

面向装备体系作战试验的分布式仿真系统

张少鹏, 刘明哲, 秦伟军

(中国电子科技集团有限公司第十五研究所, 北京 100083)

✉zhangshp001@163.com; deadstorminter@163.com; 18800009418@139.com



摘要: 本文对面向装备体系作战试验的分布式仿真系统进行了研究, 提出了系统的体系结构和功能组成; 重点分析了仿真模型集成技术和仿真引擎技术, 阐述了对象模型建模和组装机方法, 形成了覆盖常见武器装备的对象模型体系; 分析了集中式与分布式相结合的仿真引擎设计, 提出了仿真引擎的体系结构, 对仿真引擎的组成部分进行了详细说明; 最后对系统的应用模式进行了介绍, 明确了装备体系作战试验仿真的应用场景和流程。

关键词: 仿真; 模型集成; 作战试验

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Distributed Simulation System for Combat Test of Equipment System

ZHANG Shaopeng, LIU Mingzhe, QIN Weijun

(15th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100083, China)

✉zhangshp001@163.com; deadstorminter@163.com; 18800009418@139.com

Abstract: This paper studies distributed simulation system for combat test of equipment system and puts forward the system architecture and functional composition. The research emphasize the analysis of simulation model integration technology and simulation engine technology, and describes the object model modeling and assembly method, forming the object model system covering common weapons and equipment. The architecture of simulation engine is also proposed and then, the components of simulation engine are elaborated by analyzing both the centralized and distributed simulation engine designing. And the components of simulation engine are described in details. Finally, the application mode of the system is introduced, and the application scenario and process of combat test simulation of equipment system are defined.

Keywords: simulation; model integration; distributed

1 引言(Introduction)

当前, 军用仿真技术发展迅速, 在武器研制、军事训练、理论研究等方面应用较为广泛, 并且取得了良好的成果^[1]。美国国防部高度重视仿真技术的发展, 近十多年来, 美国一直将建模与仿真列为重要的国防关键技术^[2], 先后提出了“高层体系结构”(High Level Architecture, HLA)^[3]和“试验与训练使能体系结构”(Test and Training Enabling Architecture, TENA)^[4], 并在仿真领域处于领先地位。

我国军用仿真技术的发展已有几十年的历史, 国内的大型军工企业、科研院所等都成立了专门的仿真实验室进行

武器装备的仿真实验, 在缩短武器装备研制周期的同时, 节约了研制经费, 为武器装备的研制、试验提供了良好的支撑手段。随着军事技术的发展, 未来的作战模式主要是联合作战、体系对抗作战^[5], 通过仿真的手段进行装备体系作战试验对我国联合作战、体系作战能力的形成具有重大意义, 目前我国在装备体系作战试验仿真方面与世界先进国家还存在一定差距^[6]。

装备体系作战试验具有参试资源种类多、地域分散、规模大的特点, 试验资源在形式上包括实装、半实物和数字仿真模型, 在地理上可能分布在不同的场所, 针对装备体系作

战试验的仿真系统需要解决各类模型的集成、一体化运行和信息交互等问题。

本文围绕装备体系作战试验仿真，设计了集中式与分布式相结合的仿真体系结构，开展了仿真模型资源集成、仿真引擎以及相关应用软件的研究，最后对系统的应用模式进行了阐释，设计了一套面向装备体系作战试验的分布式仿真系统。

2 系统体系结构(System architecture)

面向装备体系作战试验的分布式仿真系统体系结构如图1所示，系统以仿真引擎为核心，通过仿真资源、数据资源、仿真成员、应用软件几个部分的有机结合，形成了覆盖模型资源集成、想定方案规划、仿真运行、态势显示、数据采集和效能分析评估整个作战试验流程的体系框架。

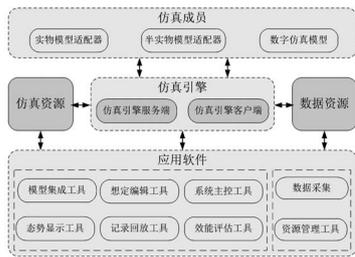


图1 体系结构

Fig.1 Architecture

仿真资源包括与装备体系作战试验仿真相关的各类资源，如仿真模型、评估模型、三维模型、作战想定等。

数据资源包括与系统运行相关的所有数据信息，包括仿真过程数据、仿真结果数据、试验评估数据等。仿真成员包括实物、半实物及全数字仿真模型，是仿真引擎进行仿真调度的基本单位，其中实物和半实物模型通过适配器接入到系统中，与全数字仿真模型共同完成装备体系作战试验。

