

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.08.013

## 面向广域网的高层体系结构设计

范希辉, 刘萍, 杨艾军, 黎明曦  
(陆军军官学院二系, 合肥 230031)

**摘要:** 针对传统高层体系结构 (high level architecture, HLA) 在解决大规模仿真问题时存在的不足, 为实现 HLA 向广域网的扩展, 提出了面向服务的运行支撑环境 (run-time infrastructure, RTI) 分层体系结构。将面向服务的体系结构 (service oriented architecture, SOA) 与 HLA 相结合, 将 Web 服务技术应用于 RTI, 对涉及的 Web 服务提供组件、联邦成员设计等关键问题给出了设计方案, 并通过实例在实验室环境下进行了仿真测试。测试结果表明, 该设计能有效支撑广域网环境的分布式仿真应用。

**关键词:** 高层体系结构; 面向服务架构; 运行支撑框架; 广域网

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Design on WAN-Oriented High Level Architecture

Fan Xihui, Liu Ping, Yang Aijun, Li Mingxi  
(No. 2 Department, Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

**Abstract:** To solve the deficiency of traditional high level architecture in solving large scale simulation, and achieve the expansion of the HLA to wide area network (WAN), put forward a new method of Run-Time Infrastructure (RTI) layered framework. Combine service oriented architecture (SOA) with HLA, the Web services provider RTI component and federate was designed. An instance was tested in lab environment, results show that the method can effectively support distributed simulation applications in WAN.

**Key words:** HLA; SOA; RTI; WAN

### 0 引言

将面向服务的体系结构 (service oriented architecture, SOA) 思想引入建模仿真 (modeling and simulation, M&S) 领域, 与高层体系结构 (high level architecture, HLA) 相结合, 以扩展 M&S 框架的能力, 是当前建模仿真界新的研究热点之一<sup>[1]</sup>。过去常用的 Web 化 HLA 的方法有网桥和 Web 封装, 它们都属于形式或功能上的 Web 化, 没有很好地结合利用 HLA 和 Web Services 各自的优点<sup>[2]</sup>。按照对 HLA 进行 Web 使能的层次, 自底向上可以分为通信层、接口规范层、成员接口层和应用层 Web 使能<sup>[3]</sup>。Björn Möller 在下一代的 HLA Evolved 标准中结合了 Web Service 的优点<sup>[4]</sup>; Ke Pan 等开展了面向服务的高层体系结构/运行支撑框架 (service oriented HLA RTI, SOHR) 研究<sup>[5]</sup>; Michael Egnor 等在下一代建模与仿真框架中提出了将云计算、SOA、智能体、可组合服务等应用于一体化真实、虚拟、构造仿真 (joint live virtual constructive, JLVC)<sup>[6]</sup>中; 吴泽彬等对 Web 服务化的分布运行支撑环境进行了研究<sup>[7]</sup>; 张卫等提出了一种基于

Globus 工具箱的 HLA RTI Web 服务化方法<sup>[8]</sup>。笔者在对以上研究进行总结分析的基础上, 结合 SOA 思想, 采用 Web Services 规范, 主要从接口规范层对 HLA Web 化进行研究, 为实现跨广域网的 HLA 仿真系统打下基础, 满足大规模军事仿真的需要。

### 1 HLA 与 SOA 的比较分析

HLA 的基本思想是采用面向对象的方法来设计、开发和实现仿真系统的对象模型, 以获得仿真联邦的高层次的互操作和重用。HLA 强调互操作性, 关注组分之间的交互, 但存在仿真模型重用性差、仿真系统开发和管理复杂、无法有效进行远程网络交互等不足。SOA 是一个组件模型, 它将应用程序的不同功能单元 (称为服务) 通过这些服务之间定义良好的接口和契约联系起来, 具有平台无关性、开放标准、易重用、松耦合等优点, 但在时间管理、同步、状态共享和运行效率等方面还存在不足。Web 服务<sup>[9]</sup>是一种面向技术框架的实现架构, 是实现 SOA 的主要技术手段, 它使用了可扩展标记语言 (extensible markup language, XML) 和基于 XML 的标准, 包括简单对象访问协议 (simple object access

