

机动弹头攻防视景仿真系统研究

王 鹏, 吕 鸣, 郭鸿武, 韩 阳, 周 彬
(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 通过建立机动弹头大气层外动力学模型, 利用 Vega、Creator 视景开发软件建立三维实体模型, 在 VC/MFC 开发平台基础上, 解决 Simulink 仿真模块与视景仿真模块数据交互问题。构建三台计算机联合仿真平台, 真实模拟机动弹头攻防对抗过程, 并设计开发了弹道导弹中段攻防对抗视景仿真系统。主要包括机动弹头动力学模型构建和弹道数据产生, 数据通信交互程序设计, 视景仿真程序设计和动态显示。

关键词: Vega; 视景仿真; 机动弹头; 动态显示

中图分类号: TP271 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-8110 (2014) 01-0075-06

Research on Combat Visualization Simulation System of Maneuvering Warhead

WANG Peng, LV Ming, GUO Hong-wu, HAN Yang, ZHOU Bin
(Mechatronic Engineering and Automation School of National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The exoatmospheric kinetic model of maneuvering warhead is built, and three-dimensional solid model is built using the Vega and Creator visual development software. The problem of data exchange between simulink simulation module and visualization module is solved based on VC/MFC development platform. The co-simulation platform of three computers is built, and the platform can simulate the combat progress of maneuvering warhead. The missile attack and defense visualization simulation system is developed, which includes kinetic model of maneuvering warhead and trajectory data generation, the design of data communications interactive program, the design of visualization simulation program and dynamic display.

Key words: Vega; Visual simulation; Maneuvering warhead; Dynamic display

0 引言

视景仿真又称为虚拟现实仿真, 它是计算机技术、图形图像技术、光学技术、控制技术等多种高科技的结合。视景仿真技术是现代仿真技术的一个重要分支, 是虚拟现实技术、分布式交互仿真技术研究的主要内容之一, 它利用计算机图形图像技术, 根据仿真的目的, 构造仿真对象的三维模型或再现真实的环境, 能够实现传统仿真技术所无法实现的逼真的仿真特效^[1]。

随着科学技术的发展, 武器装备的日益复杂化。视景仿真被越来越多的运用到军事领域, 并在武器装备的研究和论证、计算机模拟的军事训练和对抗中发挥重要作用^[2]。现代战争中, 导弹

往往被用于打击敌方纵深目标, 形成战略威慑, 已经成为现代战争中不可或缺的重要武器。利用视景仿真技术对导弹的飞行过程进行动态显示不仅具有良好的安全性、可控性, 重复性和保密性等优点, 而又有利于缩短研制和试验周期, 提高武器的性能指标, 节约研制经费, 具有重要意义。

本文采用视景仿真软件 Creator 和 Vega, Matlab 仿真模块 Simulink, 结合 VC++6.0/MFC, 建立模型对象, 构建三机联合仿真平台, 分别模拟进攻弹、拦截弹、导引头与进行视景开发显示, 利用网络通信解决数据交互问题, 对机动弹头在大气层外攻防对抗状态进行动态显示。

收稿日期: 2014-05-10; 修订日期: 2014-06-18。

基金项目: 航天技术支撑基金 (编号: 2012-HT-GFKD)

作者简介: 王鹏 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事精确制导与控制方面的研究。

E-mail: wangpeng_nudt@126.com。

1 机动弹头模型

为增强仿真的可信度,在机动弹头攻防视景仿真系统中需要提供机动弹头飞行过程的实时位置姿态信息以及运行状况,然后利用视景仿真工具进行实时动态显示和渲染。要生成机动弹头飞行过程弹道数据,关键问题就是建立机动弹头运动的动力学模型,然后利用 Simulink 仿真,得到飞行过程六自由度数据。

$$\begin{cases} \dot{V}_m = -\frac{M}{(R+h)^2}\sin\theta + (T_x\cos\alpha\cos\beta - T_y\sin\alpha\cos\beta + T_z\sin\beta)/m \\ mV_m\dot{\theta} = -\frac{M}{(R+h)^2}g\cos\theta + T_x\sin\alpha\cos\gamma_c + T_x\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma_c + T_y\cos\alpha\cos\gamma_c - T_y\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma_c - T_z\cos\beta\sin\gamma_c \\ -mV_m\cos\theta\dot{\psi}_c = T_x\sin\alpha\sin\gamma_c - T_x\cos\alpha\sin\beta\cos\gamma_c + T_y\cos\alpha\sin\gamma_c + T_y\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma_c + T_z\cos\beta\cos\gamma_c \end{cases} \quad (1)$$

