仿真系统的模型体系设计成果。

可参照的国内外仿真系统模型体系成果十分丰富,为本文研究提供了详实的素材。

2 模型体系框架构建方法的设计原则

仿真系统模型体系框架构建,以提升模型可重用性和互操作性为根本目的,对被研究系统进行分析、分解、抽象从而确定模型构成及模型功能。仿真系统模型体系框架构建方法,提供一种实现该过程的指导性流程,用于支持仿真模型体系的设计开发,以满足仿真系统对模型的要求。本文研究的模型体系框架构建方法,遵循以下十条设计原则:

1) 可行:要具有可操作性,对领域专家、对仿真系统使用者都应该屏蔽建模技术细节,所有过

程记录应尽量使用规范化自然语言;构建出的仿真模型体系框架要有成熟建模技术的支持,符合当前的建模技术发展水平。

2) 完备:要紧扣仿真系统的目的用途设计仿真系统的评估指标,确保模型输出数据可满足评估指标的解算。

3) 精炼:要以“最小开发代价”为目标,尽可能的将被研究系统的相同/相似要素抽取成可独立开发、能组合重用的功能组件。

4) 恰当:要在可满足使用者对仿真系统的量化评估期望的前提下,合理界定仿真系统的领域空间范围,仅抽取够用的模拟对象(恰当的模型粒度),每个模拟对象仅刻画够用的详细程度(恰当的模型分辨率),但在必要的时候每个模拟对象可以同时有多种详细程度的刻画(多分辨率模型)。

5) 独立:要自成一体,不依赖特定建模工具、特定仿真平台、特定评估方法、特定数据格式等。

6) 规范:要有规范清晰的流程,要有合理的过程记录规范,可引导设计人员一步一步地设计模型体系框架。

7) 简单:要对领域专家、仿真系统使用者、开发人员有明确分工,他们只需专注自己所擅长的工作;可对模型体系框架构建相关支撑工具提出明确需求,可驱动其设计开发。

8) 通用:要对不同类型仿真系统(用于训练、分析、测试等)模型框架构建都有一定的指导意义。

9) 开放:要尽量适应建模与仿真技术的发展;要尽量遵循通用的国际、国家、军队及行业标准。

10) 准确:要支持从多种视角展示各类相关人员对模型体系框架的关注,以支持模型体系框架的验证;要支持模型间的关联关系分析。

3 模型体系框架构建方法

当前的仿真系统模型体系框架构建方法普遍以面向对象建模思想为基础、以组件化建模技术为支撑,本文的模型体系框架构建也因此分为实体类模型体系框架构建和组件类模型体系框架构建两

个阶段。其中，①实体类模型体系框架构建，就是识别仿真系统使用人员直接关注的需要在仿真系统中独立呈现的对象(通常为在想定编辑系统中可直接部署的、或在态势显示系统中要单独显示的指挥所/部队/装备/...../人员)；②组件类模型体系框架构建，将模拟对象中有一定共用性的要素(装备能力、决策功能、行动过程等)抽取出来，设计成可独立编码、能装配使用的组件模型，通过组件模型的组装得到实体模型。需要强调的是，①在设计上，实体类模型体系框架是必需的，组件类模型体系框架构建是可选的；②在实现上，可以直接编码实现各个实体模型的功能，也可以编码实现各组件模型的功能后组合装配得到实体模型，还可以兼而有之。

3.1 实体类模型体系框架构建

实体类模型体系框架构建以领域专家和仿真系统使用者为主，他们习惯以和被研究系统中有真实对应关系的对象(如编制编成、武器装备等)为基础，来描述被研究系统的组成及功能。实体类模型体系框架构建方法，用于规范领域专家和系统用户在实践中提炼这些对象，理论上可通过以下四个步骤来完成：①提炼评估指标(界定仿真系统所研究问题的问题域边界)；②确定模拟实体(明确模型粒度)；③确定实体功能(明确模型分辨率)；④归并模拟实体(确定模型类别)。但在工程实践中仿真系统使用者和领域专家很难直接从评估指标提炼入手，也很难一步到位地提炼出完备的评估指标体系，必须提供一种更具操作性的方法来引导用户群体从他们的关注视角逐步提炼、丰富、完善仿真系统的评估指标体系，为此我们提出了一种迭代递进式工程方法以引导实体模型体系框架构建，见图1。

