面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统设计

谭 娟 李伯虎

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 采用面向服务的体系结构(SOA, Service-Oriented Archilecture)的 C4ISR/Sim 集成系统可以借助其体系结构的优势,达到信息获取方式和信息表示语法上的一致. 提出的面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统通过扩展 SOA,采用系统的层次化的语义体系不仅改善了系统构建的灵活性、可重用性和可扩展性等问题,而且实现了集成系统的语义互通. 该体系结构以核心服务层的领域本体模型为基础,扩展定制服务层的模型服务语义描述,通过语义服务匹配,实现应用层的需求描述到系统组成之间的自动映射. 原型系统的实现证明了设计方法的正确性和可行性.

关 键 词: 语义; 本体; Web 本体语言; C4ISR/Sim

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)10-1226-05

Design of semantics-oriented C4ISR/Sim integrated system

Tan Juan Li Bohu

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: C4ISR(command control communications computers intelligence surveillance and reconnaissance)/Sim(simulation) integrated system developed under service-oriented architecture(SOA) can use same information acquiring methods and information representation syntax. Semantics-oriented C4ISR/Sim integrated system proposed is to extend SOA by hierarchical semantic structure, which was improved in flexibility, reusability and expansibility of system construction as well as semantic interoperability of integrated system. Based on domain ontological model in core service layer, the architecture expanded semantic description of model service in domain-specific service layer. Using semantic service matching, it realized automatic mapping between requiring description in application layer and the composition of system. Realization of prototype system proves that its design method is correct and applicable.

Key words: semantics; ontology; Web ontology language; C4ISR/Sim

随着系统复杂程度和规模的扩大,C4ISR(Command Control Communications Computers Intelligence Surveillance and Reconnaissance)系统和仿真系统(Sim)都从独立的系统发展到基于统一框架或体系结构的应用系统,以改善各领域系统之间互操作和集成. 然而,由于各个领域发展的独立性,其框架或体系结构在最初设计中并没有考虑领域之间的互操作和集成,而 C4ISR/Sim 系统集成的完善程度决定着两个系统优势互补程度. 虽然各个领域的研究人员不断改善各自框架和体系结构,提供各种接口以实现两个领域系统之间的集成,但由于系统"烟囱式"开发方法,集成系统的灵活性、可重用性和可扩展性等问题还是得不到充分解决. 接口驱动的方法显然很难满足现在日新月异、纷繁复杂的应用要求,需要新的软件集成方法.

近几十年来,信息技术的一个重大突破就是网络技术的发展与应用,它不仅是技术上的创新,

收稿日期: 2005-11-22

基金项目: 国家 863 资助项目(2004AA104330)

作者简介: 谭 娟(1975-),女,湖南益阳人,博士生, tanjuan3557@163.com.

同时也改变了人们应用技术的思想和观念. 信息系统借助网络技术的发展从原来的面向问题、面向对象发展为面向服务的概念,仿真系统以及 C4I 系统从各自领域的发展来看不约而同地走到了应用 Web 技术的系统构建模式上来,XMSF(Extensible Modeling and Simulation Framework)[1] 及 NCES(Net-Centric Enterprise Services)[2] 的提出就是这种思想的具体体现. 因此,SOA(Service-Oriented Architecture)下构建 C4ISR/Sim 集成系统将是一种有用的尝试.

尽管面向服务的体系结构(SOA)具有许多优势,但还存在需要扩展和完善的技术领域. 本文将讨论 SOA 下构建 C4ISR/Sim 集成系统的语义扩展机制,设计一种面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统,在利用 SOA 解决可重用性、可扩展性和松耦合等问题的同时,改善集成系统的语义互操作性和系统构建的灵活性.

1　SOA 的语义扩展

解决 SOA 体系结构下应用系统的语义互操作问题及服务的动态匹配和调用问题可以归于语义 Web 的技术范畴,而其中的主要支撑技术则是本体技术. 从知识共享的角度看,本体可以看作是一种概念化的显式说明,是对客观存在的概念和关系的描述,它将隐含在分析者头脑中的或是实现者程序中的概念模型表达出来,大大减小了对问题域中概念和逻辑关系可能造成的误解[3].

