

面向语义的分布交互建模方法研究

杨文兵, 朱元昌, 邸彦强, 冯少冲
(军械工程学院电子与光学工程系, 石家庄 050003)

摘要: 针对大规模仿真系统分布交互建模过程需要大量的人员参与, 造成资源浪费和开发效率低下的现象, 提出了一种面向语义的分布交互建模方法。对现有高层体系结构(HLA)的联邦开发过程进行改进, 引入本体(Ontology)、语义映射(Semantic Mapping)等概念, 将联邦开发过程分为领域本体构建、语义映射和代码生成3个子过程, 有效提高了分布交互建模的效率, 并结合具体实例验证了该方法的可行性和有效性。

关键词: 仿真系统; 本体; 语义映射; 代码生成; 开发效率

中图分类号: V271.4; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)12-0092-05

Semantic-Oriented Distributed Interactive Modeling Method

YANG Wenbing, ZHU Yuanchang, DI Yanqiang, FENG Shaochong

(Department of Electronics and Optics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The distributed interactive modeling process requires a lot of staff participation, thereby causes waste of resources and inefficiency for large-scale simulation system. To solve the problem we proposed a semantic-oriented distributed interactive modeling method. This method improves the current federation development process of High Level Architecture (HLA), and introduces the concept of ontology and semantic mapping in it. The federation development process is divided into three sub-procedures as domain ontology construction, semantic mapping and code generation. A concrete example demonstrates the feasibility and effectiveness of the method.

Key words: simulation system; ontology; semantic mapping; code generation; development efficiency

0 引言

随着仿真技术的进步, 单节点、单领域的仿真系统已经很难满足当前大规模仿真的需求, 多节点、多领域的大规模仿真系统成为必然的发展趋势^[1]。大规模仿真系统往往集成了多个不同领域的仿真分系统^[2]。在系统的分布交互模型开发过程中, 领域专家(开发者)需要学习相关分布交互建模知识后独立完成建模, 或者配合仿真人员进行相应分布交互接口的开发, 实现整个系统的互联互通。对于大规模仿真系统的开发而言, 这都将极大地制约系统的开发效率, 造成人力、物力的浪费。

在分布交互建模领域, 高层体系结构(High Level Architecture, HLA)是通用的仿真标准和规范^[3]。但是, 将HLA应用于大规模仿真系统仍然存在联邦

(Federation)开发效率低下的问题。尽管各种辅助工具(如想定编辑器、对象模型开发工具OMDT、代码生成工具等)使联邦的开发更加规范、快速, 但是具体的联邦成员(Federate)开发和集成还需要大量的工作。对于大规模仿真系统的开发而言, 为了保证系统具有广泛的兼容性和扩展性, 需要一种面向领域的, 并且易用易维护的HLA建模方法。

本体的概念最初来自于哲学领域, 20世纪90年代被引用到计算机领域, 特别是人工智能(AI)和知识工程研究中, 用于知识表示和知识组织, 其概念也随着不断改变。其中, Tom Gruber的定义被引用的最多, “本体是概念模型的明确的形式化规范说明”, Studer等总结为: “本体是共享概念模型明确的形式化规范说明”^[4]。

由本体的定义可知, 本体可以显式地表达领域知识, 并促进不同领域间概念的语义一致。以往的研究中, 已有学者关注到本体与分布式系统的结合: 文献[5]指出本体在建模仿真领域的潜在优势; 文献[6]将HLA仿真对象模型(SOM)和联邦对象模型(FOM)分别用本体表示, 并建立了SOM本体和FOM本体的映

射,促进了新建 HLA 联邦时的模型重用;文献[7]提出一种基于 HLA 的交互本体,用于描述 HLA 仿真过程中需要交互元素的语义;文献[8]也将本体技术用于复杂产品的协同仿真过程中,实现仿真过程中模型的语义一致性。

