

文章编号: 1001- 2486(2008) 05- 0120- 05

# 基于 HLA 分布式仿真的 Web 服务化<sup>\*</sup>

张 卫 张 童, 查亚兵

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**HLA 虽然能够简化各类仿真系统的互操作和重用, 但是接口规范与编程语言的绑定、缺乏与商业技术的融合等阻碍了它在商业领域的广泛应用, Web 服务具有平台和厂商独立等良好特性, 实现基于 HLA 分布式仿真的 Web 服务化能够将 Web 服务的优势附加给 HLA。该文在分析了 HLA 不足和 Web 服务优势的基础上, 提出了 HLA Web 服务化, 对比了互操作在两个上下文中的差异, 分析了实现 HLA Web 服务化的三个层次; 之后, 概述了相关研究, 重点讨论了实现 Web 使能 RTI 的关键技术问题及其解决方案; 最后, 设计了原型系统, 测试结果显示原型系统能够初步实现 RTI 的 Web 服务化。

**关键词:**High Level Architecture(HLA); Runtime Infrastructure(RTI); Web 服务; Web 使能的 RTI

**中图分类号:**TN391.9      **文献标识码:**A

## Web Service Enabling of HLA-based Distributed Simulation

ZHANG Wei, ZHANG Tong, ZHA Ya-bing

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** HLA can facilitate the interoperability and reuse of all types of simulation systems; however, several drawbacks have affected its wide application in commercial communities, such as binding of interface specification to programming languages, and insufficient integration with commercial technologies. Web service has some attractive features on platform/vendor independence, and hence Web service enabling of HLA-based distributed simulation is promising for adding value to HLA. Based on the analysis of HLA's drawbacks and Web service's advantages, Web service enabling of HLA is introduced, interoperability on those two contexts is compared, and three levels of realizing Web service enabling of HLA are analyzed. Then, related research is surveyed, and key issues and their solutions to realizing a Web enabled RTI are discussed; Finally a prototype is designed, and experiments show that it can primarily implement Web service enabling of RTI.

**Key words:** High Level Architecture(HLA); Runtime Infrastructure(RTI); web service; web enabled RTI

为了简化各种仿真组件之间以及仿真组件与指挥控制系统的互操作, 改进仿真组件的可重用性, 美国国防部建模与仿真办公室开发了一个通用的技术框架, 框架的核心就是高层体系结构(High Level Architecture, HLA)。HLA 有效地支撑了仿真组件的互操作性和重用, 在军事领域的人员训练、战法分析和武器装备采办等方面得到了广泛的应用。随着仿真应用需求进一步扩展, HLA 在制造业和游戏业等民用领域也得到了一定程度的应用。

然而, HLA 仍然需要不断改进和完善。例如, 当前大多数 RTI 实现采用静态连接方式, 降低了联邦成员的 RTI 可移植性; RTI 接口与编程语言的绑定等使得联邦成员依赖于特定的平台, 跨平台的联邦成员互操作较难实现; HLA 没有能够很好地和商业技术相融合, 特别是基于 Web 的技术和开放标准, 阻碍了其在商业领域的进一步应用。

### 1 HLA Web 服务化

一方面, HLA 技术需要不断改进和完善, 另一方面, Web 服务凭借它的技术优势已经成为集成网络

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008- 05- 06

基金项目: 国家部委基金资助项目(51404010403KG0155)

作者简介: 张卫(1980-), 男, 博士生。

化商业系统的主流解决方案,实现 HLA Web 服务化能够将 Web 服务的优势附加给 HLA,促进 HLA 在更广泛范围的应用。

### 1.1 HLA

HLA 是军事仿真领域用于实现模型互操作和重用的重要技术。在 HLA 中,将用于达到某一特定目的地的分布式仿真系统称为联邦(federation),它由若干个相互作用的仿真组件构成,这些仿真组件称为联邦成员(federate)。基于 HLA 分布式仿真系统的体系结构如图 1 所示,联邦成员按照 HLA 规则、通过 RTI 提供的各种服务、基于共同的联邦对象模型互联。

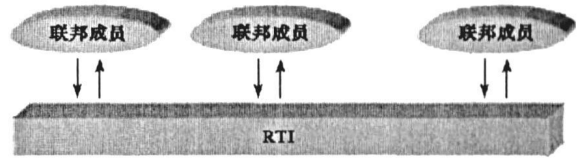


图 1 基于 HLA 的分布式仿真系统  
Fig. 1 HLA based distributed simulation

运行时支撑系统(Runtime Infrastructure, RTI)是 HLA 的核心部件,它为实现仿真组件的互联提供了六大类管理服务,包括联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分发管理等。借助这些服务,RTI 有效地支撑了仿真系统的运行和管理。然而,实践证明 HLA 仍然需要改进和完善。

