

# 面向服务的网络化仿真及运行支撑平台研究

孙黎阳<sup>1,2</sup> 毛少杰<sup>2</sup> 林剑柠<sup>2</sup>

(南京理工大学电子与光技术学院 南京 210094)<sup>1</sup>

(中国电子科技集团 28 所信息系统工程重点实验室 南京 210007)<sup>2</sup>

**摘要** 针对分布式仿真技术的发展,结合军事领域内仿真系统构建和运行的军事需求,以面向服务技术为基础,提出了面向服务的网络化仿真构建和运行模式,以满足未来军事系统中仿真的新需求。介绍了网络化仿真的概念及特征,详细分析了网络化仿真运行支撑平台以及相关核心服务,重点研究了运行支撑平台体系结构以及网络化仿真应用服务的构建与运行。最后给出了案例分析,进一步对运行支撑平台进行了说明。

**关键词** 面向服务,网络化仿真,运行支撑平台,仿真应用服务

**中图分类号** TP391.9 **文献标识码** A

## Research on Service-oriented Network Simulation and Runtime Support Platform

SUN Li-yang<sup>1,2</sup> MAO Shao-jie<sup>2</sup> LIN Jian-ning<sup>2</sup>

(School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>1</sup>

(Science and Technology on Information System Engineering Laboratory CETC 28th, Nanjing 210007, China)<sup>2</sup>

**Abstract** With the development of distributed simulation technology, combined with the demands of the simulation system construction and operation within the military field, based on the service-oriented technology, we presented a service-oriented network simulation construction and operation models to meet the future military system simulation new demands. First the concepts of network simulation machine features were introduced. Secondly, we particularly presented relevant research on the network simulation supporting platform and interrelated core services, focusing on operation support platform architecture and construction and operation of the simulation application services under the architecture. End of the paper gave the system analysis for future explanation of the operation support platform.

**Keywords** Service-oriented, Network simulation, Runtime support platform, Simulation application services

## 1 引言

随着计算机仿真技术的广泛应用,特别是现代军事需求的推动,分布式仿真技术不断朝着高度分布性、良好的互操作性和可扩展性方向发展。随着分布式仿真技术在应用中不断深入,尤其是面向服务技术的发展和运用,出现了两类新的分布式仿真需求:1)被仿真系统的规模、结构日益扩大和复杂,迫切需要具有分布、异构、协同、互操作、重用等性能的新型分布建模仿真系统;2)人们希望能够通过网络随时随地无障碍地获取所需的建模仿真服务。但是,目前广泛采用的 HLA<sup>[1]</sup>在广域网范围内互操作、仿真资源动态共享机制、仿真服务开发和执行的安全性、仿真系统容错性方面还存在许多尚未解决的问题。因此,如何与面向服务技术相结合,解决上述问题,成为分布式仿真的发展趋势。

近年来,美国国防部建模仿真办公室(DMSO)提出了可扩展性建模与仿真框架(eXtended Modeling & Simulation Framework, XMSF)<sup>[2,3]</sup>。该框架针对 HLA 中的不足,建立了一系列立足于高度分布性、互操作性、可重用性的分布式仿

真应用技术规范,从而支持 Web Services<sup>[4]</sup>和 HLA 相结合的新一代分布式仿真技术。我国北京航空航天大学彭晓源等设计了基于网格环境的 RTI 资源管理系统<sup>[5]</sup>,通过构建工具简化建模与仿真(Modeling & Simulation, M&S)过程,支持网格化 HLA 分布式仿真环境。新加坡 Xie Y. 等提出了一个在网格环境下使用 HLA 的分布式仿真运行框架<sup>[6]</sup>,该框架改进原有 HLA 结构以增强互操作性。波兰 K. Zajac 等面向联邦成员迁移提出了一个在网格环境下基于 HLA 的仿真系统,其思路在于增加辅助系统,使 HLA 更适用于 WAN<sup>[7]</sup>。K. Zajac 等也进一步说明了面向 HLA 仿真应用建立网格服务的三层方法<sup>[8]</sup>。鉴于分布式仿真发展,需要一种新的仿真方法来满足分布式仿真的新需求,以现代网络技术为支撑的“网络化仿真”应运而生。中国工程院院士李伯虎在网格仿真<sup>[9]</sup>研究成果之上,进一步提出了一种基于云计算<sup>[10]</sup>理念的网络化仿真平台——“云仿真平台”。该平台能够进一步改善对多用户在多粒度资源按需共享、协同、容错迁移等方面的能力<sup>[11]</sup>。从应用角度看,“网络化仿真系统”要具有如下能力:(1)细粒度资源(包括 CPU 核、存储器、软件等子资源)的共享