从上述研究可以看出,当前的研究主要集中在利用本体解决 HLA 仿真中的模型间语义一致性问题,如何利用本体技术提高 HLA 联邦开发效率方面的研究较少。结合以往多方面研究,提出一种面向语义的分布交互建模方法。利用领域知识建立领域本体,实现领域本体到 HLA 对象模型的映射,并建立分布仿真交互接口。

1 面向语义的分布交互建模思想

面向语义的分布交互建模采用面向领域的理念,将本体、语义映射^[9]等概念引入到建模过程中,基于高层体系结构 HLA 实现开发人员面向领域知识的仿真系统开发。建模过程如图 1 所示。

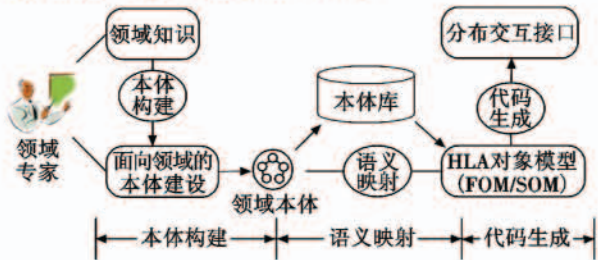


图 1 面向语义的分布交互建模过程
Fig.1 Semantic-oriented distributed interactive modeling process

面向语义的分布交互建模过程可分为 3 个关键环节:本体构建、语义映射和代码生成。

1) 本体构建:领域专家利用相关领域知识(领域内相关概念以及概念间的相互关系),经过相应的本体构建模块,将领域知识进行规范化的描述,形成领域本体。

2) 语义映射:得到领域本体后,一方面将领域本体存入本体库内,本体库内保存着整个仿真系统所有的领域本体,另一方面将领域本体经过语义映射模块转换为 HLA 对象模型。

3) 代码生成:利用相应的 HLA 代码技术生成 HLA/RTI 代码,建立当前领域的分布交互接口,实现各个仿真节点与其他分布交互接口的互联互通。

基于该方法的开发过程中,向用户屏蔽了 HLA/RTI 的技术细节,建模过程完全由领域专家完成,不需要仿真人员的参与,降低了使用难度,提高了开发效率。

2 面向语义的分布交互建模方法

2.1 领域本体的构建

本体作为共享的概念模型的形式化规范说明,反映了某一领域的概念以及概念之间的关系。在分布交互建模领域,引入领域本体的概念,并且将其形式化定义为一个五元组: $O = \langle C, A, R, I, M \rangle$ 。其中, C 是概念集,指分布交互建模领域中概念、术语的集合; A 表示属性集,主要用来表现概念自身的特征; R 是关系,指领域中概念间的交互关系,主要包括父子关系、等价关系等; I 为实例集,是指属于某概念类的基本元素构成的集合,即某概念类所指的具体实体; M 是实例与概念之间的映射关系集合,该映射集将每个实例对应到其所属的概念下,如 $i \in M(C)$ 表示 i 是概念 C 的实例,概念之间通过各种关系相互关联在一起。

由上述定义可知,本体构建的目标都是捕获相关领域的知识,提供对知识的共同理解,确定该领域内共同认可的词汇,并给出这些词汇之间的相互关系。

目前,本体的构建过程并没有统一的标准,比较常见的有:Mike Ushold 的“骨架法”,Gruninger 和 Fox 的“评估法”(又称 TOVE),Bernaras 方法,METHONTOLOGY 方法,SENSUS 方法等^[4],出于对各自学科领域以及具体工程的不同考虑,本体的构造过程、侧重点和理论基础有所不同,但本体建模的一般过程可归纳为本体捕获/发现、本体描述/编辑/建模和本体评估(如图 2 所示)。除了上述开发方法外,为了方便本体的构建,许多组织或团体开发了多种本体建模工具,常用的有 Protégé、WebODE、OntoEdit、OILED 等^[4]。

