

doi: 10.7690/bgzdh.2022.05.015

基于 HLA 的分布式仿真集成开发系统

李 艳, 方 娟, 陈爱真

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 为能够快速实现仿真系统的搭建与应用, 提出一种基于高层体系架构(high level of architecture, HLA)的分布式仿真集成开发框架。面向仿真试验的设计、执行与分析等方面的需求, 在封装 HLA-RTI 核心功能的基础上, 设计一体化的工具服务架构, 实现模型开发、系统集成、想定编辑、态势展示、数据记录与分析等功能。结果表明, 该设计为分布式仿真系统的开发与集成提供了敏捷、高效、完备的支撑环境。

关键词: HLA; 分布式仿真; 开发框架

中图分类号: TP311.1 **文献标志码:** A

Distributed Simulation Integrated Development System Based on HLA

Li Yan, Fang Juan, Chen Aizhen

(Beijing Institute of Space Systems Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to realize the rapid construction and application of simulation system, a distributed simulation integrated development framework based on high level of architecture (HLA) was proposed. Based on the encapsulation of HLA-RTI core functions, an integrated tool service architecture is designed to meet the requirements of simulation test design, execution and analysis, and realize the functions of model development, system integration, scenario editing, situation display, data recording and analysis. The results show that the design provides an agile, efficient and complete supporting environment for the development and integration of distributed simulation system.

Keywords: HLA; distributed simulation; development framework

0 引言

高层体系架构(HLA)作为分布式交互仿真体系结构的主要类型, 已被广泛应用于系统仿真等各个领域, 是当今分布式交互仿真技术领域的发展方向^[1]。基于 HLA 的分布式交互仿真应用的开发和执行过程是一项复杂的系统工程, 需要完成大量基于 HLA-RTI 的开发工作^[2-5]。目前, 在 HLA 底层运行管理和通信支撑上, 已经开展了大量研究和实践工作^[6-9], 但是在应用层面还缺乏良好易用的工具, 以支撑基于 HLA 的一体化仿真试验任务。笔者通过平台封装技术, 建立和完善相应的核心工具, 构建高效的集成框架和调试及试验运行环境。

1 系统架构

基于 HLA 的分布式仿真集成系统主要由 HLA 分布式集成开发框架、仿真想定子系统、仿真控制子系统、仿真数据管理子系统、数据记录回放子系统和态势显示子系统构成, 其架构如图 1 所示。

HLA 分布式仿真集成开发系统基于 HLA 仿真体系结构和组件式开发管理体系, 具有成熟的仿真

想定/态势显示、仿真控制、仿真数据管理、数据记录和分析功能。

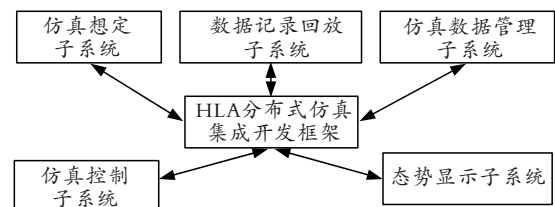


图 1 HLA 分布式仿真集成开发系统架构

2 HLA 分布式仿真集成开发框架

HLA 分布式仿真集成开发框架主要是通过构建符合 HLA-RTI 的 FOM 编辑与解析软件、适配器自动生成软件和仿真模型调试软件, 并编写相应的仿真接口规范, 实现基于 HLA 的仿真应用系统的快速开发功能。仿真集成开发框架结构如图 2 所示。

2.1 FOM 表编辑与解析软件

实现对不同格式 FOM 表的编辑、修改、保存等功能。在此基础上实现 FOM 表解析功能, 通过图形化界面方便用户设计仿真成员的输入输出接口, 并根据输入输出数据的定义生成相应的数据结

