

基于 Vega 的高炮外弹道视景仿真系统设计与实现^{*}

孙 鹏,赵捍东,曹红松,白福明

(中北大学弹箭模拟仿真研究中心,太原 030051)

摘 要:目前,在高炮外弹道仿真领域采用的数值仿真方法虽具有精确性高的优点,但仿真过程不直观、形象。采用视景仿真技术进行高炮外弹道仿真,在满足精确性要求的基础上,以三维画面的形式展示弹道曲线,仿真过程形象明了。给出的高炮外弹道视景仿真系统设计方法,满足真实性和实时性要求,利用 Vega API 驱动 Creator 建立的三维模型严格按照数值仿真得出的弹道曲线运动,实现了高炮外弹道的仿真,达到了预期的效果。

关键词:外弹道;视景仿真;Vega

中图分类号:TJ06 **文献标志码:**A

The Design and Realization of Ballistic Scene Simulation System of Self-propelled Antiaircraft Gun Based on Vega

SUN Peng, ZHAO Handong, CAO Hongsong, BAI Fuming

(Research Center of Projectiles and Rockets Analog Simulation, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Presently, the numeric simulation method of ballistic simulation system of self-propelled antiaircraft gun has high accuracy, but neither visual nor vivid. The ballistic simulation of self-propelled antiaircraft gun by scene simulation technology meets the accuracy requirement. Moreover, it visualizes the simulation process by ballistic curve demonstration with 3D effect. The given design method of ballistic scene simulation system of self-propelled antiaircraft gun meets the requirements for real-time performance and authenticity. The 3D models established by Creator realized ballistic simulation of self-propelled antiaircraft gun and the expected effect was got.

Keywords: trajectory; scene simulation; Vega

0 引言

视景仿真又称虚拟仿真、虚拟现实仿真,是计算机技术、图形图像技术等多种高科技的结合,采用以计算机技术为核心的现代高科技生成逼真的视、听、触觉一体化的特定范围的虚拟环境,已广泛应用于模拟训练、虚拟现实及其它实时动态仿真系统的图形显示。

传统的外弹道仿真通常采用数值仿真。数值仿真具有较高的精确性,但结果展示不形象、不直观。高炮外弹道视景仿真系统是通过视景仿真技术将高炮外弹道形象、直观地展示出来,除具备数值仿真的精确性外,将结果以三维立体画面的形式展示出来,具有一定的优越性。通过结合视景仿真和数值仿真

的特点,使用 VC++6.0 和 Vega 等工具开发了高炮外弹道视景仿真系统,并以武装直升机为目标,实现了外弹道仿真的精确性、直观性和形象性。

1 高炮外弹道视景仿真的要求和开发环境

1.1 真实性要求

高炮外弹道视景仿真系统是在数值计算的基础上,将数据以实时三维立体图像的形式展示出来,从而为外弹道设计和评定等提供可靠的参考。这就要求高炮外弹道视景仿真系统必须具有高度的真实性,使模拟出来的弹道数据与真实环境下的弹道数据相吻合。

^{*} 收稿日期:2011-01-17

作者简介:孙鹏(1987-),男,山东滕州人,硕士研究生,研究方向:武器系统动力学与仿真。

1.2 实时性要求

为满足真实性要求,高炮外弹道视景仿真系统中的打击目标应为实时机动目标,方可真实模拟真实环境下的打击效果。因此,该系统在运行过程中,必须根据目标运动参数实时计算弹道曲线及射击诸元。

1.3 系统开发环境

为实现逼真的视觉效果、真实的数组模拟功能以及良好的人机交互功能,本系统主要在 VC++6.0 环境、基于 Vega 和 Creator 进行开发。

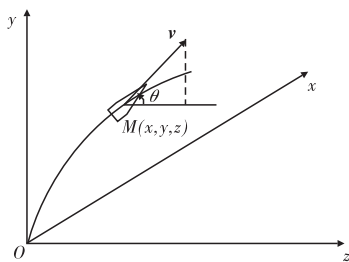
Vega 是 MultiGen-Paradigm 公司最主要的工业软件环境,用于虚拟现实、实时视景仿真、声音仿真以及其它可视化领域,特别是其具有完整的 C 语言应用程序接口 API,能够满足多种特殊的仿真要求。Creator 用来为实时应用创建三维模型和地形,区别于机械 CAD 等其它建模软件,它主要考虑如何生成面向仿真的在满足实时性的前提下逼真性好的三维模型。

