

基于 HLA 激光制导导弹仿真的研究与实现

Research and Implementation on Simulation of Laser-guided Missile Based on HLA

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 孙文涛 于国权 于 洋

SUN Wen-tao YU Guo-quan YU Yang

摘要: 为了评估半主动激光制导导弹的效能,介绍了一种基于 HLA 和 MultiGen Vega 环境开发分布式虚拟现实仿真系统的方法。利用 MultiGen Creator 建立导弹、攻击目标、地形的仿真模型。以半主动激光制导导弹对地面保护目标的攻击,以及激光为保护地面目标而对导弹导引头干扰的数学模型为基础,利用 HLA 建立分布式交互仿真环境,通过 Vega 来驱动视景仿真模型。并在仿真中添加了特殊效果。该系统实现了一个可重用,具有互操作性的光电对抗仿真支撑平台。该仿真系统能够方便地对参数进行修改,直观的显示仿真结果,方便地对武器效能进行评价。

关键词: 虚拟现实; HLA; Vega

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Abstract: To evaluate the semi-active laser-guided missile performance, this paper introduces a method, which is based on HLA and MultiGen Vega environment to develop a virtual reality simulation system which is distributed. The simulation models of the missile, the target attacked and the terrain are established with MultiGen Creator. Distributed interactive simulation environment is established with HLA and simulation models are driven by MultiGen Vega on the basis of mathematical models, models describe the processes of the semi-active laser-guided missile attacking the target on the ground which is protected and the laser jamming the missile seeker for the protection of target. Special effects are added to simulation. The system implementation a reusable, and interoperability of Reelectro-optical countermeasure simulation platform. The parameters of simulation system can be easily modified, and the simulation results are shown directly, these make the effects evaluation of weapons easily.

Key words: Virtual Reality; HLA; Vega; Monte-Carlo

技术创新

1 引言

仿真体系经历了从集中式、封闭式到分布式、交互式 and 开放式,从 DIS 到 HLA 的发展阶段。HLA 是美国国防部推出的在分布仿真领域最新的通用集成框架结构,旨在促进仿真用户互操作性和仿真资源的可重用性,是创建基于组建的分布式仿真的理想框架体系结构,现已成为当今分布式交互仿真领域的主流技术。Vega 是用于虚拟现实以及其它可视化领域的应用软件工具。对光电对抗系统进行仿真研究可减少开发成本,缩短研制周期,以较低的代价提高武器装备的战术性能,为论证和作战使用提供参考,因此光电对抗系统仿真的研究具有重要意义和参考价值。

2 系统研究目标

该仿真系统旨在构建一个光电仿真使用的通用,涵盖各种任务需求的分布式战场环境,为论证和作战使用研究提供先进的技术途径。该环境集成战术机动、半主动激光制导导弹、激光干扰、复杂气候环境等三维模型。可建立多种对抗样式为应用背景,分布交互仿真系统。

3 数学模型的建立

3.1 仿真场景的想定

机载激光指示器照射目标,半主动激光制导导弹接收到漫反射的光线,当接收到的激光能量超过导引头探测器灵敏度值,

并且目标在导弹视场内,采用追踪法攻击目标。干扰激光为了保护地面目标,对导弹导引头实施干扰。

3.2 1.06μm 激光大气传输模型及目标反射模型的建立

1.06μm 激光在半主动激光制导中应用广泛,1.06μm 激光在大气中传输时,其衰减的主要因素是气溶胶,其中气溶胶散射引起的衰减又比吸收大得多,纯净大气中气体分子的吸收和散射导致的衰减与之相比,可以忽略不计。对于晴朗或含霾等地面能见度相对好一点的天气,大气气溶胶含量和粒子半径分布与能见度相关度很高。因此,1.06μm 激光在大气中传输的衰减系数,随能见度变化最大,而受温度、气压等气象参数影响较小。

1.06μm 激光斜程传输时,其大气透射率为:

$$T_a = \exp \left\{ -\frac{k}{Rv \sin \alpha} (1 - e^{-0.835H}) \right\} \quad (1)$$

Rv 为能见距离,即大气能见度,(km); L 为激光的辐射距离,(km); H 为激光传输的垂直高度, $H = L \sin \alpha$; α 为激光斜程传输时与水平面的夹角。