收稿日期: 2022-01-26; 修回日期: 2022-02-25

作者简介: 李 艳(1976—), 女, 河南人, 硕士, 高级工程师, 从事体系仿真与效能评估研究。E-mail: xtjmyfzjs@126.com。

构体，供用户在计算模型中使用。

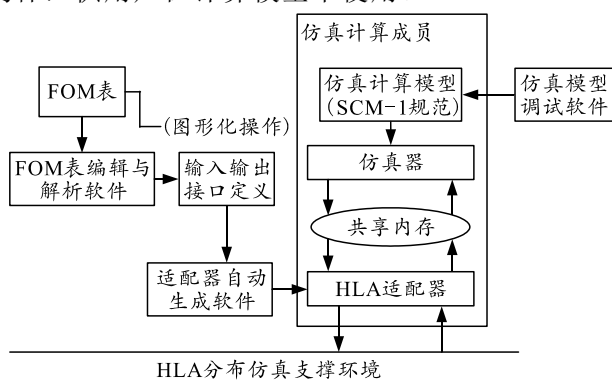


图 2 HLA 分布式仿真集成开发框架结构

2.2 适配器自动生成软件

根据仿真成员的输入输出接口定义情况，自动生成本地 HLA 管理程序代码，经过编译形成 HLA 适配器。该适配器实现对本地仿真成员的数据交互管理、时间管理和联邦管理功能。

运行过程中，HLA 适配器根据网络交互数据需要，从内存中获取本地仿真成员的公布数据，完成向 RTI 的数据更新，同时从 RTI 获取本地成员的订购数据，对内存数据进行更新，从而实现仿真成员数据交互。

对于仿真计算模型，在运行过程中，根据网络交互数据结构体的定义从内存获取需要的外部数据，同时向内存更新其需要向外发送的数据，从而完成模型数据的交互管理。

2.3 仿真模型规范

在 HLA 适配器自动生成基础上，对仿真成员的实现过程进行规范定义，包括仿真成员的实现过程，仿真模型接口部分需要遵循的标准和要求。在一期的研制过程中，笔者已提出自己的仿真组件模型 SCM-1 规范。一期的防御方模型基本是按照 SCM-1 规范进行建模，但把适配器与组件化仿真模型封装为一个进程，不利于模型的互操作和重用。二期平台的模型需严格按照 SCM-1 规范建模，做到适配器与组件化模型完全分离。

2.4 仿真模型调试软件

仿真模型联入 RTI 中进行测试，会带来诸多问题：1) 测试过程必须占用 RTI 环境，如果大量的人员都需要同时进行调试，将会出现相互等待，效率低下。2) 不能实现一套模型在多个环境下的应用。未来的应用可能包括共享内存通信和反射内存通信模式，必须要考虑模型的扩展性问题。3) 实时性不

够高。目前 RTI 几乎都是采用以太网技术建立的通信底层，如果需要更高的实时性，必须依赖其他解决手段，例如反射内存等。

鉴于以上在 RTI 中直接进行测试带来的不便，需要开发一套模型调试软件。该软件实际搭建一个通信底层，兼容 RTI 封装后的框架，就可实现一次模型开发，达到能在 2 个底层支撑平台运行的效果。

3 仿真控制子系统

仿真控制子系统主要实现仿真管理的功能，包括 3 方面：1) 联邦运行过程的监控；2) 仿真工程管理；3) 仿真实验过程控制。联邦运行过程的监控要实现对联邦状态和联邦成员状态的监视，同时还要控制联邦的运行。工程管理要实现对模型及其配置文件、仿真想定配置文件等的管理，包括工程化方式管理仿真平台、模型实例指派、仿真工程的配置及分发，实现仿真成员的分配和下发、仿真程序的运行和关闭等远程控制功能。仿真实验过程控制主要是针对导弹效能评估需求，根据仿真实验设计的实验方案安排，考虑各种偏差等不确定性因素的影响，实现多次、反复的仿真实验功能。

