

# 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用集成研究

柏晓辉<sup>1</sup>, 柏晓莉<sup>2,3</sup>, 易先清<sup>3</sup>

(1. 黑龙江大学信息科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 解放军 91746 部队, 北京 102206;

3. 国防科学技术大学信息与管理学院 C<sup>4</sup>ISR 技术重点实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 新一代 C<sup>4</sup>ISR 系统在以网络、服务为中心架构的复杂环境中演进发展, 对其仿真应用提出了更高的要求。基于面向服务架构(service-oriented architecture, SOA)的思想, 构建了面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真应用集成体系架构(CSA-SOA), 在该架构基础上设计了仿真应用集成的动态组建过程; 描述了仿真应用集成运行的几类关键支撑服务; 应用 XML 语言设计了仿真服务组件和仿真应用的描述规范, 同时对仿真运行过程中服务之间的交互与时序关系进行了描述。最后, 在某作战指挥系统的集成联试中应用 CSA-SOA, 通过该服务架构和运行机制, 实现了 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用的有效集成和无缝连接。

**关键词:** C<sup>4</sup>ISR 系统; 面向服务架构; 仿真; 应用集成

**中图分类号:** TP 391; E 96

**文献标志码:** A

## Study on service-oriented C<sup>4</sup>ISR simulation application integration

BAI Xiao-hui<sup>1</sup>, BAI Xiao-li<sup>2,3</sup>, YI Xian-qing<sup>3</sup>

(1. Coll. of Information Science & Technology, Heilongjiang Univ., Harbin 150080, China;

2. Unit 91746 of PLA, Beijing 102206, China; 3. Key Laboratory of C<sup>4</sup>ISR Technology, Coll. of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A new generation of C<sup>4</sup>ISR systems is moving towards a dynamic net-centric environment which brings stricter requirements on its simulation application. This paper proposes a C<sup>4</sup>ISR simulation framework based on SOA (CSA-SOA) for developing a component-based distributed simulation and executing the simulation in a service-oriented architecture on the Grid. This framework describes the dynamic construction process of simulation application integration. This paper denotes the scheme files of component specification and simulation description using XML, and analyses the interaction and time-sequence relationship among those services during simulation running. Finally, a case for a certain battle command system integration test is given. Through CSA-SOA and its run mechanism, the C<sup>4</sup>ISR system simulation application is integrated effectively and linked seamlessly.

**Keywords:** C<sup>4</sup>ISR system; service-oriented architecture (SOA); simulation; application integration

## 0 引言

随着网络中心作战(network-centric operation and warfare, NCOW)概念的深入, 美国国防部先后开展了全球信息栅格(global information grid, GIG), 网络中心企业服务(net-centric enterprise services, NCES)等多方面的研究工作, 为新一代指控系统的研发投入了巨资。C<sup>4</sup>ISR 系统在以网络、服务为中心架构的复杂环境中演进发展<sup>[1]</sup>。建

模与仿真(modeling and simulation, M&S)技术作为各类军事系统采办与开发的重要支持手段, 新一代指控系统的发展对其提出了更多新的特殊需求<sup>[2]</sup>。

近年来, 面向服务的架构(service-oriented architecture, SOA)思想在各类系统开发中得到广泛的认同和应用<sup>[3]</sup>。SOA 作为一个很好的选择, 可以有效地应对和适应 C<sup>4</sup>ISR 系统和 M&S 系统发展演进的需求, 促进 C<sup>4</sup>ISR 系统和 M&S 系统的互操作, 提高 M&S 对 C<sup>4</sup>ISR 系统开发

收稿日期: 2008-06-25; 修回日期: 2009-10-27。

基金项目: 黑龙江省 2009 年研究生创新科研项目(YJSCX2009-018HLJ); 装备预研重点基金(51306060101)资助课题

作者简介: 柏晓辉(1973-), 男, 副教授, 主要研究方向为计算机系统、网络信息系统集成、微系统与纳米系统结构。

E-mail: baixiaoh@yahoo.com.cn

的仿真支持作用<sup>[4]</sup>。本文旨在设计面向服务的仿真应用集成架构,从而有效地集成各类 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用,为 C<sup>4</sup>ISR 系统提供更加灵活、高效的仿真支持。

### 1 相关技术

#### 1.1 SOA 架构

作为一种新型的基于 Internet 的开放式计算模式,SOA 是一种粗粒度、松耦合的服务结构<sup>[5]</sup>。SOA 是一个其所有功能均被定义成精确的、可调用的、独立服务的集合,服务通过基于标准、精确定义的接口通信。它通过将各种复杂的业务逻辑封装成一个可编程的网络组件,为组织内部或组织之间在异构计算环境中实现开放式、大粒度、系统级的数据与软件共享、服务组合和重用提供了新的机制,是一个能有序编排构建业务流程的应用架构。