该方法以评估指标体系构建为核心，但从比较容易入手的实体清单梳理开始，其操作流程为：

1) 实体清单梳理。仿真系统使用者和领域专家根据自己对被研究系统的掌握和对仿真目的的理解，提炼出需要在仿真系统中模拟的对象(指挥

机构、指挥席位、部队、装备、设施、目标、部件等)。需要强调的是，这步只需尽可能地列出实体清单，可以不完整甚至不准确(因为在后续迭代过程中会逐步修正)。

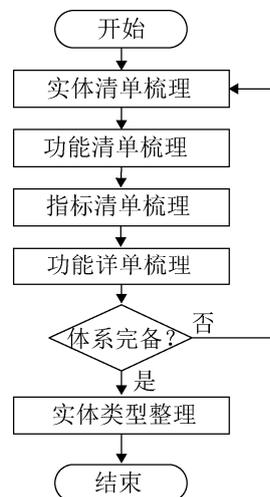


图1 实体模型体系框架构建流程

Fig. 1 Process for building the entity model family's framework

2) 功能清单梳理。和各实体对应的领域专家列出该实体能发起、参与、实施功能(如作战行动、服务保障、装备运用、部件运行过程等)，剔除仿真系统使用者不关注的功能、合并相似功能后得到各个实体的功能清单。

3) 指标清单梳理。针对各实体的每一项功能，仿真系统使用者根据仿真目的提出对该项功能的评价指标(如对行动效果、装备作战能力、服务保障水平等的评价)，并和领域专家一起给出该项指标的计算方法、输入数据等。

4) 功能详单梳理。针对各实体的每一项功能，由领域专家描述该项功能的实施过程及和其它实体间的交互，并在描述的过程中：①补充完善实体清单、功能清单和指标清单；②将用到的公用算法提炼出来形成公用模型清单；③将需要考虑到环境因素和环境效应提炼出来形成环境模型清单；④将有(性格/条令/...../环境)差异的决策行为抽取出来形成规则模型清单；⑤从涉及的交战行为中抽取提炼得到毁伤模型清单。

5) 框架完备性判断。如果当前实体模型体系框架是完备的, 则进行第 6 步(实体类型整理); 否则从第 1 步(实体清单梳理)开始一次新的迭代。实体模型体系框架的完备性判据主要有: ①实体清单已列满仿真系统使用者和领域专家当前已考虑到的模拟对象; ②功能清单已列满仿真系统使用者和领域专家当前已考虑到的模拟功能; ③指标清单已给全仿真系统使用者对每个实体各项功能的评价; ④指标清单已能(直接或通过综合计算后)回答仿真系统所关注得问题; ⑤每个实体至少有一条功能; ⑥每个实体至少有一条输出数据是某条评估指标的输入; ⑦每条功能至少对应一个实体; ⑧不存在孤立的、不和其它任何实体交互的实体。

6) 实体类型整理。在仿真系统使用者和领域专家的指导下, 建模技术人员采用抽象、封装、泛化、分类、继承、归并、聚合等思想, 根据各项清单的内容设计实体类模型体系框架, 保证实体清单中的每个实体都可通过某个实体类模型实例化生成。

3.2 组件类模型体系框架构建

若有组件化建模技术的支持, 应该在实体类模型体系框架的基础上, 进一步拆分各实体类模型的功能, 设计组件类模型体系框架, 以提高模型的可重用程度减少重复开发, 大致过程为:

1) 实体类模型功能分解。将各实体类模型的功能分解为功能相对单一的可独立开发的软件组件。功能分解可以从活动的角度(如感知、指控、机动、火力、通信、防护、毁伤、环境等)、可以从构成的角度(如平台、传感器、电台、弹药、指挥所、发射单元、甚至真人真实物理设备等)、还可以同时从这两种角度来拆解抽象模型的功能片段。活动可以细分成子活动直至基本动作; 构成可分解成子系统直至单个部件。功能分解需要结合承研单位情况, 在功能片段的数量和功能片段的容量之间做出合理权衡。

2) 组件类模型设计。采用抽象、封装、泛化、

分类、继承、归并、组合等思想, 根据各项功能片段的内容设计组件类模型体系框架, 保证每个功能片段的功能都包含在某个组件类模型中。

4 模型体系框架构建方法的关键技术

仿真系统模型体系框架的构建是一项非常繁琐的任务, 其构建过程如若有下列方法技术的支撑, 可大大提高模型体系框架构建的效率和质量:

1) 模型元信息形式化描述方法。在模型体系框架构建过程中, 对模型的功能、作用范围、开发人员、数据类型及对外接口等内容进行详细的、无歧义的形式化描述, 用于支持模型的描述、展现、关系分析、检索、重用与组合等, 促进模型的重用。

2) 模型体系框架形式化描述方法。基于模型元信息, 描述框架的模型组成、模型主要功能以及功能分配、模型间的关系与接口、模型的分布与部署、模型的组成/结构/接口关系随时间的演化过程、模型的实现协议标准技术等。

3) 模型体系框架可视化编辑技术。实现模型体系框架的编辑与多视图展示, 支持从多类利益相关者的视角以多视图的方式给出他们所关注的内容; 采用诸如 ISM(Interpretive Structural Model, 解析结构建模)之类的方法, 在描述规范的基础上建立模型体系的层次模型, 分析模型之间的复杂关系, 并回答模型变化给模型体系带来的影响。

仿真系统模型体系框架构建好后, 为高水平开发出更高质量的模型, 比较关键的技术有:

1) 模型一体化协同开发测试技术。根据选定的建模技术, 基于仿真模型体系框架, 自动生成各个模型的代码架构, 分发至各承研单位分布开发、集中联试; 支持模型更新自动提示, 当模型接口发生变化时, 自动给出对(与之有交互的)其他模型的影响范围及修改建议。

2) 模型动态组合技术。将仿真实体能提供的/所需要的、相对独立的元素抽象出来, 设计成为可重用的软件组件(模型组件、功能插件、辅助服务等)。虽然仿真模型体系不一定需要组件化建模技

术的支持,但目前组件化建模技术已是大多数仿真系统的选择,而且也总能带来可观的效益。

5 结论

本文针对仿真系统模型体系框架构建这一基础性问题展开研究,提出了十条模型体系框架设计原则,在这些原则的指导下给出了一套模型体系框架构建方法,同时探讨了该方法的关键技术。本文的模型体系框架构建方法以面向对象建模思想为基础、以组件化建模技术为基本支撑,分实体类模型体系框架设计和组件类模型体系框架设计两个阶段。实体类模型体系框架设计以领域专家和仿真系统使用者为主,用于识别仿真系统需要构建的可实例化仿真实体的实体类模型;组件类模型体系框架设计以领域专家和建模技术人员为主,将实体类模型中的公用功能设计成可独立编码、能装配使用的组件模型,通过组件模型的组装得到实体模型。本文的模型体系框架构建方法已在多个大型仿真系统中得到了应用,具有一定的可操作性,可以提供给业界交流讨论。

参考文献:

