

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.09.001

基于 HLA 框架的某型弹道导弹模拟训练系统

徐君明¹, 侯学隆², 李国林¹

(1. 海军航空工程学院 7 系, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 5 系, 山东 烟台 264001)

摘要: 为解决某型弹道导弹依托实装进行模拟训练时易受时间、空间和环境等因素制约的问题, 提出一种基于 HLA/RTI 框架的模拟训练系统设计框架。经需求分析和功能设计后, 给出了总体设计方案, 以与实装人机交互接口一致的模拟器为联邦成员, 以对象模型开发工具 HModeling 和分布式仿真引擎 HDOSE 为集成开发环境, 构建了分布式模拟训练系统。实际使用效果表明: 该模拟训练系统能够满足全天候和全过程的测试训练需求, 为新装备尽快转化成战斗力提供了技术支持。

关键词: 高层体系结构; 分布交互式仿真; 测试训练系统; 联邦

中图分类号: TJ760.6 **文献标志码:** A

Simulating Training System of Certain Type Ballistic Missile Based on HLA Framework

Xu Junming¹, Hou Xuelong², Li Guolin¹

(1. No. 7 Department, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. No. 5 Department, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to solve complications from time, space and environment of certain type ballistic missile during simulating training relied on real weapon equipment, a design framework of simulating training system based on HLA/RTI is proposed. Put forward the total design scheme after requirement analysis and function design. Taking the user interface is consistent with real equipments, and the object model developing Tool HModeling and distributed simulation engine as integrated development environment (IDE), establish distributing simulation training system. The practice result shows that the system can meet all-weather and full-process test training requirement, and provides technical support of new weapon equipment quickly turned to battle effectiveness.

Keywords: high level system architecture; distributed interactive simulation; test training system; federation

0 引言

分布交互式仿真采用协调一致的结构、标准、协议和数据库, 通过网络把分散在各地的仿真仪器及设备进行互联, 形成一个在时间和空间上互相耦合一致、仿真实体间可自由交互的综合仿真环境。这里的仿真实体, 可以是虚拟仿真、构造仿真或真实仿真^[1]。

分布交互式仿真先后经历了 SIMNET、DIS、ALSP 和 HLA 4 个发展历程。针对前三者在仿真重用和互操作方面存在难以逾越的局限性, 美国国防部于 1995 年提出了建模与仿真主计划 (M&S master plan, MSMP), 以期在国防部范围内建立一个通用的仿真技术框架来解决重用和互操作问题。

高层体系结构 HLA 是该技术框架的核心, 运行时支撑环境 RTI 则是 HLA 接口规范的具体实现。目前, 基于 HLA/RTI 的分布式交互仿真技术已广泛应用于武器装备试验、研制、评估、训练和保障

的全寿命周期^[2]。因此, 笔者对基于 HLA 框架的某型弹道导弹模拟训练系统进行研究。

1 需求分析与功能设计

某型弹道导弹武器系统在技术阵地采用弹上测试和地面测试相结合、以地面测试系统为主的分布式测控体系, 主要分为单元测试和综合测试, 后者又包括分系统测试和总检查测试。单元测试用于控制系统单台仪器的动静特性测试, 以确保单台仪器的工作性能正常, 精度符合要求; 分系统测试是在各单台仪器测试合格并装弹后, 对弹上各分系统的工作性能进行测试, 如配电系统、平台系统和伺服系统等; 而总检查测试则对弹上控制系统各分系统联合工作的性能以及控制系统与导弹动力系统、弹头控制系统等其它系统之间的匹配性能进行测试, 以确保全系统工作的可靠性。

在赴导弹研制部门和导弹技术保障部队实地调研的基础上, 充分考虑到传统依托实装施训模式容

收稿日期: 2011-05-27; 修回日期: 2011-06-20

基金项目: 总装备部军用仿真技术预研资助项目 (513040301)

作者简介: 徐君明 (1978—), 男, 山东人, 博士研究生, 讲师, 从事弹道导弹指挥与控制系统工程研究。

易受时间、空间和环境等因素制约,以及因长期高频率操作使用过程容易造成装备疲劳,进而降低系统可靠性等问题,提出了导弹模拟训练系统应该满足以下基本需求:

1) 采用基于 HLA/RTI 的先进分布式仿真技术搭建模拟训练系统,以确保系统的互操作性、扩展性和可复用性;

2) 模拟训练系统能面向受训对象开展涵盖单元测试、分系统测试和总检查测试在内所有测试训练项目;

3) 通过虚拟仪器仪表、数据采集和数据库等技术,设计虚拟仿真和半实物仿真系统,使受训人员操作形象逼真;

4) 可以通过监控台远程控制各模拟器,既可以实现远程启动、重启和复位控制,又可以对各模拟器上的操作进行监测和评判;