表 1 不同地区的 k 值

地区	农村	城市	海洋	沙漠
k	2.828	3.132	4.543	2.496

目标对激光反射的模型有多种形式,但这些模型一般都复杂且难以在计算机上实现,这里给出一种相对简单实用的目标反射模型。假定目标为一漫反射球体,类似于坦克的炮塔。漫反射规律遵循 Lambert 余弦反射定律,即激光反射的强度正比于目标视线与目标法线之间夹角 θ_L 的余弦值。考虑大气、导引头光学系统、指示器光学系统对激光的衰减,得到公式:

孙文涛: 副研究员 硕士生导师

$$\frac{R^2}{\tau_g} = \tau_i \times \frac{\rho_i \sigma_i \sigma_g I_i}{\pi T} \cos \theta_L \quad (2)$$

R 为导引头到目标的距离, τ_g 为激光在目标与导引头之间距离为 R 时的透射率, τ_i 为目标到指示器距离之间激光透射率, ρ_i 为目标反射系数, σ_i 为激光指示器光学系统衰减系数, σ_g 为导引头光学系统衰减系数, I_i 为激光指示器能量密度, T 为导引头探测器灵敏度值。由此公式可求得目标到导引头的探测距离 R。

3.3 导弹以及目标数学模型的建立

用四阶龙格-库塔方法解算导弹弹道时,因为无法获得导弹的气动系数,只考虑导弹的运动学方程,忽略导弹绕质心转动的运动学方程,导弹在没有发现目标时按照预先设定速度与加速度,弹道倾角与弹道偏角运动。导弹发现目标的条件:指示激光经目标反射到导弹导引头的能量大于或等于导弹导引头探测器的灵敏度阈值且目标在导弹的视场内。在视景显示时,要显示导弹的姿态角,可以利用一种近似处理,把导弹的弹道倾角,偏角分别近似为导弹俯仰,偏航角,而导弹滚动角始终为零。

4 分布式仿真系统的构建

4.1 仿真联邦的结构

仿真系统结构如图 1 所示。

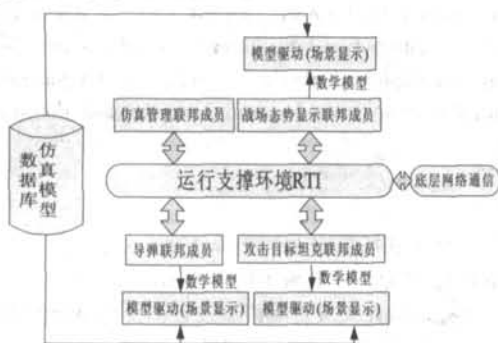


图 1 仿真系统结构图

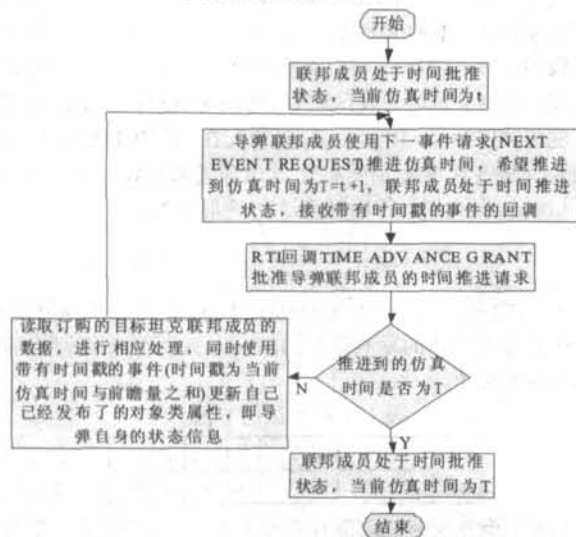


图 2 导弹邦员使用下一事件请求推进仿真时间过程图

在分布式仿真系统中,按照分布式结构来划分仿真系统的结构。在实际的开发中,该仿真系统包括四个仿真应用程序,这四个仿真应用程序分布在网络环境下,每个完整的仿真应用程序包括底层联邦成员的 RTI 通信与 3D 虚拟场景和/或 2D 图形

界面。

导弹联邦成员订购目标坦克的信息,根据仿真需要,进行必要的处理,并把处理结果传递给导弹联邦成员所对应的 3D 虚拟场景渲染部分,它同时根据 3D 虚拟场景渲染与处理的结果来发布自身的一些状态。

目标坦克联邦成员发布自身的一些状态信息,比如运动的方向向量,方位坐标信息等,根据仿真需要把自身的信息传送给 3D 虚拟场景渲染部分。

战场态势显示联邦成员订购导弹联邦成员和目标坦克联邦成员的信息,以便把导弹和目标坦克以及一些其它的参数信息,如大气信息等融合到一起形成一个整体的虚拟场景。从而把分布环境下的各个仿真实体的信息融合到一个完整的仿真应用程序中,形成战场整体态势。