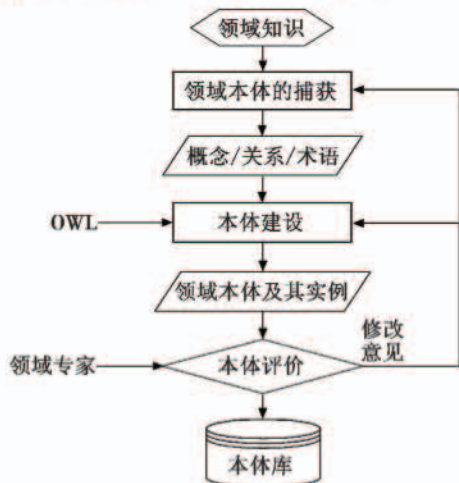


图 2 领域本体构造一般过程
Fig.2 Domain ontology construction process

针对本文的应用背景,本体构建的工作由各仿真分系统领域专家完成,直接采用上述任何一种方法或者工具,都需要领域专家学习相关领域本体构建知识

或者熟悉相关本体编辑工具,这与提高系统开发效率的需求相矛盾。鉴于此,设计了一种面向领域专家的领域本体构建工具,为用户提供编辑环境,用于对系统中涉及到的信息交互关系进行规范化描述,其输出结果是系统领域本体。

为了规范领域本体构建过程,采用本体描述语言(Web Ontology Language, OWL)构建领域本体。OWL能够被用于清晰地表达词汇表中的词条(term)的含义以及这些词条之间的关系,而这种关系就是本体(Ontology)^[4]。但是,OWL语言规定了特有的语法来构建本体,直接采用OWL语言构建领域本体需要对其有深入的了解。为了简化本体构建过程,降低领域本体构建的难度,本体构建工具提供图形化的编辑环境,对系统用户屏蔽本体描述语言的语法细节,同时通过特定的人机交互设计规范领域本体的编辑过程。本体构建工具软件结构主要包括图形化编辑模块、文件管理模块、数据转化存储模块和本体语义词汇模块4部分。

1) 文件管理模块:对用户在本体构建过程中创建的文件进行有效的管理,提供文件的新建、复制、删除、查找、分组管理等功能。借鉴于模块采用图形化的方式,展示文件的组织结构,并提供相应的菜单支持对文件的各种编辑操作。

2) 图形化编辑模块:为系统用户提供图形化的领域本体编辑环境,支持领域本体构建过程中的词汇增添、删除、编辑等功能。

3) 数据转化存储模块:依据开发工具中的领域知识描述词汇与本体语言词汇之间的对应关系,将用户在图形化编辑环境中录入的中间数据,经过转化后按照本体语言描述规范进行存储,形成最终的领域本体。

4) 本体语义词汇模块:存储了描述领域知识的语义词汇与本体语义词汇之间的对应关系,辅助数据转化存储模块完成数据转化功能。

通过这样的方式构建领域本体具有简便、直观的特点,能够有效降低领域本体构建的难度,使领域专家很容易建立领域本体。

2.2 语义映射实现方法

语义映射是实现源数据与目标数据转换的一种方法^[9],语义映射过程如图3所示。

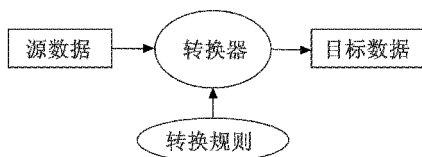


图3 语义映射过程示意图

Fig. 3 Semantic mapping process diagram

本文采用语义映射技术实现领域本体到 HLA 可

以识别的对象模型(FOM/SOM)的转换。语义映射部分主要包含3个功能模块:本体知识解析模块、语义映射规则模块和 HLA 对象模型构建模块。

1) 本体知识解析模块。

领域本体采用 W3C 制定的本体语言 OWL 描述系统领域本体。OWL 语言具有很强的表达能力,能够清晰地表达词汇表中词汇的含义以及词汇之间的关系。为了具备这种能力,OWL 语言制定了严谨的语义表达规范,本体知识解析模块的主要功能是依据 OWL 语言的语义规范,将领域本体中描述系统交互关系的词汇以及词汇之间的关系提取出来。