本体技术已经较多地应用于人工智能、知识工程领域. 近年来,随着面向服务、基于 Web 的系统体系结构的逐渐完善,提出了在服务描述、服务发现基础上的服务自动组装、协同和交互的需求. 随着 SOA 体系结构下服务资源的不断完善,用人工的、静态的绑定服务来完成用户的需求将是费时、费力的工作,而且结果也不一定是最佳的,这对于 SOA 应用系统的开发是一大障碍. 服务的动态发现、组装、协同和交互的自动化程度从某种意义上决定了 SOA 体系结构的优势发挥程度. 解决这个问题对上层技术及下层技术都提出了新的挑战,其中“带语义”的服务描述就是实现上层服务自动组装、协同和交互必须解决的核心问题.

目前,语义 Web 在 Web 服务方面侧重于在服务描述层应用本体技术来达到语义描述的目的,并在此基础上实现基于语义的服务查找、匹配和组合. 语义 Web 的研究已经形成了 OWL(Web Ontology Language)语言规范,并在此基础上形成了 Web 服务的 OWL 本体语言规范 OWL-S. 大多数研究都从 Web 服务的本体模型着手,从通用的概念上解决服务基本的查找、匹配和组合. 这些研究虽然从功能上探索了实现语义 Web 的基本途径,然而因为它们没有针对具体应用,因此离具体应用还有很大的差距.

对 SOA 的语义扩展不是从某点或某个方面就能达到预期效果的,它本身同样是一个系统工程,需要从系统的角度考虑增强 SOA 体系结构下应用系统在语义互操作及服务的自动理解和处理,具体来说可以从系统数据层、服务层和组合层(应用层)进行考虑. 首先,在数据层提供与系统领域相关的本体数据模型,以描述集成系统所有交互信息的概念、定义和相互关系. 本体数据模型应该作为面向语义的应用系统的基础,不论是服务的语义描述,还是基于语义的服务组合,都需要这个模型提供基本的数据及其关系的定义;其次,在服务层提供服务语义描述所需要的支撑信息和服务,包括将 Web 服务描述转换为符合 OWL-S 标准的语义 Web 服务描述,利用本体数据模型修改语义 Web 服务描述,扩展其具有的领域语义信息;最后,在组合层则为应用系统用户提供友好的人机界面,描述用户的需求. 该描述基于本体数据模型,能清楚地反映用户对服务组合的要求(偏好),根据这些要求可以自动匹配和组合合适的服务资源,服务的自动执行将给出满足用户要求的问题的求解.

2　面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统

要充分发挥本体技术在 SOA 应用系统中的作用,需要层次化的本体支持服务,为应用系统提供数据层、服务层和组合层的语义服务,最终实现应用系统自下而上的语义互通. 首先可以确定,基于 Web 的 C4ISR/Sim 集成系统采用 SOA 体系结构是必然也是必要的. 由于 C4ISR 和 M&S 领域发展的独立性,以及它们之间的互相依赖关系,从应用的角度而言,对集成系统的语义扩展是可能而且必要的. 针对所研究的问题,本文提出一个面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统体系结构,如图 1 所示. 该体系结构充分考虑 C4ISR 和 M&S 领域的发展现状和趋势,应用和发展 Web 服务技术及各自领域的技术,从系统的各个层次来解决 SOA 下 C4ISR/Sim 集成系统的语义互操作问题.

从信息系统的角度,任何形式的信息最终都归结为信息的数据表示和传输. 在 SOA 下的应用系统最终采用 XML 数据表示方式及一致的信息传输协议,如 SOAP. 在此之上分别是核心服务、

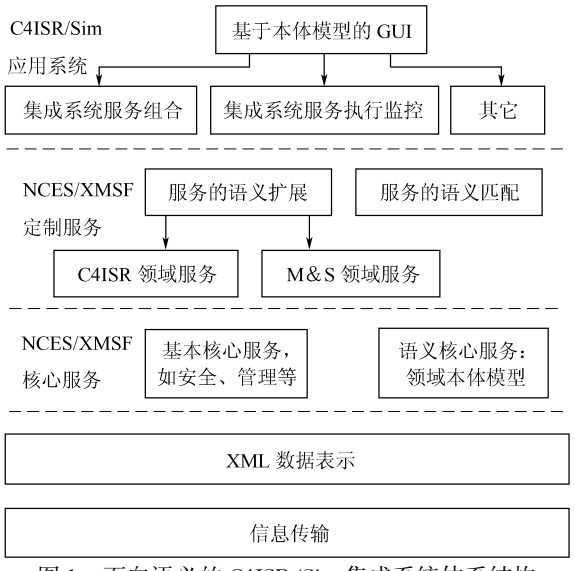


图1 面向语义的C4ISR/Sim集成系统体系结构

定制服务及应用系统,下面分别说明.