HLA 的不足主要表现在,联邦成员的 RTI 可移植性、编程互操作能力和与商业技术的融合程度等。由于 RTI 实现通常采用联邦成员与本地 RTI 组件(Local RTI Component, LRC)静态链接的方式,当联邦成员从一个 RTI 实现移植到另外一个 RTI 实现时,就不得不重新链接、编译联邦成员代码,甚至修改联邦成员源代码,这极大地影响了联邦成员的 RTI 可移植性。HLA 定义了 RTI 接口的 Java 语言绑定和 C++ 语言绑定等,使得 RTI 接口不独立于特定的语言,跨编程语言的联邦成员互操作需要处理编程语言的异构性。不仅仅是编程语言异构性,其他各种平台异构性(编译器、操作系统和处理器架构等)对 HLA 的互操作也提出了挑战,HLA 技术需要不断完善发展。HLA 技术没有能够很好地和商业技术相融合,特别是基于 Web 的技术和开放标准<sup>[1]</sup>,跨越高分布网络可伸缩的互操作很难实现,这直接影响了建模与仿真技术在军事和民事日常活动中的应用(教育和训练等)。

### 1.2 Web 服务

面向服务的架构(Service-Oriented Architecture, SOA)是企业构建网络化商业系统的主流解决方案,使用面向服务的架构能够改进跨厂商和平台进行系统集成能力,进而极大提高商业系统随需应变的能力。SOA 本质上是一种软件体系结构风格,它定义了使用服务支撑满足软件用户需求。在 SOA 中,服务是一组良好定义、自包容、不依赖于特定状态或上下文的功能,服务之间通过消息传递或者调用其他服务来协调活动。Web 服务是用于实现 SOA 的最常见技术标准,万维网联盟将 Web 服务定义为“一个用以支持网络上机器到机器可互操作交互的软件系统。它具有用机器可处理格式描述的接口,通常使用 Web 服务描述语言(Web Service Description Language, WSDL)。其他系统使用简单对象访问协议(Simple Object Access Protocol, SOAP)消息按照接口描述指定的方式与这个 Web 服务交互。典型的 SOAP 消息使用 XML 序列化和 HTTP 传输协议,以及其他相关的 Web 标准进行消息传输。”根据万维网联盟的规定,Web 服务协议栈由负责传输消息的传输层、用 XML 表示消息的消息层描述服务的描述层以及负责服务注册发现等的过程层构成。

Web 服务在商业领域取得了巨大成功,这源于技术本身的良好特性、企业的广泛认同和商业组织与开源团体的有效支撑。Web 服务的数据交换基于 HTTP 和 XML 等开放标准,不关联于任何特定的厂商、操作系统和编程语言,这使得 Web 服务具有良好的厂商/平台中立性,粗粒度的业务功能也可以封装为 Web 服务,通过 Web 服务发现潜在的消费者,进而实现业务功能的重用;同时,企业对 Web 服务的广泛认同,Microsoft、IBM 和 Sun 等知名厂商以及 Apache 等开源组织的支持,万维网联盟和开放网络论坛等标准化组织的积极参与,为 Web 服务技术的成熟和普及提供了巨大的组织优势。

### 1.3 HLA Web 服务化

由于 HLA 主要是解决军事仿真领域中的模型互操作和重用等问题,Web 服务主要是解决商业系统的互操作和重用等问题,因此两者虽然都支持互操作和重用,但是互操作性和重用在这两个上下文中的含义和侧重是各不相同的,两者的区别如表 1 所示。在接口描述方面,HLA 定义了 6 大类服务的 C++ 和 Java 等语言的绑定,Web 服务使用中立的 WSDL 对接口进行描述;在数据编码方面,HLA 通常采用字

节流编码/解码要交换的数据, Web 服务通常采用 XML 编码/解码要交换的数据; 在数据交换方面, HLA 通常用于实现联邦成员间多到多的数据交换, 要交换的数据在联邦对象模型中描述, 数据交换通过基于兴趣的订购/发布机制经由 RTI 得以有效实现, 而 Web 服务通常用于实现一到多的数据交换, 要交换的数据在 WSDL 文件中描述, 数据交换通常直接基于请求/响应模式。

