

# 无人机视景仿真平台设计与实现

韩景壮, 厉明, 周凌, 丁同超, 贾宏光

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:** 在 Visual Studio 开发环境下, 利用 DirectX 9.0 设计并实现了无人机视景仿真平台; 仿真平台的通信系统可通过多种通信方式获取仿真数据; 根据 DirectX 中 3D 仿真技术特点以及无人机视景仿真需求, 设计并实现了无人机在 DirectX 世界坐标系中的姿态变换方法; 根据无人机视景仿真特点, 设计了虚拟摄像机视场角控制方法; 仿真平台仿真效果生动逼真且运行稳定, 具有很强的实用价值, 在无人机研制过程中起到了重要作用。

**关键词:** 无人机; 视景仿真; DirectX

## Design and Implementation of UAV Visual Simulation System

Han Jingzhuang, Li Ming, Zhou Ling, Ding Tongchao, Jia Hongguang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** The UAV visual simulation system was designed and implemented by using DirectX 9.0 in Visual Studio. The communication system of the system was able to obtain the required data through a variety of communication methods. Attitude transformation method was designed in the world reference frame based on the requirement of visual simulation. A method was designed to control the view angle of the visual camera. The system was vivid, steady and very valuable in the UAV development process and played an important role.

**Key words:** UAV; visual simulation; DirectX

## 0 引言

随着无人机技术的不断发展, 视景仿真平台被越来越多的应用到无人机的研究过程中。视景仿真平台可以形象、生动、直接地展示无人机的仿真飞行过程<sup>[1]</sup>。视景仿真技术作为虚拟现实技术的重要组成部分, 已经越来越受到人们的重视<sup>[2]</sup>。

目前, 三维图形绘制工具主要分为 3 种: 基础三维图形绘制库、图形引擎、可视化开发平台, 基础三维图形绘制库具有灵活性高、执行效率高的优点, 但是对技术要求也较高; 图形引擎与可视化平台对技术要求较低, 但却都存在灵活性与执行效率不高的缺点<sup>[3]</sup>。目前国内外视景仿真平台的三维图形绘制工具主要选择的是图形引擎, 因此都有着灵活性与执行效率不高的缺点。本文选择的三维图形绘制工具是基础三维图形绘制库中的 Direct3D, Direct3D 提供了基于微软 COM 接口标准的三维图形 API<sup>[4]</sup>, 具有良好的硬件兼容性, 支持大多数最新的图形学技术成果, 现在几乎所有具有三维图形加速的显卡都对 Direct3D 提供支持。

视景仿真平台需要具备可以以多种组合方式配合其他平台进行联合仿真的能力, 这样才能够使视景仿真平台适应不同工程情况下的需求, 本文设计的无人机视景仿真平台既可以通过串口通信获得无人机飞行参数数据进行视景仿真, 也可以通过 UDP 通信获得数据进行视景仿真, 同时本平台还具备动力学仿真功能, 可以通过自身的动力学仿真获得无人机飞行数据。

收稿日期: 2014-01-27; 修回日期: 2014-03-12。

基金项目: 国家自然科学基金(51305421)。

作者简介: 韩景壮(1986-), 男, 吉林人, 研究实习员, 主要从事无人机视景仿真与总体设计方向的研究。

贾宏光(1971-), 男, 黑龙江人, 博导, 研究员, 主要从事飞行器总体设计方向的研究。

## 1 系统结构

无人机视景仿真平台由 6 个子系统组成, 包括: 3D 视景仿真系统、通信系统、仪表显示系统、飞行参数显示系统、手柄数据提取系统、动力学仿真系统。为保证平台内各系统的运行不互相干扰, 又将这 6 个子系统分划入 4 个线程中, 这 4 个线程为: 仿真主线程、飞行参数显示线程、手柄数据提取线程、动力学仿真线程。仿真平台系统结构如图 1 所示。

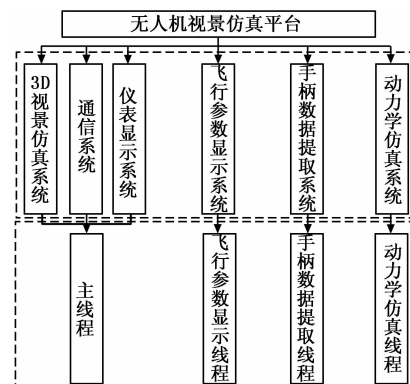


图 1 无人机视景仿真平台结构图

### 1.1 3D 视景仿真系统

3D 视景仿真系统利用 Direct3D 进行飞行器飞行过程的仿真模拟, Direct3D 是 DirectX 的一个特定子集, Direct3D 主要用于开发 3D 应用程序。3D 视景窗口的渲染依托在 MFC 对话框的子窗口中, 当 3D 视景仿真系统从通信系统获得所需要的无人机飞行参数数据后, 就可以根据相应数据, 确定无人机在仿真场景的位置与姿态, 驱动无人机运动, 从而将所得到的数据以 3D 画面的形式直观的呈现出来。