5) 围绕弹上控制系统关键电路,构建能够满足故障预置和故障复现的故障训练系统;

6) 数据库系统能够实现测试参数、测试流程和测试规程的集中统一管理,可为训练系统运行时的数据访问服务提供支撑等。

2 总体设计

在上述需求分析的基础上,确定模拟训练系统整体作为一个联邦,联邦成员包括监控台、测试发控台、测控计算机、外系统等效器、中心计算机、中心控制台、数据库系统、视景仿真系统等,系统总体如图 1。

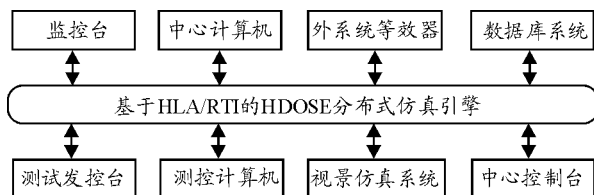


图 1 模拟训练系统总体

2.1 对象模型开发工具与仿真系统集成环境

基于 HLA/RTI 的分布式仿真系统开发工具主要包括 RTI 系统和对象模型开发工具 OMDT。

目前主流的 RTI 软件包括瑞典 Pitch AIS 公司的 pRTI、美国 MÄK 公司的 MÄK RTI 和美国国防部 DMSO RTI 等,国内自主研发的 RTI 软件主要有国防科技大学的 KD-RTI 和北京航空航天大学 BH-RTI 等。上述机构在提供 RTI 的同时,一般也有与之配套的 OMDT 工具包。

国外相关工具包比较全面,技术成熟度较高,但价格昂贵且存在某种程度的技术壁垒,支持节点数量受限;国内相关工具包发展比较迅速,也得到一定程度的推广和应用,但配套软件及技术支持有待进一步完善和提高。

在系统设计中,采用了海军航空工程学院自主开发的可视化对象模型开发工具软件 HModeling 和基于 HLA 的分布式面向对象仿真引擎(HLA based distributed object-oriented simulation engine, HDOSE)。

2.2 监控台成员

监控台成员是整个模拟训练系统的控制中枢,主要用于各号手操作训练的监测、控制和指挥,对系统中各节点之间的交互和响应进行监测,对各模拟器实现远程启动、关机和复位等进行控制,向各模拟器下达训练任务等指挥信息,根据联邦剧情设计在测试训练运行时预置不同的故障点等。

2.3 测发控半实物模拟器系统

遵循与导弹技术阵地测试发射控制设备配套一致的原则,采用基于 DiSTI GL Studio 虚拟仪器仪表技术和基于西门子工控机的数据采集技术,设计与实装人机交互接口基本一致测发控模拟器系统,包括测试发控台成员、测控计算机成员、中心计算机成员、外系统等效器成员和中心计算机成员等。

2.4 数据库成员

数据库成员主要负责模拟训练系统运行时的数据支持,主要用于所有待测弹上控制系统仪器及设备的指标参数均模拟产生,仿真系统中各实体的运行状态也由该成员负责记录,以及弹上控制系统典型故障模式库存取等。

2.5 视景仿真成员

该成员主要采用 Multigen Creator 和 Vega Prime 等三维建模及视景仿真软件,设计弹上控制系统仪器及设备的三维模型,关键控制设备中的典型测控电路原理图、功能板卡等。在模拟训练系统运行时,在监控台的协同下,该成员根据不同的测试项目、不同的测试阶段和不同的测试对象动态展示所测参数对应的电路原理图及其板卡信号走势情况。

限于篇幅,有关仿真数据库和基于 Creator 和 Vega Prime 的三维建模和视景仿真设计,可参考文献[3]~[5]相关论述。笔者着重围绕对象模型开发、分布式仿真系统集成和测发控半实物模拟器系统设

计等关键技术展开论述。

3 关键设计

参照 DMSO 提出的开发分布式交互仿真系统的软件工程方法, 即联邦开发和执行过程模型 FEDEP, 该模拟训练系统所进行关键设计主要包括基于对象模型开发工具软件 HModeling 的 FOM 和 SOM 设计、基于分布式仿真引擎 HDOSE 的系统集成设计、半实物模拟器系统设计、仿真数据库设计和视景仿真设计等。

3.1 对象模型设计

在联邦开发和执行过程中, 联邦对象模型 FOM 和仿真对象模型 SOM 以及联邦执行数据文件 FED 是分布式仿真系统的核心。

与传统的基于表格填充模式和复杂类库继承模式按部就班设计模式不同, 基于对象模型开发工具软件 HModeling 的设计模式以所见即所得的拖曳方式创建仿真实体及其交互关系, 通过可视化建模技术建立 FOM 和 SOM 模型文件, 自动生成 FED 文件, 并根据仿真实体构成及其交互关系自动生成设计文档, 其软件界面及对象模型开发效果如图 2。