根据功能特性仿真管理软件划分为 7 个模块，如图 3 所示。

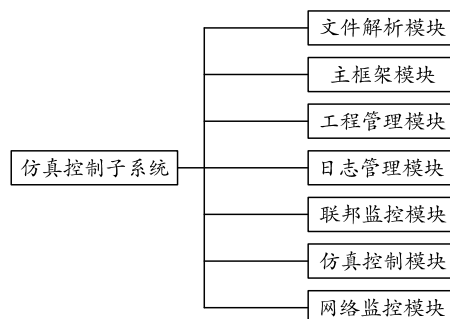


图 3 仿真控制子系统模块结构

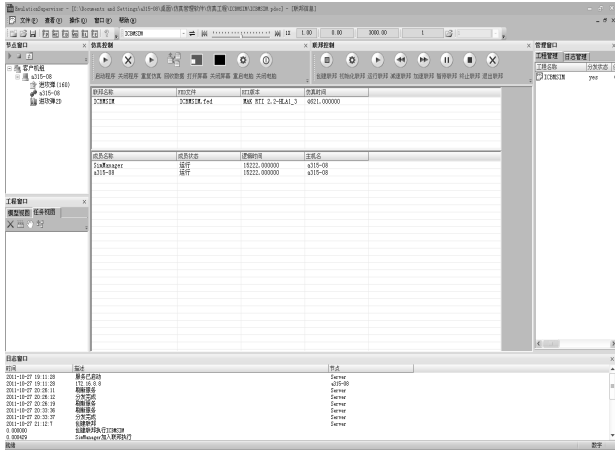
仿真管理软件模块映射关系如下：

- 1) 文件解析模块：实现想定工程文件和实验方案文件的解析，得到实例信息和实验方案信息。
- 2) 主框架模块：提供人机交互界面。
- 3) 工程管理模块：实现工程的新建、打开、编辑、保存和分发。
- 4) 日志管理模块：记录仿真事件信息，并提供日志清除功能。
- 5) 联邦监控模块：监视着联邦状态和联邦成员状态，并通过 HLA 管理联邦的启动、运行、暂停、终止和退出。
- 6) 仿真控制模块：远程控制仿真程序的运行与

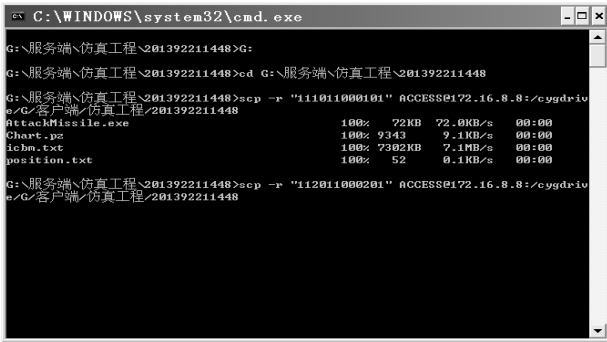
关闭。

7) 网络监控模块: 监视进程守护节点的在线情况, 并实现文件下发; 负责广播 UDP 消息, 处理 TCP 连接, 收发控制消息, 处理网络异常。

仿真控制子系统软件实现如图 4 所示。



(a) 仿真控制主界面



(b) 仿真运行控制后台

图 4 仿真控制子系统软件实现

4 仿真想定子系统

在进行仿真之前, 需要对参与仿真的各模型部署的物理位置、ID 编号等进行设置, 并且能对各模型的配置参数进行设置, 并保存想定结果供运行管理使用。

仿真想定软件是采用图形化用户界面设计, 进行想定内容生成, 实现仿真前兵力布置及装备配置, 即兵力生成软件。其主要目的如下:

- 1) 实现仿真系统兵力部署, 即可进行位置标注、装备状态标注和完成态势的设置。
- 2) 实现兵力任务与使命的规划与战法的选择, 即确定攻防关系、选择模型类型、配置不同战法的工程文件。
- 3) 生成想定的形式化表达, 以文件的形式存储管理仿真想定的配置信息, 便于调用和查看。