### 1.2 通信系统

通信系统由平台内部通信、UDP 通信、串口通信这三部分组成, 根据仿真任务的不同, 通信系统会从不同的数据源获得仿真所需要的飞行参数数据。

### 1.3 仪表显示系统

仪表显示系统是利用 DirectX 接口技术在仿真窗口的指定位置绘制出虚拟仪表来显示无人机的姿态、高度、速度等信息。仪表显示系统可以准确快速的将观察者关心的数据显示在仿真窗口中。本仿真平台目前所用到的仿真仪表主要用于显示无人机的速度、高度与姿态信息, 透明背景图可以让观察者有更加开阔的视野。

### 1.4 飞行参数显示系统

飞行参数显示系统是利用 MFC 的对话框及其控件设计完成的, 该系统主要功能为从通信系统获得所要显示的数据, 并将这些数据实时的显示在对话框上。同时也可以在该对话框中对视景仿真进行控制, 如发出各仿真阶段的开始指令、设定通信方式等。

### 1.5 手柄数据提取系统

手柄数据提取系统是利用 DirectX 中的 DirectInput 接口技术完成的。手柄数据提取系统极大的增强了仿真平台的实用意义, 使得该平台可以辅助操作手完成无人机仿真训练任务。同时根据任务需求也可以将手柄数据发送给其他仿真环境中, 在其他仿真环境中完成动力学仿真, 再将仿真的结果发送回视景仿真平台中。该系统既支持单个手柄输入也支持双手柄同时输入。

### 1.6 动力学仿真系统

动力学仿真系统主要功能是利用从手柄或者自动驾驶仪获得的无人机指令来进行动力学仿真, 将仿真所得到的无人机飞行参数提供给其他系统。

6 个分系统中, 3D 视景仿真系统、通信系统、仪表显示系统、飞行参数显示系统构成了无人机视景仿真平台的基本结构, 也是仿真平台必不可少的组成部分, 而手柄数据提取系统、动力学仿真系统则属于可选部分, 可以根据具体的仿真任务进行选择。

## 2 仿真平台关键技术

### 2.1 仿真平台接口设计

目前, 国内外的无人机视景仿真平台研究点主要集中在图形绘制技术方面, 而在实际工程应用中, 仿真平台的接口设计更加重要。

仿真平台以工控机为载体, 配有方便移动的推车, 可以方便的参与到无人机全数字仿真、半物理仿真以及外场飞行试验中。以往的视景仿真平台获取仿真数据的方法较为单一<sup>[5]</sup>, 大部分只是通过一种通信方式或者直接读取数据文件来获得所需要的仿真数据。工程实践中, 不同的试验系统, 往往配备不同的通信端口, 因此本仿真平台在硬件上同时配备了串口与网口; 软件上本平台支持串口通信、网口 UDP 通信, 还具有平台内部通信功能, 可直接与平台内嵌动力学仿真系统进行数据交互。图 2 为平台在多种通信方式下的仿真流程图。

串口通信是利用串口硬件设备与串口通信协议获取平台仿真所需数据的方式。通过串口通信方式获得无人机的通信数据包, 将该数据包进行解码, 并将视景仿真需要的飞行参数通过通信系统传输给各子系统, 就可以实现串口通信方式下的视景仿真。利用串口通信方式, 获取无人机飞行参数的方法较适用于无人机系统的半实物仿真阶段以及无人机真实飞行时将视景

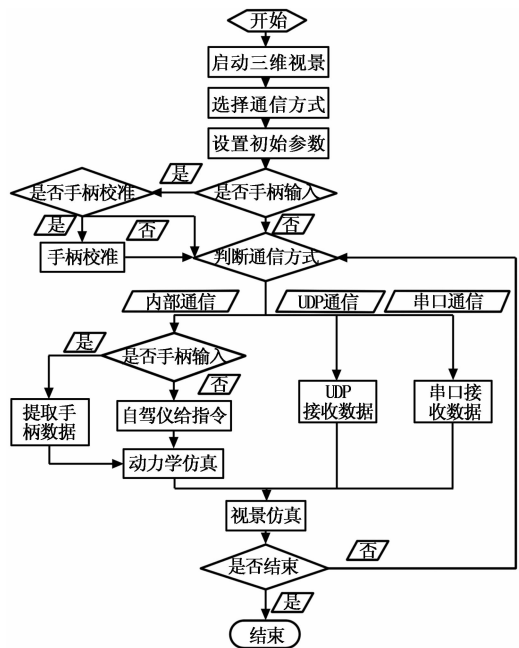


图 2 无人机视景仿真平台流程图

仿真平台作为地面站辅助系统的情况。

UDP 通信是利用计算机网络端口获取平台仿真所需数据的方式。UDP 通信方式适用于与其他仿真系统的联合仿真, 如与在 Matlab 仿真环境中实现的动力学仿真系统, 这样既可以利用 Matlab 强大的数据处理能力也可以利用 Visual Studio 仿真环境中的视景仿真。