1) NCES/XMSF 核心服务

就服务本身而言,服务之间是没有区别的,不同的是服务的应用. 核心服务指的是通用性强,而且为大多数应用系统或其它服务所用的服务,如注册、管理、安全等功能服务. 在 NCES 的初步设想中提出了九大类核心企业服务[2],这些服务共同提供了应用系统问题求解的基础环境. 从某种意义上讲,这些种类的服务对任何领域构建面向服务体系结构下的应用系统都是适用的,因此在 XMSF 框架下也可以将这些服务分类作为应用系统的底层核心服务.

本文研究的是语义核心服务:领域本体模型. 一方面,它可以作为其它核心服务功能完善的基础,一个典型的例子就是发现服务. 领域本体模型能为发现服务的说明和信息模型提供与领域相关的元数据,在服务的元数据的基础之上为信息消费者和信息提供者之间构建计算机可处理的、具有丰富领域知识信息的语义平台. 另一方面,它也能为核心服务之上的领域定制服务的描述、发现、组合及协作所应用. 基于领域本体模型的服务描述,使得对服务功能及服务的输入、输出信息有了一致的理解,从而有利于服务的发现、组合以及服务之间的交互. 特别是对于来自 C4ISR 和 M&S 不同领域的服务,信息之间的语义互通显得犹为重要.

2) NCES/XMSF 定制服务

在核心服务之上需要建立与应用背景相关的一系列定制服务. 如 NCES 中所描述的 COI(Community of Interest)特定的功能服务包括 C2、后勤等. 由于 NCES 从 COE(Common Operating Environment)发展而来,COE 中模块化的"片段"(segment)可以很容易地转化为以 Web 服务形式提供的功能模块. 而 XMSF 框架下目前主要开展的还是 Web 使能的和基于 Web 的研究,比如 Web-enabled RTI[4] 和 Web-based eXtensible 3D[5]. 但它们都还停留在运行和设计中使用 Web 技术的阶段,并没有以 Web 服务作为主要信息交互方式来构建应用系统,这与仿真领域的发展状况有关. 然而,作为信息系统的一个分支,作者认为仿真系统必将走向与 NCES 在系统信息交互方式的统一,即以 Web 服务作为主要的信息交互方式. 在这种统一之下,应用系统可以不加区分地对待从 C4ISR 领域和 M&S 领域提供的服务. 面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统正是基于这样的设想来进行改善系统信息语义互操作性以及应用系统智能性和灵活性方面的研究和探讨.

面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统定制服务层所要进行的工作主要有 2 个方面,一是对 C4ISR 和 M&S 领域的服务进行语义扩展,二是提供基于语义的服务匹配.

服务的语义扩展包括 2 个层次,一是服务的通用语义扩展,即将服务的 WSDL 描述转换为服务的本体描述 OWL-S,按 OWL-S 规范描述的服务有利于服务在通用意义上的发现、组合和互操作;二是服务的领域语义扩展,即对按 OWL-S 规范描述的服务注入领域信息. 领域信息有助于应用系统基于应用语境来发现、组合和协同服务,其中在服务描述中增加领域概念模型信息是非常有效的方法,它对于服务的管理和使用都具有特殊意义,由于领域概念模型的实现无关性,也为服务的重用奠定了基础. 定制服务层中的领域概念模型是以核心服务层的领域本体模型为基础的.

基于语义的服务匹配是联结语义扩展后的服务以及消费者之间的桥梁. 对服务的语义扩展使消费者从烦琐的服务查找和组合中解脱出来,因为基于本体的语义信息是计算机可理解和处理的,因此在消费者需求和基于语义的服务描述之间可以建立一定的匹配机制,并由计算机程序实现. 与服务的语义扩展相对应,基于语义的服务匹配可以利用 2 个层次上的语义,即通用语义和领域语义. 当然,服务匹配需要双方提供足够的信息,也就是服务提供者和消费者都要以一定的形式描述能力和需求. 因此,除了服务的语义扩展,还需要应用层采取相应的机制说明其需求.

3) C4ISR/Sim 应用系统

前面 2 个层次上所定义的服务和进行的扩展

都是为了应用系统能更方便和有效地利用这些服务. 应用系统根据其要达到的目的以一定的形式描述其需求,组织服务来构建系统. 在面向对象系统中,通过组合对象的功能来完成系统目标. 在面向服务的体系结构中,则是通过组合服务来完成系统目标.