2) 语义映射规则模块。

本体知识解析模块提出的词汇以及词汇之间的关系符合 OWL 语义描述规范,但与 HLA/RTI 表述规范不相符合。语义映射规则模块的功能是建立 OWL 语义描述规范与 HLA/RTI 语义描述规范之间的映射规则,实现本体知识由 OWL 语义描述向 HLA/RTI 语义描述的转化。

鉴于领域本体与 FOM/SOM 表达方式上的差异,很难通过一种直接的方式实现它们之间的信息映射。引入模式图(Schema Graph)^[10]的概念将领域本体与 FOM/SOM 描述结构进行统一。模式图模型 $SG = (C, P, R)$ 。其中: C 为概念; P 为概念的数值类型属性集合; R 为概念间语义关系的集合。从而可以根据模式图中 C, P, R 三种概念结构进一步对领域本体与 FOM/SOM 成分进行分类映射。

从词义匹配度和上下文匹配度等各方面进行分析,可以得到领域本体模式图和 HLA 对象模型模式图中 C, P, R 的映射关系,并形成信息映射表。根据映射表和领域本体,最终得到符合 FOM/SOM 表述规范的词汇(如图4所示)。

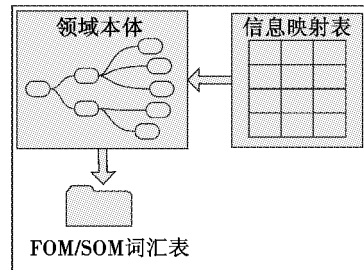


图4 语义映射实现方案

Fig. 4 Semantic mapping method

3) HLA 对象模型构建模块。

HLA 对象模型构建模块的主要功能是依据 OMT 描述规范构建 HLA 对象模型(FOM/SOM)。经过语义映射规则模块得到符合 HLA/RTI 语义规范的领域本体知识描述词汇后,将这些词汇按照一定的格式输出

形成 HLA 对象模型。

HLA 对象模型构建模块采用基于 XML 模板的方式实现(如图 5 所示)。基于 XML 模板自动生成仿真对象模型时,首先依据 FOM/SOM 表的格式规范制定 XML 模板;然后用 XML 解析程序对模板中的标签进行分析,对特定的标签做预定的操作——将获取到的词汇填充到模板的不同位置;填充完模板后,调用文档输出程序,将模板的不同“标签对”中的内容以文档形式输出,形成最终的 FOM/SOM 文件。

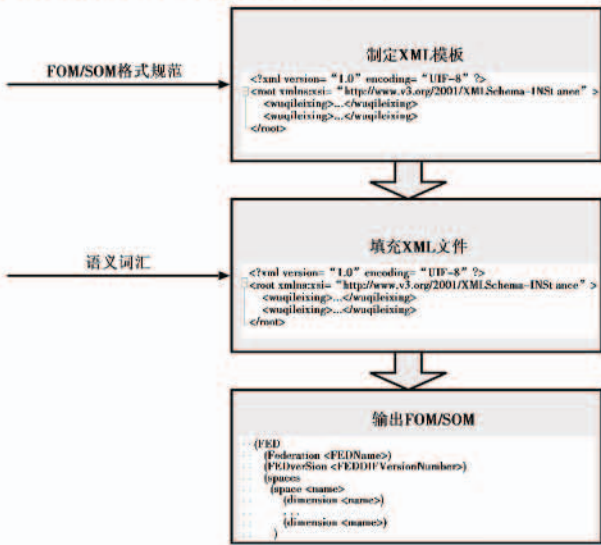


图 5 HLA 对象模型构建过程

Fig. 5 HLA object model building process

2.3 代码生成

凡是可共享的功能或软件服务一般都可以通过设计一个可共享的软件框架来实现。软件框架的优点在于能够通过重用提供高层服务而屏蔽底层细节,从而大大提高各类应用程序的开发效率,避免重复编写大量相同的代码以及由此可能产生的大量错误。

