

## 强激光武器协同防空作战仿真系统设计

王鑫<sup>1</sup>, 徐磊<sup>2</sup>, 苏智勇<sup>1</sup>

(1. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094; 2. 上海机电工程研究所, 上海 201109)

**摘要:** 为满足未来防空作战的需求, 改善传统防空武器系统性能以及火力配置的空缺, 将新型激光武器与传统防空武器相结合, 基于高层体系结构 HLA(High Level Architecture), 以编队的形式展开协同防空作战系统的设计和开发, 实现对系统作战方案、流程的仿真。整个作战仿真系统分为三部分: 仿真支撑平台、装备仿真模块和三维仿真模块。通过划分联邦成员, 建立概念模型, 确定对象类和交互类, 完成联邦集成, 实现各个分系统的构建。实现各武器系统以及相关工作过程的三维建模和仿真。利用实时分布式仿真平台 DTS(Distributed Time-Triggered Simulation)以及 OSG (OpenScene Graph)完成协同防空作战仿真系统的开发与测试, 展示了仿真系统的运行过程。

**关键词:** 新型激光武器; 协同防空; 高层体系结构; DTS; OSG

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 09-1990-06  
DOI:10.16182/j.cnki.joss.2016.09.010

### Design of Simulation System about Laser Weapon Cooperative Engagement

Wang Xin<sup>1</sup>, Xu Lei<sup>2</sup>, Su Zhiyong<sup>1</sup>

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;  
2. Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** To satisfy the need of air defense combat in the future, the concept of cooperative combat of new laser weapons and traditional anti-aircraft weapons was proposed. The simulation system based on HLA aimed to improve the performance of the system of traditional anti-aircraft weapons. The whole system was mainly divided into three parts: simulation platform, equipment simulation and three-dimensional simulation. Firstly, the object class and interaction class were designed according to federal members and federal integration. Then the important part was the three-dimensional modeling and simulation work of every weapon system. Finally, the air defense simulation system was realized on distributed simulation development platform DTS and OSG. The system was tested, and the process of system operation was showed.

**Keywords:** new laser weapon; cooperative air defense; high level architecture; DTS; OSG

## 引言

目前, 空袭与反空袭作战已经成为高技术条件下的主要作战模式。随着空袭打击的精度提高, 强

度增大, 机动性增加, 成本降低, 传统的防空武器系统正面临着巨大的挑战<sup>[1]</sup>。传统的速射高炮、导弹武器系统在反空袭时, 系统反应时间长, 射击速度受到限制, 射击时间长, 对目标毁伤效果评定时间长, 若第一次射击未成功拦截, 系统做出再次射击的时间相应减少。而且, 传统防空武器另一个致命的弱点是受电磁干扰的影响大, 一旦探测、跟踪、制导等电子设备遭受电子干扰, 武器系统将无法正



收稿日期: 2016-05-17 修回日期: 2016-07-11;  
基金项目: 国家自然科学基金(61300160);  
作者简介: 王鑫(1991-), 男, 江苏盐城, 硕士, 研究方向为计算机仿真; 徐磊(1983-), 男, 江苏淮安, 硕士, 高工, 研究方向为系统仿真; 苏智勇(1981-), 江苏泰州, 博士, 副教授, 研究方向为计算机视觉、计算机图形学、图形与视频处理。

http: www.china-simulation.com

• 1990 •

常使用。为此,一方面需要提高传统防空武器作战能力;另一方面,探索激光武器为代表的定向能武器,在工作原理、毁伤机理等方面突破传统防空武器的限制。和导弹、火炮等传统防空武器相比,激光武器具有快速、灵活、精确和抗电磁干扰等作战性能,在防空作战中发挥着独特的作用,已经陆续地进入实战部署阶段<sup>[2]</sup>。但是,激光武器自身也存在缺陷,如难以全天候作战,作战效能受环境影响较大等。所以,目前它还不能完全取代传统的防空武器系统,而是应该与传统武器系统协同防空,从而改善系统的薄弱环节,提高作战能力。