式中, V_m 为突防弹的速度, m 为突防弹的质量, θ , ψ_c , γ_c 分别为突防弹的弹道倾角、弹道偏角和速度倾斜角, α 和 β 分别为突防弹的攻角和侧滑角。弹道导弹在大气层外飞行时没有空气动力,只受地球引力 G 和发动机推力 T_x , T_y , T_z 的影响。

突防弹质心旋转的动力学方程为:

$$\begin{cases} J_x \frac{d\omega_x}{dt} + (J_x - J_y)\omega_z\omega_y = M_x \\ J_y \frac{d\omega_y}{dt} + (J_x - J_z)\omega_z\omega_x = M_y \\ J_z \frac{d\omega_z}{dt} + (J_y - J_x)\omega_x\omega_y = M_z \end{cases} \quad (2)$$

式中, J_x , J_y , J_z 分别为突防弹绕三个弹体轴的转动惯量, ω_x , ω_y , ω_z 分别为突防弹旋转角速度矢量在弹体坐标系各轴上的分量, M_x , M_y , M_z 分别为作用于突防弹上的所有外力对质心的力矩在弹体坐标系各轴上的力矩分量。

研究突防弹的运动规律时,一般是相对地面坐标系来说的,以地面坐标系为基准,利用速度坐标系和地面坐标系之间的夹角余弦关系,即可得质心移动的运动学方程:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V\cos\theta\cos\psi_c \\ \frac{dy}{dt} = V\sin\theta \\ \frac{dz}{dt} = -V\cos\theta\sin\psi_c \end{cases} \quad (3)$$

突防弹的弹体坐标系和地面坐标系之间的方

本文研究的是大气层外机动攻防对抗视景仿真,所以在建立机动弹头动力学模型时不用考虑气动作用及力矩的影响,同时由于进攻弹和拦截弹相对速度较大,突防的时间较短,所以不考虑地球自转和地球偏率的影响,假设为水平坐标系,并且固化进攻弹和拦截弹参数。

根据牛顿第二定律,建立突防弹质心运动的动力学方程为:

向余弦关系求得绕质心转动的运动学方程:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \omega_y\sin\gamma + \omega_z\cos\gamma \\ \dot{\psi} = \frac{1}{\cos\theta}(\omega_y\cos\gamma - \omega_z\sin\gamma) \\ \dot{\gamma} = \omega_x - \tan\theta(\omega_y\cos\gamma - \omega_z\sin\gamma) \end{cases} \quad (4)$$

拦截弹的模型与突防弹是一样的,本文不再赘述。设突防弹和拦截弹的相对距离为 R , 目标视线高低角为 q_y , 目标视线方位角为 q_z , 弹道突防导弹的参数用下标“m”表示,拦截器的参数用下标“E”表示。可得目标和拦截器的相对运动方程:

$$\begin{cases} \dot{R} = V_m[\cos q_y\cos\theta_m\cos(q_z - \psi_{cm}) + \sin q_y\sin\theta_m] \\ - V_E[\cos q_y\cos\theta_E\cos(q_z - \psi_{cE}) + \sin q_y\sin\theta_E] \\ R\dot{q}_y = V_m[\cos q_y\sin\theta_m - \sin q_y\sin\theta_m\cos(q_z - \psi_{cm})] \\ - V_E[\cos q_y\sin\theta_E - \sin q_y\sin\theta_E\cos(q_z - \psi_{cE})] \\ - R\dot{q}_z\cos q_y = V_m\cos\theta_m\sin(q_z - \psi_{cm}) \\ - V_E\cos\theta_E\sin(q_z - \psi_{cE}) \end{cases} \quad (5)$$

利用 Simulink 仿真模块建立弹头模型,输入初始条件后开始仿真得到机动弹头攻防弹道轨迹, Simulink 仿真结构图如下所示

由于本文中视景仿真系统是在 VC/MFC 平台上开发的,为了方便的获取弹道数据和利用网络进行数据交互传输,将 Simulink 仿真模块转化成 C 语言程序,利用 socket 解决 Simulink 仿真模块