图 2 基于 HModeling 的对象模型开发

对象模型开发工具软件 HModeling 本质上是一款面向复杂系统的多粒度、多视图、多层次的可视化协同建模工具^[6]。

对 HLA 建模与仿真系统而言, 该软件的重要意义在于: 1) 领域专家、架构设计师、系统分析员和程序员能够以一种可视化的、彼此便捷沟通的模式讨论一项具体设计方案; 2) 通过代码生成、映射和逆向的模型驱动体系 MDA 屏蔽了建模与仿真领域底层细节, 保证了建模准确性, 提升了仿真效率。

经对象模型开发工具软件 HModeling 设计的用于仿真系统集成设计的文档包括联邦成员描述文件 *.xml、联邦执行数据文件 *.fed、代码框架类库

.h/.cpp 以及自动生成的设计文档 *.doc, 如图 3。

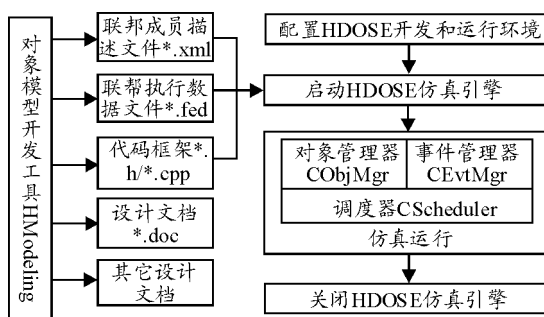


图 3 基于 HDOSE 的仿真系统集成设计

3.2 仿真系统集成设计

基于 HLA 的分布式面向对象仿真引擎 HDOSE 采用了反射和元对象建模等技术进行设计, 部署并运行于 RTI 层面之上, 实现了仿真构架、进程通信、任务调度等系统功能的自动完成, 为分布式仿真系统开发提供了一个更抽象和更高级的支撑平台。

作为一个可复用的框架, HDOSE 提供一套柔性和抽象的概念系统指导应用系统的建模或设计, 提供一系列底层的基础服务实现应用系统运行时的集成和管理。其主要特点为: 1) 结构上是一个支持元对象模型的数据库引擎, 实现了对象模型的灵活配置和动态生成; 2) 功能上是一个分布式的事件系统, 实现了对象属性更新/反射的透明处理和交互发送/接收的自动响应; 3) 性能上是一个轻量级的仿真框架体系, 支持对象属性静态绑定和动态绑定的无缝集成, 实现了仿真框架的适应性和实时性的有效统一^[7]。

基于 HDOSE 的仿真系统集成设计主要包括配置 HDOSE 开发和运行环境、启动 HDOSE 引擎、仿真运行和关闭 HDOSE 仿真引擎等阶段。其中, 在启动 HDOSE 仿真引擎阶段, 要用到对象模型开发工具软件 HModeling 所设计联邦成员描述文件和联邦执行数据文件; 在仿真运行阶段, 由 HDOSE 的对象管理器、事件管理器和调度器自动完成对象属性的更新/反射和交互实例的发送/接收^[8]。

由于 HDOSE 完全封装了 RTI 服务接口, 因此所有诸如时间推进策略、节点计算负载均衡之类的服务亦由 HDOSE 自动完成, 当然设计人员也可以根据仿真需要利用 HDOSE 提供的 API 动态改变 RTI 配置或服务。HDOSE 集成流程及其与 HModeling 软件之间关系如图 3。

3.3 测发控半实物模拟器系统设计

在联邦执行中, 测发控半实物模拟器系统包括

测试发控台成员和测控计算机等多个节点，按照总体设计要求主要采用了基于 GL Studio 的虚拟仪器仪表及虚拟面板设计和基于工控机数据采集技术的模拟器设计，前者主要用于复杂仪器仪表类虚拟面板，后者主要用于人机交互比较多的各类操控台。

1) 基于 GL Studio 的虚拟面板设计

由于某些模拟训练涉及大量的仪器仪表，通过 GL Studio 软件将其设计成虚拟面板，在 3 个触摸屏上进行虚拟操作。关于基于 GL Studio 的虚拟仪器仪表设计方法、技巧以及虚拟面板程序与仿真主程序之间加载、集成和通讯等一系列问题，请参阅笔者在文献[9]~[11]中所给出的有关解决方案。

2) 基于工控机数据采集的模拟器设计

模拟器设计以工控机为平台，采用 64 路数字量

输入卡 PCI-1754、64 路数字量输出卡 PCI-1752 和 32 路模拟信号输出卡 PCI-1724 分别实现数字量信号输入输出和电压表电流表等 D/A 和 A/D 转化，其硬件结构如图 4。