一个基于 SOA 的信息系统应该涉及 6 个实体,如图 1 所示。这 6 个实体是:(1) 服务使用者,即请求服务的实体;(2) 服务提供者,即接受和执行来自服务使用者请求的、可通过网络访问的实体;(3) 服务注册中心,即网络中的一个存贮可用服务索引的实体;(4) 服务协议,即一个服务使用者与服务提供者之间交互方式的规范;(5) 服务代理,即一个由服务提供者提供给服务使用者服务支持的实体;(6) 服务租约,即度量一个从服务注册中心获取服务使用期限的实体。

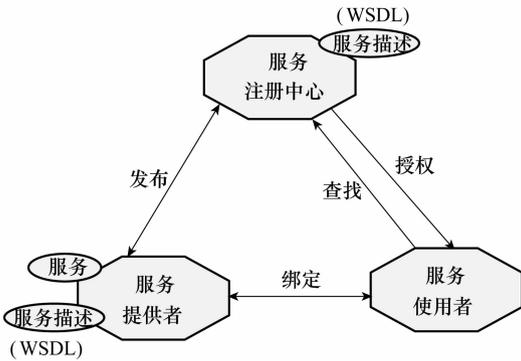


图 1 SOA 框架

#### 1.2 XMSF 框架

继高层体系结构(high level architecture, HLA)之后<sup>[6]</sup>, M&S 技术如何发展,是仿真界不断思考的问题。2002 年,在乔治梅森大学(GMU)举行的研讨会上,美国海军研究生院(NPS)、科学应用国际组织(SAIC)和 GMU 等研究机构提出了可扩展的建模与仿真框架(extensible modeling and simulation framework, XMSF)这一全新概念<sup>[7]</sup>。

XMSF 是一个用于实现基于 Web 的可组合、可扩展的建模与仿真的标准描述和推荐应用的集合。XMSF 的核心思想是使用通用的技术标准和开放的体系结构,包括 Web Services,可扩展标记语言(extensible markup language, XML)和简单对象访问协议(simple object access protocol, SOAP)等,为新一代的 M&S 应用创造一个可重用和互操作的通用框架,促进 M&S 在更大范围尤其包括与 C<sup>4</sup>ISR

系统的互操作和重用。XMSF 对仿真技术的领先推动作用表现在提出了 Web-based RTI,使得 HLA/RTI 可以通过 Web Services 的通信协议 SOAP 和 BEEP 进行通信,把不同平台上的仿真联系起来。

XMSF 能与基于 DIS、ALSP 和 HLA 构建的仿真系统有效集成;能实现多粒度建模;通过使用商用的 Web 技术作为共享的通信平台和通用的传输框架,增强 M&S 的功能以满足训练、分析和采办的需要<sup>[8]</sup>。但是 XMSF 并不能实现 SOA 环境下构建仿真的所有需求。基于 SOA 的仿真应用可以随着服务的取消和加入,动态地配置和再集成系统,而 XMSF 无法实现这些机制。

基于 XMSF,美国 NPS 实现了 Simkit 系统<sup>[9]</sup>,NSS (naval simulation system)系统与 COMBAT<sup>XXI</sup>系统的应用集成。其中 Simkit 是 NPS 开发的离散事件应用程序接口(APD);NSS 是一个关于海军战场空间的构造分析模型,由 SPAWAR Systems Center 开发设计;COMBAT<sup>XXI</sup>是一个作战模型,由美陆军 TRADOC 分析中心开发。

### 2 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真集成体系架构

面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真集成可以集成多种仿真服务,支持仿真应用的快速构建和开发。实现了 C<sup>4</sup>ISR 系统各类仿真资源的共享与重用、协同、动态优化调度;提供面向 C<sup>4</sup>ISR 系统的可重用的模型资源和 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真门户及可视化环境。C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用集成架构(C<sup>4</sup>ISR simulation architecture based on SOA, CSA-SOA),基于网格技术建立在开放网格服务体系结构(open grid service architecture, OGSA)之上,其集成体系结构如图 2 所示。其结构包括仿真资源层、服务集成层、仿真服务层、面向 C<sup>4</sup>ISR 系统的仿真应用层和 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真工程管理层。



图 2 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用集成体系结构

#### (1) 仿真资源层

仿真资源层集成了 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真过程中使用的各类资源,包括基础资源和面向 C<sup>4</sup>ISR 系统的仿真资源集合。基础资源包括了计算机软硬件、操作系统和数据库等

通用资源。C<sup>4</sup>ISR 系统仿真资源是模型、数据、想定、知识的集合,以及各类仿真模拟器、建模/仿真工具等。仿真资源的有效共享和重用是仿真应用集成的重要内容。