近年来,激光武器仿真技术和导弹防空仿真技术得到了飞速的发展并且日益成熟。然而,对激光武器和导弹协同防空作战仿真技术的研究还相对缺乏。2008年,海军装备部针对舰载激光武器系统仿真技术的发展要求和应用方向,提供了一套舰载激光武器仿真模型,并设计仿真软件对其开发评估<sup>[3]</sup>。2011年,西北工业大学以机载激光武器为研究对象,提出了基于HLA(High Level Architecture)的机载激光武器仿真系统的设计方案,对系统进行了反导拦截仿真实验以及数据分析,为机载激光武器反导效能的分析评估提供了平台和依据<sup>[4]</sup>。2013年,美国陆军首次成功地试验车载激光武器拦截迫击炮弹和无人机<sup>[5]</sup>。2014年,空军工程大学对机载激光武器跟踪瞄准精度要求进行分析,提出了复合轴的控制结构,对激光武器跟踪瞄准系统有着有效地控制,系统性能稳定<sup>[6]</sup>。与此同时,导弹防空作战仿真技术也步入了新的阶段,采取编队的形式完成空中对抗,大大地提高了整体防空作战能力。2012年,海军航天机电系统军事代表室采用数据链通信设备进行组网的多枚导弹以编队方式进行协同作战,研究了导弹编队协同作战的基本概念及关键技术<sup>[7]</sup>。2013年,中国空空导弹研究院以空空导弹制导系统半实物仿真为基础,基于HLA技术设计空战仿真战场,为其提供作战飞机敌我对抗的环境,研究了组件异构集成的空空导弹综合仿真系统的方法和主要技术问题<sup>[8]</sup>。2014年,中国人民解放军利用云计算技术,实现了编队协同防空反导,

最大限度地发挥了舰艇导弹编队的整体防空作战能力<sup>[9]</sup>。

将新型激光武器与传统防空武器相结合,以编队的形式进行协同防空作战,来弥补传统武器在防空作战系统性能上的不完善以及火力配置上的空缺,将是未来防空作战发展的新趋势<sup>[10]</sup>。本文以新型激光武器与传统防空武器编队协同防空作战为背景,提出协同防空一体化仿真环境的体系结构,模拟激光武器系统和导弹系统协同防空的作战过程。基于HLA以编队的形式展开协同防空作战系统的开发,设计友好的人机界面,对来袭目标联合搜索跟踪,形成满足协同防空作战需要的空中态势,实现对目标的协同联合火力打击。此系统增强了传统防空武器系统的作战能力,多功能、多层次地完成全方位协同防空的任务要求,军事需求突出,应用前景明确。

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统功能

协同防空作战仿真系统主要是模拟激光武器和导弹进行地面协同防空作战的过程,并演示得出作战结果。在满足传统防空系统作战功能的基础上,还要着眼于协同防空的军事需求,解决作战过程中强激光武器和导弹武器协调指挥控制的问题。

接收到作战指示之后,目标按照想定飞往作战地域,数据管理中心实时接收目标的数据信息,进行数据模型的解算,分析确定目标是否在搜索雷达的搜索范围内。如果判断为是,则立刻将搜索事件发送至搜索雷达。搜索雷达接收到数据管理中心发来的搜索事件之后,由仿真用户在搜索雷达仿真软件界面上根据导弹和激光武器的拦截范围选择攻击目标的武器系统,随后将目标数据信息的发送给武器系统。武器系统接收到搜索雷达发来的消息之后,会和数据管理中心有个消息验证反馈的环节,确认目标是否为数据管理中心发送给搜索雷达的目标,当数据管理中心确认该消息之后,操作者准备手动发射攻击目标。对远程目标,首先选择跟踪

制导发射车系统,由跟踪制导发射车发射导弹攻击目标。若目标被击毁,则拦截成功;若目标未被击毁,则选择激光武器系统,对目标攻击部位精确探测和稳定跟踪,并对目标进行再次攻击。若目标被击毁,则拦截成功;若未被击毁,则拦截失败。整个协同防空系统作战流程如图 1。