收稿日期: 2012-03-14; 修回日期: 2012-04-07

基金项目: 国家自然科学基金“远场声源定位的短基线传感器网络关键问题研究”(61170252)

作者简介: 范希辉(1979—), 男, 山东人, 博士研究生, 讲师, 从事网络化仿真、传感器网络、网络安全研究。

protocol, SOAP)、Web 服务描述语言(Web services description language, WSDL)和通用描述、发行和集成(universal description discovery and integration, UDDI)等。用户可以方便地使用 Web 服务来提交仿真服务并获得仿真结果, 仿真系统也可以通过 Web 服务构建服务体系<sup>[10]</sup>。将 HLA 和 SOA 结合, 并采用 Web 服务技术加以实现, 可以扩展 HLA 仿真架构在互操作性、可重用性、可扩展性等方面的能力, 同时仍继承传统的 HLA 在可伸缩性、时间管理、同步和状态共享以及性能等方面的优势<sup>[3]</sup>。

## 2 面向广域网的高层体系结构扩展设计

运行支撑环境(run-time infrastructure, RTI)是 HLA 仿真系统的支撑基础, 实现服务化的 RTI 是实现面向广域网 HLA 的关键。笔者设计了面向广域网的 RTI 分层体系结构, 并对其中涉及的 Web 服务提供组件、联邦成员设计等关键问题进行研究。

### 2.1 面向广域网的 RTI 分层体系结构

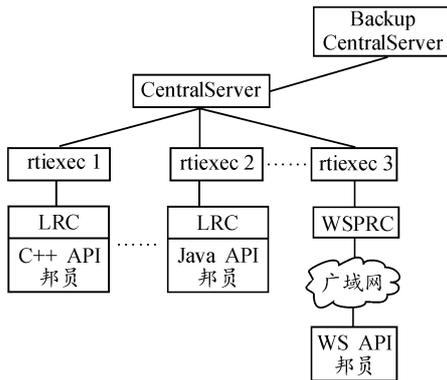


图 1 面向广域网的 RTI 分层结构

如图 1 所示, 笔者设计了面向广域网的 RTI 分层体系结构, 采用层次式的方法进行组织管理。其中, CentralServer 是中心 RTI 组件, 主要进行集中式协调操作, Backup CentralServer 是 CentralServer 的备份, 主要通过定期备份和错误恢复等提高系统的健壮性。rtiexec 是 RTI 的主程序, 它具体实现 HLA 的管理服务功能。LRC (Local RTI Component, 本地 RTI 组件) 支持 C++、Java 等联邦成员。WSPRC (Web services provider RTI component, Web 服务提供 RTI 组件) 的作用相当于 LRC, 使用 URL 地址或域名来标识其位置。Web 服务应用程序接口 (Web services application programming interface, WS API) 联邦成员通过广域网与 WSPRC 进行交互, 传统的 C++ 成员和 Java 成员仍然可以按照既有的方式通过 RTI 交互, 从而实现了 HLA 向广域网的扩展, 并方便

与已有 HLA 仿真系统的结合。在该分层体系结构中, 联邦成员直接依赖于 LRC (WSPRC) 部件, LRC (WSPRC) 部件只依赖于管理它的 rtiexec, rtiexec 在有需要全局协调时, 依赖于中心服务器 CentralServer。这种层次式管理方式可使 RTI 平台中每个部件只处理一定范围内的服务请求和数据, 降低了不同部件之间的耦合度, 使得系统具有较好的健壮性和扩展性。

