

文章编号 :1001 - 2486(2004)05 - 0018 - 04

# 基于 HLA 的导弹攻防仿真系统分析与设计\*

梁彦刚,唐国金,雍恩米

(国防科技大学航天与材料工程学院,湖南长沙 410073)

**摘要** :基于 HLA 建立仿真应用系统是提高作战仿真活动效率的有效途径。分析了导弹攻防仿真系统的组成和特点,在联邦开发与执行过程模型(FEDEP)基础上,结合作者的开发经验,探讨了基于 HLA 的仿真应用系统开发的一般过程,将其总结为系统分析、联邦设计、FOM/SOM 开发、联邦成员实现与联邦集成四个步骤。给出了某地地导弹与宙斯盾防御系统攻防仿真的系统设计实例。

**关键词** :HLA ;导弹攻防仿真 ;联邦开发与执行过程模型

中图分类号 :TP391.9 文献标识码 :A

## The Analysis and Design of the Missile-Combat Simulation System Based on HLA

LIANG Yan-gang, TANG Guo-jin, YONG En-mi

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :The HLA-based simulation application system is an efficient approach to increase the efficiency of the combat simulation. The structure and characteristics of the missile-combat simulation system are analyzed first. Then, based on FEDEP of DMSO and experience of the authors, the general process of developing the HLA-based simulation application system is studied, which can be described in four steps: system analysis, federation design, FOM/SOM development and federate realization. In the end, an example, the design of the missile-combat simulation system between the ground-to-ground missile and the aegis system, is given.

**Key words** :high level architecture ; missile-combat simulation ; FEDEP

随着现代作战中武器系统、指挥系统等的日益复杂,采用分布式仿真和提高作战仿真活动的效率成为仿真技术能否在国防领域中成功应用的关键。未来大规模分布式仿真需要集成多个部门开发的不同类型的仿真应用,因而提高仿真效率的主要途径是提高系统内各仿真应用间的互操作性和可重用性。高层体系结构(HLA)是美国国防部建模与仿真办公室(DMSO)于1995年提出的一个全新的仿真技术框架。相对于DIS标准,HLA解决了灵活性、可扩充性、减少网络冗余数据等问题。基于HLA的仿真系统开发是当前一个重要的研究方向。导弹的进攻和防御是一个十分复杂的过程,没有一套完整的解析方法对它进行全面的分析,同时由于政治、经费等原因,实战演习比较困难,因此导弹攻防仿真系统是研究导弹进攻与防御的有效手段。

### 1 导弹攻防仿真系统分析

#### 1.1 系统组成

这里研究的导弹攻防仿真系统特指弹道导弹的攻防对抗仿真,该系统总体上讲一般由红蓝白三方组成。红方为攻方,为一枚或多枚弹道导弹;蓝方为防御方。一个完整的导弹防御系统一般由三部分组成:预警探测系统,作战管理/指挥、控制、通信和信息系统(BM/C<sup>3</sup>I),武器系统;白方为导演方,负责整个仿真的剧情想定,作战监控和作战评判。

\* 收稿日期 2004-04-02  
作者简介 梁彦刚(1979—),男,博士生。

## 1.2 系统特点

### 1.2.1 系统实体众多 结构复杂

导弹攻防对抗系统包含众多实体,如弹道导弹、预警卫星、预警雷达、反导导弹等,这些实体之间存在着一定的联系,整个系统的结构十分复杂。其固有的复杂性必然要求一套有效的方法与原则对其建模进行指导与帮助。当前国际上面向对象分析与设计(OOAD)发展迅速,且是进行系统分析的有效手段。有许多流行的 OOAD 方法,每种方法均给出了建模的具体实现框架,其中 UML 是在多家 OOAD 方法基础上发展起来的一种通用建模语言,是进行系统分析和设计的强有力的工具。文献[2]采用 UML 对导弹攻防仿真系统进行了分析,建立了概念模型。

### 1.2.2 系统是分布式系统

导弹攻防对抗仿真系统的结构复杂,采用集中式仿真存在许多缺点,如调试困难,扩展性差等<sup>[3]</sup>。因此导弹攻防仿真一般采用分布式仿真技术将分布在不同地理位置的各个子系统连接起来,构成一个时空一致的攻防仿真环境,通过攻防演练,对各个子系统的性能进行测试和分析。HLA 以其在互操作和可重用方面的强大优势,在很多领域已经取代了原来的 DIS 系统。虽然其在实时性上还存在一定的不足,但并不影响它在武器对抗仿真领域的应用,因而基于 HLA 开发导弹攻防仿真系统或将现有的 DIS 系统改造成与 HLA 兼容的系统,是该领域发展的必然趋势<sup>[4]</sup>。