- [1] 张霖, 张雪松, 宋晓, 等. 面向复杂系统仿真的模型工程[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(11): 2729-2736.
Zhang Lin, Zhang Xuesong, Song Xiao, et al. Model Engineering for Complex System Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(11): 2729-2736.
- [2] 张斌, 李瑞军. 体系对抗仿真 SEII 模型体系顶层框架探索[J]. 军事运筹与系统工程, 2015, 29(4): 56-59.
Zhang Bin, Li Ruijun. Explore on SEII-based System Model Framework of System-of-systems Combat Simulation[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2015, 29(4): 56-59.
- [3] 王志勇, 李志猛, 凌云翔, 等. HLA 仿真的模型体系和支持工具研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(5): 115-119.
Wang Zhiyong, Li Zhimeng, Ling Yunxiang, et al. Research on Model Architecture and Supporting Tools Based on HLA Simulation[J]. Computer Simulation, 2005, 22(5): 115-119.
- [4] 熊嵩. 大型仿真模型体系的可重用性实现方法研究[J]. 现代导航, 2016, 7(2): 131-136.
Xiong Song. Reusability Implementation Method of Large-Scale Simulation Model Architecture[J]. Modern Navigation, 2016, 7(2): 131-136.
- [5] 梁义芝, 张维石, 康晓予, 等. 仿真模型重用方法综述[J]. 计算机仿真, 2008, 25(8):1-5.
Liang Yizhi, Zhang Weishi, Kang Xiaoyu, et al. A Survey of Model Reuse Methods[J]. Computer Simulation, 2008, 25(8): 1-5.
- [6] 郑世明, 王洪军, 孙涛. 基于 ISM 的作战仿真模型体系结构建模[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(1):23-27.
Zheng Shiming, Wang Hongjun, Sun Tao. Modeling of Architecture of Combat Simulation Models Based Interpretive Structural Model[J]. Command Control & Simulation, 2016, 38(1): 23-27.
- [7] 彭勇. 作战仿真模型体系分析及其模型设计与实现关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011: 12-16.
Peng Yong. Research on Key Technologies for Analysis of Model's Family, Design and Implement of Its Model for Warfare Simulation[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011: 12-16.
- [8] Zeigler B B P. Tag Gon Kim 2000. Theory of Modeling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems[M]. 2d edition. 2012: 6-12.
- [9] 王勇, 马萍, 杨明, 等. 仿真概念模型的开发过程研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(增 2): 17-19.
Wang Yong, Ma Ping, Yang Ming, et al. Research on Development Process of Simulation Conceptual Model[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(S2): 17-19.
- [10] 唐凯, 柏彦奇. 陆军战术级装备保障系统仿真概念模型六视图体系结构研究[J]. 军械工程学院学报, 2015, 27(5): 1-6.
Tang Kai, Bai Yanqi. Research on Equipment Support System's Simulation Conceptual Model Architecture Based on Six-Views[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2015, 27(5): 1-6.
- [11] 邱晓刚, 胡丰华, 段伟, 等. 作战模拟中的体系问题研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2545-2548.
Qiu Xiaogang, Hu Fenghua, Duan Wei, et al. Research on System of Systems in Warfare Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(11): 2545-2548.
- [12] 蒋亚民. 对联合作战实验模型体系军事设计的思考[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(4): 5-9.
Jiang Yamin. Thinking on Military Design of Joint Operation Experiment Model Architecture[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2012, 26(4): 5-9.