表 1 HLA 与 Web 服务  
Tab. 1 HLA vs. Web services

		HLA	Web 服务
接口描述	描述语言	C++、Java、Ada	WSDL
	接口定义	6 大类, 101 个	
数据编码		字节流	XML
数据交换	多重性	多对多	一对多
	数据描述位置	联邦对象模型	WSDL 文件
	交换模式	基于兴趣的订购/发布	请求/响应
	直接/间接	经由 RTI	直接

HLA 虽然能够实现仿真组件的互操作和重用, 但是由于接口规范与编程语言的绑定, 异构性需要编程人员花费额外的精力处理, 降低了 HLA 的易用性, 同时由于缺乏与商业技术的融合, 也阻碍了 HLA 在商业系统中的应用。Web 服务具有平台中立和松散耦合等优势, 整合这两种技术, 实现 HLA 的 Web 服务化将大有裨益。HLA 的 Web 服务化可以在多个层次上实现, 本文将 HLA Web 服务化分为三个层次: 联邦成员层、RTI 层以及联邦成员/RTI 层。

联邦成员层的 Web 服务化有助于在广域网上实现基于 HLA 的分布式仿真同外部系统的互操作, 例如, Google Earth 等的商业系统和 C4ISR 等的作战指挥控制系统。

RTI 层的 Web 服务化就是要实现 RTI 内部各组件的 Web 服务化, 以及 RTI 与外部系统的 Web 服务化。RTI 与外部系统的 Web 服务化主要是将 RTI 的状态监控和管理等通过 Web 服务来实现, 以及在计算资源和存贮资源等不足的情况下使用网格等提供的资源服务。

联邦成员/RTI 层 Web 服务化的实质就是要实现 HLA 接口规范的 Web 服务化, 即构建 Web 使能的 RTI。Web 使能的 RTI 能够实现联邦成员和 RTI 在广域网范围内基于 Web 服务的互操作。由于联邦成员层和 RTI 层的 Web 服务化较易实现, 而联邦成员/RTI 层的 Web 服务化涉及到修改和扩展 HLA 接口规范等问题较为复杂, 因此后续各节将主要关注联邦成员/RTI 层的 Web 服务化。

## 2 相关研究

Morse 等<sup>[2]</sup>使用基于 Web 的通信协议 SOAP 和 BEEP 构建了 Web 使能的 RTI, 在广域网实现了仿真组件和 RTI 的通信。这个体系结构的主要特点是采用 BEEP 协议替代了 HTTP 协议, 有效地解决了 HTTP 协议只允许单向请求发起的问题。Müller 等<sup>[3-5]</sup>介绍了 HLA Evolved 的 Web 服务 API, 探究了用于集成 HLA 和 Web 服务的三种方法: 仅使用 Web 服务、使用 Web 服务桥接 HLA 系统和外部系统, 以及使用 HLA Evolved 的 Web 服务 API。

韩超等<sup>[6]</sup>等分析了利用 Web 服务扩展 HLA 仿真系统的两种方法——联邦成员层扩展和 RTI 层扩展。徐丽娟等<sup>[7]</sup>讨论了仿真服务总线的实现策略, 并通过一个基于广域网的多联邦原型系统的实现, 描述了该体系结构中对于服务技术以及 HLA 的综合应用方式, 验证了该体系结构是现有 HLA/RTI 仿真支撑平台的一种良好的扩展方式。

网格服务是 Web 服务的扩展, HLA 的网格服务化能够实现仿真资源的动态分配和动态状态监控等, 窦志武等<sup>[8]</sup>和 Xie 等<sup>[9]</sup>对 HLA 的网格服务化进行了研究。限于篇幅所限, 对 HLA 的网格服务化不再赘述。

## 3 关键技术问题及解决方案

HLA 源于军事仿真领域, Web 服务源于商业领域, 两种技术在诸多方面存在差异, 要实现 HLA 的 Web 服务化, 需要研究如何扩展、完善甚至修改现有的 HLA 以适应 Web 服务的技术要求, 下面从部署模

式、数据编码、数据交换模式和调用状态维护四个方面进行分析。

在部署模式方面,由于Web 采用的是服务器/客户端解决方案,在实现HLA Web 服务化的时候,就需要考虑如何部署联邦成员/RTI 到服务器/客户端,部署模式有两种:服务器/客户端模式和服务器/服务器模式。在服务器/客户端模式中,RTI 置于服务器之上,联邦成员置于客户端之上,这种模式会限制RTI 向联邦成员进行回调,需要进一步处理。在服务器/服务器部署模式中,联邦成员和RTI 都位于服务器之上,这允许实现联邦成员和RTI 之间调用和回调的双向服务化,RTI 仅需要作较小的修改扩充。为了避免部署模式的混乱,更加符合Web 服务的语义,解决方案是统一使用服务器/客户端部署模式,服务器/客户端存在的固有限制通过更进一步的方案来解决。