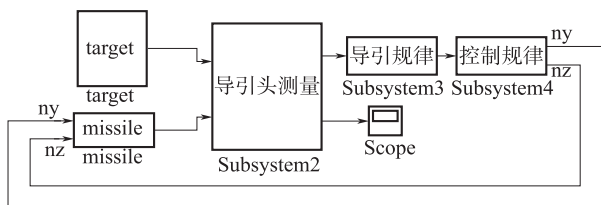


图 1 仿真框架图

Fig. 1 Simulation framework map

与视景仿真模块数据交互和通信的问题。

2 数据交互程序设计

2.1 三机联合仿真结构图

机动弹头对抗仿真涉及到攻防双方的程序与数据接口问题，为了真实模拟对抗过程，构建了三台计算机联合仿真平台^[1]，通过局域网实现数据传输，仿真平台如图 2 所示，

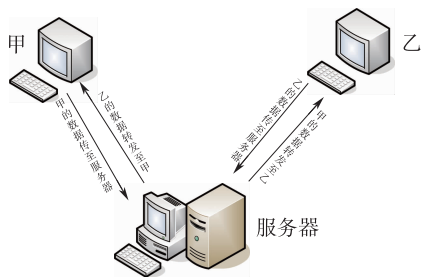


图 2 仿真平台

Fig. 2 Simulation platform

2.2 数据交换程序关键点分析

2.2.1 SOCKET 使用流程

本文中数据交互程序是借助 VC/MFC 开发平台，利用 Socket 自己编写数据传输接口实现三台计算机在局域网中的数据通信，其传输方式简单，实时性较强。

在 MFC 中，CSocket 的使用流程是：

- 1) 从 CSocket 中派生一个类。
- 2) 重载 CUDPSock 类的数据接收函数。当接收到网络数据包后，系统会自动调用该函数，因此在该函数中进行相应处理。
- 3) 生成 CUDPSock 类的对象，然后调用对象的初始化函数，完成后即自动开始接收网络数据包。
- 4) 当要发送数据时，调用对象的 SendTo () 函数。

2.2.2 循环缓冲区的使用

循环缓冲区也就是生成两个或多个缓冲区。在保存数据（即写入缓冲区）时，数据保存到第一个缓冲区，下次要保存数据时，则保存到第二个缓冲区中，依次类推。当写入最后一个缓冲区后，下次保存数据时则循环到第一个缓冲区，因此叫做循环缓冲区。而读取数据时，也是顺序读写缓冲区。

这样的好处是：可以将数据的写入和读取之间进行一定的分隔。若不使用循环缓冲区，当正在读取数据时，可能正好有新的数据要保存，这样就会造成冲突，数据混乱。

2.2.3 网络数据包格式和数据记录

在本例中，需要定时发送网络数据包，发送的网络数据包先经过打包，然后调用 SendTo () 函数向目的地址发送，数据打包函数可通过自定义函数实现，主要功能是按照网络数据包格式组成数据包。网络数据包由网络帧头加上数据组成，其中网络帧头格式根据需要自定义结构体。

数据的记录采用线程方式实现。采用线程可以使得记录工作和其它功能实现并行。

数据记录的处理流程是：

- 1) 初始化 CUDPSock 对象时，启动线程；
- 2) 接收数据，触发事件；
- 3) 响应事件，把接收到的每包数据写到文件中。

记录的文件格式是：每帧数据加上一个记录帧头，顺序保存到文件中。记录帧头的格式根据需要自定义结构体。图示如图 3。

3 视景仿真系统设计

在视景仿真系统中，为达到较为逼真的动态画面，需要建立较为精确地模型对象和复杂的三维场景模型。在本例中，综合利用了 MultiGen - Paradigm 公司开发的 Creator 和 Vega 图形仿真工具能够方便、准确的建立模型对象，进行实时视景仿真。同时借助 VC/MFC 开发平台，进行视景仿真程序设计。

3.1 机动弹头攻防对抗视景仿真框架设计

在导弹飞行中段，由于飞行环境处于大气层外，所以不会受大气环境、天气状况、地理环境

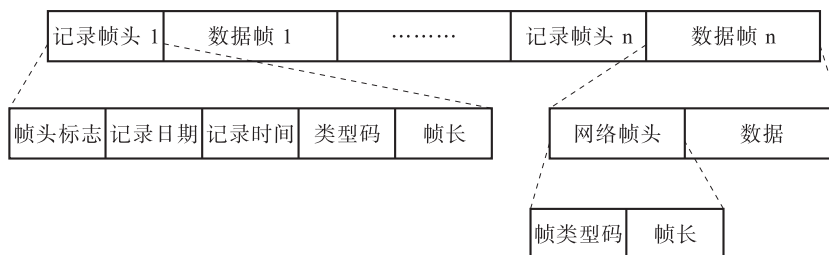


图3 数据格式

Fig.3 Data format

的影响，其动力学模型也不用考虑气动作用的影响。为了逼真的仿真导弹在大气层外运动状态，采用 Simulink 实时仿真数据作为弹道飞行的轨道和姿态数据，同时使用 Creator 建立准确的导弹模型对象，逼真的星空背景和大气层外环境模型。选用 VC++6.0 作为开发平台，Vega 视景仿真软件