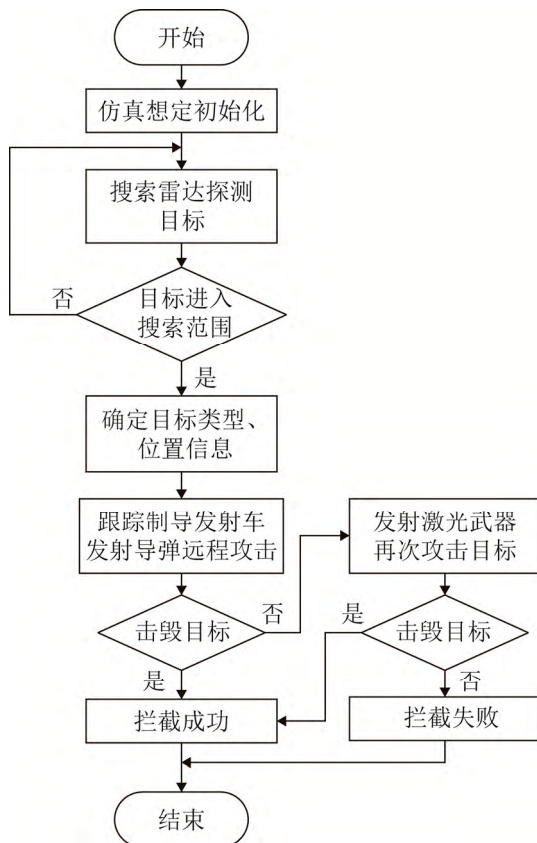


图 1 协同作战仿真系统作战流程图

纵观作战仿真流程,协同防空作战仿真系统的主要功能包括:

- (1) 仿真激光武器、导弹、搜索雷达、目标四个子系统的功能显控和动画过程;
- (2) 提供各系统仿真软件界面,实时监控显示数据信息,方便用户控制激光武器和导弹的发射,实现协同防空;
- (3) 仿真系统具有扩展性,可以联入更多的武器、飞行目标等仿真设备,增加作战的真实性。

## 1.2 系统组成

根据协同作战防空仿真系统的功能需求、参与

对象以及作战流程,仿真系统主要分为仿真支撑平台、装备仿真模块和三维仿真模块三部分。

仿真支撑平台是协同防空作战仿真系统的运行基础,重点研究面向协同防空作战仿真功能需求的实时分布式仿真平台。主要包括联邦成员对象类设计和联邦成员交互类设计。

装备仿真模块是仿真系统的核心部分,主要是研究作战成员的仿真建模技术,包括目标系统、搜索雷达系统、跟踪制导发射车系统、激光武器系统和数据管理中心系统。

三维仿真模块提供作战仿真过程中装备模型的三维建模、作战环境仿真和作战可视化效果等等。

## 2 联邦设计

联邦设计的目的是确定防空作战仿真系统的联邦成员。根据系统功能及组成,本文设计如图 2 所示的仿真系统。在设计联邦时重点研究搜索雷达系统、激光武器系统和跟踪制导发射车系统。

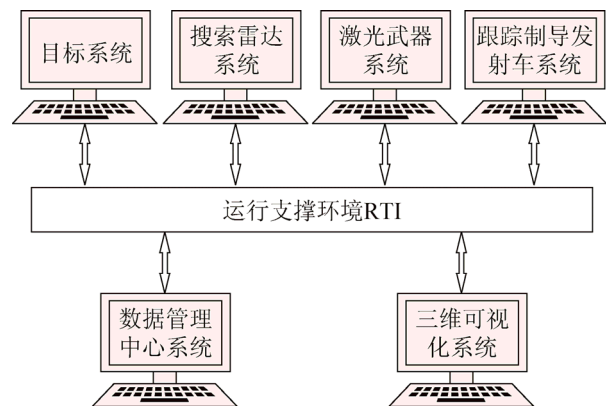


图 2 协同作战仿真系统组成

### 2.1 搜索雷达系统

#### 2.1.1 功能

搜索雷达系统可以调入雷达各种工作状态的显控动画模型,可实时控制雷达工作的显控动画,可向综合数据管理中心发送雷达位置、搜索空域参数以及雷达工作状态等。同时,搜索雷达系统还具备对系统战情数据的实时记录、重演和分析的功能。