在数据编码方面,HLA 通常使用基于二进制的字节流对要交换的数据进行编码/解码,Web 服务使用基于文本的XML 对要交换的数据进行编码/解码,存在数据编码方案不一致问题。解决方式是为联邦成员/RTI 要交换的数据提供XML 格式的编码和解码。特别是在FOM 中描述的数据(对象类名、属性名、交互类名、参数名和对象名等)统一使用名称来引用,而不是句柄,这既能提高RTI 的易用性,也更加符合Web 服务的编码规范。

对于数据交换模式,Web 服务最常见的数据交换模式是请求/响应模式,而在HLA 里,联邦成员之间的数据交换采用基于兴趣的公布/订阅机制,联邦成员/RTI 之间存在调用/回调的双向信息交换,HLA 和Web 服务的数据交换模式存在巨大差异。解决方案是扩展现有RTI 提供必要的服务以允许联邦成员主动获取回调函数列表,由联邦成员自己根据这个回调函数列表按需进行回调处理。与使用BEEP 协议替代HTTP 协议的方案相比,此方案由于不依赖于特定的传输协议,从而也具有较大的优势,HLA Evolved 当前也倾向于使用这种方案。

状态维护对于实现HLA 的Web 服务化也是一个问题。Web 服务本质是无状态的,即Web 服务通常并不维护发生在Web 服务提供程序和Web 服务消费程序之间的调用状态信息,而RTI 调用通常是有状态的,这些状态通过RTIambassador 和RTI 之间的连接得以维护,在Web 服务中通过RTIambassador 维护这样的连接是不现实的,需要处理调用状态维护问题。解决方案是在RTI 服务调用请求中包含会话标识信息,会话标识信息既可以在传输层,例如,使用HTTP 协议的Cookie,也可以在应用层,这通常意味着要为服务方法引入额外的参数。

### 4 Web 使能 RTI 原型

实现Web 使能RTI 就是要将RTI 服务作为Web 服务提交给联邦成员,其核心就是设计RTI Web 服务提供程序。根据第3 节的分析,RTI Web 服务提供程序采用的策略是:部署模式使用服务器/客户端模式,所有数据都采用基于文本的XML 进行编码/解码,数据交换模式采用联邦成员主动向RTI 发送请求获取回调函数列表之后自己完成回调,调用状态维护通过HTTP Cookie 实现。

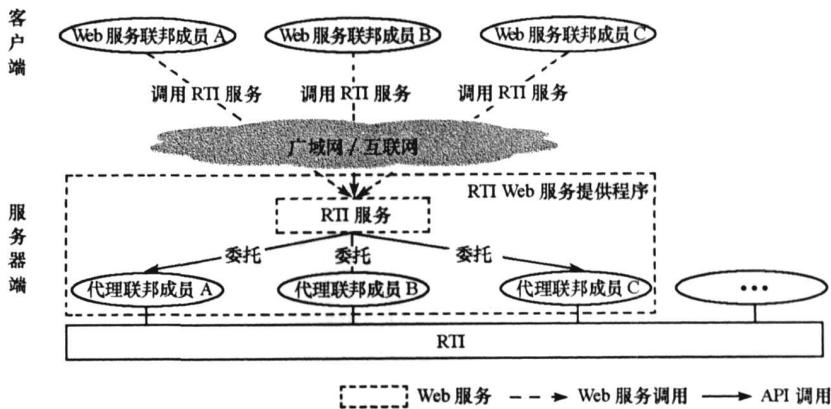


图2 RTI Web 服务提供程序  
Fig. 2 RTI Web services provider

图2 给出了RTI Web 服务提供程序的体系结构,它由一个Web 服务(RTI 服务)和若干个动态创建的代理联邦成员构成。RTI 服务负责处理客户端Web 服务联邦成员的RTI 服务调用,同时负责管理和

维护代理联邦成员, 它的状态信息保存在应用程序域; 对于每个客户端的 Web 服务联邦成员 RTI 服务都会为其在服务器端创建并维护一个代理联邦成员, 客户端 Web 服务联邦成员的 RTI 服务调用都将由 RTI 服务委托给相应的代理联邦成员。具体工作机制是, 每次客户端 Web 服务联邦成员调用服务器端的 RTI 服务时, RTI 服务首先检查当前会话是不是一个新会话, 如果是新会话则为这个会话创建一个新的代理联邦成员, 并将会话标识符到代理联邦成员的映射信息保存起来以备以后检索, 否则如果是一个已有会话, 则直接根据会话标识符获取相关的代理成员对象, 将服务调用委托给这个对象。为了能够处理回调, 代理联邦成员保存了 RTI 的回调信息, 以供关联的客户端 Web 服务联邦成员获取完成回调。为了有效管理服务器端的计算资源, 每个代理联邦成员都有一个超时限制, 如果客户端的联邦成员在指定的预设最大时间段没有访问服务器的 RTI 服务, 则代理联邦成员占用的系统资源会被回收。