### 2.2 关键技术

在面向广域网的 RTI 分层体系结构中, 核心是对 WSPRC 和 WS API 联邦成员进行设计, 图 2 为其结构图。在部署模式上, 采用客户端/服务器模式, WS API 联邦成员和 WSPRC 分别位于客户端和服务端, 其关系类似于 Web 浏览器与 Web 服务器的关系。在服务器端, RTI Ambassador Services 以 Web 服务的形式部署在广域网上, 负责接收远程的 SOAP 服务调用消息, 并调用 HLA 服务; Federate Ambassador Proxy 负责接收 rtiexec 传来的回调消息, 封装成 SOAP 形式并通过 HTTP 转发给客户端的 Federate Ambassador Services。在客户端, RTI Ambassador Proxy 提供标准 HLA 服务 API, 负责把联邦成员对 RTI 的服务调用请求封装为 SOAP 消息, 并通过 HTTP 转发给 RTI Ambassador Services; Federate Ambassador Services 提供接收、解析 SOAP 形式 RTI 回调的代码, 负责处理 RTI 回调消息。

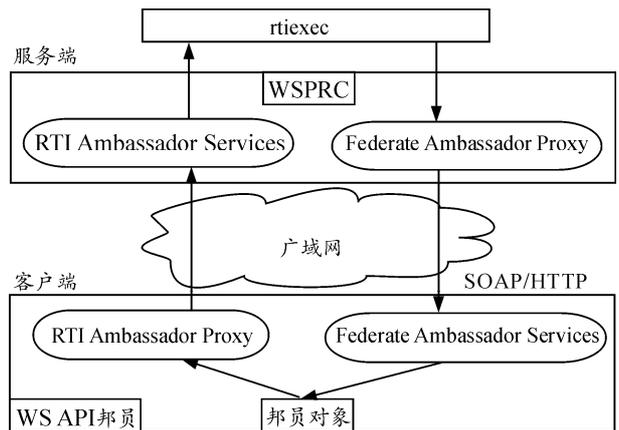


图 2 WSPRC 与 WS API 邦员结构图

通过 WSPRC 可将 RTI 作为 Web 服务提交给 WS API 邦员使用。WSPRC 采用会话 (session) 维护成员的状态, 会话由一系列的服务请求和响应组成。当一个 Web 服务成员通过一个指向 WSPRC 的统一资源定位 (uniform resource locator, URL) 加入联邦的时候, WSPRC 会为该成员建立会话, 该成员在

以后调用中会使用会话标识参数使得 WSPRC 能够识别并维持该成员的状态,断开连接后会话被中断。如果出现成员或者网络故障,导致成员和 WSPRC 失去连接,WSPRC 会为该成员的会话维持一段时间,如果在规定时间内连接恢复,则仿真继续运行,从而提高了系统的容错性;同时 WSPRC 会周期性地检查会话,超时的会话被认为无效,终止并释放 WSPRC 内存,进而提高了 WSPRC 的性能;也可在 WSPRC 中增加如会话监控、参数配置等进一步丰富其功能。在数据编码方面,将要交换的数据编码为 XML 元素,在联邦对象模型中描述的信息项都统一使用名称来引用,而不采用句柄,这既能提高 RTI 的易用性,也更加符合 Web 服务的数据编码约定,潜在的互操作性也更强。在一个联邦中,为降低单个 WSPRC 的负载,可以使用多个 WSPRC。每个 WSPRC 可以提供一个或者多个端口,每个端口类似于一个 URL,每个 WSPRC 可以同时连接多个成员。WSPRC 需要安装在 1 台具有公开 IP 地址(或 DNS)和端口的主机上,通过连接该端口 WS API 邦员连接到 WSPRC,并加入联邦。