### 2.1.2 数据处理模型

搜索雷达可设置的参数主要包括威力、工作方式、信号处理方式、天线转速、工作波长、天线增益、接收机带宽以及处理原点。

为了能够实时定位带有噪声干扰的目标,搜索雷达设置两种工作方式:点频和捷变频。当搜索雷达工作方式点频时,若目标释放瞄准式干扰(带宽较窄的噪声干扰),搜索雷达根据雷达设置的参数,通过威力方程计算雷达是否受到干扰。若被干扰,搜索雷达更改工作方式捷变频,干扰消失,继续对目标进行定位。若目标释放阻塞式干扰(带宽较宽的噪声干扰),同样通过雷达威力方程计算来判断雷达是否受到干扰,如果雷达未被干扰,则继续定位目标,否则丢失目标。

雷达干扰情况下的威力方程如下:

(1) 按公式确定接收机输入端的噪声干扰功率:

$$P = \frac{P_n \cdot G_n \cdot \lambda^2 \cdot G \cdot L \cdot \Delta f}{(4\pi)^2 \cdot R^2 \cdot \Delta F}$$

式中: $P_n$ 和 $G_n$ 分别表示干扰机发射功率和天线增益; $\lambda$ 表示波长; $G$ 表示搜索雷达天线增益; $R$ 表示搜索雷达和干扰机之间的距离; $L$ 表示大气和接受通道损耗; $\Delta F$ 和 $\Delta f$ 表示噪声宽带和接收机宽带。

(2) 按公式计算变换数值: $k = (P + P_b) / P_b$ 。

式中: $P_b$ 取-102 dBm。

(3) 最终干扰情况下威力为: $R' = R / \sqrt[4]{k}$ 。式中: $R$ 为原搜索雷达威力。

工作过程中,雷达天线转速可设置,默认2s一转,即雷达探测数据率为2s。雷达进入工作状态后,根据设置的原点坐标与数据管理中心发送的目标信息,对目标进行定位,将目标手动分配给各武器系统,由各武器系统完成对其威力范围内目标的攻击。

## 2.2 激光武器系统

### 2.2.1 功能

激光武器系统的功能主要包括仿真动画、动画显控、参数设定、数据处理以及系统战情数据的记

录、重演、分析。对搜索雷达分配的目标进行跟踪,在红外显示界面上显示跟踪动画。发射激光武器之后,数据管理中心通过模型计算确定是否击毁目标,若是则将爆炸事件发送至目标系统。

### 2.2.2 数据处理模型

激光武器系统可设置的参数包括激光功率、光电跟踪威力及视场、阵地原点。

激光发射的过程中,根据激光传播模型、到靶功率密度计算模型与目标材料、位置信息确定激光武器对该目标能否成功杀伤。激光传播模型表征了一定功率的强激光在传播一定距离后剩余的功率密度。到靶功率密度计算模型表征了一定功率密度的强激光对一定材料的毁伤效果。通过设置的激光功率与上述两个模型即可计算出激光武器对来袭目标的杀伤范围。如果该目标进入激光武器的杀伤范围,则选择激光武器攻击目标。

## 2.3 跟踪制导发射车系统

### 2.3.1 功能

跟踪制导发射车系统的功能主要包括:跟踪雷达的行军、展开、撤收功能;跟踪雷达实时作战显控、数据处理功能;导弹发射显控功能;对系统战情数据的记录、重演和分析。

### 2.3.2 数据处理模型

(1) 导弹发射显控模型

以20 Hz的频率定期接收由搜索雷达发来的事件信息,控制导弹的发射状态,及时将导弹发射状态和控制信息发送到综合数据管理中心。

(2) 跟踪雷达数据处理模型

定期接收搜索雷达发来的目标信息,引导天线波束指向目标方向,并告知数据管理中心跟踪雷达天线波束方向。数据管理中心提取波束范围内的目标,并以20 Hz的频率将目标信息发送给跟踪雷达。