应用软件为装备体系作战试验仿真提供一系列应用支撑工具，包括模型集成工具、系统主控工具、想定编辑工具、态势显示工具、记录回放工具、效能评估工具以及数据采集和资源管理工具等。

仿真引擎作为仿真执行中枢，提供装备体系作战试验仿真的运行环境，调度各类仿真成员按照规划的想定进行仿真运行，产生仿真数据，执行仿真试验。

3 仿真模型集成(Simulation model integration)

3.1 对象模型

对象模型是采用面向对象的分析技术，利用泛化、多态等方法对仿真领域所涉及各类武器装备进行抽象建模^[7,8]，建模的内容包括对象模型属性、对象模型接口、对象模型事件、对象模型行为规则，与武器装备模型的物理形式及仿真粒度无关。对象模型体系是对所有涉及的武器装备都进行同类抽象形成几类基本的对象模型，以支持装备体系作战试验。本系统的对象模型体系如表1所示。

表1 对象模型体系

Tab.1 Object model system

Table with 3 columns: 对象模型类型, 对象模型名称, 主要功能. Rows include Platform Object, Sensor Object, Communication Object, JamObject, Command Object, Weapon Object, and FireControl Object.

3.2 仿真实体

在装备体系作战试验仿真中，任何活动的参与者是一个仿真实体。一个仿真实体在缺席时是一个空壳，不能完成任何功能。只有在仿真实体通过对象模型与具体的仿真模型关联后才具有仿真模型的功能，完成仿真任务。一个仿真实体通常对应现实中的一个兵力实体，比如一架作战飞机。在本系统中，对象模型是组成实体模型的“积木”，通过对象模型的组合，“搭建”出仿真实体。仿真实体是想定编辑软件和仿真引擎的纽带：在作战想定编辑时，仿真实体作为一个可部署的独立单位；在仿真引擎运行时，仿真实体是一个独立的被调度单位。

仿真模型、对象模型与仿真实体的关系如图2所示。

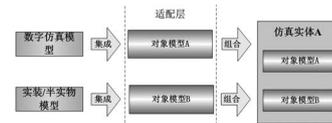


图2 模型与实体的关系

Fig.2 Model-entity relationship

3.3 模型集成

装备体系作战试验涉及的试验资源多种多样，其中的实装资源、半实物资源、数字仿真资源等由不同的生产厂家、科研院所等提供，为体系作战试验的开展带来很大障碍。为了提高资源集成效率，减少资源集成的工作量，需要设计专门的模型集成工具。

仿真实体是由对象模型聚合而成，一个仿真实体包含一个或若干个对象模型，一个对象模型用于集成一个对应的试验资源。典型的仿真实体如预警机实体，由飞机运动平台对象模型、预警雷达对象模型、通信模块对象模型及指挥所对象模型构成，各个对象模型通过集成相应的试验资源实现相应功能的仿真，从而实现对预警机实体的仿真。

模型集成工具提供对象模型编辑和实体组装功能，对任意一个需要集成的试验资源，根据对象模型体系的划分，定义与其对应的对象模型作为适配层，再将对象模型组件进行聚合，形成仿真实体。

对象模型编辑提供可视化的操作界面录入模型的基本信息、接口、协议等，自动为试验资源生成对象模型描述文件。

实体组装通过选择编辑完成的对象模型组合成试验所需的仿真实体，并通过公布/订阅关系的配置完成实体间交互信息的设置，通过行为规则设置完成实体行为的模拟，最后自动生成仿真实体代码框架，便捷的实现模型的集成或扩展。

4 仿真引擎(Simulation engine)

仿真引擎是装备体系作战试验仿真的底层支撑环境，它为仿真实体提供运行环境^[9]，能够推动仿真执行，组织信息交互，完成仿真初始化到仿真结束的整个过程。

仿真引擎是一个开放的仿真运行支撑环境，它提供了一套独立通用的、相对独立的支撑服务程序，将仿真应用和底层支撑环境分离，即将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层通信三者分开，隐蔽各自的实现细节。