目前的系统通常由领域专家以一定的方式表达系统需求,然后由程序员将这种系统需求转化为系统组成,需求的变化决定了系统组成的变化. 为了减小因需求的变化所引起的系统变化,研究人员采取了许多措施,如尽量将系统组成的实现部分独立出来,不受系统间关系改变的影响. HLA(High Level Architecture)仿真系统以 FOM(Federate Object Model)表的形式描述系统的组成关系,在一定程度上提高了系统的灵活性. 然而这种改善并不是本质上的.

系统组织方面的不灵活性以及对领域专家和程序员的双重依赖性对于快速开发应用系统是很大的障碍. 面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统利用核心服务层和定制服务层的语义服务和扩展可以改善这种状况. 首先,应用系统提供基于领域本体及在其基础上定义的应用本体的图形用户接口(GUI,Graphical User Interface),它们既能作为相应的模板自动生成用户界面,也是一个知识库,确保用户输入的正确性. 基于本体的 GUI 使用户以一定的方式描述系统组成及它们之间的关系,需求以基于 XML、OWL 等语言规范的文本文件存储,结构化的信息有利于重用. 这里,用户可以是完全不了解实现技术的领域专家. 另外,经过语义扩展的服务描述给出了足够详细的信息,这样,基于语义的服务匹配在用户需求描述和服务描述之间进行沟通,从而形成最终的系统组成. 用户对系统组成部分添加运行控制信息,则形成动态可运行的系统描述文件.

基于本体模型的 GUI 为用户提供了描述系统需求的平台,并且由于底层结构的支持能将这种描述映射到系统的静态结构和动态交互关系上,实现了快速、灵活组织系统和系统运行的目的. 而正是由于 C4ISR 和 M&S 的模块统一到了 Web 服务,在需求描述的过程中只需要考虑服务所提供的功能,而不需要考虑服务来自哪个领域.

3　体系结构的特点和优势

通过前面的讨论,可以对面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统体系结构进行总结,说明其主要的特点和优势.

1) 对 SOA 体系结构进行了层次化的语义扩展,形成了自下而上的语义体系. 领域语义模型在系统体系结构中的支撑性作用是面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统有别于其它系统的重要特点.

2) 对服务描述在基本服务语义的基础上增加了领域语义信息,有利于服务的应用. 通过领域概念模型和语义信息可以更加完善地描述服务的应用背景、作用、限制等详细信息,有利于用户或者计算机自动匹配一定要求的服务.

3) 基于本体模型的应用系统 GUI 增强了系统的灵活性. 以 Web 服务形式提供的组件功能使应用系统可以形式化地、动态地组织系统,不仅能保证用户规范地表示应用需求,而且能提供足够的信息使应用系统自动匹配和组织相应的组件完成系统功能.

4　原型实现

为证明该系统设计的思路,进行了原型系统实现. 该原型系统提供了面向军事仿真的问题求解环境,采用面向服务的体系结构,基本模型资源按照一定标准由 C4ISR 系统和仿真系统以服务的形式提供,包括领域本体模型、模型服务及扩展语义描述、问题(想定)描述 3 个基本组成部分,另外还包括作为控制核心的服务匹配和服务调度模块,具体结构图参见文献[6].

原型选择 C2IEDM(Command and Control Information Exchange Data Model)[2] 模型作为领域本体模型,并使用 W3C 提出的 OWL 改进和扩展性地实现了该模型的描述,即 O-C2IEDM(OWL version of C2IEDM),并在原模型概念的基础上增加了引申概念的定义. 模型中概念、属性、关系、约束、规则等信息能形式化地描述,并能被计算机所理解和处理. 基于 O-C2IEDM 实现了模型服务描述的语义扩展,并在描述中扩展 OWL-S 的结构,以定义领域概念模型的描述参数,为基于概念模型的服务匹配奠定了基础. 问题(想定)描述界面基于领域本体模型和以战场管理语言 BML[2] 的 5Ws(WHO、WHAT、WHEN、WHERE、WHTY)为基本模板定义的应用本体,确保了用户输入信息结构与本体模型的一致,并为服务调度和服务匹配提供了一致的语境信息. 在 3 个基本组成部分的基础上,服务匹配模块利用问题描述的语境信息,基于概念模型匹配合适的服务资源,而服务调度模块以一定的策略调度执行模型服务,保存服务状态,并在服务之间传递“有语义”的交互信息.