2 系统分析与设计

2.1 修正后的质点弹道方程组

目前常用的外弹道方程组主要有质点弹道方程组和刚体弹道方程组^[1]。其中,质点弹道方程组因没有考虑攻角的影响,忽略了作用在弹丸上的升力、马氏力和攻角引起的诱导阻力,使弹道计算结果产生一定的误差;而刚体弹道方程组虽然计算精度高,但由于计算复杂,计算速度达不到要求。因此,在考虑计算精度与计算速度的基础上,采用修正后的质点弹道方程组。

修正质点弹道模型是在质点弹道模型的基础上加升力、马氏力和诱导阻力,提高了计算精度^[2],计算速度比六自由度刚



体弹道模型快很多,图 1 地面直角坐标系下的质点弹道而且修正质点弹道是空间曲线,很接近于实际弹道。在图 1 所示的地面坐标系中, $M(x, y, z)$ 为弹道曲线上任意一点, v 为该点处的弹丸速度; u 和 ω 分别为 v 在水平和垂直方向上的分量; θ 为速度 v 的水平倾角。则在 t 时刻,地面直角坐标下的质点弹道方程为:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -b_x v v_x + b_y v^2 \delta_x + b_z \dot{\gamma} (\delta_y v_z - \delta_z v_y) - 2(\Omega_y v_z - \Omega_z v_y) \\ \frac{dv_y}{dt} = -b_x v v_y + b_y v^2 \delta_y + b_z \dot{\gamma} (\delta_x v_z - \delta_z v_x) + 2(\Omega_x v_z + \Omega_z v_x) - g \\ \frac{dv_z}{dt} = -b_x v v_z + b_y v^2 \delta_z + b_z \dot{\gamma} (\delta_x v_y - \delta_y v_x) - 2(\Omega_x v_y - \Omega_y v_x) \\ \frac{dx}{dt} = v_x = v \cos \theta \cos \psi \\ \frac{dy}{dt} = v_y = v \sin \theta \\ \frac{dz}{dt} = v_z = v \cos \theta \sin \psi \\ \frac{d\dot{\gamma}}{dt} = -k_{xz} v \dot{\gamma} \end{cases} \quad (1)$$

式中: t 为弹丸飞行时间; v 为弹丸速度; v_x 、 v_y 、 v_z 为弹丸飞行速度矢量在地面坐标系中的投影分量; $\dot{\gamma}$ 为弹丸自转角速度; θ 为速度 v 与水平面的夹角; ψ 为速度 v 与铅垂面的夹角。其他参数可见文献[5]。

初始时刻 $t = 0$ 时:

$$\begin{cases} v = v_0 \\ \theta = \theta_0 \\ \psi = \psi_0 \\ y = 0 \\ x = 0 \\ z = 0 \end{cases} \quad (2)$$

在式(1)和式(2)的基础上,针对选定的高炮弹药,在射角和方向角一定时,通过四阶 R-K 积分方法,即可确定以时间 t 为自变量的任意点的弹道诸元。

2.2 系统工作流程

本系统采用事件推动机制,对系统其主要推动的事件有:目标开始运动、目标运动至高炮火力范围、发射炮弹、目标被摧毁等。基于此,系统工作流程如图 2 所示。

首先,导入 ADF 配置文件,并对 Vega 进程进行初始化,然后进入仿真主循环。

在主循环中,根据当前事件推动仿真进程。仿真初始状态主要设定视角、高炮和目标初始位置等;之后,即驱动目标运动;在目标运动过程中,火控子模块实时获取目标运动参数,当目标进入高炮打击范围

