

文章编号: 1001-2486(2007)04-0105-05

## 基于本体的仿真服务定制与组合\*

张 童, 刘云生, 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:**为实现快速构建仿真系统,提出了面向服务的仿真开发模式,基于本体和 Web 服务进行仿真服务的定制与组合。给出了本体、仿真服务等基本概念,详细定义领域本体、需求本体和服务本体;提出了仿真服务定制模型及系统框架;分析了需求目标与仿真服务之间存在的逻辑关系,并确定了服务定制的一般过程。基于网格工具集初步实现了仿真服务定制和组合系统,验证了上述方法的可行性。

**关键词:**本体;仿真服务;定制;组合;需求目标

**中图分类号:**TP391.9 **文献标识码:**A

## A Ontology Based Simulation Service Customization and Composition

ZHANG Tong, LIU Yun-sheng, ZHA Ya-bing

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

**Abstract:** Aimed at rapidly building simulation systems, service oriented simulation development is put forward, based on ontology and web service mechanism to custom and compose simulation services. First, some basic definitions, simulation services customization model were proposed and its supporting system framework were presented, among which domain ontology, requirement ontology and service ontology were particularly described. Logical relationship between requirement goals and simulation services were analyzed, upon which the general process of service composition were studied. In the end, with the support of Grid Toolkit a prototype system was realized to testify the feasibility of our methods.

**Key words:** ontology; simulation services; customization; composition; requirement goal

面向服务的仿真开发(SOSD, Service-Oriented Simulation Development)促进了仿真应用在 Internet 范围的重用和组合。SOSD 的基本思想是:在面向服务体系结构(SOA, Service-Orient Architecture)的指导下,将建模与仿真(M&S)领域内的资源封装为具有一致接口和公共文档描述的 Web 服务,即仿真服务(Simulation Services)。基于 SOSD 构建仿真系统时,用户直接从服务容器中选择与需求匹配的服务,并将服务组合成所需的仿真系统,其中涉及的问题包括:需求鉴别、服务匹配、组合和优化、有效性验证等。

面向服务的仿真研究已成为 M&S 的热点。文献[1]提出的 XMSF(Extensible Modeling and Simulation Framework)明确指出使用基于 XML 的标志语言、互联网技术和 Web 服务进行基于 Web 的仿真是未来 M&S 的发展方向之一。文献[2-3]提出了一种基于网格服务的大规模分布式仿真框架,利用网格技术实现对分布式仿真资源和数据的动态发现和访问。文献[4]提出的可组合任务空间环境(CMSE, Composable Mission Space Environments)可实现从非定制的组件中构建复杂的仿真系统,在节约联邦开发时间的同时为系统的设计和实现提供更强的灵活性。

### 1 基本概念

分布异构的作战仿真环境中涉及了陆海空天等领域中的大量实体,不同领域对概念的认知存在一定差异,即使是相同领域也会出现对概念的语义约束认知的不一致,基于本体(Ontology)的信息模型用于解决大规模分布式仿真系统中的信息异构问题<sup>[5]</sup>。

\* 收稿日期:2007-03-05

基金项目:国家部委基金资助项目(51404010403KG0155)

作者简介:张童(1978—),女,博士生。

## 1.1 本体

本体作为一种知识表示,用于获取相关对象的信息和知识,它为模型、系统、结果、应用和标志语言等实体之间建立了一个语义基础。结合本文研究的需要,引入三类本体:

(1)领域本体:对特定仿真领域的相关信息和知识进行描述,包括相关概念及概念与概念之间的关系。领域本体的形式化表示为: $DO = \langle ID, I, R \rangle$ ,  $ID$  是仿真领域标识符,  $I$  为仿真概念集合,  $R \subseteq I \times I$  表示概念之间的关系。

(2)需求本体:将需求本体  $G$  定义为由目标对象、方法和质量构成的子句。需求目标中必须至少存在一个目标对象  $t \in TA$  (对象集合)。目标对象由领域本体表示;方法由一组参数及其取值来表示如何满足该需求;质量用于评估需求的满足程度。