总体上讲, 为用户提供简单便利的方式来完成

武器配置、兵力部署和战法选择。主要模块如图 5 所示。

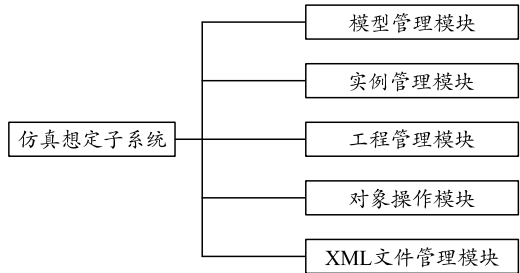
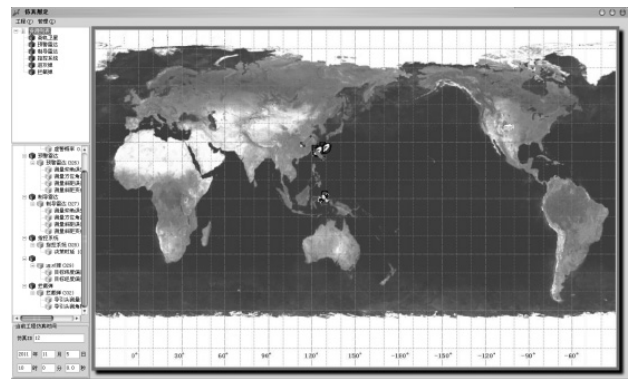
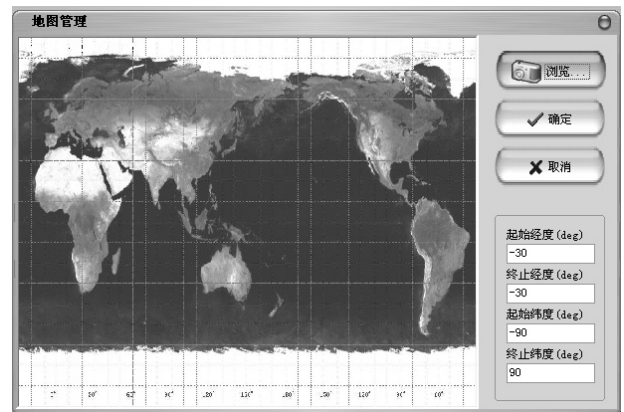


图 5 仿真想定生成软件模块结构

- 1) 模型管理模块: 管理模型的定义、导入、路径和从属关系等。
- 2) 实例管理模块: 管理实例的增加、删除、移动和修改等。
- 3) 对象操作模块: 管理具体对象参数配置的改变和保存; 管理实例对象的移动、选中和修改等。
- 4) 工程管理模块: 管理工程的新建、保存、打开和关闭; 管理地图的更换、导入、位置定义、预览、缩放等。
- 5) XML 文件管理模块: 管理仿真想定工程配置信, 将其他各模块的信息以 XML 文件形式存储。仿真想定子系统软件实现如图 6 所示。



(a) 主界面



(b) 地图管理

图 6 仿真想定子系统软件实现

5 数据记录回放子系统

通过数据记录回放软件，实现对仿真数据的全程记录，并以文件形式存储在专用数据库中。具体功能要求如下：

- 1) 在回放时，可根据需要，针对重要事件和仿真的不同阶段，实现快速访问。
- 2) 可采取墙上时钟、逻辑时间等时间纪录模式回放。
- 3) 在仿真回放过程中，可加快或减慢回放速度，可暂停或停止回放。

根据功能特性数据记录回放软件划分为 5 个模块，如图 7 所示。

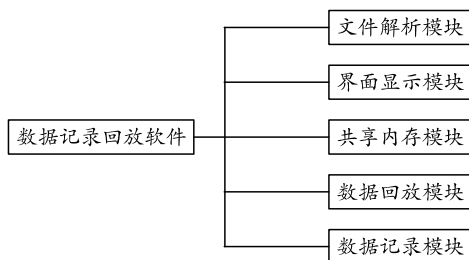


图 7 数据记录回放子系统模块结构

数据记录回放软件模块映射关系如下：

- 1) 文件解析模块：实现数据接口描述文件和任务分配文件解析。
- 2) 界面显示模块：以图形化界面显示数据接口描述文件、任务分配文件内容信息和联邦信息，在此基础上实现用户事件响应。
- 3) 共享内存模块：实现内存的读写操作和中断回调机制。
- 4) 数据记录模块：记录联邦交互事件和保存联邦对象数据状态。
- 5) 数据回放模块：回放联邦交互事件和读取联邦对象数据状态。