## 2 基于 HLA 系统开发过程

基于 HLA 的仿真应用系统的开发同其它软件系统开发一样,都要遵循一定的步骤。根据 DMSO 提出的 FEDEP1.5 的描述,联邦的开发和执行分为六个基本步骤:(1)定义联邦目标;(2)开发联邦概念模型;(3)设计联邦;(4)开发联邦;(5)集成并测试联邦;(6)运行联邦并分析结果。这是一个通用的、一般的联邦开发过程,联邦开发者可以根据具体的应用领域特点,进行相应的调整和修改。下面结合作者的经验对联邦的开发过程分四步进行介绍。

### (1) 系统分析

开发基于 HLA 的仿真应用系统,首先是系统剧情想定,然后据此开发联邦概念模型(federation conceptual model, FCM)。这一步类似于传统的 OOA,重点是确定联邦中将包含的对象,以及这些对象之间的静态和动态关系,确定每一个对象类的行为特性(如属性、交互参数等)。HLA 是采用面向对象方法在分布式仿真领域建立的标准规范,但是 HLA 中对象模型的概念同 OOAD 中对象的概念并不完全一致<sup>[5]</sup>,OOAD 中的对象模型被描述成系统的抽象,而 HLA 中的对象模型仅仅关注联邦和联邦成员间进行信息交互所必须的要求和能力,但两者是有联系的。首先运用面向对象方法对系统进行深入分析,建立完整的系统概念模型,在此基础上根据联邦需求对此概念模型中的实体对象进行适当取舍,即可建立 FCM。

### (2) 划分节点,设计联邦

仿真节点的划分(一般认为每个联邦成员作为一个计算机节点,因而文中节点划分和联邦成员的确定是同义的)应从系统的特点和仿真硬件环境以及仿真要达到的目的等方面考虑,可以直接根据 FCM 中的实体对象来划分节点,也可以根据实体模型的复杂程度进行相应的分解或者合并。导弹攻防仿真系统可以简单地划分为三个节点:红方、蓝方和白方,如果考虑可视化视景显示,可再增加可视化节点。确定好成员后,根据 FCM 中规定的实体行为,为每个成员分配责任。

### (3) FOM/SOM 开发

在 HLA 模式下,对象模型分为联邦对象模型(FOM)和仿真对象模型(SOM)。FOM 提供一个联邦内各成员间所有用于交换的数据的详细说明,如公共的对象类及其属性、交互类及其参数等信息;SOM 提供每个成员仿真能够提供给联邦的自身功能的详细说明。FOM 要基于 SOM 开发,而各个成员 SOM 的开发则是建立在正确设计联邦为每个成员分配责任的基础上的。

### (4) 联邦成员实现与联邦集成

在完成 FOM/SOM 的开发,建立了联邦执行数据文件(FED)后,就可以进入程序开发阶段。几乎所

有的 RTI 系统开发者都提供了相应的成员框架自动生成工具,从而使得联邦开发者避免了基于 RTI 应用程序接口(API)编程带来的不便。当各个联邦成员开发完成后,就要进行联邦集成和测试,由于 RTI 对底层的封装性和成员的加入/退出联邦、公布/定购和更新/接收对象与交互信息、推进成员时间等给系统带来的复杂性,增加了系统调试的难度。在这一阶段可以借助一些辅助开发工具,如联邦校核工具(FVT)、联邦管理工具(FMT)。

### 3 仿真系统设计实例

#### 3.1 剧情想定

攻方为一枚某型号地地导弹,对敌海上航母舰队进行攻击,可进行再入机动变轨。防方为美海军宙斯盾防御系统,该系统能够探测、跟踪并摧毁敌方飞机、导弹、水面舰艇和潜艇。地地导弹从发射场发射后,在弹道中段被防御方探测雷达发现、跟踪,防方指控中心计算拦截弹发射诸元,控制拦截弹发射和对进攻弹的拦截。

#### 3.2 系统分析

系统的红方主要实体是地地导弹和指挥系统,也可以将导弹 GNC 系统单独作为一个实体对象。蓝方(宙斯盾防御系统)主要实体有探测雷达、制导雷达、拦截弹、指控中心、发射设备和目标模型等。探测雷达对来袭弹头进行探测、跟踪和识别,制导雷达为拦截弹提供末段制导的目标照射,拦截弹由助推器和动能杀伤器(KKV)组成,末段可以自主寻的,实施拦截,指控中心控制拦截弹的发射,并对飞行中的导弹进行控制。明确了系统所涉及的实体对象,可以用 UML 对系统作进一步分析,使仿真流程和各个状态更加明确,实体间的接口关系更加清晰。

