基于 BOM 和 FEDEP 的多分辨率建模框架

李 元 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 100191）

胡晓峰 柴旭东

（国防大学 信息作战与指挥训练教研部，北京 100091） （北京仿真中心，北京 100854）

摘 要：为了规范和统一多分辨率模型的描述方法、建模步骤和活动，提出一种基于 BOM（Base Object Model）和 FEDEP（Federation Development and Execution Process）的多分辨率建模框架. 该框架包括 3 种基于 BOM 的多分辨率建模方法和基于 FEDEP 的多分辨率建模过程. 简要介绍这 3 种方法，重点分析 FEDEP 中与 BOM 和多分辨率建模相关的基本活动，将基于 BOM 的多分辨率建模过程与 FEDEP 集成在一起. 该框架可以实现多分辨率模型描述的形式化和通用性、建模步骤和过程的规范化，促进多分辨率模型的重用、互操作和组合，保证模型的一致性和多分辨率建模的有效性.

关 键 词：多分辨率建模；框架；过程；基本对象模型；联邦开发与执行过程

中图分类号：TP 391.9

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2012)03-0368-06

Framework for multi-resolution modeling based on BOM and FEDEP

Li Yuan Li Bohu

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Hu Xiaofeng

(Department of Information Warfare and Command Training, National Defense University, Beijing 100091, China)

Chai Xudong

(Beijing Simulation Center, Beijing 100854, China)

Abstract: To normalize and generalize representing multi-resolution models (MRMs) and the process as well as the activities in multi-resolution modeling (MRM), a framework for MRM based on base object model (BOM) and federation development and execution process (FEDEP) was put forward. The framework is comprised of three MRM approaches based on BOM and a MRM process based on FEDEP. The three methods were introduced briefly. By setting forth those fundamental activities in FEDEP concerned with BOM and MRM in detail, the process of BOM based MRM was integrated into the FEDEP. The framework can formalize the representations for MRMs and normalize the activities and process for MRM. This facilitates the reuse, interoperability and composability for MRMs and consistencies among them, which asserts the effectiveness for MRM.

Key words: multi-resolution modeling (MRM); framework; process; base object model (BOM); federation development and execution process (FEDEP)

收稿日期：2010-10-15；**网络出版时间**：2012-03-20 10:37

网络出版地址：www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20120320.1037.001.html

基金项目：国防重点实验室资助项目；国家 973 资助项目(2007cb310900)

作者简介：李 元(1973－)，男，重庆人，博士生，yuenyuenlea@yahoo.com.cn.

多分辨率建模主要研究如何建立同一对象或实体不同层次上的模型,或建立同一实体的不同分辨率属性或不同分辨率过程的模型. 为了满足人们在多个层次和层面上认知事物和推理的需要,有时为了节约经济成本,或由于开发时间和仿真资源的限制,或由于难以建立高分辨率模型等原因,只能建立粗细结合的多分辨率模型;或系统复杂性、涌现行为等因素要求在多个分辨率级别上对实体进行建模;所有这些,都涉及多分辨率建模问题[1-3]. 另外,多分辨率建模还是影响分布式仿真中模型重用、可互操作和可组合的关键因素. 文献[4]指出,多分辨率模型的互操作问题已成为严重阻碍分布式仿真和分布式虚拟环境的发展而急需解决的最为现实的问题和重大挑战之一.

目前,人们针对各自的研究领域和问题,发展了 10 余种多分辨率建模方法和工具[1-3],从一定程度上解决了多分辨率建模中的某些问题. 但事实表明:人们难以利用目前已知的任何一种方法或工具来建立一致、有效的多分辨率模型和仿真系统. 主要原因为:①这些方法只针对多分辨率建模问题的某个方面而设计,缺乏通用性,不一定适合特定的应用,加之实际应用中多分辨率建模问题可能远远比人们想象的要复杂的多,因而难以利用现有的方法和工具建立符合特定应用需求的多分辨率模型;②长期以来缺乏一种统一、通用的多分辨率模型的形式化描述方法、建模框架和过程,导致目前众多的多分辨率建模方法或工具在模型描述时无法遵循统一的模型(包括一致性)结构、形式和建模过程,因而多分辨率模型和仿真的一致性和有效性难以从形式和理论上得到保证. 如果模型具有完全不同的表示,也许根本就没有很好的办法将他们互连[5]. 因此,最好的选择是在模型设计之初就考虑模型分辨率和模型抽象层次问题,并尽可能在统一、标准的框架下,遵循规范的建模过程,采用相同的模型描述和表示格式.