(2) 服务集成层

服务集成层基于 OGSA 网格服务架构,把资源层、仿真服务层、应用层、仿真工程管理层的各个功能构件无缝地连接在一起。面向服务的中间件提供网格服务集成接口,仿真功能构件通过服务中间件进行通信并集成在仿真集成框架中。在服务中间件提供的交互平台上构建仿真功能构件,为整个 C<sup>4</sup>ISR 系统全寿命周期提供有力的仿真支持。

共性中间件提供一个基于标准的计算环境(基于 CORBA, Web Services, COM, RTI),实现应用系统在分布、异构环境下基于“系统软总线”的即插即用,实现分布、异构的不同软硬件平台和不同网络,以及不同操作系统环境的互操作。

(3) 仿真服务层

通过面向服务的软总线,仿真服务层有效地集成面向 C<sup>4</sup>ISR 系统的仿真服务,为 C<sup>4</sup>ISR 系统提供建模服务、仿真核心服务、仿真调度服务、仿真资源服务、仿真可视化服务、注册服务、安全服务、工具集服务等。

(4) 面向 C<sup>4</sup>ISR 系统的仿真应用层

支持不同仿真应用系统的集成,为用户提供友好的访问界面。C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用层为系统协同论证/需求分析/系统设计/训练/建模/实验/运行/评估/可视化与管理等应用提供核心服务支持。

(5) C<sup>4</sup>ISR 系统仿真工程管理层

C<sup>4</sup>ISR 系统仿真活动涉及大量的数据、模型、工具、流程及人员。管理层支持仿真的高效组织和管理,使其优化运行。在正确的时刻、把正确的数据、按正确的方式,传递给正确的人,实现信息集成和过程集成。管理层提供一个管理集成支撑,支持团队/组织、过程、数据/模型和项目的管理,实现开发流程的建立、重组优化与管理。

### 3 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用开发

#### 3.1 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用动态构建过程

为了实现基于服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用的构建,各类仿真功能构件需要设计成松耦合的仿真服务组件,通过不同功能的仿真服务组件的组合,满足特定仿真应用的需求。这里首先分析基于服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用的基本构建过程。图 3 给出了基于服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真应用动态构建的基本过程。其中主要包括以下几个步骤。

(1) 注册仿真服务组件。各个仿真功能构件的提供者把它的业务功能以 SOAP 和 XML 的信息交换格式封装成仿真服务组件,然后通过 UDDI 把服务注册到注册服务中心。

(2) 定制仿真服务组件。仿真用户根据自己仿真任务的需求,向注册服务中心查找是否有满足要求的仿真服务组件。注册服务中心检索是否有符合要求的仿真服务组件,把检索结果发送给仿真应用用户。如果没有合适的服务组件,仿真应用用户可以提出定制请求,注册服务中心可以把用户的请求发布给相关的服务组件提供者。服务组件提供者可以根据仿真定制的要求,提供满足需求的服务组件,并

把服务组件的相关信息注册到注册中心。在组件库中存储的关于组件接口文件,规则类型文件和实体类型文件等。

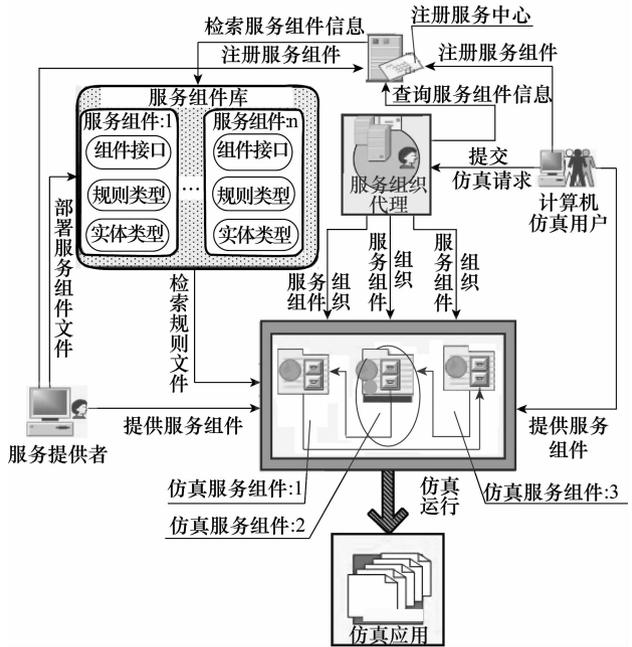


图 3 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真应用动态构建过程

(3) 获取服务组织代理信息。当一个仿真应用用户获取了满足仿真任务需求的所有服务组件的有关信息后,它向注册服务中心请求获取服务组织代理的信息。注册服务中心返回服务组织代理的 URI (uniform resource identifier) 信息。