数据记录回放软件实现如图 8 所示。



图 8 数据记录回放软件实现

6 仿真数据管理子系统

仿真数据管理系统对想定数据和仿真过程数据进行管理，提供与外部数据库接口，实现将仿真数据放入专用数据库中；同时，针对专用数据库，建立相应的数据库接口，负责模型和数据的管理与调用。仿真数据管理软件由 5 个模块组成，模块结构如图 9 所示。

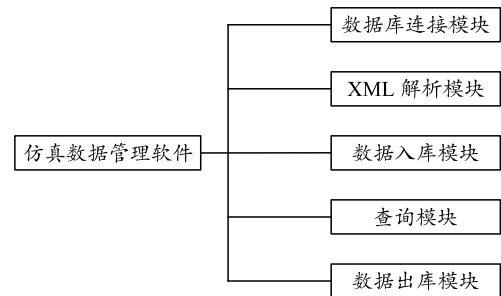


图 9 仿真数据管理子系统模块结构

1) 数据库连接模块。

提供数据库应用软件和数据库管理软件的连接功能，需要设置数据库的文件路径、用户名称、打开密码等，形成数据库连接字符串，通过该连接字符串，CONN 控件会初始化变量，完成数据库管理软件到数据库应用软件的映射，当需要从数据库获取数据或更新数据时，该连接会自动解析 SQL 语句并通过数据库引擎实现相应的操作。当程序关闭时该连接会自动销毁，释放占用的资源，在程序运行期间，该连接会采用保持模式，对后续的数据库应用提供缓冲池作用，节省连接时间。

2) XML 解析模块。

XML 文件作为一种通用性好、易读、规范的标记文本，越来越多地被采用；但 XML 文件的解析需要专门的程序去实现，采用 TxmlDocument 组件，可以实现 XML 文件的快速解析，而且支持中文标识，通过其 ChildNodes 子节点属性可以逐个获取子节点的名称、属性值、参数值。

3) 数据入库模块。

实现数据库的打开连接、建立 SQL 语句、准备数据、改写记录、确认更新、断开连接等步骤。这里数据入库模块需调用 XML 解析模块，首先判断该记录是否存在，如果不存在则新加记录，如果存在则定位到该记录并设置该记录为改写模式；然后获取 XML 文件中的内容并依次写入到 Field 字段内容中；最后通过 Post 指令将结果更新到数据库中。

4) 查询模块。

查询模块的主要功能是按照预先设置的用户要

求按照一定的规则组成 SQL 语句, 并通过数据库引擎将数据库中的数据获取出来供用户使用。查询模块主要过程包括: 自动构造查询语句, 查询语句按照三段式结构组成, 包括结果字段、条件语句和排序条件, 结果集保存在 TADOQuery 组件中, 通过 Tdatasource 组件分发到 TDBGrid 控件中进行显示。