为此,本文作者在文献[6-7]中提出了基于基本对象模型(BOM, Base Object Model)[8-9]的模式聚合和实例聚合的两种多分辨率模型形式化描述方法. 在此基础上本文进一步研究基于基本对象模型和联邦开发与执行过程(FEDEP ,Federation Development and Execution Proces)[10]的多分辨率建模框架和过程,建立更加完整的基于 BOM 的多分辨率建模框架以及基于 FEDEP 的多分辨率建模规范化过程.

1　BOM 多分辨率建模的动机

选择 BOM 进行多分辨率建模的原因如下:

1) BOM 本身是一种描述仿真组件的通用标准,利用 BOM 来描述多分辨率模型将使多分辨率建模迈向标准化和通用化.

2) BOM 完全基于 HLA OMT(High Level Architecture Object Model Template)[11],是一种格式化(模板)的半形式模型描述方法[12],因而利用 BOM 来描述多分辨率模型将使多分辨率建模形式化. 形式化具有语法检查、语义清晰的特点,也是一门学科成熟的标志,是建立统一、通用的多分辨率建模工具的基础[3].

3) 实现多分辨率建模目标的同时确保多分辨率模型的可重用性、可互操作性和可组合性. 在分布式交互仿真与建模环境下,多分辨率问题往往与互操作和可组合问题密不可分. 事实上,人们在研究和致力于解决互操作问题时,往往涉及不同分辨率模型的互操作问题,同样,可组合问题也会涉及不同分辨率模型的组合问题. 文献[13]认为,多分辨率建模与模型组合问题具有某些相同的动机,包括:模块化和重用,以及跨分辨率、跨学科、不同视角和多种场景有效协同的需求等. 这就要求多分辨率建模必须考虑模型的互操作和组合问题. BOM 作为基于组件的仿真系统开发、模型组合以及概念建模的通用标准[14],已成为迄今为止解决仿真组件重用、模型组合和概念建模最为得力的使能技术. 因而,利用 BOM 实现多分辨率建模的同时有助于实现分布交互仿真模型重用、互操作和可组合.

4) 在实现 BOM 组件时,可以充分利用模式技术[6-7,15],可以实现仿真组件的重用,快速构建仿真系统,实现不同分辨率仿真组件的动态切换提高多分辨率建模的动态适用性和灵活性,还能实现仿真资源的共享,优化仿真成本,提高仿真效率,对于大规模分布交互仿真具有重要意义.

5) 利用 BOM 一致性映射描述与实现相分离的特点,可以在仿真运行时动态配置一致性映射函数,确保多分辨率模型一致性和多分辨率建模的有效性[6-7].

HLA 仍然是目前最为先进的分布式建模与仿真体系结构标准[4],BOM 虽然不局限于在 HLA 中使用,但将 BOM 和 HLA 结合起来,无疑是解决仿真模型重用、互操作、可组合和可扩展性最好的选择. 事实上也表明:目前众多对 BOM 的研究和应用都是在 HLA 体系下来考虑如何运用 BOM 来

实现互操作、重用和可组合问题. 文献[14]认为作为仿真组件通用标准的 BOM 可以作为模型组合的首选,并就 FEDEP 中基于 BOM 的模型组合思想和方法进行了论述. BOM 使用和实现指南[9]中也重点阐述了 FEDEP 中的 BOM 活动以及 BOM 如何支持成员和联邦设计与开发. 为此,本文在 HLA/FEDEP 体系下来研究基于 BOM 的多分辨率建模,提出建立基于 BOM 和 FEDEP 的多分辨率建模规范化过程的思想.

2 基于 BOM 的多分辨率建模方法

本文在前期研究工作中提出了基于 BOM 聚合的多分辨率建模方法,即通过 BOM 聚合来形成一个更高级的 BOM 组合,在更高级别上对实体进行建模. 根据被组合对象的性质,可将 BOM 组合分为异质对象组合和同质对象组合,二者都符合多分辨率建模中模型聚合的概念,统称为 BOM 聚合,有 2 种类型:模式聚合(pattern aggregation)和实例聚合(instance aggregation),由此存在基于模式聚合和基于实例聚合的多分辨率建模方法[6-7]. 下面阐述基于 BOM 与其组件实现相分离原理的多分辨率建模方法[15],以 3 种方法为基础建立完整的基于 BOM 的多分辨率建模参考模型.