HLA 联邦成员开发过程中存在许多公共功能,这些功能可以在一个通用的框架中实现,该框架能够提供联邦成员与 RTI 之间的信息交互接口,尽量封装 RTI 编程复杂性,并适当提供缺省功能。信息交互接口的开发首先考虑封装对 RTI 函数的调用过程,实现交互信息与 RTI 间的接口函数;其次是根据不同类型的仿真确定仿真主流程;再者是根据成员公布订购对象类属性和交互类参数的情况,将 HLA 对象模型中的对象类、交互类以及路径空间等映射为软件代码,生成与领域本体对应的软件框架。

面向领域的联邦成员代码框架生成过程如图 6 所示。模板是依据 RTI 调用过程提取的共性框架结构;FOM/SOM 信息是对象模型开发模块生成的联邦成员数据文件;领域本体由领域专家利用本体构建模块生

成,其中包含了联邦成员信息;时间管理策略、推进机制用于确定成员的时间管理和推进方式。HLA 联邦信息通过匹配转换封装 RTI 接口函数,生成面向领域的交互代码框架,以信息交互、时间管理和空间管理服务的形式为模拟器软件提供支撑。

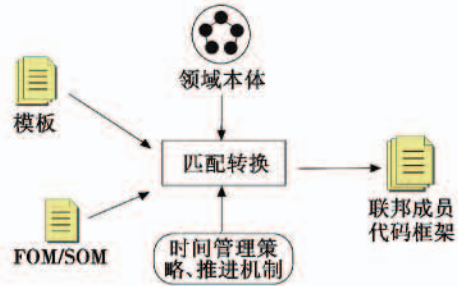


图 6 面向领域的分布交互代码框架生成

Fig. 6 Distributed interactive code generation

3 实例分析

本文以“防空武器系统分布交互平台”为例对该方法的应用进行具体说明。防空武器系统仿真分布交互平台是针对防空旅武器装备模拟器互联互通操作开发的运行支撑平台。平台基于 HLA/RTI 开发,一般模拟器开发人员难以掌握,而且后期维护较为复杂。针对此问题,平台以现有的分布交互仿真标准为基础,利用面向语义的分布交互建模思想开发了相应的工具提供面向领域的对象建模功能,实现模拟器分布交互接口开发的规范化、标准化。

防空旅武器系统联邦开发模式如图 7 所示,整个系统联邦结构复杂。

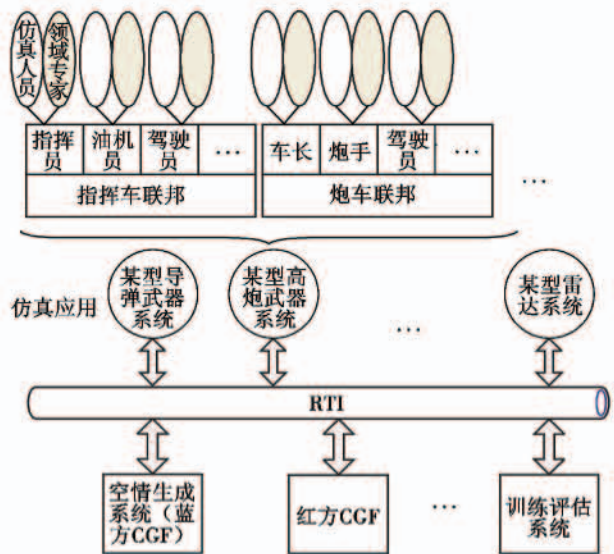


图 7 防空旅武器系统联邦开发模式

Fig. 7 The federation development mode of air defense weapons systems

以其中的“某型高炮武器系统”为例,一个高炮武

器系统单元包括一个指挥车联邦和炮车联邦等,其中指挥车联邦和炮车联邦又分为多个操作节点。按照传统的分布交互建模方法,各节点的分布交互接口开发过程需要领域专家配合仿真人员完成。而防空旅武器系统联邦节点众多,这将耗费大量的人力、物力参与联邦开发,并且不同的仿真人员开发的分布交互接口难于规范,不利于联邦的集成和后期的维护。