作为视景驱动，完成模型和场景的动态显示与渲染。由以上分析可知：整个仿真系统主要分为四个部分：三维模型对象和场景的建立，模型对象数学模型的建立和数据生成，LynX 图形界面设计、场景驱动程序设计，基本框图如图 4 所示。

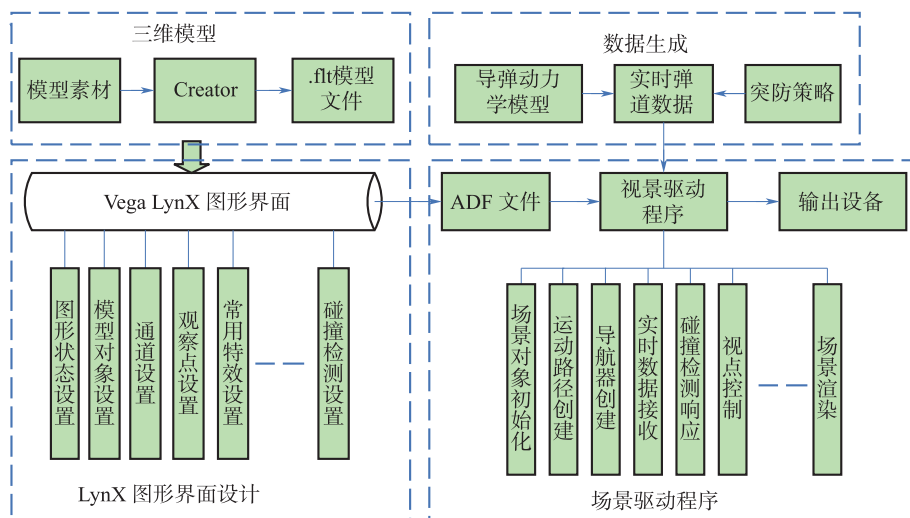


图4 弹道导弹中段突防视景仿真系统框架图

Fig.4 Anti-Ballistic Missile sudden interruption visual simulation system framework map

其中，数据生成部分由进攻弹和拦截弹仿真计算机分别完成，三维模型建立和 LynX 图形界面设计在场景驱动程序设计前完成。

3.2 三维实体模型建立

视景仿真过程中三维实体模型需要在仿真启动之前建立，其逼真度直接关系到仿真效果。Creator 是一套高逼真度、最优的实时三维建模工具，利用它可以方便的创建复杂的三维实体模型，将这些文件导入到 Vega 的运行软件中就可以产生逼真的仿真效果^[4]。

弹道导弹在中段飞行过程中由于弹体一、二级已经分离，所以在视景仿真中只需建立弹头三

维实体模型。根据弹头几何模型，综合运用贴图、填充、光照、纹理等多种手段，建立立体感强、逼真度高的弹头模型。弹头由于是在大气层外绕地球飞行，为获取较好的视觉效果，建立地球三维实体模型和相应的星空背景。建立的三维实体模型如图 5、图 6 所示：

4 仿真结果显示

完成三维实体建模和相关驱动程序的编写后，运行 MFC 程序，加载 ADF 文件，设置好通信地址及端口号，由服务器接收甲、乙仿真计算机的弹道数据后，在服务器上实时的显示三维仿真场景，

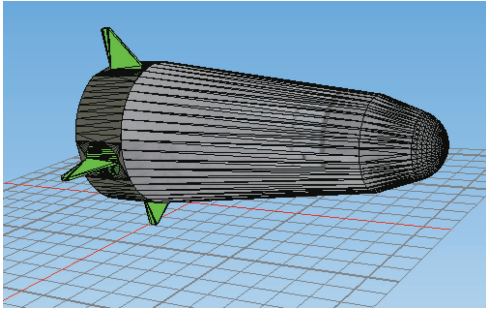


图5 弹头三维模型图

Fig. 5 The 3D model of warhead

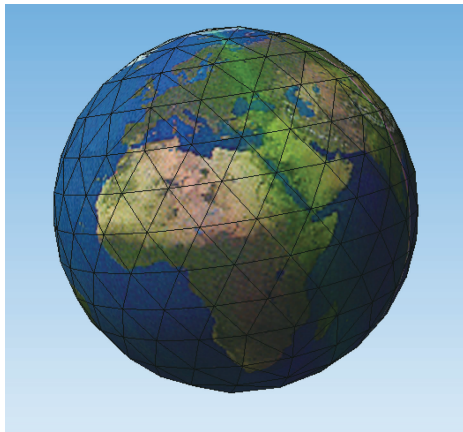


图6 地球三维模型图

Fig. 6 Earth's three - dimensional model diagram

直观的反映导弹突防的工作过程。

图7为进攻弹和拦截弹在突防前在大气层外的飞行状态，左右两边的导弹三维实体模型分别为进攻弹和拦截弹，左下角和右下角的两个通道使用Tether - Fixed定位方式分别观察进攻弹和拦截弹的运行过程，红色曲线表示导弹运行轨迹。图8为进攻弹成功进行突防后的状态。