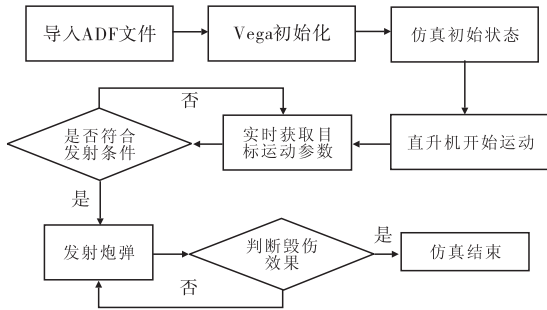


图 2 系统工作流程图

后,立即将解算出的射击诸元发送给高炮单元;高炮单元在获取射击诸元后即发射炮弹打击目标;由射击诸元和修正后的质点弹道方程组确定弹道曲线,炮弹驱动模块驱动炮弹严格按照该曲线运动,直至击中目标或达到自毁条件自毁;最后对毁伤效果进行评估。

3 系统实现

系统采用 VC6.0 环境下的单文档/视图框架进行编写。

3.1 修正后的质点弹道方程组实现模块

该模块的主要功能是对修正后的质点弹道方程组进行数值解算。在系统给定弹丸飞行时间 t 后,能够迅速的解算出此时的弹道诸元,并将结果发送给炮弹驱动模块。

3.2 炮弹驱动模块

炮弹驱动模块的主要功能是根据修正后的质点弹道方程组实现模块给出的 t 时刻的弹道诸元,驱动炮弹运动至该坐标点,并赋给弹丸相应的姿态倾角。

首先在炮弹发射时刻,通过 `vgGetTime` 函数获取仿真时间 t_0 ;然后在需要获取弹道诸元函数处,再次用 `vgGetTime` 获取仿真时间 t_1 ,计算 $t = t_1 - t_0$ 时刻的弹道诸元,通过 `vgPos` 函数将弹丸移动至该坐标点。该方法可以保证弹丸运动路线和弹道曲线的完全吻合。主代码如下:

```

m_fFireTime = vgGetTime(); //获取高炮发射时 Vega 时间
.....
m_fNowTime = vgGetTime(); //获取当前时间
m_fBalliTime = m_fNowTime - m_fFireTime;
//计算时间间隔
BallisticDataConv(m_fBalliTime); //计算该时

```

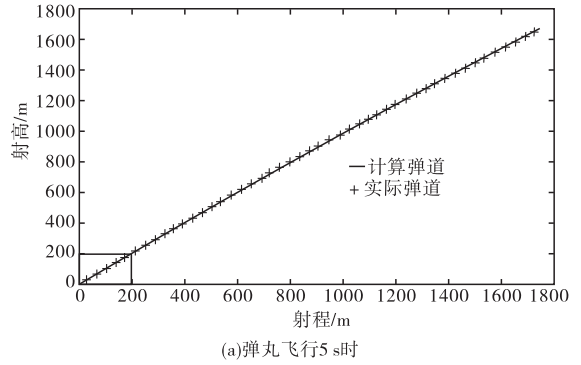
刻的弹道诸元

```

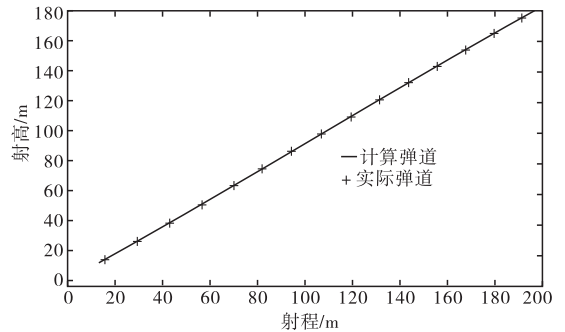
pos = vgNewPos();
vgPosVec(pos, x, y, z, h, p, r);
vgPos(p_S35, pos); //将数据赋给弹丸
vgDelPos(pos); //删除 Position 对象,释放内存