(4) 提交仿真应用任务。仿真应用用户生成基于 XML 的仿真应用任务描述文件,将该文件提交给服务组织代理,请求处理该仿真任务。

(5) 组织仿真服务组件。服务组织代理要与各个仿真服务组件进行协调,保证它们参与协同仿真任务的执行。

(6) 仿真应用任务执行。服务组织代理驱动仿真服务组件加入仿真执行,共同合作完成仿真任务。

#### 3.2 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真运行支撑服务

为了实现面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真,仿真运行包含了以下几大支撑服务,以支持 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真的运行。仿真运行支撑服务结构如图 4 所示。

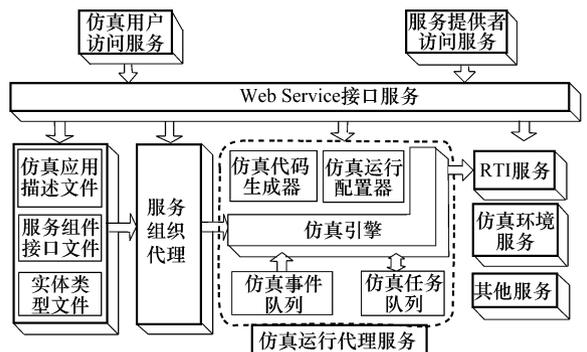


图 4 C<sup>4</sup>ISR 系统仿真运行支撑服务

(1) 仿真用户访问服务

仿真用户访问服务为用户提供了服务请求、服务查找、服务获取等功能。通过图形化的用户界面,用户可以设计整个仿真任务;可以修改和编辑仿真任务的配置;可以使用预定的仿真任务模板来定义仿真任务。用户可以注册仿真应用描述文件到注册服务中心,以便其他用户共享和重用。

(2) 服务提供者访问服务

通过服务提供者访问服务,服务提供者可以访问注册服务中心,注册仿真服务组件。添加、更改和删除服务组件的目录、地址信息。

(3) Web Services 接口服务

Web Service 接口服务使得计算机程序和基于单机 GUI 接口的传统用户可以方便地管理和使用 Web 服务。它还可以兼容以往设计的分布系统,使得这些系统可以通过 CORBA、DCOM 或远程技术和系统仿真代理服务进行通信,共同运行。

(4) 服务组织代理

服务组织代理服务是仿真用户与仿真运行之间的桥梁。通过它,用户不用考虑仿真的运行机制,只需要把仿真应用的描述文件提交给服务组织代理,由服务组织代理协调各个服务组件之间的通信联系,并负责把仿真任务提交给仿真运行代理。

(5) 仿真运行代理

仿真运行代理由仿真引擎、仿真代码生成器、仿真运行配置器、仿真任务队列和仿真事件队列组成,参见图 4 中虚线框包围的部分。

仿真代码生成器为仿真引擎生成仿真代码。仿真运行配置器为仿真提供仿真运行配置文件。仿真引擎根据仿真事件队列,处理事件,推动远程模型的执行,驱动仿真运行。当有多个仿真任务时,仿真引擎根据仿真任务队列的顺序执行仿真任务。

(6) 仿真环境服务

仿真环境服务允许用户和管理仿真环境配置。用户可以部署仿真事件的生成规则,设置仿真运行时的运行配置。仿真环境服务可以根据用户的定义事件产生规则,自动地产生外部仿真事件,然后送给仿真运行代理服务。

(7) RTI 服务

RTI 服务提供和 HLA/RTI 相同的功能:对象管理、事件管理、声明管理、联邦管理、所有权管理和事件管理等。当 RTI 服务接到仿真引擎的消息后,为仿真运行代理服务提供相关的 RTI 服务<sup>[10]</sup>。

(8) 其他服务

此外运行支撑服务还包括其他一些仿真服务,如仿真运行监视服务,仿真场景管理服务,仿真策略检查服务以及仿真结果分析服务。这些服务为仿真任务的执行提供有效的支持。

3.3 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真服务组件描述规范

C<sup>4</sup>ISR 仿真服务组件的开发是通过组件专用操作实现仿真服务。仿真服务组件的开发需要遵循统一的服务组件描述规范,从而实现仿真服务共享和重用<sup>[11]</sup>。

C<sup>4</sup>ISR 仿真服务组件描述规范由服务标识表、服务描述、服务概念模型、模型映射和对象模型几部分组成,图 5 给出了基于 XML 的仿真服务组件描述规范。