2.1 基于 BOM 与其实现相分离原理的分辨率建模方法

基于 BOM 与其组件实现相分离原理的多分辨率模型的建立方法,就是充分利用 BOM 概念模型(接口)与其组件实现(BCI, BOM Component Implementation)相分离的特点,为同一个 BOM 开发多个不同分辨率的 BCI[15]. BOM 概念模型不仅包含真实世界中元素的静态描述(以仿真概念实体和事件的方式),还包含这些元素如何相互关联或交互的信息(以交互模式和状态机的方式),即 BOM 不仅以 HLA OMT 的形式表达仿真交互接口,还能够以仿真交互模式的形式表达仿真逻辑,因而完全可以根据一个 BOM 来开发其对应的组件实现 BCI. 但 BOM 并不强制 BCI 的具体实现方法,这样就可以根据 BOM 概念模型中对仿真活动的描述来为同一个仿真活动提供多个具有不同分辨率的组件实现,如图 1 所示.

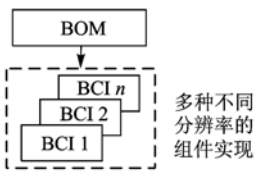

图 1 基于 BOM 与其组件实现相分离原理的多分辨率建模

在仿真执行期间,根据需要通过一种协调机制动态加载和改变不同分辨率模型,这样就可以对实体的不同分辨率进行建模.

2.2 基于 BOM 的多分辨率建模参考模型

将 BOM 聚合产生的 BOM 组合称之为聚合 BOM(相当于耦合模型),被聚合的单个 BOM 为解聚 BOM 或原子 BOM(相当于原子模型). 聚合 BOM 比原子 BOM 描述的抽象层次更高,由于 BOM 组合仍然是一个 BOM[7],因此聚合 BOM 可以作为一个原子 BOM 再次参与组合,这样不断递归下去,最终形成一个层次化的多分辨率 BOM 体系. 具体如图 2 所示,通过 BOM 的模式聚合(如武器系统的聚合,见图中实心菱形箭头)和实例聚合(如坦克排的聚合,见图中空心菱形箭头)以及两种聚合的组合应用(如高炮连的聚合),可以从高分辨率的实体(如武器平台)级模型逐级聚合形成各级聚合模型(如战斗小组). 由于 BOM 组合和组合模式都具有递归组合的能力,这样就可以不断的对 BOM 概念模型及其仿真组件进行递归组合,从而快速构建层次化的模型体系和仿真系统. 在每一层次上,还可以建立同一 BOM 多个不同分辨率版本的组件实现(见图中三角箭头).

不同层次 BOM 之间(即各级 BOM 或 BOM 组合之间)的一致性映射通过属性关系视图 ARV(Attributes Relationship View)来描述,仿真期间通过动态解析 ARV 文档来保持不同分辨率层次仿真模型(BCI)之间的一致性(见图中开放型箭头)(ARV 是 BOM 的一个扩展模板组件,请参见本文前期研究工作[6-7]).

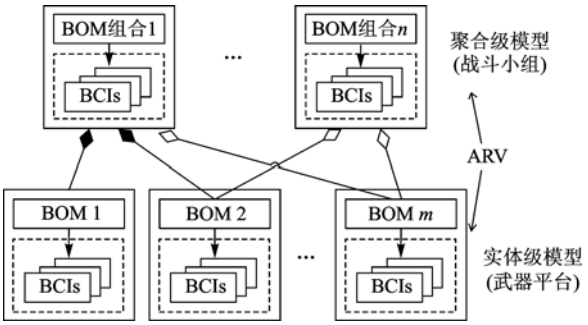

图 2 基于 BOM 的多分辨率建模参考模型

3 BOM 多分辨率建模与 FEDEP 集成

文献[3,16]中分析了多分辨率建模相关的 FEDEP 活动,对本文有一定的启示作用,但本文重点关注 BOM 以及 BOM 参与到多分辨率建模中的活动问题. BOM 使用与实现指南[9]阐述了 FEDEP 中的 BOM 活动,本节在此基础上分析

FEDEP 中与基于 BOM 的多分辨率建模相关的活动. 图 3 为 BOM 多分辨率建模与 FEDEP 的集成过程.