到稿日期:2010-04-07 返修日期:2010-08-02 本文受国家重点实验室基金项目(9140C8301011001),中电集团基金项目(JJ0909)资助。

孙黎阳(1985-),男,博士生,主要研究方向为系统仿真, E-mail: coffee1219@hotmail.com;毛少杰(1963-),男,研究员,主要研究方向为系统仿真与评估;林剑柠(1978-),男,博士,工程师,主要研究方向为网格计算。

能力;(2)高效的协同能力;(3)容错能力;(4)有效的安全机制;特别是(5)支持多用户通过网络随时随地按需构建各类仿真服务的能力。随着信息技术的发展,军事仿真应用从工业时代平台化向信息时代网络化进行转变,该转变所形成的新环境对 C<sup>4</sup>ISR 系统结构、使用方式、需求、构建模式都将产生影响。未来军事领域愈加依赖建模与仿真能力,通过网络将其延伸到作战前沿。因此,如何将网络化仿真与军事需求发展相结合,是军事背景下系统仿真重要问题。

本文结合面向服务<sup>[12]</sup>技术,以军事仿真应用需求为背景,重点研究如何将网络化仿真技术应用于军事领域,以解决新军事环境下 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真的相关问题。首先提出网络化仿真的定义,并分析其特征和内涵;然后提出了一种支撑网络化仿真系统运行的分布式仿真运行支撑平台体系结构,并对未来仿真系统的构建和运行流程进行了详细说明;最后给出一个具体的应用案例并进行了分析。

## 2 面向服务的网络化仿真概念及特征

网络化仿真可定义为:以面向服务思想为指导,采用统一的仿真资源描述、接入和共享标准,依托仿真基础服务层,建立仿真资源共享环境。利用广域网上散步的异构仿真资源,以动态方式按需创建和运行各种仿真应用服务。网络化仿真是一种新的仿真应用构建和运行方法,而不是对网络化环境的仿真,也不解决仿真应用中实体模型问题。

面向服务的网络化仿真具有如下特征:

(1)网络化仿真是一种面向服务的仿真方法

服务的本质是指一种可发布和访问的功能或资源。网络化仿真是在仿真系统设计、开发和集成中运用面向服务的思想,采用统一的描述、集成和共享规范,将仿真中的算法模型和运行支撑功能进行服务化设计、开发和发布(遗留的仿真系统/组件可进行适当的封装改造),形成在网络上松耦合、可共享的仿真资源,以服务方式调用这些仿真资源,完成仿真应用服务的集成和运行。

(2)网络化仿真环境具有信息栅格<sup>[13]</sup>技术特征

网络化仿真环境具有分布性、异构性、动态性和自治性的特征:1)仿真资源种类繁多、功能各异,分布在网络上不同的地理位置,访问接口也不尽相同;2)仿真资源可以根据自身的运行状态随时加入或者退出网络化环境,这决定了网络化环境具有很高的可扩展性;3)仿真资源隶属于某一个管理组织或者个人,资源的拥有者具有最高级别的管理权限和自主的管理能力,其决定是否共享该资源;该资源被共享时,不仅被拥有者自主管理,也必须接收共享环境的统一管理和调度,实现共享和互操作。

(3)支持面向任务的仿真应用动态构建和运行

网络化仿真与传统的仿真方法相比,其主要特点是支持面向任务的仿真应用动态构建和运行,实现网络上的仿真资源动态集成和运行。根据仿真应用任务,可从网络上检索、查询和定位所需的仿真实体模型、模拟器及相关仿真资源,利用仿真资源配置工具组织网络上这些满足需求的仿真资源,形成仿真应用服务。对应用服务成员进行配置,并在仿真运行支撑软件、仿真应用共性支撑软件、仿真管理设施等资源支持下运行,以完成所需的仿真功能。仿真应用构建过程是对网络上的仿真资源进行动态组织和配置的过程。