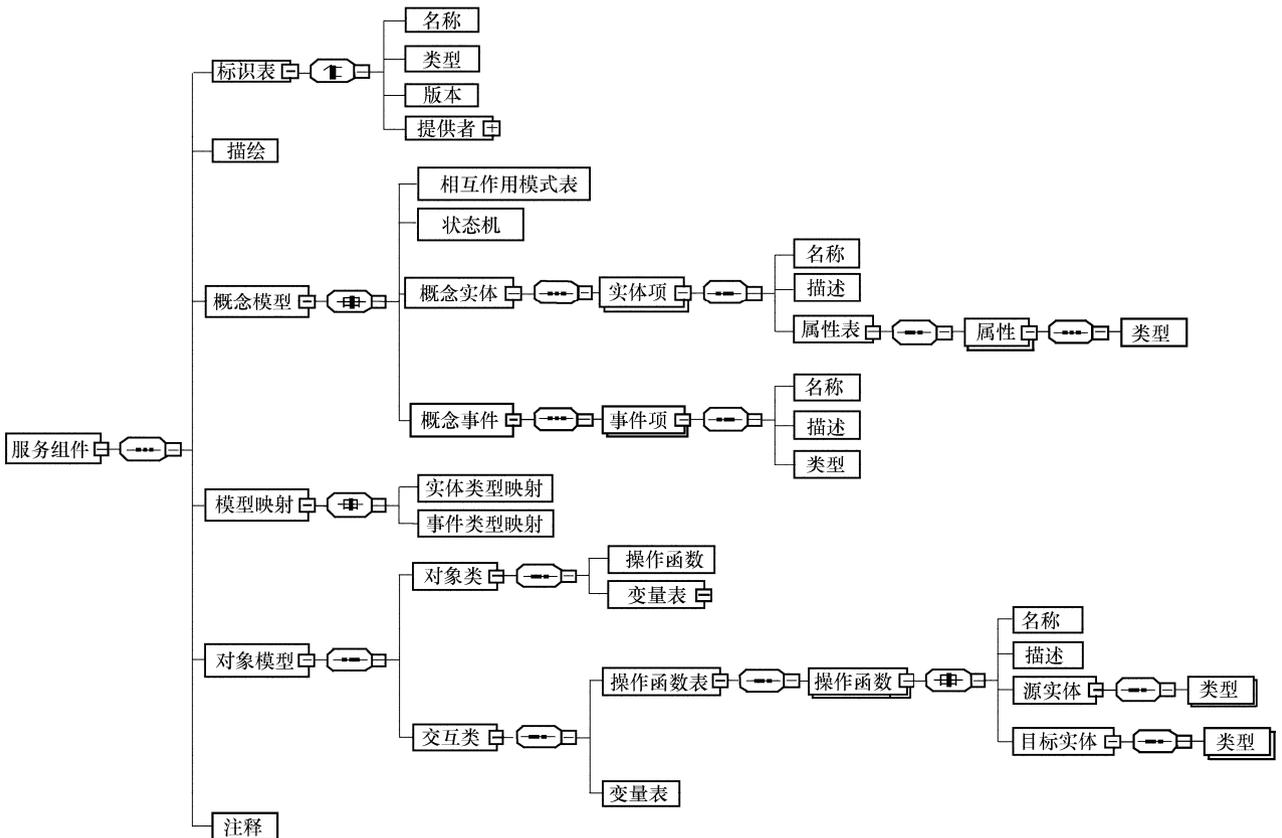


图 5 基于 XML 的仿真服务组件描述规范

服务标识表包含了服务的基本信息,提供了便于服务搜索和重用的元数据信息,如服务名称、类型、版本、提供者信息等。

服务描述对服务的基本功能给出文字性的描述,使用者可以了解服务的应用领域、使用目的、使用限制、使用历史,便于使用者对服务的理解。

服务概念模型包含相互作用模式描述、状态机、概念实体和概念事件。通过概念实体和概念事件对真实世界的事物进行静态描述,以相互作用模式描述表和状态机动态地描述真实世界相关事物之间是如何相互影响和作用的。

相互作用模式表的每个模式都包含一个或多个用来完成某一具体目的或功能的步骤,而与一个步骤相关的活动则提供了对所需功能和行为活动的描述。每个模式步骤中所需的活动都能够关联到服务内部定义的某个事件,或由其他服务提供的更详细活动来描述。模式描述表同时也提供对可能产生的扩展性和变更性等方面的支持。

模型映射提供了一组映射机制,描述了概念实体、概念

事件与服务规范中对象模型定义的类元素之间的映射关系。支持两类映射:实体类型映射和事件类型映射。实体类型映射把概念空间的实体映射为对象模型空间定义的对象类接口描述元素,同样,事件类型映射把概念模型空间的事件与对象模型空间定义的交互类接口描述元素进行映射。

对象模型描述了对象类和交互类的结构,包含相应的操作函数以及相互的属性变量。提供概念模型的实现代码,反映服务所具备的仿真能力。对象模型给出了仿真服务组件为用户提供的组件接口信息,供用户在定义仿真应用描述文件时使用。