(3)服务本体:定义了仿真服务调用接口信息、输入/输出参数信息和相关语义信息。服务本体可描述为一个6元组: $S = (id, do, op, context, IN, OUT, Attr)$ 。其中,  $id$  是服务标示符;  $do$  是服务的领域本体,即服务所属领域类型;  $op$  是服务的操作本体;  $context$  是服务上下文约束语义,由于仿真模型不同于一般的软件组件,模型的重用和组合都要受到仿真上下文的约束和限制,上下文可以被定义为一组假设和约束条件。 $IN$  和  $OUT$  分别是服务的输入、输出参数集合。 $Attr$  是服务的非功能属性的集合。

图1以HLA (High Level Architecture)中的联邦为例说明本体的概念。图中包括下列知识:(1)联邦是一种(ako)分布式仿真应用,攻防对抗仿真联邦是一个(isa)典型的联邦实例;(2)联邦由联邦成员组成,同时在RTI (Runtime Infrastructure)的支撑下运行;(3)FOM/SOM (Federation Object Model/Simulation Object Model)表对联邦进行描述,OMT (Object Model Templet)对FOM/SOM加以定义,联邦中包括对象类、交互类和多种数据类型。

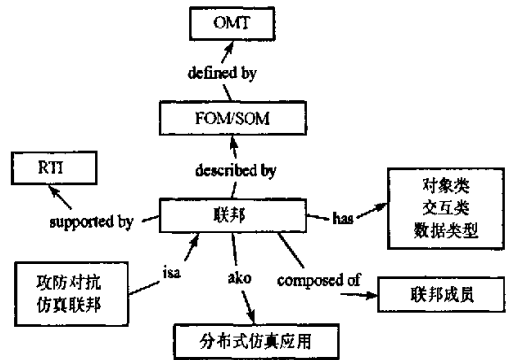


图1 联邦本体

Fig.1 Ontology for federation

## 1.2 仿真服务

基于SOA和Web服务,对仿真服务进行定义:仿真服务是封装了一定的仿真应用或者模型逻辑、具有一定功能的仿真组件,服务的各种信息和约束语义使用标准的规范(如WSDL)描述,服务之间通过标准的协议(如SOAP)进行通信和交互,最终能够协同完成用户的需求。

将仿真应用和模型封装为Web服务,仅仅是实现仿真服务的第一步。由于WSDL侧重于描述服务的基本信息,没有提供对服务组合的支持,因此,需要在WSDL之上对服务的功能和参数语义信息进行描述。我们引入语义Web中的本体规范DAML-s,建立基于本体的语义服务描述模型,解决语义层次上仿真服务的信息共享和交互。

## 2 仿真服务定制模型与系统框架

仿真服务的在线定制与传统的仿真开发过程相比有两点不同:(1)仿真服务是通过Internet提供给仿真用户的,用户将直接与仿真服务打交道,而不存在开发者充当中介;(2)仿真服务与用户之间是一个交互式的过程,用户根据服务执行的结果或者仿真应用的需要来决定下一步的行动。

由此可见,仿真服务的在线定制是用户直接参与、直接驱动的交互式过程,必须为其提供足够的知识支持。图2为仿真应用的定制模型。其中,领域本体提供了特定仿真领域中标准化的概念及其关系的定义集合;需求本体反映了用户的需求目标;服务本体主要描述与仿真服务相关的各种信息,包括参数、操作、约束条件和上下文等。仿真服务的组合执行负责目标和服务之间的匹配,需求本体派生的多个子目标将通过仿真服务的组合执行实现,该组合中包含了所需的服务本体。