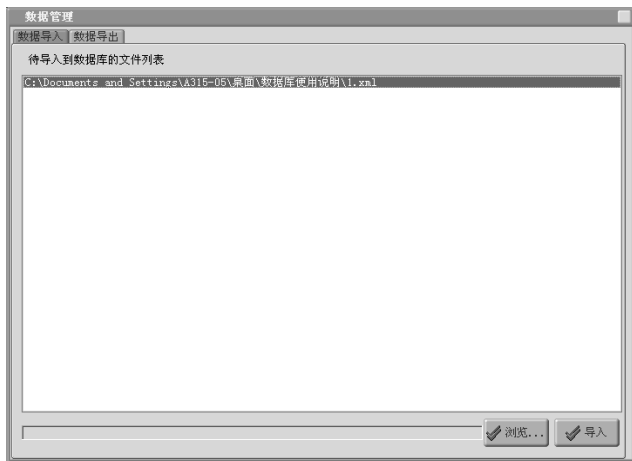
5) 数据库出库模块。

当单击导出按钮时, 依次获取 OutPutXML 字段并组成需要格式的 XML 文档保存。需要说明的是, 组装的时候按照 FileType、GroupID、ExamIndex、id 的层级格式组装所需的 XML。

数据管理软件实现效果如图 10 所示。



(a) 数据采集



(b) 数据管理

图 10 数据管理软件实现

7 态势显示子系统

笔者针对分布式仿真对态势显示的需求, 重点对 3 维场景构建和数据驱动等进行研究, 建立通用的 3 维可视化基础平台。主要由系统初始化、网络管理、数据配置、系统配置、主控管理、实体驱动、

参数显示、特效处理、窗口视点处理等模块组成, 其模块及其关系如图 11 所示。

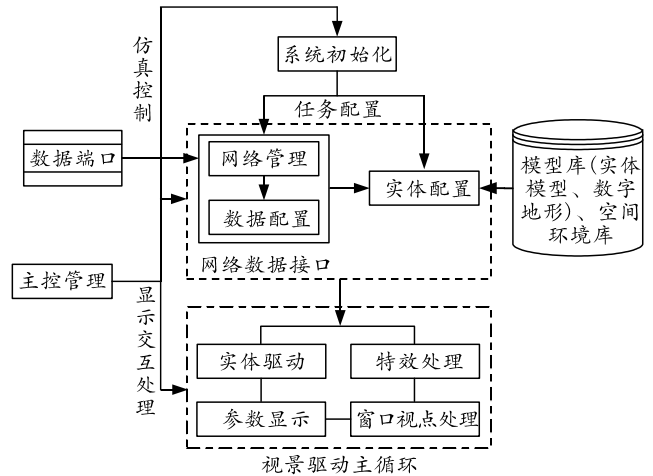


图 11 3 维可视化系统模块关系

1) 系统初始化模块。

完成图形系统的初始化, 将实体模型和地形场景模型从数据文件或模型库中读出, 并对特殊效果等进行初始化。

2) 网络管理模块。

完成网络的初始化、数据读写、关闭网络等。

3) 实体配置模块。

实现模型外形、数目以及实体动态组装配置。

4) 数据配置模块。

对从网络读取的数据进行转换, 处理成可视化子系统便于使用的形式, 并完成与实体行为的数据驱动匹配。

5) 飞行器实体驱动模块。

根据飞行器的位置、状态等参数画出不同飞行阶段的飞行器(弹箭)姿态及飞行动作等。

6) 参数显示模块。

显示关注飞行器(弹箭)的飞行参数。

7) 特殊效果处理模块。

根据飞行器的状态画出发动机工作、弹箭设备工作、测控设备工作及覆盖范围、星空、实体运动轨迹等效果。

8) 窗口视点处理模块。

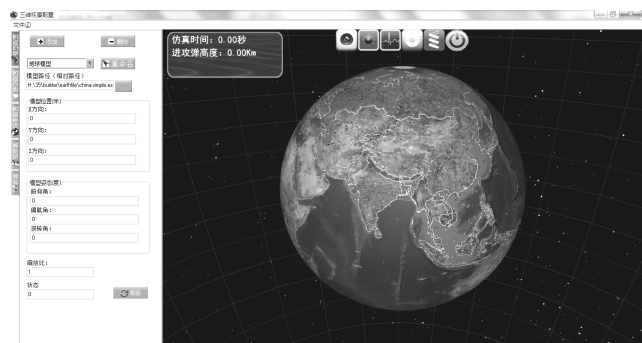
实现多视点窗口观察的需求, 提供在不同坐标系中的观察场景和观察效果, 方便设计人员了解不同坐标系中飞行器的位置变化、速度变化及运行轨迹等, 简化认识过程。