装备体系作战试验的试验资源包括了物理上分散的实装、半实物和数字仿真模型，且参与装备体系作战试验的试验资源数量多，传统的仿真引擎在资源利用率方面存在很大的问题，不能充分利用现代多核CPU的计算能力。为充分利用现代高性能服务器的多核计算性能，装备体系作战试验仿真引擎采用分布式和集中式相结合的运行方式，提高运行效率，并保证仿真规模的可扩展性。仿真引擎第一层为引擎服务器端，通过实时仿真中间件完成各个引擎客户端之间的数据交互和时空统一，在仿真规模较大时将实体部署在多个服务器节点上。第二层为引擎客户端，作为上层的一个节点，在一台服务器的范围内，通过多线程技术进行并行仿真^[10]，完成实体程序的调度、数据交互和时间同步管理。仿真引擎结构如图3所示。

仿真引擎以后台服务的形式存在，主要由一个仿真引擎服务器端软件、一个数据接入软件、若干个仿真引擎客户端软件、若干实装/半实物仿真实体和时统服务构成，通过实时仿真中间件完成内部状态的交互。其中引擎服务器端和引擎客户端为仿真运行提供部署、状态监视、仿真控制等服务。试验数据接入软件和实装/半实物仿真实体在试验过程中被引擎客户端启动，与时统服务和实时仿真中间件一起构成实时仿真环境。

仿真引擎通过数据访问层与系统中其他软件进行数据、文件和消息的交互。

实装/半实物仿真实体，也可以称为装备实体，通常代表试验中的一个实际武器装备或者模拟器，仿真实体接收该装备或者模拟器所有的实装部件、仿真部件的数据，通过实时消息中间件与仿真引擎中的数字仿真模型进行同步仿真试验。

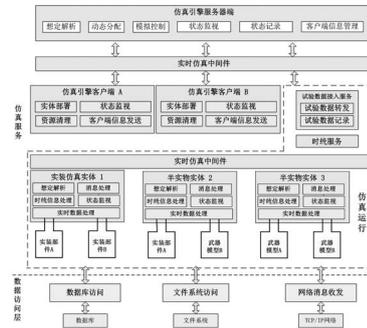


图3 仿真引擎结构

Fig.3 Architecture of simulation engine

5 应用模式(Application mode)

面向装备体系作战试验的分布式仿真系统为实装、半实物、数字仿真模型共同开展作战试验仿真提供了基础支撑环境，能够支持试验资源的快速集成、试验方案的灵活构建、试验过程的高效开展和试验结果的分析评估。装备体系作战试验仿真的流程一般可概括为：仿真试验准备→仿真试验规划→仿真试验执行→仿真试验分析评估。

(1)仿真试验准备

仿真试验准备阶段主要根据装备体系作战试验的目的准备参试所需的资源，确认参试资源、其他条件的状态就绪。

需要准备的资源主要有实装、半实物、数字仿真模型，通过模型集成工具，把各类仿真资源进行抽象封装为对象模型，根据装备资源的组成情况把对象模型组装成仿真实体，存入仿真资源库，为后续仿真试验的开展提供支持。

(2)仿真试验规划

仿真试验规划阶段主要是对试验方案进行规划和设计，为装备体系作战试验仿真的执行提供想定脚本。试验规划主要是通过想定编辑工具完成，想定编辑工具提供仿真实体部署、仿真实体初始化参数设置、路径点规划、行动规则设置、目标规划、电磁环境设置、试验结束条件设置等功能，想定规划完成后保存为想定方案文件，存入仿真资源库。

(3)仿真试验执行

仿真试验执行阶段主要是仿真引擎加载仿真试验规划的理想方案文件，控制参加仿真试验的实装、半实物和数字仿真资源有序进行试验仿真推进，仿真试验执行过程中通过态势显示工具对试验态势进行同步展示，通过数据采集功能采集所需要的试验数据，存入仿真数据库中。

(4)仿真试验分析评估

仿真试验分析评估阶段主要是使用效能评估工具对装备体系作战试验进行分析评估，对作战试验效果、系统效能进行统计分析，达到优化装备体系结构和战术战法、提升作战效能的目标。

6 结论(Conclusion)

本文介绍了面向装备体系作战试验的分布式仿真系统，给出了系统的总体结构设计，针对仿真模型集成和仿真引擎

关键技术进行了重点研究,最后对系统的应用模式进行了阐释。本系统为我军武器装备进行试验和训练提供了一种新的手段,有效地降低了武器装备模型的集成难度,能够提高武器系统作战效能,降低作战试验的成本,促进新型武器装备作战试验的发展。

参考文献(References)