1) 定义联邦目标.

在这一步骤中,需要确定整个联邦的仿真空间(范围)和分辨率,仿真空间影响分辨率的确定. 比如,确定要仿真的整个空间为某个战区,参战兵力涉及该战区的陆军一个师,空军一个飞行联队,海军一个支队,并由此确定整个系统的分辨率为战区战役级.

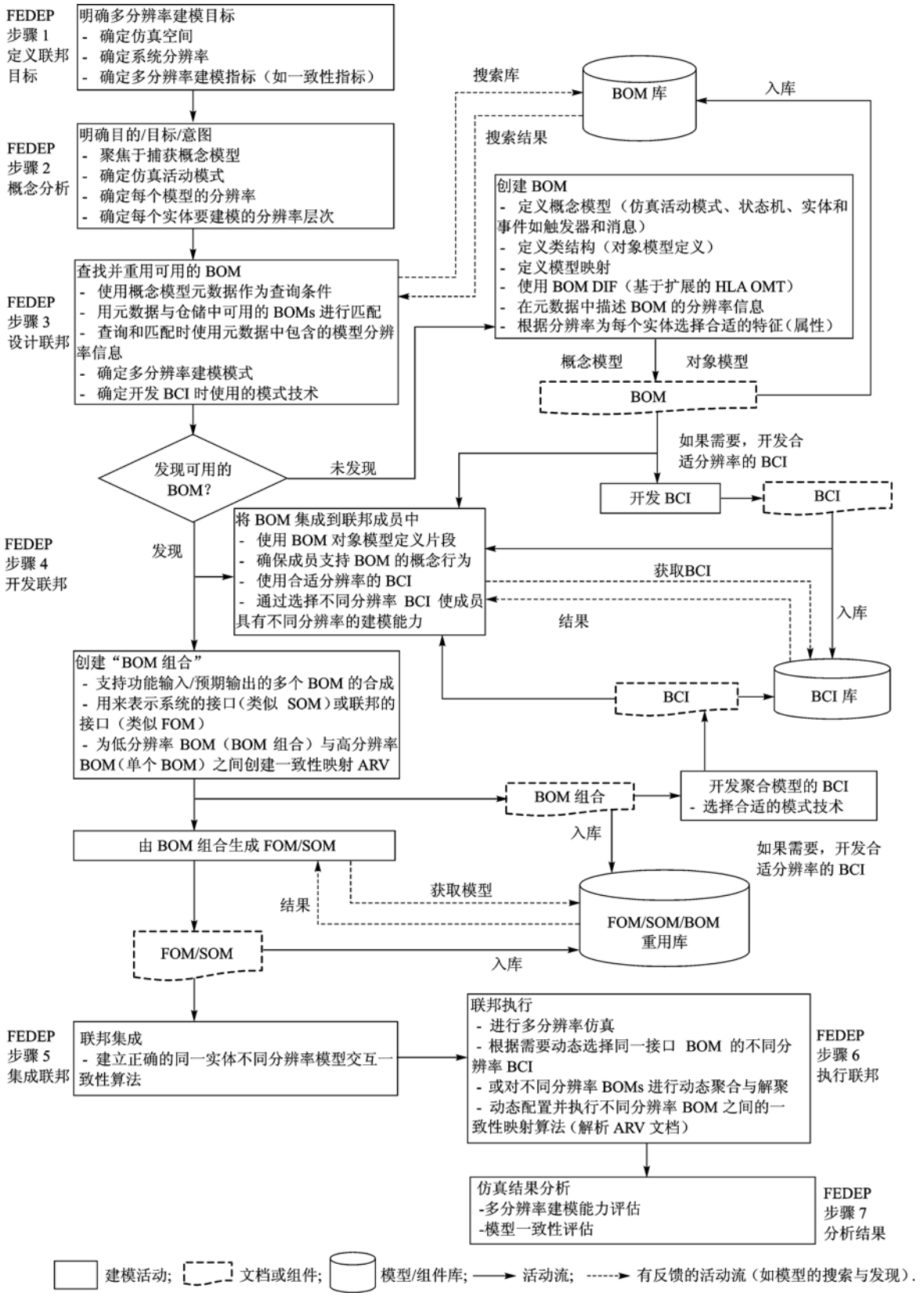

图 3　基于 BOM 和 FEDEP 的多分辨率建模活动及过程

2）概念分析.