5 结论

通过局域网实现数据传输，仿真平台如图所示，随着计算机技术和图像图形处理技术的发展，视景仿真技术将会被越来越多的运用到各个领域。本文以机动弹头自由段攻防对抗的飞行过程为例，构建三台机联合仿真平台，编写了基于MFC的Vega应用程序，开发了相应的实时视景仿真系统。本仿真系统运用了路径生成、特效使用、碰撞检测、通道和视点设置等相关方面的知识。程序经过运行测试表明，视景仿真画面连续逼真，可实

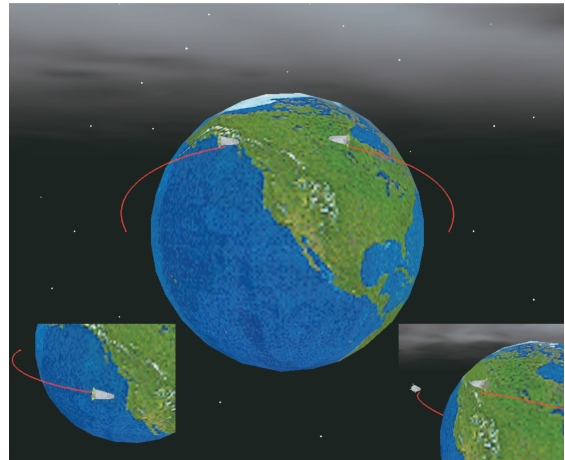


图7 导弹大气层外飞行状态

Fig. 7 Missiles outside the atmosphere flight status

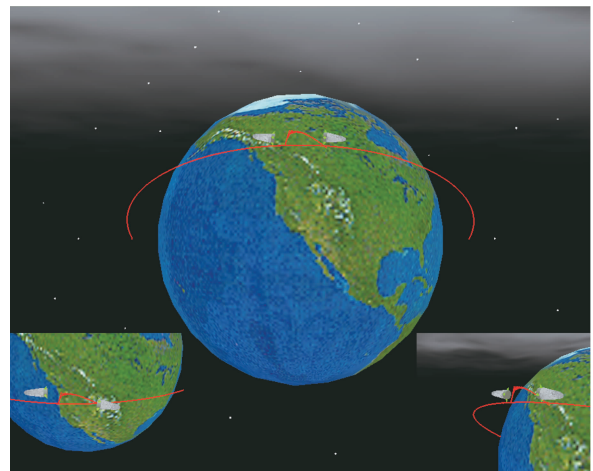


图8 导弹突防过程

Fig. 8 Missile penetration process

时模拟出机动弹头自由段攻防对抗的过程，具有较高的可信度，基本达到了预期效果，对同类视景仿真系统的开发具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 陈新庚. 马长生. 孙文涛. 基于Vega的导弹防御仿真系统研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(1): 59-61. [Chen Xingeng Ma Changsheng Sun Wentao. Research of Simulation Missile Defense System Based on Vega[J]. Computer Simulation, 2011, 28(1): 59-61.]
- [2] 陈新庚 马长生 孙文涛. 基于Vega的导弹飞行视景仿真[J]. 沈阳航空学报, 2010, 27(2): 20-23. [Chen Xingeng Ma Changsheng Sun wentao. Missile flight visual simulation based on vega[J]. Shenyang Institute of Aeronautical Technology, 2010, 27(2): 20-23.]
- [3] 陶鹏 刘怀勋 高宏峰. 空面导弹飞行视景仿真系统研究

- [J]. 微型机与应用, 2009, (22): 40 - 43. [Tao Peng Liu Huaixun Gao Hongfeng. Research of missile flight visual simulation [J]. Microcomputers and Applications, 2009, (22): 40 - 43.]
- [4] 王乘. Creator 可视化仿真建模技术 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005. [Wang Cheng. Creator visual simulation modeling technology [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2005.]
- [5] 王乘 李利军. Vega 实时三维视景仿真技术 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004. [Wang Cheng Li Lijun. Vega real - time three - dimensional visual simulation technology [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004.]
- [6] 赵秀娜. 机动弹头的智能规避策略研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006 [Zhao Xiuna. intelligent maneuvering warhead avoidance strategy of [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2006.]