9) 主控管理模块。

完成对仿真系统的运行和人机交互管理。信息交互是本软件与外界交互的主要渠道, 有 2 种信息

输入：① 用户的操作输入；② 接受 RTI 成员的数据更新和交互。

3 维可视化系统软件实现如图 12 所示。



(a) 态势窗口



(b) 近景展示

图 12 3 维可视化系统软件实现

8 结论

笔者设计一套基于 HLA 的分布式仿真集成开发系统的方案，并采用数据封装技术和组件化模块

(上接第 52 页)

[3] OGC[OL]. <http://www.opengeospatial.org/>, 2010.

[4] STOCK K, SMALL M, ROBERTSON A, et al. The Machinery of Knowledge: An Ontology-Registry for a Geospatial Knowledge Infrastructure[OL]. <http://www.nottingham.ac.uk/~lgzwww/contacts/staffPages/kristinstock/documents/TheMachineryofKnowledgev0.4word97.doc>, 2010.

[5] 陈旭, 朱欣焰, 杜道生, 等. 影像与栅格元数据本体实现及语义查询扩展应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2009, 34(6): 646-649.

[6] NECHES R, FIKES R, FININ T W, et al. Enabling Technology for Knowledge Sharing[J]. AI Magazin, 1991, 12(3): 36-56.

[7] GUARINO N. Semantic Matching: Formal Ontological

技术, 可满足仿真系统之间交互数据的快速公布与订购, 实现分布式仿真系统和单机仿真系统无缝转换, 从而满足不同需求下符合 HLA 标准的仿真演示系统和仿真评估系统的快速构建。后续系统将结合试验设计、综合评估、异构互联等需求, 补充核心模块, 升级已有模块, 实现分布式仿真系统的快速高效应用。

参考文献:

[1] 黄柯棣, 张金槐, 李剑川. 系统仿真技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998: 134.

[2] 梁彦刚, 唐国金, 雍恩米. 基于 HLA 的导弹攻防仿真系统分析与设计[J]. 国防科技大学学报, 2004, 26(5): 18-21.

[3] 基于 HLA 的工程级仿真系统框架关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2010.

[4] 黄健, 郝建国. HLA 仿真系统综合设计[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2008: 150.

[5] 姚益平, 时向泉, 万江华. HLA/RTI 的研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(4): 364-366, 385.

[6] 卿社政, 李伯虎. HLA 运行支撑框架(SSS-RTI)的研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(5): 490-493.

[7] 何江华. 计算机仿真技术平话[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 195.

[8] 张柯, 曹凤江, 刘晓铨, 等. 分布仿真实验管理系统中 HLA 代理的设计及实现[J]. 系统仿真学报, 2009(2): 4.

[9] 王磊, 苗毅, 詹磊, 等. 一种轻量级 HLA 适配器[C]//第 21 届中国系统仿真技术及其应用学术年会论文集. 2020.

Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration[C]. In: Pasadena, M. T, (ed). Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology (SCIE97). Springer, Berlin, Germany, 1997.

[8] Global Change Master Directory[OL]. <http://gcmd.nasa.gov/>, 2010.

[9] YUE P, GONG J Y, DI L P, et al. GeoPW towards the Geospatial Processing Web[C]. W2GIS, Ireland, 2009.

[10] OASIS/ebXML Registry Information Model v2.0[OL]. <http://www.oasis-open.org/committees/regrep/documents/2.0/specs/ebxml.pdf>, 2010.

[11] FreebXML Registry Wiki[OL]. http://ebxmlrr.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page, 2010.

[12] protégé[OL]. <http://protege.stanford.edu/>, 2010.

[13] Jena-A Semantic Web Framework for Java[OL]. <http://jena.sourceforge.net/>, 2010.