## 3 面向服务的仿真运行支撑平台

### 3.1 运行支撑平台组成及体系结构

为了满足网络化仿真各种能力要求,实现随时随地按需建立各类仿真服务,我们构建了相应的支撑环境,提出了一种网络化仿真运行支撑平台体系结构。此体系结构是一种面向服务的层次化体系结构,具备为按需动态构建仿真应用服务提供支撑的能力。下面将对该体系结构进行逐层描述,并介绍各层之间的相互支撑关系。面向服务的分布式仿真运行支撑平台体系结构如图 1 所示。

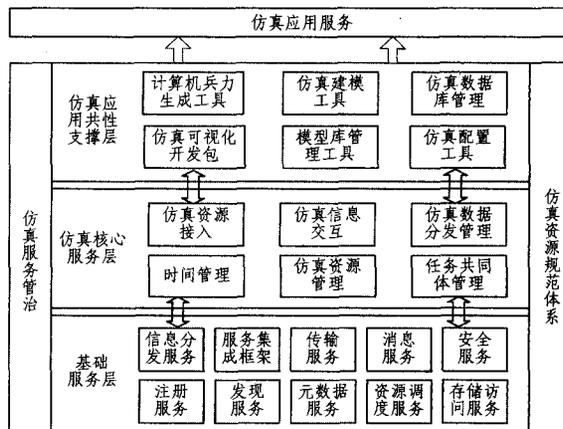


图 1 面向服务仿真运行支撑平台体系结构

**仿真共性支撑层:**仿真共性支撑层提供了仿真领域的共性服务,包括各类配置管理工具和开发包,为实现仿真应用提供共性支撑。开发人员可以通过共性支撑层创建新的仿真应用资源,并配置仿真任务模型。该层包括计算机兵力生成工具、仿真建模工具、仿真数据库管理、仿真可视化开发包、模型库管理工具、仿真配置工具等。

**仿真核心服务层:**仿真核心服务层与仿真应用需求无关,为按需构建仿真应用服务提供必需的核心支撑服务。它是面向服务仿真运行支撑平台体系结构重要组成,也是满足网络化仿真要求的前提和基础。该层包括仿真资源接入和管理、仿真交互、时间管理、仿真数据分发管理、仿真应用服务等。核心服务层可以为网络化仿真运行提供高效的协同能力,并为按需构建仿真应用服务提供支持。

**基础服务层:**基础服务层介于底层资源与核心服务层之间,是网络化仿真基础服务提供层。根据上层对仿真资源的需求,实现资源的部署/注册、发现、调度、安全和目录服务等管理功能,为上层核心服务层提供资源访问。即该层不仅有助于异构网络环境下资源的整合和运作,还支撑核心服务层的运作。运用基础服务层,可以满足网络化仿真对于细粒度资源共享能力的要求,并能够对网络化仿真运行的安全机制提供保障。

**仿真服务管治:**面向服务分布式仿真运行支撑平台有一套完整的管理机制,仿真服务管治涵盖了基于服务集成的仿真体系结构下仿真服务运行监控管理的一切活动,包括服务管理、系统管理、配置管理、监控统计、策略定义、安全审计、服务更新、故障处理等。仿真服务管治可用于服务评估和优化,还可用于评估各种服务的性能与效能,为各类服务的设计提供辅助分析工具和元数据结构,帮助捕获、分析、优化和重构各类服务。当服务被部署到运行环境之中后,仿真服务管治