## 3 联邦开发

联邦开发主要是开发联邦对象模型,确定联邦

成员,公布订购关系和属性参数<sup>[11]</sup>。根据协同防空作战仿真系统应用需求分析,设计联邦成员对象类和交互类,构建仿真联邦。

联邦成员对象类的作用是根据协同防空系统的功能和需求,划分确定系统联邦成员及其属性,包括各成员的参数设定、数据处理以及自身相关工作的三维仿真管理。联邦对象模型中的对象类与仿真平台中的联邦成员相关,因此定义的对象类如下:激光武器类、搜索雷达类、跟踪制导发射车类、数据管理中心类、目标类和三维可视化类。将这些对象类生成一个对象类结构表,如表 1 所示。

表 1 地空作战仿真系统对象类结构表

联邦成员	对象类
跟踪制导发射车	TLV_Obj
激光武器	LLV_Obj
搜索雷达	SCV_Obj
目标	TP_Obj
数据管理中心	MC_Obj
三维可视化	Visual_Obj

联邦成员交互类是描述联邦成员之间的订购关系,成员之间的交互信息包括战前部署命令、仿真成员指控命令、地空背景参数、设备部署参数等等。联邦成员交互关系及其属性结构如图 3 所示。

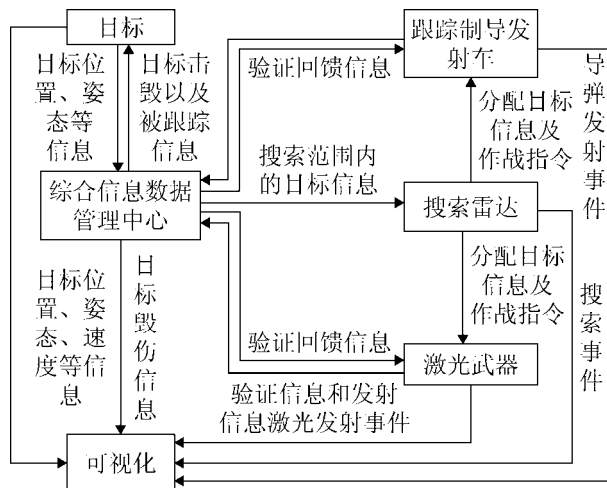


图 3 协同作战系统交互关系及属性结构图

## 4 系统实现

协同作战仿真系统的开发在神州普惠分布式

仿真开发平台 DTS(Distributed Time-Triggered Simulation)上实现。开发工具是 VS2008,基于 OSG(Open Scene Graph)开发可视化效果,建立三维实体和场景模型,模拟逼真的战场环境。

如图 4 所示,作战场景主要包括三维作战环境、搜索雷达、跟踪制导发射车、激光武器和目标。



图 4 协同防空作战场景

仿真开始,目标按照作战想定飞行,进入搜索雷达的搜索范围后,数据管理中心将目标信息发送给搜索雷达,用户将目标手动分配给跟踪制导发射车系统,跟踪制导发射车发射导弹对高空目标进行远程攻击。导弹与目标交会效果如图 5。

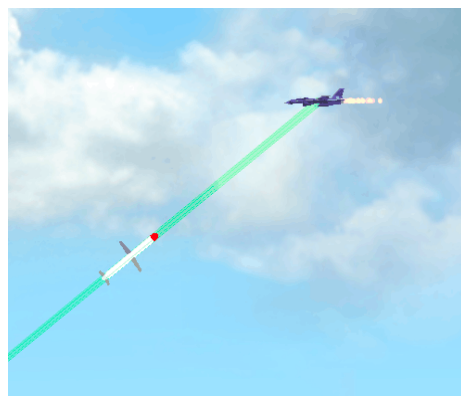


图 5 导弹攻击目标效果图

若目标被击毁,导弹会将爆炸事件发送给数据管理中心。若未被击毁,目标继续飞行,进入低空区域。由于导弹系统做出第二次射击的反应时间比较长,所以用户此时可以选择激光武器系统对目标做出迅速攻击,以此来弥补导弹系统的性能上的不足。激光武器击打目标效果如图 6。