服务注释关于服务数据交换文件中元素的详细解释和定义。

### 3.4 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真应用设计

当仿真服务用户向系统提出仿真应用请求时,使用仿真应用描述文件,该文件遵循仿真应用描述规范<sup>[12]</sup>。仿真应用描述规范由应用标识表、应用描述、服务组件表和仿真结果 4 部分组成,如图 6 所示。

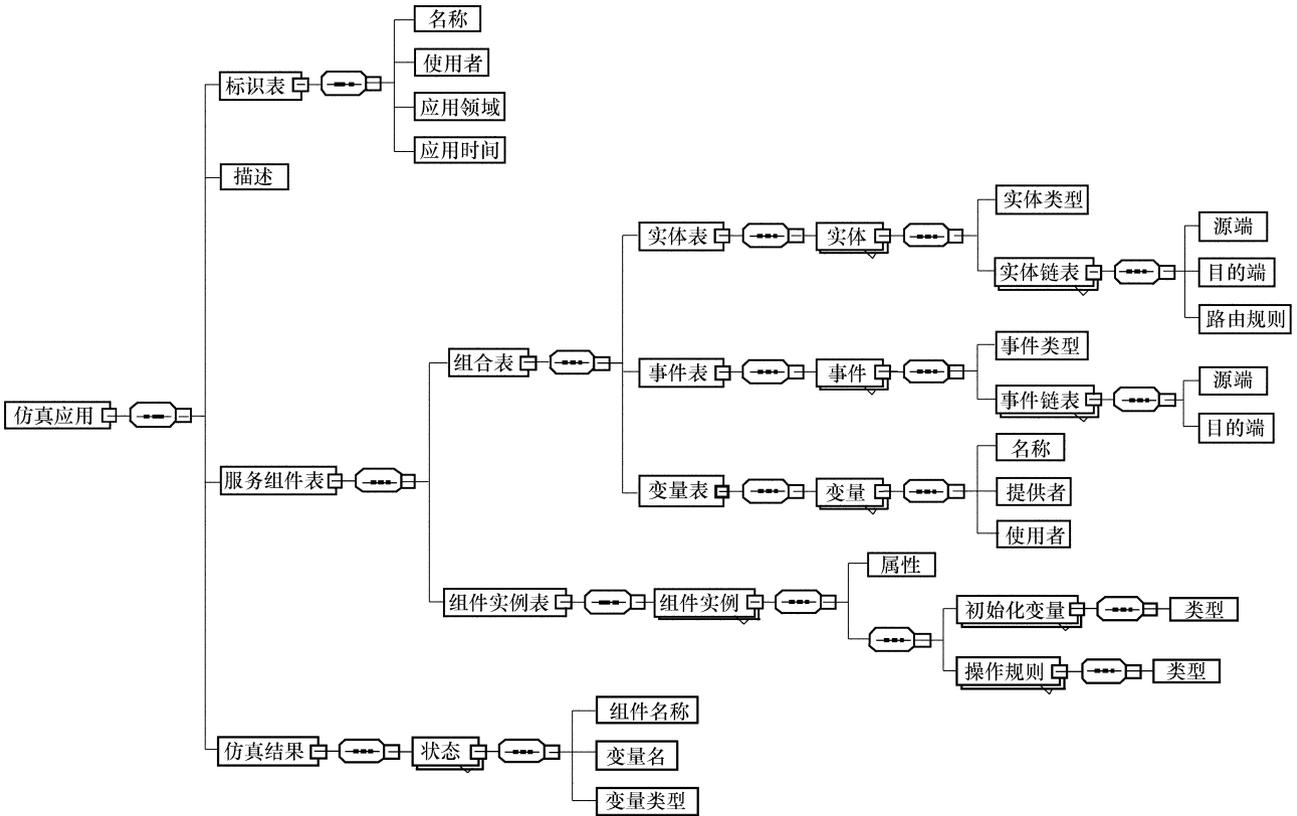


图 6 基于 XML 的仿真应用描述模式

(1) 应用标识表提供了仿真应用的基本信息,提供了便于应用搜索和重用的元数据信息,如应用名称、应用领域、应用构建的时间、使用者的信息等。

(2) 应用描述给出了仿真应用的文字性描述,使用者可以了解仿真应用的应用范围、使用目的、使用限制、使用

历史,便于使用者对仿真应用的理解。

(3) 服务组件表给出了仿真应用所需服务组件的描述。服务组件表由组合表和组件实例化表两部分组成。组合表描述了仿真应用中服务之间基于实体、事件、变量进行的交互。其中,实体表给出了仿真应用中实体之间的

相互联系,实体链表给出实体之间相互作用的路由规则;事件表给出了仿真应用中触发和产生的事件链表;变量表给出了服务有关属性的变化值。组件实例化表定义了服务实例化时变量的设定规则,操作函数的使用规则等内容。