利用分布交互平台提供的工具开发分布交互接口的过程如图 8 所示,只需要一位系统用户(领域专家)整理出系统的领域知识(整个系统的信息交互情况),将这些信息按规定格式录入对象建模工具生成领域本体,领域本体经过语义映射模块生成 HLA 联邦对象模型(FOM);各节点普通用户(领域专家)同样整理装备知识(自己节点的信息交互情况),录入信息交互建模工具生成相应的应用本体(一类特殊的领域本体),经过语义映射模块生成相应的 SOM 文件。最后,平台利用系统的 FOM/SOM 文件、领域本体等生成相应的分布交互接口。

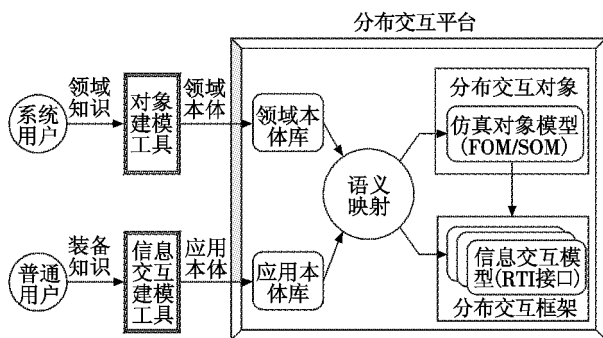


图 8 防空旅武器系统分布交互接口开发过程

Fig. 8 Distributed interactive interface development process of air defense weapons systems

分布交互平台提供了一种面向领域专家的分布交互建模功能,屏蔽 HLA 对象模型(FOM/SOM)的建模细节。各分系统、各节点领域专家利用自身领域的领域知识就可完成分布交互接口的构建,提高了系统的开发效率。

4 结束语

复杂系统仿真中,分布交互建模时需要耗费大量的人力、物力参与,既浪费了资源,还不利于系统的集

成与调试。本文针对此问题,提出了面向语义的分布交互建模方法,将本体、语义映射等技术引入 HLA/RTI 建模过程之中,向领域专家屏蔽了 HLA/RTI 建模的复杂性,使非仿真领域的人员也能很快开发自己的交互接口,不仅提高了仿真系统的开发效率,而且实现仿真分系统分布交互接口开发的规范化、标准化,为今后大规模仿真系统的开发打下良好的基础。

参考文献

- [1] 金伟新,肖田元,胡晓峰,等. 分布式集群协同仿真研究[J]. 计算机仿真,2005,22(5):120-123.
- [2] 熊光楞,范文慧,陈晓波. 复杂产品开发的仿真技术[J]. 系统仿真学报,2004,16(2):194-201.
- [3] IEEE Std 1516. 1-2010. IEEE standard for modeling and simulation high level architecture (HLA)—framework and rules[S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- [4] 甘键侯,姜跃,夏幼明. 本体方法及其应用[M]. 北京: 科学出版社,2011.
- [5] MILLER J A, BARAMIDZE U T, SHETH A P, et al. Investigating ontologies for simulation modeling [C]// Proceedings of the 37th Annual Simulation Symposium, USA; Washington D C, IEEE, 2004,55-63.
- [6] RATHNAM T. Using ontologies to support interoperability in federated simulation[D]. Georgia: Georgia Institute of Technology, 2004.
- [7] SUN H, FAN W, SHEN W, et al. Ontology fusion in HLA-based collaborative product development [C]//2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Kudret Basim Ambalaj; Kudret Press, 2010;2526-2532.
- [8] TANG S, XIAO T, FAN W. A collaborative platform for complex product design with an extended HLA integration architecture [J]. Simulation Modeling Practice and Theory, 2010, 1808:1048-1068.
- [9] 余经纬. 面向语义关系发现的本体映射技术研究与实践[D]. 成都: 电子科技大学,2011.
- [10] 邸彦强. 面向服务的建模与仿真技术[D]. 北京: 北京航空航天大学,2008.