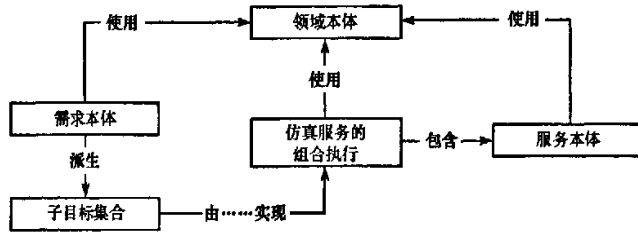


图2 仿真服务的定制模型

Fig.2 Customization model for simulation service

基于该定制模型,建立如图3所示的仿真服务定制系统框架,在该框架中仿真用户首先建立需求目标,并将目标分解为多个子目标,确定子目标之间的关系,生成上层的仿真剧情。然后,根据生成的目标在服务本体库中查找所需的仿真服务,实现仿真服务的组合。仿真引擎的功能在于监控整个仿真的执行过程,仿真执行的结果最终要返回给用户。整个过程循环往复进行,用户以在线交互的方式构建所需的仿真系统,并结合每一次仿真运行的结果和实时需求确定下一次仿真执行的目标,从而实现按需定制仿真系统的目的。

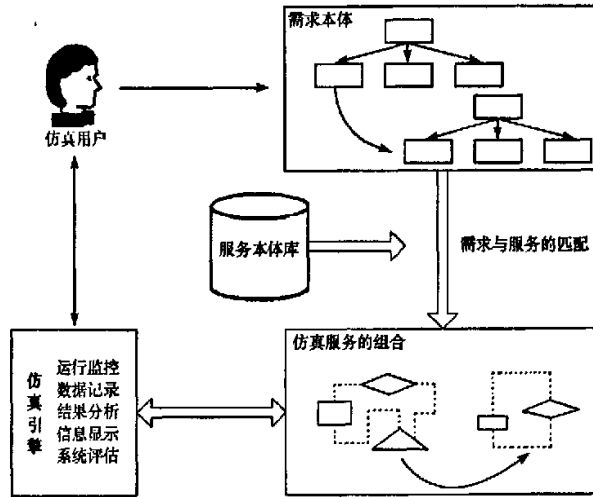


图3 仿真服务定制的系统框架

Fig.3 Framework for simulation service customization

### 3 仿真服务的定制与组合

#### 3.1 目标驱动的服务定制

SOSD 并没有违背 DMSO FEDEP 模型的“六步骤”过程,仿真用户同样要自行完成定义联邦目标和开发联邦概念模型的阶段,只是将该阶段形成的联邦需求提交给了互联网的 Web 门户,而不是特定的仿真开发人员。鉴于此,要实现需求目标与仿真服务之间的自动匹配,首先对需求目标进行解析,明确目标之间以及目标与服务之间存在的关系。

(1)目标之间的例化/泛化关系:如果目标  $g_1$  可以通过目标  $g_2$  的满足而得到满足,则称  $g_2$  例化了  $g_1$  并记为  $g_2 \in SP_g(g_1)$ ,相应地称  $g_1$  泛化  $g_2$  并记为  $g_1 \in GE_g(g_2)$ 。例如,  $Launch(AAMissile) \in SP_g(Launch(Missile))$ ,即“投掷空空导弹”是“投掷导弹”的例化。

(2)目标的分解关系:目标  $G$  可以被分解成多个子目标  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ,每个子目标  $g_i = SubOf(G)(i = 1, 2, \dots, n)$  将对  $g$  的完成做出部分贡献。

(3)仿真服务与目标之间的实现关系:一个仿真服务能够实现某个需求目标,当且仅当该服务具备

该目标本体中定义的语义。如果两个不同的仿真服务同时实现了相同的目标,那么其中的任意一个可以用于该目标所描述的上下文中,这两种实现是行为上可替代的,只是在非功能性的特征方面有所不同,如执行时间、代价、服务质量、授权、用户权限等。

在进行服务匹配的时候,目标  $g$  与服务  $s$  之间存在四种匹配关系:(1)  $g = s$ , 即服务与目标完全匹配,概念之间存在准确的匹配;(2)  $s \in SP(g)$ , 即服务是需求的一个子类型,对于需求是可满足的;(3)  $s \in GE(g)$ , 即需求是服务的一个子类型,那么需要对服务进行适当的改动来满足需求;(4) 需求和服 务之间不存在任何包含关系,匹配失败。