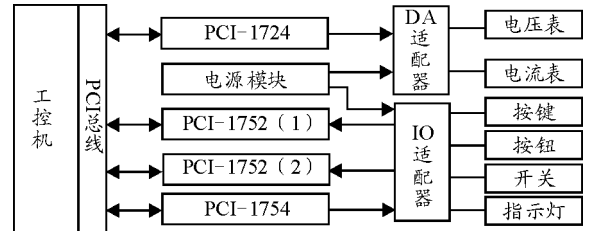


图 4 模拟器硬件结构

模拟器软件执行主要包括初始化硬件、启动 HDOSE、进入仿真循环和关闭 HDOSE、释放硬件等过程，如图 5。

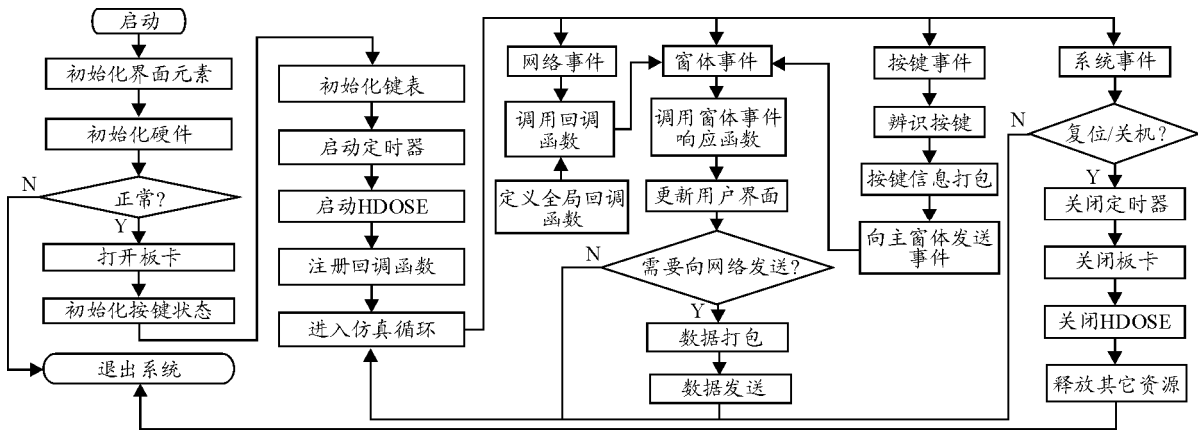


图 5 模拟器软件逻辑

4 结束语

笔者所描述的基于对象模型开发工具 HModeling 和分布式仿真引擎 HDOSE 的仿真系统开发框架已成功用于某型弹道导弹模拟训练系统研制，有效地解决了复杂武器装备系统依托实际装备实施训练的不利局面，显著地推动了新装备尽快形成战斗力。工程实践结果表明：只要仿真系统中各节点按照 HModeling 软件设计出对象模型文件和联邦执行数据文件，由 HDOSE 仿真引擎进行集成设计后，联邦执行中对象属性的更新/反射、交互实例的发送/接收就可自动地由 HDOSE 封装的底层 RTI 服务完成，从而提高整个仿真系统的集成设计效率。

参考文献：

[1] 姚益平. 高性能分布式交互仿真运行支撑平台关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2003.

[2] 周彦, 戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 5-10.
 [3] 蒋夏军, 吴慧中, 等. 高层体系结构中的时态数据管理[J]. 兵工学报, 2006, 27(3): 562-564.
 [4] 李亚臣, 罗永峰, 等. 基于 Vega Prime 的弹箭视景仿真[J]. 弹箭制导学报, 2007, 27(4): 222-225.
 [5] 戚泽华, 杜小菁, 等. 基于 Vega Prime 的集束火箭仿真训练系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(2): 366-368.
 [6] 温玮. 支持跨领域复用的协同建模环境的研究与应用[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2009.
 [7] 黄晓冬, 何友, 等. 一种基于 HLA 的弹性软件框架及其应用[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(1): 95-97.
 [8] 黄晓冬, 何友, 等. 一种基于 HLA 的飞机训练模拟器的研制[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(4): 897-899.
 [9] 徐君明, 李国林, 等. 基于线程消息映射的虚拟仪表盘设计方法[J]. 兵工自动化, 2010, 29(5): 71-73.
 [10] 徐君明, 赵红超, 等. 模拟训练系统中虚拟仪表盘设计的方法学研究[J]. 航天控制, 2010, 28(6): 72-75.
 [11] 徐君明, 李国林, 等. 基于动态链接库的虚拟仪表盘建模与仿真[J]. 航天控制, 2010, 28(1): 70-73.