WS API 联邦成员基于 Web 服务,使用 WSDL 描述,其实质是成员与 RTI 之间的通信协议。在传输模式上,WS API 采用 SOAP 和 HTTP 传输数据。在编码方式上,采用 XML 格式和字符串,并提供多组服务实现句柄和字符串名称的相互转换,以兼容传统 Java 或 C++ API 的句柄方式。在开发环境方面,由于 Web 服务成员可以采用 Apache Axis, Microsoft.NET 等多种开发框架和环境,WS API 成员同样可采用多种编程语言和环境开发。在状态维护方面,通过会话来实现,WS API 会话使用 HTTP cookie 技术,HTTP cookie 能够自动被大多数框架维护,因此不需要对 cookie 进行任何特殊处理。这种方式使得一个应用能够通过多个会话作为几个成员加入同一联邦,或者通过多个会话作为多个成员加入到多个不同的联邦,还可以使几个成员通过会话连接到同一个 WSPRC 中,这样 HLA 就具有了 Web 服务的重用性和灵活的应用模式。基于 WSDL 的仿真代码生成过程如图 3 所示,首先是基于 HLA1516e.wsdl 生成服务描述,这些描述可以应用于不同的领域,具有良好的平台无关性;然后通过存根代码生成器产生代码存根,代码存根与编程语言无关,可以是 C++或 Java 文件等,最后通过 Web 服务 RTI 调用组件实现与 RTI 的交互。

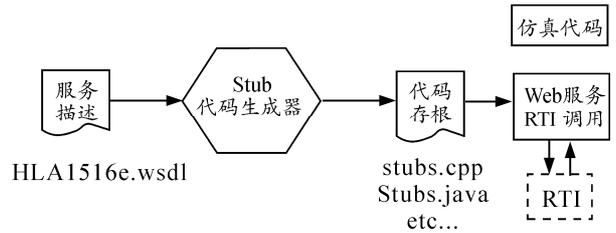


图 3 基于 WSDL 的代码生成过程

### 3 仿真示例

在实验室环境下使用网络带宽控制软件,将不同链路的带宽人为降低,营造出一个较为复杂的网络环境,通过一个实例对面向服务的 RTI 分层体系结构进行了测试。其结构如图 4 所示,其中包含了我方邦员、敌方邦员以及指挥控制邦员。我方和敌方邦员采用 Web Services 描述,包括行动、对敌方的侦察以及根据敌情所采用的武器装备等,导演席邦员采用传统的 Java API 开发,可监视敌我双方邦员的运行状况和仿真状态,并负责产生不同的仿真事件,如目标的加入及退出等。

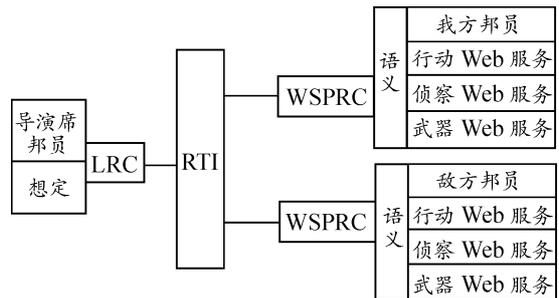


图 4 仿真测试示例

其中,WS API 邦员加入联邦的主要代码如下:

```

URL RtiUrl =
URL("HTTP://rti.foo.com:80/wsprc");
rti = new WS AmbassadorServiceBindingStub(
RtiUrl), _service);
rti.connect("");
FomDocumentDesignatorSet foms =
new FomDocumentDesignatorSet(
new URI[] {myFomURI});
rti.createFederationExecution(
"DemoSim",
foms,
new URI(),
"HLAinteger64Time");
String federateDesignator =
rti.joinFederationExecution(
"the red federate",
"mySimulatorType",

```

"DemoSim",  
new FomDocumentDesignatorSet());

#### 4 结论

通过引入 Web 服务技术, 能够实现 HLA 向广域网的扩展, 改善了传统 RTI 软件基于 TCP/UDP 通讯协议的不足, 实现了联邦成员在广域网范围的互操作。通过结合 SOA 思想, 能够增强仿真应用的动态可组合性。但由于受网络带宽以及 SOAP 引擎效率的影响, 面向广域网的 RTI 实时性较局域网环境下会有所下降。下一步, 将对其性能进行优化并引入语义 Web 服务以实现仿真服务的自动发现与组合。

#### 参考文献:

[1] CHEN Y N. Modeling and simulation for and in service oriented computing paradigm[J]. Simulation, 2007, 83(1): 3-6.