可提供用于监控服务流、底层系统运行状态、资源利用率、中断和瓶颈识别、服务目标实现程度、管理策略的执行以及错误恢复等的一套工具。

仿真运行支撑平台各层服务均不是孤立存在的,各层之间存在一定的支撑关系。基础服务层不仅仅整合网络中异构资源,同时为仿真核心服务层的运行提供支撑;仿真核心服务层为实际仿真应用顺利构建运行提供必需的服务,而其每项服务又需要基础服务层的相关服务相互配合。两层服务协同运作,才能完整实现仿真运行支撑平台功能。例如当仿真资源注册之后,需要通过仿真资源接入服务,获取服务资源接口后接入资源;同时要通过仿真资源管理服务来对其进行管理;在确定仿真需求时,通过调用仿真资源,按照一定规则动态创建仿真应用服务,并对仿真应用服务进行动态管理,这需要调用仿真应用管理服务来对其全过程进行管理;对于不同平台开发的仿真资源,为了确保仿真应用的正常交互,我们还需要仿真交互服务来转换或统一其接口格式;同时,仿真过程中,各数据信息之间传输由仿真数据分发管理来负责完成;最后,仿真的顺利推进需要一套完整的时间管理体系,这些服务共同作用,协同工作,才能保证仿真顺利进行。最后,整个仿真运行支撑平台均在仿真服务管治监控管理下正常运作。仿真服务管治负责对网络化仿真应用中使用的各类仿真资源进行监控和管理,维护动态构建的仿真服务正常运作,即对仿真运行提供容错机制以及负载均衡能力。

### 3.2 基于平台的仿真系统构建和运行方法

#### 3.2.1 仿真应用服务的构建

网络化仿真方法支持一种新的仿真应用构建模式,即通过面向服务的仿真运行支撑平台按需组织网络上分布的各种仿真资源,动态构建仿真应用服务,为用户提供动态构建和运行各种仿真应用的能力。仿真应用服务是面向任务动态构建的,其成员是广泛分散在网络上的各类资源以及实装系统。仿真应用服务的构建流程图如图2所示。

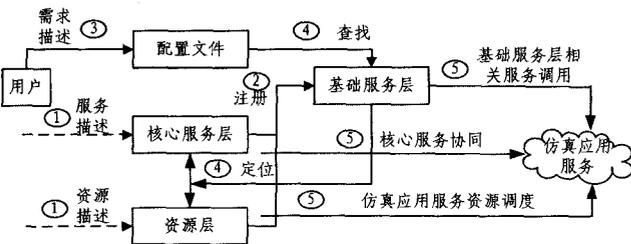


图2 仿真应用服务应用构建流程图

- Step1 在仿真应用服务构建之前对仿真资源进行描述;
- Step2 仿真应用服务构建前在基础服务层发布仿真资源及核心服务,建立发布目录;
- Step3 描述仿真需求,生成配置文件,确定仿真所需仿真资源、核心服务;
- Step4 通过仿真管理中心统一配置仿真应用成员之间的信息订购关系及内容,对描述的仿真需求配置文件进行资源动态查找、定位,确定仿真应用服务与模型间映射关系;
- Step5 根据仿真试验的要求,配置仿真运行与控制参数(仿真时钟推进机制、步长、控制方式等参数),建立仿真应用服务的运行和控制模式。同时调用仿真资源、基础服务层、仿真核心服务层的相关服务,按需构建仿真应用服务。

用户在配置仿真资源时并不需要知道仿真资源的具体位

置,仿真服务是通过运行支撑平台中的仿真核心服务动态查找并定位仿真资源,动态组合形成新的面向任务的仿真服务,这符合网络化仿真对多用户通过网络随时随地按需获得仿真服务能力的要求。

#### 3.2.2 仿真应用服务的运行

动态构建仿真应用服务后,将通过网络化仿真环境运行该应用服务。一般可以通过仿真应用管理服务发出仿真开始命令,通过仿真数据分发服务将其发送给仿真应用服务内所有的成员。所有成员收到仿真开始命令后,开始执行仿真任务。仿真任务完成后,仿真应用管理服务向所有成员发出仿真结束命令,仿真应用服务停止运行。整个仿真应用服务在运行过程中,都受到仿真应用管理服务以及仿真资源管理服务的支撑。在仿真应用服务运行过程中,网络化仿真环境中的其它成员可以向仿真管理申请随时加入仿真应用服务,仿真应用服务内的成员可以申请随时退出。网络化仿真环境上可以同时运行任意多个仿真应用服务,不同的仿真应用服务可以使用不同的仿真时钟管理策略、仿真步长等。此时需要时间管理、仿真交互等服务支撑。