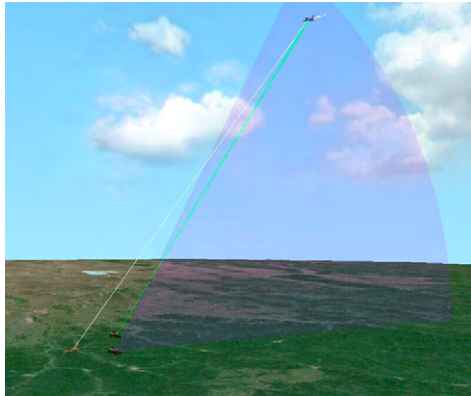


图 6 激光武器攻击目标效果图

实现激光武器和导弹协同防空作战仿真系统, 时间管理和数据管理是平台的重要研究内容。本系统采用基于步长的时间推进策略, 各仿真对象在建模时, 提高模型效率, 确保模型解算能够在设定的推进步长时间内完成。数据服务采用集中式分布式相结合的数据收集形式, 将集中式和分布式数据收集联合起来, 共同完成数据收集任务。该方法结合了两种收集方式的优势, 更加灵活, 处理能力强, 完成数据收集的速度也更快。

在联邦运行过程中, 各联邦成员调用 RTI (Run-Time Infrastructure) 标准服务, 完成加入联邦、设置时间管理方式、发布和订购对象类和交互类等工作<sup>[12]</sup>。联邦采用多线程技术, 在联邦成员不断更新场景显示的同时, 保证成员之间的实时通信。联邦运行开始, 根据初始值实时显示作战场景和联邦成员的三维模型; 创建联邦之后, 联邦成员加入联邦, 开始实时操作, 不断更新自己的位置状态, 根据仿真用户的操作, 完成激光武器和导弹武器协同防空的作战流程。

## 5 结论

本文为满足未来新型防空作战的技术要求, 设计并开发了基于 HLA 的激光武器和传统导弹武器协同防空作战仿真系统, 展示了该系统的工作内容

和 workflow, 并完成对系统的测试。系统采用编队的形式对来袭目标联合搜索跟踪, 实现对目标的协同联合火力打击, 最大程度地发挥激光武器参与的整体防空作战能力。系统具有较好的独立性, 便于组建的重用和系统的扩展, 为开发可重用性好、置信度高的防空作战仿真应用提供了强有力的技术支持, 具有较好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 张肃, 叶立新, 王书伟, 等. 体系作战对防空导弹武器装备发展的需求分析 [J]. 飞航导弹, 2012(9): 52-56.
- [2] 李勇, 汪民乐, 张均. 高能激光武器对弹道导弹毁伤能力研究 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(5): 588-592.
- [3] 王佩, 吕梅柏, 李言俊, 等. 基于 HLA 的机载激光武器仿真系统设计 [J]. 西北工业大学学报, 2011, 29(2): 198-204.
- [4] 栾胜利, 韩建兴, 蒋充剑. 舰载激光武器系统建模与仿真技术 [J]. 指挥控制与仿真, 2008, 30(5): 61-64.
- [5] 刘晓明, 葛悦涛. 美国陆军首次成功试验车载激光武器拦截迫击炮弹和无人机 [J]. 飞航导弹, 2014(2): 12-12.
- [6] 聂光成, 刘敏, 聂宜伟, 等. 机载激光武器跟踪瞄准精度, 误差源及控制分析 [J]. 光电与控制, 2014, 21(1): 73-77.
- [7] 肖志斌, 何冉, 赵超. 导弹编队协同作战的概念及其关键技术 [J]. 航天电子对抗, 2013, 29(1): 1-3.
- [8] 夏丰领, 刘晓宁, 张宏飞, 等. 基于 HLA 和 DIS 的航空导弹综合仿真方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(3): 455-459.
- [9] 陈骄阳. 基于云计算的舰艇编队协同防空作战体系研究 [J]. 航天电子对抗, 2015, 31(2): 52-55.
- [10] 李焯, 邱志明, 郭勇. 编队多平台协同防空作战系统逻辑结构分析 [J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(6): 12-16.
- [11] 肖冰松, 方洋旺, 周晓滨, 等. 基于 HLA 的航空武器协同作战仿真系统设计 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(13): 3965-3968.
- [12] 睢志佳, 程咏梅, 杨峰, 等. 基于 HLA 的机载多传感器探测仿真系统设计及实现 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(6): 1212-1217.