以一个空地攻防对抗仿真系统为例,其中的部分需求是“蓝方出动 F16 战斗机空袭红方高炮营阵地”,该目标可以被分解为目标对象分别为“F16 战斗机”、“高炮营阵地”、“预警雷达”等的子目标。该仿真剧情的实现需要这些仿真实体的参与,共同完成任务。用户所提出的需求主要是行动方面的,例如就“F16 战斗机”这个子目标而言,具体是要求蓝方出动 20 架 F16 战斗机,携带 XX 型导弹,对红方的高炮营阵地进行空中打击。这种行动上的描述需要被进一步转换成为功能特性的描述。由于需求本体中的目标对象是在领域本体中定义和描述的,所以用户在定义需求的时候可以直接从中选取,从而有效地实现这一转换。例如,军用飞机领域本体定义了飞机、战斗机、预警机、F16 战斗机等,定义了携带的导弹类型、携带的雷达类型、飞行方向属性等。

### 3.2 服务组合的一般过程

如图 4 所示仿真服务的组合过程如下:

步骤 1: 仿真服务提供生成基于 WSDL 和 DAML-s 的服务描述信息,并将该信息注册到 UDDI 服务器中。

步骤 2: 仿真用户通过引用领域本体库建立需求描述,进行仿真联邦的概念建模,产生仿真剧情,并进一步开发具体的联邦需求。

步骤 3: 具体的联邦需求将通过仿真引擎实现最终的实例化和执行。

步骤 4: 通过仿真引擎进行需求与服务的匹配,找出最符合需求描述的仿真服务,然后进行服务的绑定,设置调用的输入参数和输出参数,准备进行具体的调用。

步骤 5: 调用所匹配的仿真服务,并进行相应的参数传递,完成任务实例。

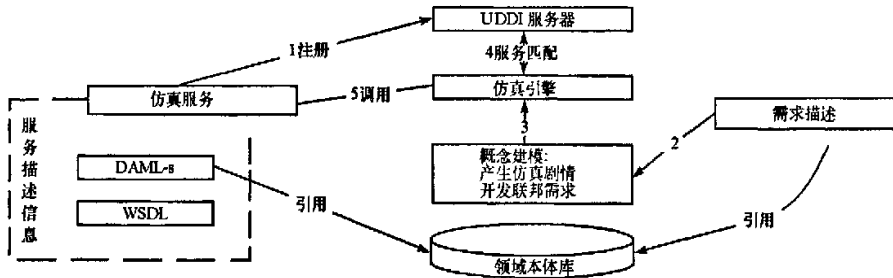


图 4 仿真服务的组合

Fig.4 Simulation service composition

## 4 原型系统

基于 Globus 工具集,本文开发了一个 SOSD 原型系统对上述研究进行验证,系统中主要包括:仿真服务容器(SSContainer)、仿真服务注册模块(Registry)、组合管理模块(Composition Manager)、仿真服务搜索模块(Find)、场景显示模块(Display)、运行监控模块(Monitor)。仿真服务提供者通过 Registry 向 SSContainer 注册服务的描述信息,包括服务的物理地址、调用方法、功能属性等。SSContainer 是一个虚拟容器,存放着仿真服务的语义描述信息。系统中与仿真用户直接相关的三个模块是 Find、Display 和 Monitor,它们通过 Composition Manager 实现对仿真服务的查找和调用。Composition Manager 中由多个软件

Agent 负责处理具体的计算和调用,包括匹配 Agent、实例化 Agent、同步 Agent、计算 Agent 和优化 Agent。匹配 Agent 负责进行服务的匹配计算,实例化 Agent 负责调用、执行匹配 Agent 返回的仿真服务,同步 Agent 负责新加入系统的仿真成员与系统之间的同步,计算 Agent 实现对模型行为/规则的进化计算,优化 Agent 通过组合优化创建更为复杂的模型行为,并将结果返回给仿真服务容器。系统的功能图如图 5 所示。