## 4 原型系统开发案例分析

我们基于网络化仿真的思想设计了一个应用系统,目的是在广域网上利用分布的仿真资源按需构建仿真训练应用服务,如图3所示。

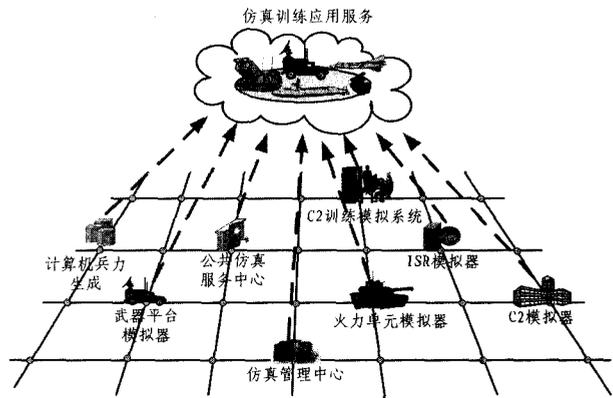


图3 仿真应用服务资源部署架构图

(1) 仿真训练应用服务由C2模型、C4I模型、ISR模型、计算机兵力生成模型、武器平台模拟器、火力单元模拟器等构成。这些均是完全散布在广域网上的异构资源。仿真应用服务是一个松散的联邦,其成员可以“随时加入和退出”,即只要仿真任务需要,满足条件的仿真节点都可以随时加入仿真应用服务,也可以随时退出;多个仿真应用服务可以同时运行在网络化仿真环境上,其成员可以横跨多个应用服务。

(2) 公共仿真服务中心提供基础服务层的相关服务,为正常构建仿真训练应用服务提供底层支撑。

(3) 仿真核心服务层作为一种资源发布在网络中,用户可以通过调用相关服务来与其他仿真资源共同组成类似虚拟联邦的训练应用服务。

仿真资源提供者首先向仿真公共服务中心注册仿真训练所需的C2模型、C4I模型、ISR模型、计算机兵力生成模型、武器平台模拟器、火力单元模拟器等各类资源;如图4所示,仿真应用客户端描述仿真需求配置文件后发送给仿真公共服

(下转第178页)

[C] // Proc. of the Spring 2004 Simulation Interoperability Workshop. 2004;04S-SIW-043

- [6] Hembree L A, Kunitani C. Master Environmental Library and Secure[C] // Proc. of the Spring 2004 Simulation Interoperability Workshop. 2004;04S-SIW-123
- [7] Boyd J D. Contemporary Metadata Standards for Environmental Information and Implementation by the Master Environmental Library Project[C] // Proc. of the Spring 1998 Simulation Interoperability Workshop. 1998;98S-SIW-074
- [8] Donaldson B J. Stanards and the Master Environmental Library [C] // Proc. of the Spring 1999 Simulation Interoperability

Workshop. 1999;99S-SIW-024

- [9] Atkinson C, Kühne H. The Essence of Multilevel Metamodeling [C] // Lecture Notes in Computer Science, Volume 2185. New York: Springer, 2001; 19-33
- [10] Atkinson C. Model-modeling for Distributed Object Environments[J]. IEEE Computer Society, 1997; 90-101
- [11] Gitzel A R. The Role of Metamodeling in Model-driven Development[C] // Proc. of the 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI2004). Orlando, USA, International Institute of Informatics and Systemics (IIS), July, 2004; 19-21

(上接第 161 页)

务中心,通过仿真资源管理服务中的发现功能,查找、定位仿真训练所需资源并将接口地址返回给客户端;在获取满足需求的服务资源接口之后,调用仿真资源接入服务,它提供了资源接入的端口,以接入散布在广域网上的所需资源;同时通过仿真资源调度服务以及仿真交互服务的配合,对服务接口进行统一格式转换、资源调度,最终按需组成仿真训练应用服务。