- [1] Raymond R. Hill, Andreas Tolk, Douglas D. Hodson, et al. Open challenges in building combat simulation systems to support test, analysis and training[C]. 2018 Winter Simulation Conference (WSC). IEEE, 2018: 3730-3741.
- [2] Raymond R. Hill, J. O. Miller. A history of United States military simulation[C]. 2017 Winter Simulation Conference (WSC). IEEE, 2017: 346-364.
- [3] Li Yu, Sun Kang, Li Xin. General Architecture Design of Flight Simulator based on HLA[C]. 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). IEEE, 2019: 2002-2006.
- [4] Edward T. Powell, J. Russell Noseworthy. The Test and Training Enabling Architecture(TENA)[C]. Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation.John Wiley and Sons, 2012: 449-477.
- [5] 张灏龙,谢平,赵院,等.体系对抗仿真面临的挑战与关键技术研究[J].计算机仿真,2019(5):1-5.
- [6] 魏继才,张静,杨峰,等.基于仿真的武器装备体系作战能力评估研究[J].系统仿真学报,2007(21):5093-5097.
- [7] 华超,吴健,李成宇,等.可视化TENA对象建模工具设计与实现[J].计算机测量与控制,2014(02):453-454.
- [8] 崔智社,黄树采,李为民.对象建模技术在分布交互仿真系统中的应用研究[J].系统仿真学报,2000(01):9-13.
- [9] 李泽民,王小振.基于实体模型的通用作战仿真引擎设计[J].电脑知识与技术,2010(03):677-670.
- [10] 杨雪生,关永,张听,等.联合作战仿真引擎分析与设计初探[J].军事运筹与系统工程,2008(03):8-11.
- (上接第59页)
- citation function[C].proceedings of the annual meeting of the special interest group on discourse and dialogue, F, 2009.
- [8] Small H.Co-citation context analysis and the structure of paradigms[J]. Journal of Documentation, 1980, 36(3): 183-196.
- [9] Brooks T A. Private Acts and Public Objects: An Investigation of Citer Motivations[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology, 1985, 36(4): 223-229.
- [10] Wang W, Villavicencio P, Watanabe T. Analysis of reference relationships among research papers, based on citation context[J]. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 2012, 21(02): 1240004.
- [11] 祝清松,冷伏海.引文类型识别研究进展[J].图书情报知识,2013(06):70-76.
- [12] 蒋鸿标.引文数据质量控制研究[J].图书馆建设,2014(09):81-86;91.
- [13] 廖君华,刘自强,白如江,等.基于引文内容分析的引用情感识别研究[J].图书情报工作,2018,62(15):112-121.
- [14] 黄春梅,王松磊.基于词袋模型和TF-IDF的短文本分类研究[J].软件工程,2020,23(03):1-3.
- [15] 张小川,余林峰,桑瑞婷,等.融合CNN和LDA的短文本分类研究[J].软件工程,2018,21(06):17-21.
- [16] 陆伟,孟睿,刘兴帮.面向引用关系的引文内容标注框架研究[J].中国图书馆学报,2014,40(06):93-104.
- [17] 章成志,丁睿祎,王玉琢.基于学术论文全文内容的算法使用行为及其影响力研究[J].情报学报,2018,37(12):1175-1187.
- [18] 徐庶睿,章成志,卢超.利用引文内容进行主题级学科交叉类型分析[J].图书情报工作,2017,61(23):15-24.
- [19] 章成志,李卓,赵梦圆,等.基于引文内容的中文图书被引行为研究[J].中国图书馆学报,2019,45(03):96-109.
- [20] 李卓,赵梦圆,柳嘉昊,等.基于引文内容的图书被引动机研究[J].图书与情报,2019,(03):96-104.
- [21] 张梦莹,卢超,郑茹佳,等.用于引文内容分析的标准化数据集构建[J].图书馆论坛,2016,36(08):48-53.

作者简介:

张少鹏(1983-),男,本科,工程师.研究领域:建模仿真,软件开发.

刘明哲(1987-),男,硕士,工程师.研究领域:试验训练,软件开发.

秦伟军(1982-),男,本科,工程师.研究领域:试验验证,软件开发.

作者简介:

孙亦昕(1997-),女,本科生.研究领域:物联网工程.

许露(1996-),女,硕士生.研究领域:物联网工程.

郑翼斐(1998-),女,本科生.研究领域:物联网工程.

朱妍(1999-),女,本科生.研究领域:物联网工程.

唐媛(2000-),女,本科生.研究领域:物联网工程.

董猛(1999-),男,本科生.研究领域:物联网工程.

刘宇(1998-),男,本科生.研究领域:物联网工程.

胡凯(1989-),男,博士,讲师.研究领域:图书情报知识图谱,引文分析.