管理联邦成员负责控制整个仿真联邦的仿真时间的推进,与墙钟时间的同步,同步点的设置等,以保证整个仿真联邦的顺利推进。

4.2 联邦成员时间推进机制

在本仿真系统中,导弹联邦成员使用下一事件请求(NEXT EVENT REQUEST)推进仿真时间,其它的联邦成员使用时间推进请求(TIME ADVANCE REQUEST)来推进仿真时间。它们的初始仿真时间为 1,前瞻量为 0.01,前瞻量在整个仿真联邦中始终保持不变。使用时间推进请求(TIME ADVANCE REQUEST)来推进仿真时间的联邦成员在整个仿真联邦中推进时间的步长始终为 1。

导弹联邦成员使用下一事件请求 (NEXT EVENT REQUEST) 完整地推进一次仿真时间(完整推进一次仿真时间是指不管联邦成员以什么推进方式,推进到的仿真时间与当前仿真时间的差值为 1)如图 2 所示。

4.3 视景仿真模型的建立与驱动

4.3.1 视景仿真模型的建立

Multigen Creator 软件是专业虚拟现实建模软件核心产品,它的诸如细节,多边形筛选,逻辑筛选,绘图优先及分离面等高级实时功能使得 Open Flight 格式在实时三维领域成为最流行的图像生成格式,并成为视景仿真领域事实上的行业标准。

4.3.2 仿真模型的驱动

创建一个线程用来作为 Vega 仿真模型的驱动:

```
UINT runVegaApp(LPVOID pParam)
```

```
{    vgInitWinSys( AfxGetInstanceHandle(), pOwn->GetSafeHwnd() );//系统进行初始化。
```

```
    vgDefineSys ( "town.adf" ); //创建仿真所需各种实例, ADF 文件通过 Vega 的 LynX 建立。
```

```
    vgConfigSys();//完成系统配置。
```

```
    while (pOwn->GetContinueRunning()) //如果不结束仿真,则循环一直进行下去。
```

```
    {    vgSyncFrame ();//当前帧的应用进程同步处理,保证应用进程与给定的帧频率同步。
```

```
        pOwn->postSync();//数值解算,包括导弹与目标的运动轨迹,激光能量的计算。
```

```
        vgFrame ();//完成当前帧的剔除和绘制进程及其相关处理。
```

```
    } // while (pOwn->GetContinueRunning())
```

```
    } // UINT runVegaApp(LPVOID pParam)
```