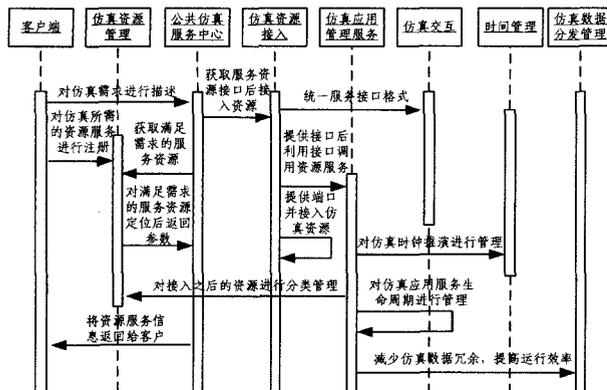


图 4 仿真训练应用服务运行模式

在构建仿真训练应用服务之后,体系结构中相关核心服务将会对仿真应用服务的运作提供保证。首先仿真服务管治将监控仿真应用服务。该功能提供系统资源负载信息,将过载节点上的资源迁移到其他合适的节点上运行,确保了系统具备负载平衡能力。其次,仿真应用服务管理将对仿真训练应用服务的创建、动态控制、修改和删除等生命周期过程进行管理。除此之外,仿真训练应用服务调用时间管理服务对其仿真推演进行管理,调用仿真数据分发管理减少仿真中数据冗余,提高仿真运行效率。

**结束语** 分布式仿真技术正在向新的方向发展,本文结合面向服务技术,提出了网络化仿真概念及特征,并对网络化仿真运行支撑平台进行了相关研究,提出了运行支撑平台的体系结构并进行了研究。仿真了应用服务的构建与运行机制。文末给出了设计的原型系统开发案例。采用面向服务的网络化仿真运行支撑平台,可以逐步克服当前仿真局限问题。解决网络化环境下分布式仿真的发展问题,网络化仿真还需大量深入研究,下一步将对文中提出的体系结构及相关技术进行深一步研究,使面向服务分布式仿真更加完善、成熟。

## 参考文献

- [1] The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard 1516 for Modeling and Simulation(M&S) High Level Architecture(HLA) —Framework and Rules[EB/OL]. <http://www.ieee.org>, 2000
- [2] Brutzman D, Morse Z M. Extensible Modeling and Simulation Framework(XMSF) Challenges for Web-Based Modeling and Simulation[R]. Technical Challenges Workshop, Strategic Opportunities Symposium. Monterey, CA; Findings and Recommendations Report. 2002
- [3] Brutzman D, Tolck A. JSB Composability and Web Services Interoperability via Extensible Modeling & Simulation Framework(XMSF) Model Driven Architecture(MDA), Component Repositories, and Web-based Visualization [EB/OL]. <http://www.movesinstitute.org/xmsf/xmsf.html>, 2003-09
- [4] 徐丽娟,彭晓源.基于网络的 RTI 资源管理系统[J].系统仿真学报,2005,8(17):2012-2014
- [5] Web Servicece. <http://www.w3.org/2002/Ws/>
- [6] Xie Y, Teo Y M, Cai W T. A Distributed Simulation Backbone for Executing HLA-based Simulation over the Internet [EB/OL]
- [7] Zajac K, Bubak M, Malawski M, et al. Towards a grid management system for HLA-based interactive simulations [A] // Proceedings of Seventh IEEE International Symposiums on Distributed Simulation and Real-Time Applications[C]. Oct 2003; 23-25
- [8] Zajac K, Tirado R A, Zhao Z, et al. Grid Services for HLA-based Distributed Simulation Frameworks [A] // Proceedings of 1st European AcrossGrids Conference[C]. Spain, Feb. 2003
- [9] 李伯虎,等.一种新型的分布协同仿真系统——“仿真网格”[J].系统仿真学报,2008,20(20):5423-5430
- [10] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing[DB/OL]. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechPrts/2009/EECS-2009-28.pdf>
- [11] Krafzig D, Banke K, Slama D. Enterprise SOA Service—Oriented Architecture Best Practices[M]. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR
- [12] 李伯虎,等.一种基于云计算理念的网络化建模与仿真平台——“云仿真平台”[J].系统仿真学报,2009,21(17):5292-5299
- [13] Kesselman F C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid; Enabling Scalable Virtual Organizations [J]. International Journal of Supercomputer Application, 2001, 15(3): 200-222