[2] 钟蔚, 龚建兴, 郝建国, 等. HLA Evolved 规范研究分析[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(4): 691-696.

[3] 王文广, 刘喜春, 王维平, 等. 面向服务的高层体系结

\*\*\*\*\*

(上接第 41 页)

#### 5 结束语

目前, 美军的兵棋技术相对较为成熟, 尤其是系统设计的思想和功能程序开发方面, 需要我军重点进行学习借鉴, 但美军的编制体制、作战指挥方式等与我军差异性较大, 因此在深入研究美军兵棋技术原理的基础上, 依托我军在战争模拟原理与系统开发、作战模拟领域的研究成果, 探索我军兵棋推演规律特点, 开发适合我军使用的兵棋推演系统, 对于推进我军作战决策和军事训练有着重要的现实和战略意义。

#### 参考文献:

[1] Peter P. Perla The Art of Wargaming[M]. USA: Naval institute Press, 1990.

[2] James F Dunnigan. The Complete Wargames Handbook [M]. New York: William Morrow&Company, 1997: 1-2.

[3] 中国人民解放军军语[M]. 北京: 军事科学出版社出版

构研究进展[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(9): 1665-1675.

[4] Möller B, Morse K L, Lightner M, et al. HLA evolved-a summary of major technical improvements[C]//Fall Simulation Interoperability Workshop, USA:SIW, 2008.

[5] Ke Pan, Stephen John Turner, Wentong Cai, et al. A Service Oriented HLA RTI on the Grid[C]//2007 IEEE International Conference on Web Services (ICWS), USA: IEEE, 2007.

[6] Michael Egnor, Johnny J. Garcia. Next Generation Modeling and Simulation Architecture[C]//The Interservice/Industry Training, Simulation & Education Conference, 11F-SIW-068, USA: I/ITSEC, 2011.

[7] 吴泽彬, 吴慧中, 李蔚清. Web 服务化的分布仿真运行支撑环境[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(10): 2063-2072.

[8] 张卫, 查亚兵. 一种基于 Globus 工具箱的 HLARTI Web 服务化方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(20): 6492-6497.

[9] 岳昆, 王晓玲, 周傲英. Web 服务核心支撑技术: 研究综述[J]. 软件学报, 2004, 15(3): 428-442.

[10] 贾丽, 张和明. 面向服务的分布式建模仿真框架研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(20): 4680-4684.

\*\*\*\*\*

发行, 1997.

[4] 杨南征. 虚拟演兵: 兵棋、作战模拟与仿真[M]. 北京: 解放军出版社, 2007.

[5] 李家祥, 吴勤, 李越平. 兵棋推演探析[J]. 长缨, 2010(8): 22-23.

[6] 彭春光, 赵鑫业, 刘宝宏, 等. 兵棋推演技术综述[J]. 系统仿真技术及其应用, 2009(11): 366-370.

[7] U.S. The Joint Theater Level Simulation (JTLS) Analyst's Guide[R]. USA: 116 Lake View Parkway Suffolk, VA, 2007: 2435-2697.

[8] Ross D. Designing a system on system wargame[R]. USA: US Air Force Research Lab, 2006.

[9] 刘江围. 计算机兵棋中补给中心选址和机动路线研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2010.

[10] 韩志军, 柳少军, 唐宇波, 等. 计算机兵棋推演系统研究[J]. 计算机仿真, 2011(4): 10-13.

[11] Peng Chunguang, Liu Baohong, Huang Kedi. The Study of Wargames based on HLA[C]//Proceedings of 2008 Asia Simulation Conference. Beijing: IEEE, 2008: 649-653.

[12] 俞康伦. 撩起兵棋推演和运筹分析的面纱[J]. 北京: 环球军事, 2008(6): 47.