5 HLA 与 Vega 之间协调工作

5.1 HLA 与 Vega 协作流程图如图 3 所示

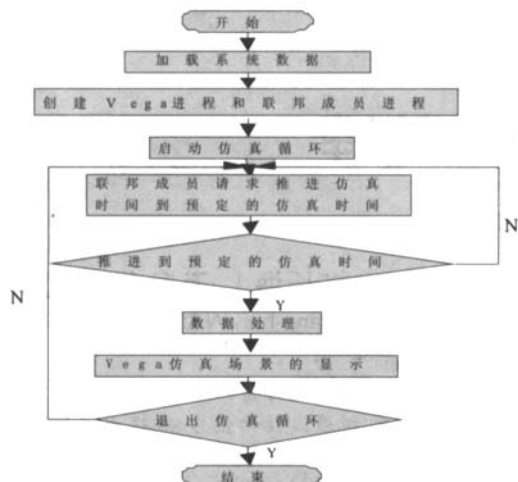


图3 HLA与Vega协作流程图

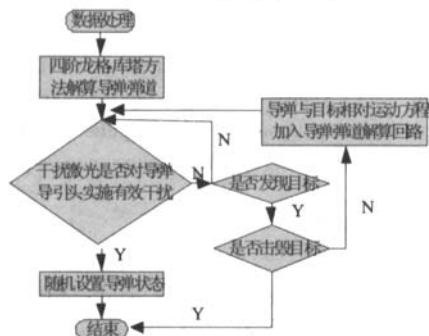


图4 导弹联邦成员的数据处理流程图

在实际的应用中,导弹联邦成员的数据处理部分是在Vega进程中完成的。导弹联邦成员的数据处理流程如图4所示。

5.2 联邦成员与视景显示之间的时间协调机制

本仿真系统完全使用保守同步机制,因此整个联邦的推进步调能受某个时间调节的联邦成员控制。如果一个时间调节的联邦成员停止推进它的仿真时间,那么整个联邦都会停止推进;如果一个时间调节的联邦成员只在对应墙钟到来时推进它的仿真时间,那么其它联邦成员的时间推进都将与墙钟时间一致。在实际的应用中,管理联邦成员根据墙钟时间步调推进仿真时间,也就是说,管理联邦成员每推进仿真时间1,就休眠一段时间等待下一个墙钟时间的到达,每个墙钟时间的到达的间隔是以三维场景刷新一帧所用的时间为标准的,即为0.04s。这有个前提是管理联邦成员推进仿真时间1所用的物理时间,也就是墙钟时间应该小于或等于0.04s,当所用的时间小于0.04s时,管理联邦成员通过睡眠的方式,等待下一个墙钟时间的到达。管理联邦成员的时间推进如图5所示。



图5 管理联邦成员的时间推进

在墙钟 t_0 时刻,管理者联邦成员处于时间批准状态,仿真时间为 t ;在墙钟 t_c 时刻,管理联邦成员请求推进仿真时间到 $t+1$ 。在墙钟 t_1 时刻推进请求被批准,管理者联邦成员将休眠时间间隔 $t_c+0.04s-t_1$ (墙钟时间),即休眠到 $t_c+0.04s$ 。在墙钟 $t_c+0.04s$

时刻,管理者联邦成员请求推进仿真时间到 $t+2$ 。在墙钟 t_2 时刻推进请求被批准,管理者联邦成员将休眠到 $t_c+2*0.04s$ (休眠时间间隔为 $t_c+2*0.04s-t_2$),接着请求推进到 $t+3$ 。实际开发中必须保证联邦比墙钟时间运行得快。即: $t_1 < t_c+0.04s$ 和 $t_2 < t_c+2*0.04s$ 。

5.3 联邦成员进程与Vega进程之间的通信

在仿真应用程序开发初期时,联邦成员和Vega都采用多线程的方式,以多线程的方式运行时,线程的堆栈很容易溢出,线程之间的防护不够紧密。所以在实际的应用程序开发中采用多进程的方式。多进程之间的通信一般采用共享内存的方式,一般在页面文件中开辟一块空间作为共享内存使用。Vega进程与RTI进程之间通讯的过程,必须保证共享内存互斥访问,可以利用Windows核心对象对共享内存进行互斥访问,如本仿真系统中使用的是互斥器Mutex。Vega进程与RTI进程之间使用Windows核心对象进行同步。本仿真系统使用的是事件对象Event。Vega进程与HLA进程之间利用共享内存进行通信的方式如图6所示。

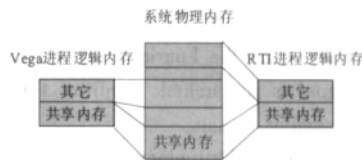


图6 Vega进程与RTI进程用共享内存通信示意图

6 结束语

构建半主动激光制导导弹在激光的干扰下对目标攻击的过程的分布式视景仿真程序,改变了传统对武器性能的评价方式,极大的提高了武器性能的评价效率。

本文作者创新点:改变传统对武器性能的评价方法,利用分布式构建视景仿真系统,方便地修改武器性能参数,直观地对武器性能评价,取得非常理想的效果,使武器先试后买成为可能。

参考文献

- [1]付正军等.计算机仿真中的HLA技术[M].北京国防工业出版社,2003.6.
- [2]王乘,李利军等. Vega 实时三维视景仿真技术[M]. 华中科技大学出版社,2005-12.
- [3]肖琼,余庄.基于Vega的消防报警控制系统的仿真[J]. 微机计算机信息,2007,12-1:192-194.
- [4]周彦等. HLA 仿真程序设计[M]. 电子工业出版社,2002.6.
- [5]高智杰,张安,史国华.风标式激光导引头光电建模与仿真[J]. 光电工程,2007, 34-1:4-8.

作者简介:孙文涛(1967-),男,副研究员,硕士生导师,研究方向:计算机仿真与虚拟现实。

Biography:SUN Wen-tao (1967 -),Male, Born in Jilin Changchun, Associate professor in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,Chinese Academy of Sciences, Main Research Fields: Computer Simulation.

(130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 孙文涛 于国权 于洋

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130033, China) SUN Wen-tao YU Guo-quan YU Yang

通讯地址:(130033 中科院长春光机所光电对抗部) 孙文涛

(收稿日期:2009.01.06)(修稿日期:2009.04.06)