实践证明,按照面向语义的 C4ISR/Sim 集成系统体系结构实现的原型系统在系统构建的灵活性、可重用性、可扩展性和语义集成方面都比以往的集成方法有很大的改善.需要说明的是,所设计的系统体系结构提供的是一种思路和一种框架,其实现并不局限于使用什么样的领域本体模型,也不限制服务的语义扩展机制.总之,作者研究的指导思想是:在应用新技术改善原有问题解决方案的基础上更进一步,发现和解决更多的问题.

参考文献 (References)

[1] Don Brutzman, Michael Zyda, Mark Pullen, et al. Extensible modeling and simulation framework (XMSF) challenges for web-based modeling and simulation[R/OL]. 2002[2004-10-22]. https://www.movesinstitute.org/xmsf/xmsf.html

[2] Andreas Tolk. A common framework for military M&S and C4I systems[C/OL]. 2003 Spring Simulation Interoperability Workshop, 2005[2005-06-24]. http://www.sisostds.org/

[3] 宋炜,张铭. 语义网简明教程[M]. 北京:高等教育出版社,2004:108-111
Song Wei, Zhang Ming. A first step towards the semantinc web [M]. Beijing: Advanced Education Press, 2004: 108-111 (in Chinese)

[4] Katherine L Morse, Ryan Brunton, David Drake. Web-enabled RTI:an XMSF exemplar[EB/OL]. 2004[2005-05-12]. www.movesinstitute.org/xmsf/projects/WebRTI

[5] Pullen J Mark, Ryan Brunton, Don Brutzman, et al. Using web services to integrate heterogeneous simulations in a grid environment[EB/OL]. 2004[2005-05-12]. http://netlab.gmu.edu/pubs/

[6] Tan Juan, Li Bohu, Chai Xudong. Application of ontology in integration of C4ISR/SIM systems[C]//Proceedings of Asia Simulation Conference 2005/the Sixth International Conference on System Simulation and Scientific Computing. Beijing: International Academic Publishers World Publishing Corporation, 2005: 296-300

(上接第 1225 页)

6 结束语

本文在不确定和竞争环境下,建立了一个多家企业战略投资期权博弈的分析框架,探讨了企业战略进入新市场的不同战略均衡形式及其最优投资策略,并给予了企业最优时机和产量决策的具体实践.尽管本文均衡条件及投资策略规则有其复杂性,但完全可以通过计算机软件来模拟仿真计算与分析实现,既简便而又实用.当然,由于寡头垄断市场结构的复杂性,使得本文研究仅限于企业对称性的情形,同时,也忽略了混合策略均衡的分析.

参考文献 (References)

[1] Dixit A, Pindyck R. Investment under uncertainty[M]. Princeton: Princeton University Press, 1994

[2] Nielsen M J. Competition and irreversible investments[J]. International Journal of Industrial Organization, 2002(20):731-743

[3] Grenadier S R. The strategic exercise of options: development cascades and overbuilding in real estate market[J]. The Journal of Finance, 1996,51(5):1653-1679

[4] Huisman K J M, Kort P M. Effect of strategic interactions on the option value of waiting[R]. CentER Discussion Paper 9992, The Netherlands: Tilburg University, 1999

[5] Weeds H. Strategic delay in a real options model of r&d competition[J]. Review of Economic Studies, 2002, 69(3):729-747

[6] Pawlina G, Kort P M. Real options in an asymmetric duopoly: who benefits from your competitive disadvantage? [J]. Journal of Economics & Management Strategy, 2006, 15(1):1-35

[7] Grenadier S R. Option exercise games: an application to the equilibrium investment strategies of firms[J]. Review of Financial Studies, 2002, 15(3):691-721

[8] Murto P, Nasakkala E, Keppo J. Timing of investments in oligopoly under uncertainty: a framework for numerical analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 157(2): 486-500

[9] Bouis R, Huisman J M K, Kort P M. Strategic real options: three firms[EB/OL]. Tilburg: Tilburg University, 2005 [2006-04-20]. http://realoptions.org/papers2005/Huisman_threefirms.pdf

[10] Kijima M, Shibata T. Real options in an oligopoly market[EB/OL]. Kyoto: Kyoto University, 2004 [2006-04-20]. http://www.kier.kyoto-u.ac.jp/coe21/dp/31-40/21COE-DP033.pdf

[11] Leahy J. Investment in competitive equilibrium: the optimality of myopic behavior[J]. Quarterly Journal of Economics, 1993, 108(4):1105-1133

[12] Fudenberg D, Tirole J. Preemption and rent equalization in the adoption of new technology[J]. Review of Economic Studies, 1985,52(3): 383-401