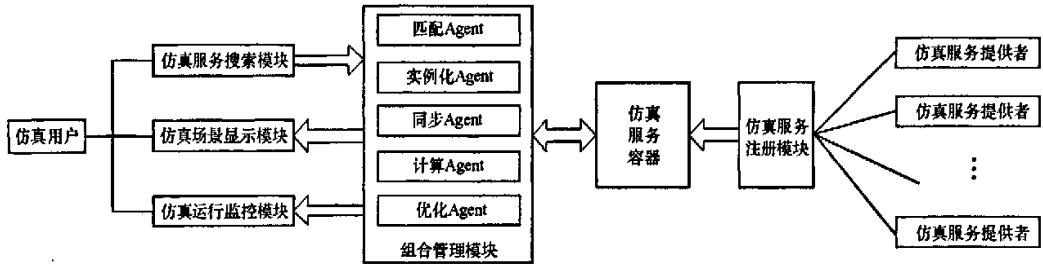


图 5 SOSD 系统功能图

Fig. 5 SOSD system function

给定的仿真需求是利用已有的仿真服务实现一个空地攻防对抗仿真系统,基本剧情是红方以  $\times \times$  高炮营作为某野战机场的防空兵力组成防御态势,蓝方出动两批  $\times \times$  战斗机攻击红方驻守某野战机场的防空兵力。为演示该过程,首先利用注册模块将封装好的、该仿真系统实际所需仿真服务(包括  $\times \times$  战斗机仿真服务、 $\times \times$  高炮营仿真服务等)注册进仿真服务容器。服务的描述信息包括:(1)物理信息:URL 地址信息,服务对外提供的函数接口信息,I/O 参数格式、个数、顺序等信息;(2)性能信息:QoS 等非功能的性能指标;(3)语义信息:服务所完成功能的语义描述。然后,提取仿真需求,需求的目标对象包括: $\times \times$  战斗机、 $\times \times$  高炮营、 $\times \times$  导弹等,可以从领域本体中直接引用,搜索模块将这些本体描述发送给匹配 Agent,由匹配 Agent 进行匹配计算,而后返回满足要求的仿真服务。实例化 Agent 对上述仿真服务进行实例化,生成成员实例并加入联邦执行。

由上可见,SOSD 这种仿真开发模式是切实可行的,能够实现仿真用户与仿真服务的直接交互,在没有仿真开发人员参与的情况下,仿真用户独立完成对仿真服务的定制和组合,最终实现系统的构建。

## 5 结论

利用 Web 服务机制和本体知识初步实现了通过仿真服务定制和组合进行快速建模的方法,服务定制的过程在领域本体、需求本体和服务本体的共同支持下被交互式地创建。下一步的工作将从以下几个方面展开:(1)完善仿真服务的描述,特别是对仿真上下文的语义约束信息的描述;(2)进行系统的有效性评估和组合服务的有效性验证;(3)服务所封装的模型行为在组合过程中会不断地进化发展,涌现新的行为和规则,需要建立相应的组合优化算法。

## 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 [EB/OL]. XMSF Workshop and Symposium Report, Monterey California, 2002. <http://www.MovesInstitute.org/xmsf>.
- [2] Zhang T, Zhang C F, Liu Y S, et al. A Design of Distributed Simulation Based on GTS Core [C]//Proceedings of the Second International Workshop on Grid and Cooperative Computing, Springer, LNCS 3033, Shanghai, December 2003, 590-596.
- [3] Zong W B, Wang Y, Cai W T, et al. Grid Services and Service Discovery for HLA-based Distributed Simulation [C]//Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Application (DS-RT'04), 2004.
- [4] Morse K L, Petty M D, Reynolds Jr P F, et al. Findings and Recommendations from the 2003 Composable Mission Space Environments Workshop [C]//Proceedings of the 2004 Spring Simulation Interoperability Workshop, Arlington VA, April 18-23 2004, 313-323.
- [5] Fiatrich P A, Miller J A. Ontologies for Modeling and Simulation: Issues and Approaches [C]//Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, Washington D. C. December 2004, 259-264.