- [13] 马少峰, 石少勇. 面向对象的分层仿真模型体系框架研究[C]. 九江: 2009 全国仿真技术学术会议, 2009: 381-384.
Ma Quanfeng, Shi Shaoyong. Research on Object-Oriented Hierarchical Simulation Model Framework[C]. Jiujiang: China Simulation Technology Conference 2009, 2009: 381-384.
- [14] 金伟新, 肖田元, 马亚平, 等. 联合作战仿真模型体系的设计[J]. 计算机仿真, 2003, 20(8): 4-6.
Jin Weixin, Xiao Tianyuan, Ma yaping, et al. Design of Joint Operation Simulation Model Framework[J]. Computer Simulation, 2003, 20(8): 4-6.
- [15] 陈欣, 蓝国兴, 何焱, 等. 美军建模仿真对象模型体系框架研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2008: 10-25.
Chen Xin, Lan Guoxing, He Yan, et al. Research on US Armed Forces' Simulation Object Model Framework[M]. Beijing: Military Science Press, 2008: 10-25.
- [16] 常非. 美军主要推演和仿真系统模型体系与建模机制研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2015, 29(2): 75-80.
Chang Fei. The Model Architecture and Modeling technique of USA Armed Forces' Main Simulation Systems[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2015, 29(2): 75-80.
- [17] 杜国红, 李路遥, 吴从晖. 陆军合成营作战仿真组件化模型体系设计研究[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(2): 96-101.
Du Guohong, Li Luyao, Wu Conghui. Research on Component-based Model Architecture of Army Synthetic Battalion Combat Simulation[J]. Command Control & Simulation, 2016, 38(2): 96-101.
- [18] 孙光明, 王立志. 海上作战方案推演系统仿真模型体系研究[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(8): 12-15.
Sun Guangming, Wang Dazhi. Simulation Model Architecture of Marine War Simulation Deducing System[J]. Ship Electronic Engineering, 2016, 36(8): 12-15.
- [19] 李群, 杨峰, 李权, 等. 空军战役过程推演中的模型体系研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(1): 5-7.
Li Qun, Yang Feng, Li Quan, et al. The Research on an Integrated Family of Models in War Game of Air Force[J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(1): 5-7.
- [20] 丁红勇. 空间系统军事应用仿真模型体系设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4292-4294.
Ding Hongyong. Model Architecture Design of Space System Military Application Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(18): 4292-4294.

(上接第 4528 页)

- [6] 金丛镇. 基于 MMF--OODA 的海军装备体系贡献度评估方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
JIN Congzhen. Study on the evaluation method of contribution degree of naval equipment SoS based on MMF-OODA[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2017.
- [7] 罗小明, 朱延雷, 何榕. 基于 SEM 的武器装备作战体系贡献度评估方法[J]. 装备学院学报, 2015(5): 1-6.
LUO Xiaoming, ZHU Yanlei, HE Rong. Evaluation method of contribution degree of Weapon Equipment Combat System Based on SEM[J]. Journal of Institute of Equipment, 2015(5): 1-6.
- [8] 陈小卫, 谢茂林, 张军奇. 新型装备对作战体系的贡献机理[J]. 装备学院学报, 2016, 27(6): 26-30.
CHEN Xiaowei, XIE Maolin, ZHANG Junqi. The contribution mechanism of new equipment to combat system[J]. Journal of Equipment College, 2016, 27(6): 26-30.
- [9] Beach T D, Bock T. DoDAF limitations and enhancements for the Capability Test Methodology[C]. Spring Simulation Multiconference, 2007: 170-176.
- [10] 张明智, 马力. 体系对抗 OODA 循环鲁棒性建模及仿真分析[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(9): 1968-1975.
ZHANG Mingzhi, MA Li. Modeling and Simulation of Cyclic Robustness of Systems against OODA[J]. Journal of Systems Simulation, 2017, 29(9): 1968-1975.
- [11] 许永平, 石福丽, 杨峰, 等. 基于 QFD 与作战仿真的舰艇装备需求分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(1): 167-172.
XU Yongping, SHI Fuli, YANG Feng, et al. Requirement analysis method for warship equipment based on QFD and combat simulation[J]. Theory and practice of system engineering, 2010, 30(1): 167-172.
- [12] 黄建新, 李群, 贾全, 等. 基于 ABMS 的体系效能评估框架研究[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(8): 1794-1798.
HUANG Jianxin, LI Qun, JIA Quan, et al. Research on ABMS-based SoS effectiveness evaluation framework[J]. System Engineering and Electronic Technology, 2011, 33(8): 1794-1798.