(4) 仿真应用结果定义了仿真结果需要获取和分析的数据变量。

### 3.5 面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真运行

面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真运行被分为两个层次,仿真用户配置层和实际运行层。在仿真用户配置层,用户通过用户控制台服务(服务组织代理的用户接口平台)向注册服务中心查询服务组件和服务组织代理的 URI,注册服务中心返回服务组件和服务组织代理的 URI。应用网络服务资源框架(web service resource frame, WSRF),用户控制台为

服务组织代理生成一个服务资源类,把仿真请求提交给服务组织代理。服务组织代理解析仿真应用描述文件,生成相应仿真应用会晤期,它与注册服务中心进行通信,获取满足条件的服务组件信息,为参与仿真的每个服务组件生成一个资源类实例,然后初始化服务组件。

在实际的仿真运行层,仿真运行代理从服务组织代理获得相关仿真应用配置信息后,生成仿真运行配置信息,如仿真成员需要的 RTI 服务信息配置、仿真事件表信息等。这些信息可以在仿真代码生成时自动产生并在运行时加载到仿真运行代理服务的仿真引擎中,某些配置信息只有在运行时才能获取。仿真运行代理服务实例化仿真环境服务、RTI 服务等相关仿真支撑服务,协调各个服务共同支持仿真运行。图 7 描述了仿真运行中各服务之间的交互及时序关系。

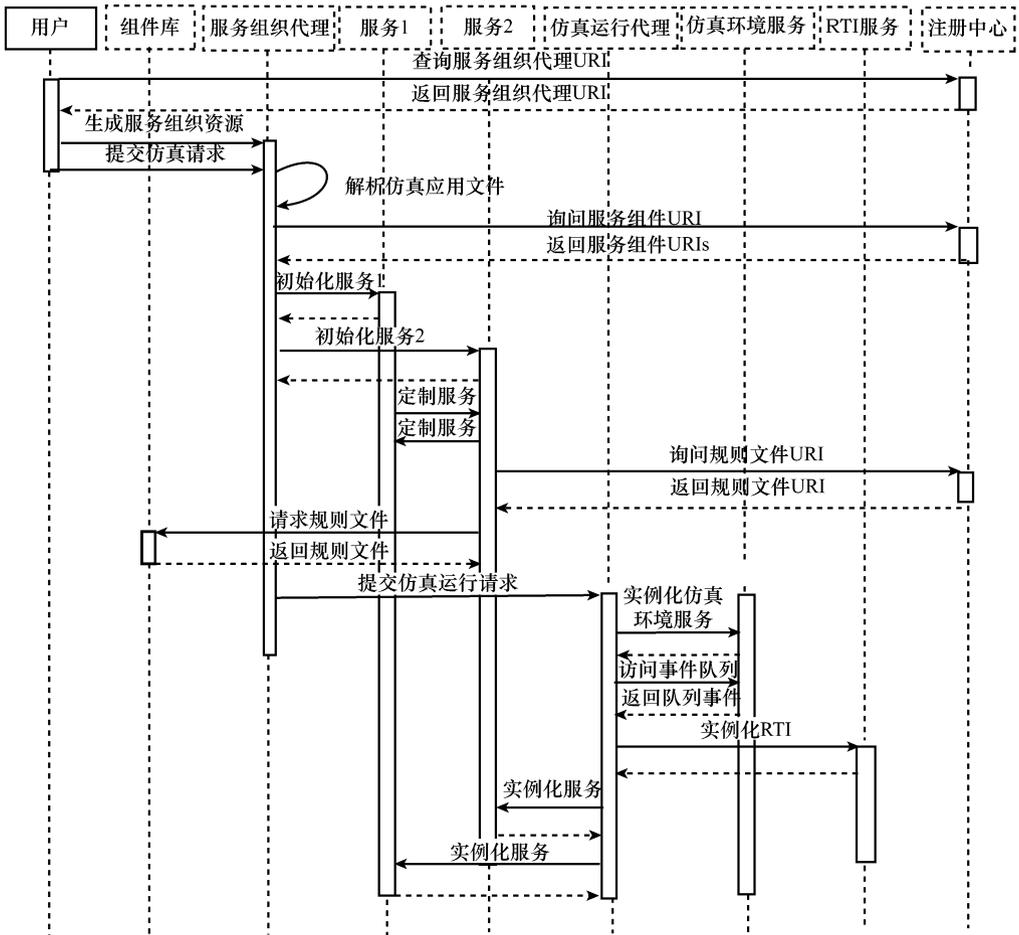


图 7 C<sup>4</sup>ISR 仿真运行时序图

### 3.6 案例

CSA-SOA 在某作战指挥系统集成联试中得到应用,该指挥系统的总体布局如图 8 所示。集成联试环境主要由雷达探测子系统、信息处理子系统、通信系统和相应的各级指控和作战子系统组成,各子系统之间通过各级网络进行相