根据联邦目标确定每类模型和系统的分辨率,确定各类仿真交互模式,包括以下要点:

① 捕获概念模型. 聚焦于概念模型的表达,确定要描述的仿真交互模式,如确定要描述武器交火模式、探测干扰模式、通信模式和实体机动模式等.

② 确定模型分辨率层次. 确定每个概念模型或交互模式的分辨率层次,如确定武器交火模式需要在武器平台级、武器系统级和体系对抗级3级上进行描述.

3）设计联邦.

这一步要确定整个联邦成员划分及每个成员的分辨率,确定如何开发联邦,包括以下要点:

① 成员划分[3]. 根据实体分辨率情况来划分成员,以为成员确定一个合适的分辨率.

② 查找合适的 BOM. 根据概念模型查找合适的 BOM,以确定是新开发还是重用 BOM. 概念模型元数据中包括分辨率信息,在查找和匹配 BOM 时需要用到这些信息.

③ 确定多分辨率建模模式. 根据前面的联邦目标和概念模型确定要采用的模式技术. 如果要建立同一接口下的多种分辨率版本的模型,则采用桥接模式;如果需要建立不同层次的模型,则采用 BOM 聚合来建立层次化的 BOM 体系,如果属于同类对象的实例聚合(如坦克聚合为坦克排,飞机聚合为飞机编队等)则采用共享模式技术,如果是异质对象的聚合(如将各组成部件聚合为武器平台)则采用组合模式技术,如果是同质模型和异质模型的混合对象则组合应用组合模式和共享模式,如高炮连的聚合(高炮连由一个雷达和三门高炮组成,首先利用共享模式来管理高炮组件实例,然后高炮组件再与雷达组件聚合为高炮连组件).

④ 为每个成员确定要使用的模式技术. 根据成员划分情况和多分辨率建模模式确定成员要使用的模式技术(桥模式、组合模式或共享模式),不同的模式技术将影响仿真组件 BCI 和成员的代码结构.

4）开发联邦.

进行具体的联邦开发,包括以下要点:

① 开发 BOM. 根据前面的查询结果,如果需要,便开发新的 BOM.

② 开发 BOM 组合. 同样,根据前面的查询结果,如果需要,便开发新的 BOM 组合或补充一个已有的 BOM 组合. 开发 BOM 组合时,根据前面(联邦设计)确定要使用的 BOM 聚合类型来进行,或使用模式聚合或使用实例聚合.

③ 利用 ARV 模板进行模型一致性映射描述基于 ARV 模板描述不同(分辨率)层次 BOM 之间的一致性映射,如坦克 BOM 与坦克排 BOM 之间的一致性映射关系,此过程中可充分利用文献[1]提供的属性依赖图 ADG(Attribute Dependency Graph).

④ 开发 FOM/SOM. 通过 BOM 组合生成 FOM/SOM,组合过程中可能重用已有的 FOM/SOM/BOM.

⑤ 开发 BCI,实现成员. 根据需要开发或重用 BCI,并实现成员,这个过程充分使用模式技术:利用桥接模式为同一个 BOM 实现多种分辨率版本的 BCI 并建立不同分辨率 BCI 之间的切换机制;利用组合模式或共享模式开发 BOM 组合的组件实现,重用 BCI 组件并实现层次化的仿真模型.

5）集成联邦.

建立正确的同一实体不同分辨率模型交互一致性算法. 当同一实体不同分辨率模型同时参与仿真时,在与外界交互时容易产生并发交互和同态交互[3]导致交互不一致,此时可以利用交互分解原则[1]和交互冲突消解策略[3]对交互进行一致性组合.

6）执行联邦.

① 分辨率动态切换:选择执行同一接口 BOM 的不同分辨率 BCI 或进行不同分辨率层次模型的动态聚合与解聚.

② 动态配置并执行 ARV[6-7]:动态配置并执行 ARV 文档,实现模型一致性映射函数的动态配置,确保不同分辨率层次模型之间的一致性.

7）分析仿真结果.

评估多分辨率建模目标的实现情况,包括是否满足要建模的分辨率、分辨率的变化要求、模型一致性和仿真成本控制等目标,并反馈分析结果至前述相应的步骤.