RTI 服务的开发实现使用自顶向下的方式, 即先定义 Web 服务接口描述文件, 然后通过 Web 服务存根生成器产生 Web 服务存根程序, 基于 Web 服务存根程序实现具体的业务逻辑。RTI 服务接口描述文件基于现有 HLA 接口规范的 Java 语言绑定进行定义, 编码风格采用“文档文字包装”样式, 具体可参考 Müller 等<sup>[3-5]</sup>给出的定义。服务存根生成器使用开源组织 Apache 提供 Web 服务开发包 Axis, 业务逻辑按照上文描述的方法进行实现。

为了测试系统在广域网环境的互操作能力, 将构建系统部署于互联网上某台地址公开的服务器上, 将构建的测试用例 HelloWorld 联邦成员的三个实例分别部署在与互联网相连接的内网的若干台机器上, 内网的防火墙不做额外的配置。测试结果显示, 三个联邦成员的国家人口数据都能够正确地更新和接收, 国家之间的问候交互也正确地被发送和接受, 联邦推进正常, 联邦成员的运行结果与基于传统 RTI 在局域网环境下的运行结果完全相同。可以看出, 这个方法在不对防火强进行额外配置的条件下, 能够顺利地实现联邦成员和 RTI 在广域网范围穿越防火强的通信, 实现联邦成员在广域网范围的互操作。

## 5 结论

HLA 虽然能够简化各种类型仿真系统之间的互操作和重用, 但是由于接口规范与编程语言的绑定、以及与商业技术缺乏必要的融合, 阻碍了它在商业领域的广泛应用。Web 服务良好的平台和厂商独立性, 使得 Web 服务成为集成商业系统的主流技术方案。结合 HLA 和 Web 服务这两种技术, 实现基于 HLA 仿真系统的 Web 服务化能够将 Web 服务的优势附加给 HLA。

本文在分析了 HLA 不足和 Web 服务优势的基础上, 提出了 HLA Web 服务化, 对比了互操作在两个上下文中的差异, 分析了实现 HLA Web 服务化的三个层次; 之后, 概述了相关研究, 重点讨论了实现 Web 使能 RTI 的关键技术问题及其解决方案; 最后, 设计了原型系统, 测试结果显示原型系统能够初步实现 RTI 的 Web 服务化, 实现联邦成员在广域网范围的互操作, 下一步的工作就是继续完成 HLA 接口规范其他函数的 Web 服务化, 改进完善原型系统。

## 参考文献:

- [1] Brutzman D, Zyda M, Pullen J M, et al. Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF): Challenges for Web-based Modeling and Simulation [R]. XMSF Workshop & Symposium Report, October 2002.
- [2] Moose K L, Drake D L, Brunton R P. Web Enabling an RTI-an XMSF Profile [C]//Proc. of the 2003 European Simulation Interoperability Workshop, June 2003.
- [3] Müller B, L-f S. A Management Overview of the HLA Evolved Web Service API [C]//Proc. of the 2006 Fall Simulation Interoperability Workshop, 2006.
- [4] Müller B, L-f S. Mixing Service Oriented and High Level Architectures in Support of the GIG [C]//Proc. of the 2005 Spring Simulation Interoperability Workshop, 2005.
- [5] Müller B, Dahlin C. A First Look at the HLA Evolved Web Service API [C]//Proc. of the 2006 European Simulation Interoperability Workshop, 2006.
- [6] 韩超, 鞠儒生, 黄柯棣. 基于 Web 服务的 HLA 仿真系统扩展[J]. 计算机工程, 2006, 32(24): 20-22.
- [7] 徐丽娟, 彭晓源. 基于 HLA 的仿真服务总线研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(S2): 347-349+353.
- [8] 龚志武, 邓贵仕. 网络环境下基于 HLA 的分布交互仿真动态交互研究[J]. 计算机科学, 2006, 33(7): 271-275.
- [9] Xie Y, Teo Y M, Cai W, et al. Service Provisioning for HLA-based Distributed Simulation on the Grid [C]//the Nineteenth ACM/IEEE/SCS Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, Monterey CA, 2005.