连。其中,在雷达探测子系统中,接入设计开发的雷达探测等信息收集模拟器;在信息处理子系统中,根据系统集成联试需要,分别建立了海情、空情、陆情等战场环境情报处理仿真模型;在各级指控和作战子系统中接入了相关的指控系统模拟器以及防空系统武器装备模拟器和仿真实验床;

各类仿真支持服务,如视景展示服务、剧情产生服务、仿真模型服务通过网络与实际联试系统互联,实现仿真系统与实际系统的交互。

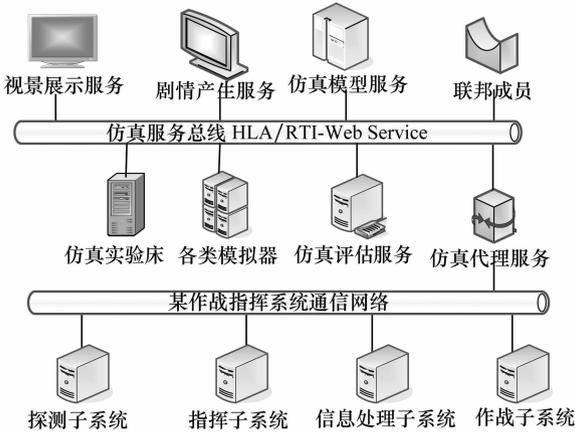


图 8 某作战指挥系统集成联试的仿真应用集成

### 4 结束语

本文基于服务的思想,设计了面向服务的 C<sup>4</sup>ISR 仿真应用集成体系架构。分析了仿真应用集成的基本过程,给出了仿真应用集成运行的支撑服务,设计了仿真服务组件和仿真应用描述规范,描述了仿真运行中服务之间的交互关系和时序关系。该架构已经部分在 C<sup>4</sup>ISR 系统开发的仿真应用中得以实现,取得了较好的实践效果。在下一步的研究工作中,将加强 C<sup>4</sup>ISR 系统的领域仿真服务模型的开发,细化模型规范描述,同时基于服务体系,进一步促进 C<sup>4</sup>ISR 系统与仿真系统的互操作和集成<sup>[13-14]</sup>。

### 参考文献:

[1] Curtis B, Don B. A transformational framework for design, development, and integration of simulation models[C]// *Proc. of Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando: Simulation Interoperability Standard Organization*, 2004.

[2] Foster F. *Net-centric enterprise services (NCES) overview* [R]. Burlington: MITRE Corporation, 2004.

[3] Numrich M H, Andresa T. M&S in the GIG enviroment: an expanded view of distributing simulation[C]// *Proc. of Inter-service/Industry Training, Simulation, and Education Conference*, 2004.

[4] Gustavsson M. Service oriented simulation concept [C] // *SimTech Conference*, Sindney, 2005.

[5] Thomas Erl. *Service-oriented architecture, concepts, technology and design*[M]. U. S.; Prentice-Hall, 2005.

[6] IEEE 1516. High level architecture (HLA)[S]. New York: IEEE, 2001.

[7] Brutzman D, Zyda M, Pullen J M, et al. *Extensible modeling and simulation framework (XMSF): challenges for web-based modeling and simulation* [R]. U. S; the XMSF Technical Challenges Workshop and Strategic Opportunities Symposium, 2004.

[8] Curtis B, Don B, David D, et al. *Extensible modeling and simulation framework (XMSF) project summary report* [R]. Monterey: U. S. Navy Post Graduate School, 2005.

[9] Buss A. Simkit analysis workbench for rapid construction of modeling and simulation components[C]// *Proc. of Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando: Simulation Interoperability Standard Organization*, 2004.

[10] Tsai W T, Chun F. DDSOS: a dynamic distributed service-oriented simulation framework[C]// *Proc. of the 39th Annual Simulation Symposium*, U. S, IEEE Computor Society, 2006.

[11] SISO-STD-003. 1-DRAFT-V0. 11. BOM Template Specification [Z]. U. S; SISO, 2005.

[12] Chen Xinjun, Cai Wentong. SOAr-DSGrid: service-oriented architecture for distributed simulation on the Grid[C]// *Proc. of the 20th Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation*, U. S, IEEE Computor Society, 2006.

[13] Ruck J, Buss A, Brutzman D. Using XMSF web services for joint modeling and analysis[C]// *Proc. of Fall 2004 Simulation Interoperability Workshop, Orlando: Simulation Interoperability Standard Organization*, 2004.

[14] Saurabh Mittal, Bernard P Z. Implementation of a formal standard for interoperability in M&S/systems of systems integration with DEVS/SOA[J]. *The International C2 Journal*, 2009, 3(1): 1 - 60.