以上述 BOM 和基于 BOM 的多分辨率建模活动来重新描绘 BOM 活动图(BOM 使用与实现指南[9]中的图9),如图3所示,主要改进体现在以下几点:①明确了与多分辨率建模相关的 BOM 活动;②将开发 BCI 作为 BOM 活动的重要环节;③表明了 FEDEP 中如何应用 BOM 多分辨率建模的各种方法. 这样,就实现了基于 BOM 的多分辨率建模过程与 FEDEP 的集成,从而建立起了基于 BOM 和 FEDEP 的多分辨率建模规范化过程.

4　结　论

基于 BOM 的多分辨率建模框架可以充分利用 BOM 的优点,实现多分辨率模型描述的格式化和形式化,同时实现模型重用、互操作和可组合等多重目标,还能容易与 FEDEP 集成,规范整个多分辨率建模的步骤和活动,确保多分辨率建模目标的实现.

参考文献(References)

[1] Natrajan A. Consistency maintenance in concurrent representations [D]. School of Engineering and Applied Science of University of Virginia,2000

[2] Klír J. Variable resolution modeling in interactive simulation [R]. DCSE/TR-2004-07,2004

[3] 刘宝宏. 多分辨率建模的理论与关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学机电工程与自动化学院,2003
Liu Baohong. Research on theory of and key techniques for multi-resolution modeling [D]. Changsha:School of Mechatronics Engineering and Automation,University of National Defense Science and Technology,2003 (in Chinese)

[4] Straβburger S,Schulze T,Fujimoto R. Future trends in distributed simulation and distributed virtual environments:results of a peer study [C]//Mason S J,Hill R R,Mönch L,et al. Proceedings of the 2008 Winter Simulation. Austin,TX,USA:Association for Computing Machinery(ACM),2008:777 - 785

[5] Seiger T,Holm G,Bergsten U. Aggregation/disaggregation modeling in HLA-based multi-resolution simulations [C]//Proceedings of 2000 Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando,Florida,USA:Simulation Interoperability Standards Organization (SISO),2000:00F-SIW-037

[6] Li Yuan,Li Bohu,Chai Xudong,et al. Multi-resolution modeling based on BOMs [C]//Asia Simulation Conference 2009. Ritsumeikan University,Shiga,Japan:[s. n.],2009

[7] 李元,李伯虎,李京,等. 一种基于扩展 BOM 的多分辨率建模方法 [C]//第三界中国导航、制导与控制学术会议. 北京:科学出版社,2009
Li Yuan,Li Bohu,Li Jing,et al. An approach to multi-resolution modeling based on extended BOM [C]//Proceeding of the 3rd Chinese Guidance,Navigation and Control Conference. Beijing:Science Press,2009 (in Chinese)

[8] SISO-STD-003-2006 Base object model (BOM) template specification [S]

[9] SISO-STD-003.1-2006 Guide for base object model (BOM) use and implementation [S]

[10] IEEE Std 1516.3-2003 IEEE recommended practice for high level architecture (HLA) federation development and execution process (FEDEP) [S]

[11] IEEE Std 1516.2-2000 IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)—object model template (OMT) specification [S]

[12] Gustavson P L,Zimmerman P,Turrell C. Capturing intent-of-use meta-data for the conceptual model—a key to component reuse [C]//Proceedings of the Fall 2003 Simulation Interoperability Workshop. Orlando,Florida,USA:Simulation Interoperability Standards Organization (SISO),2003:03F-SIW-080

[13] Davis P K,Tolk A. Observations on new developments in composability and multi-resolution modeling [C]//Henderson S G,Biller B,Hsieh M H,et al. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference. Washington,DC,USA:Association for Computing Machinery (ACM),2007:859 - 870

[14] Gustavson P. Building and using base object models (BOMs) for modeling and simulation (M&S) focused joint training [C]//Interservice/Industry Training,Simulation,and Education Conference (I/ITSEC). Orlando,Florida,USA :National Training Systems Association(NSTA),2005:Paper No. 2302

[15] Gustavson P,Chase T. The application of base object models (BOMs) for supporting aggregation and load-balancing [C]//Proceedings of the 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando,Florida:USA:Simulation Interoperability Standards Organization (SISO),2004:04F-SIW-024

[16] Liu Baohong,Qiu Xiaogang,Huang Kedi. The problem of multi-resolution modeling (MRM) in the federation development and execution process [J]. Journal of System Simulation,2003,15(12):1715 - 1731

(编　辑:刘登敏)