#### 3.3 联邦开发

##### 3.3.1 节点划分

联邦设计是基于系统实体分析基础上进行的,但并不是 3.2 节中所涉及的每个实体都要作为一个联邦成员。可以将系统简单划为红蓝白三方。本仿真实例旨在对某型导弹的飞行性能和突防性能进行测试,实体模型较为复杂,为避免计算机负荷过大,节点具体划分如下:

- (1)地地导弹节点。主要完成导弹的飞行弹道计算,输出位置、速度、姿态等弹道参数。
- (2)地地弹 GNC 节点。完成地地导弹的 GNC 计算,形成导弹的制导、控制指令。
- (3)雷达节点。将探测雷达和制导雷达实体合为一个节点,进行进攻弹的探测信息计算。
- (4)拦截弹节点。将拦截弹、指控中心和目标模型合为一个节点,完成拦截弹的发射诸元和飞行、拦截弹道的计算,以及目标运动状态的计算输出。
- (5)管理节点。负责整个系统的准备、运行管理、监控和评估。

##### 3.3.2 FOM 的开发

根据 3.2 节的系统实体分析和 3.3.1 节对系统节点的划分,可以很方便地进行 FOM 的开发。表 1 给出系统对象类的定义。其中,每个实体属性还应包含时间参数,导弹的飞行状态标识表示其飞行阶段,雷达的工作状态标识表示其是否正常工作。交互类的定义较为简单,主要有拦截评估和目标毁伤评估,由管理成员根据进攻弹、拦截弹和目标的参数进行评估。

##### 3.3.3 SOM 开发

SOM 说明了成员的定购、公布特性,不同的 RTI 版本对此支持不同,有的可以满足对象属性级的定购、公布,而有的只能满足到对象级。这里只讨论定购、公布到对象级的情况。表 2 给出了系统 SOM 的设计情况。

表1 仿真系统的FOM设计之一

Tab.1 One of FOM design of simulation system

对象	导弹		地地弹 GNC	雷达	舰队目标
	地地导弹	拦截弹			
属性	飞行状态标识 位置、速度、姿态	飞行状态标识 位置、速度、姿态	主动段控制指令 中段控制指令 再入段控制指令	雷达工作状态标识 雷达对进攻弹观测信息	位置、速度

表2 仿真系统的SOM设计

Tab.2 SOM design of simulation system

联邦成员	公布的对象和交互	订购的对象和交互
地地导弹	地地导弹	地地弹 GNC ,舰队目标 ,拦截弹 ,拦截评估
地地弹 GNC	地地弹 GNC	地地导弹
雷 达	雷 达	地地导弹
拦 截 弹	拦截弹 ,舰队目标	地地导弹 ,拦截评估 ,毁伤评估
管 理	拦截评估 ,毁伤评估	地地导弹 ,拦截弹 ,舰队目标

### 3.4 程序实现

RTI采用某研究所的SSS-RTI,在其“HLA兼容应用程序自动生成向导”的协助下完成联邦成员的代码编写,每个成员所涉及的具体的实体模型这里不作详细介绍。仿真的初始化工作由各个成员加入联邦前自行完成,管理节点对仿真的开始、暂停等控制采用定义同步点的方式实现。实践证明,基于HLA开发导弹攻防仿真系统可以大大减少系统开发的工作量,降低其复杂性,提高可靠性。在完整开发FOM/SOM基础上,应用系统可以即插即用,提高了可重用性。

## 4 结束语

导弹攻防对抗仿真是研究和验证武器系统性能,探讨作战方式的有效手段,基于HLA建立分布式仿真系统可以很好地解决系统实体众多、实体间接口关系复杂带来的困难,有利于系统的可重用。本文给出了基于HLA的导弹攻防仿真系统设计的一般过程,进行了实例设计,在系统开发过程中还存在一些细节问题,如各个成员的同步、交互数据的正确收发以及仿真系统的调试等。

## 参考文献:

- [1] 戴剑伟,蒋晓原,等.基于HLA的武器对抗仿真系统开发研究[J].计算机仿真,2002,19(2):10~14.
- [2] 陈磊,王海丽,周伯昭.基于UML的仿真系统分析[J].计算机仿真,2001,18(3):28~31.
- [3] 陈磊.导弹攻防对抗仿真系统的研究[D].长沙:国防科技大学博士学位论文,2000.
- [4] 邹战,柳世考,李刚.DIS仿真系统升级到HLA的分析[J].计算机仿真,2003,20(1):76~78.
- [5] 童军,惠天舒,等.高级体系结构(HLA)中面向对象方法学的研究[J].系统仿真学报,1998,10(4):42~47.
- [6] 彦等.HLA仿真程序设计[M].北京:电子工业出版社,2002.