```

图 3,即为采用该方法驱动炮弹模型的曲线图。



(a)弹丸飞行 5 s 时



(b)图(a)的局部放大图

图 3 弹道曲线和弹丸实际运动曲线比较图

图中,实线为弹道计算模块计算出的弹道诸元,“+”点线即为弹丸的实际运行曲线;可见,弹丸严格按照弹道曲线运动,能够将数值仿真的结果真实展现出来。

3.3 目标参数的实时获取模块

仿真中为计算弹道,需要实时获取目标相对高炮的坐标、速度、俯仰角、距离等信息。

1)相对坐标的获取方法。首先获取目标的在世界坐标系的坐标, `vgGetWCSPos(p_APQ, APQRT-pos)`;然后获取高炮在世界坐标系下的坐标, `vgGetWCSPos(Archibald, Archibaldpos)`;由此可得到目标的相对坐标和距离^[3]。

2)目标速度的获取方法。Vega 中提供了直接获取物体运动速度的函数 `vgGetPosCalcVec`,但为模拟实际情况下获取速度信息的方法(雷达等探测设备根据目标单位时间内的位移计算目标速度),采用如下方法:在获取目标坐标的基础上,根据目标单位时间

内的位移计算出目标的运动速度。

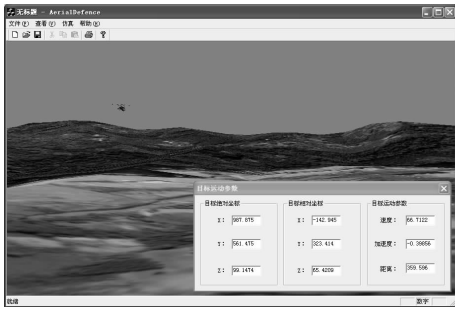


图 4 实时获取目标运动参数

3.4 直升机旋翼 DOF 节点的驱动

Vega 中自带了旋翼特效,该特效能够很好的模拟直升机旋翼的旋转效果,但在旋转速度为零时旋翼不可见,在此利用驱动模型 DOF 节点的方式实现。主代码如下:

```

toptilt=vgFindPart(AH1, "toptilt", NULL);
//获取主螺旋桨 DOF 节点
toptiltpos = vgNewPos();
vgGetPos(toptilt, toptiltpos); //获取当前主螺旋桨的位姿
vgGetPosVec(toptiltpos, &top_x, &top_y, &top_z, &top_h, &top_p, &top_r); //获取位姿的相关餐宿
if(vgGetIsectResult(forAH1, VGIS_GETLOS, AH1IResult)) //直升机坠地
{
    bAH1crashed = TRUE;
    //令直升机主螺旋桨转速为 0
    top_h = 0;
}
else //驱动直升机螺旋桨 DOF 节点
{
    if (top_h >= 360)
    {

```

```

        top_h = 0;
    }
    else
    {
        top_h += 20;
    }
}
vgPosVec(toptiltpos, top_x, top_y, top_z, top_h, top_p, top_r);
vgPos(toptilt, toptiltpos);
vgDelPos(toptiltpos);

```

4 结 论

文中实现了基于视景仿真技术的高炮外弹道视景仿真系统,该系统保证了弹丸运动路径和弹道曲线的一致,能够将弹道曲线真实反映出来。在数值仿真的基础上,实现了高炮外弹道仿真的直观性、形象性,为弹道试验,优化等提供了参考。文中主要关注高炮外弹道的视景仿真,因此对火控子模块进行了简化处理,提前计算好了发射时间和发射诸元,下一步可对火控模块进行扩展,使其能够对任意飞行轨迹目标均可自动计算出发射时机和发射诸元。

参 考 文 献:

- [1] 浦发. 外弹道学[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [2] 郭锡福,赵子华. 火控弹道模型理论及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
- [3] 王乘,李利军,周均清,等. Vega 实时三维视景仿真技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.
- [4] 孟晓梅,刘文庆. MultiGen Creator 教程[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [5] 郭峰,刘臣宇,李小丽. 基于 MFC 的 Vega 应用程序线程分析[J]. 科技信息,2008(16):401-402.