平台内部通信指的是平台内部分系统间的通信。本仿真平台包含了动力学仿真系统, 将通过 C 代码实现的动力学仿真系统嵌入到了本平台中, 动力学系统进行无人机动力学仿真的同时就可以将数据实时地传递给通信系统, 再通过通信系统传递给其他各系统, 这样的仿真方式具有高效、规范、实时的优点。

选取不同的通信方式对应仿真平台不同的仿真流程, 在无人机视景仿真平台进行仿真的准备步骤中, 可以设定仿真平台的通信方式以及是否需要手柄输入。

### 2.2 无人机姿态变换

Direct3D 仿真场景中的物体姿态变换都要有相应的旋转轴, 根据飞行力学中对飞行器姿态角的定义, 可以通过使无人机绕自身的机体轴旋转的方式获得所需的姿态变换<sup>[6]</sup>。首先根据飞行力学知识选择无人机姿态变换的顺序为先偏航, 再俯仰, 最后滚转。

具体的无人机姿态变换过程为: 偏航变换的旋转轴取为机体轴系的  $z_b$  轴, 按给定的偏航角度进行旋转; 俯仰变换的旋转轴取为已做了偏航变换的机体轴  $y_b$  轴, 按给定的俯仰角进行旋转; 滚转变换的旋转轴取为经过了偏航变换与俯仰变换的机体轴  $x_b$  轴, 按给定的滚转角进行旋转。在 Direct3D 中实现上述变换的具体方法如下所述。

```
//yaw translation
D3DXMatrixRotationAxis(&Vtemp1, &zbAxis, -yaw);
D3DXVec3TransformNormal(&ybAxis, &ybAxis, &Vtemp1);
D3DXVec3TransformNormal(&xbAxis, &xbAxis, &Vtemp1);
D3DXVec3Normalize(&ybAxis, &ybAxis);
```

```
D3DXVec3Normalize(&_xbAxis, &_xbAxis);
//pitch translation
D3DXMatrixRotationAxis(&Vtemp2, &_ybAxis, -pitch);
D3DXVec3TransformNormal(&_xbAxis, &_xbAxis, &Vtemp2);
D3DXVec3Normalize(&_xbAxis, &_xbAxis);

//roll translation
D3DXMatrixRotationAxis(&Vtemp3, &_xbAxis, -roll);
```

```
//translation matrix
* V = Vtemp1 * Vtemp2 * Vtemp3;
```

经过上述变换, 可以准确的按照所给的无人机姿态角完成 Direct3D 仿真场景中的无人机姿态变换。

### 2.3 视场角控制

无人机视景仿真中, 视场角的控制会直接影响到视景仿真的效果。视场角过大或者过小, 会给观察者以错误的距离感, 同时, 当无人机远离观察者位置并且视场角过大时, 无人机在仿真窗口的影像就会出现抖动的现象。所以设计合适的算法对视场角进行控制会直接影响仿真效果的好坏。

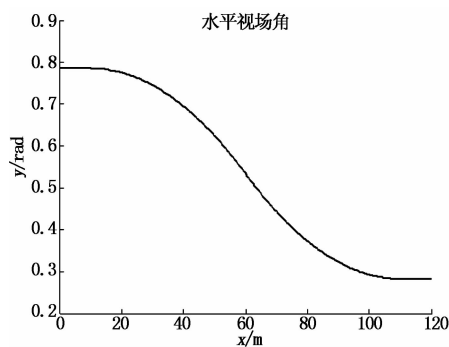


图 3 水平视场角

当采取跟踪视角对无人机进行观察时, 视场角选择为  $0.33\pi$  较合适<sup>[7]</sup>。当定点对无人机飞行过程进行观察时, 适宜采用较小的视场角, 并且在一定距离范围内, 可以随着观察距离的变大, 逐渐缩小视场角。式 (1) 是根据视景仿真效果为本视景仿真平台设计的水平视场角, 垂直视场角可根据仿真显示窗口的比例与水平视场角进行设定。

$$y = \begin{cases} 0.25\pi, & 0 \leq x \leq 10 \\ [-3.2 \times 10^{-5}(x-10)^2 + 0.25]\pi, & 10 \leq x \leq 60 \\ [3.2 \times 10^{-5}(x-110)^2 + 0.05]\pi, & 60 \leq x \leq 110 \\ 0.09\pi, & x \geq 110 \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $x$  代表虚拟摄像机到无人机的距离,  $y$  代表水平视场角。

### 3 平台仿真效果

设计的无人机视景仿真平台在普通 PC 机上实现, 运行操作系统为 Windows XP, 编译环境为 Visual Studio 2008。主要实现了将接收到的无人机仿真数据形象生动地转化为 3D 视景仿真, 同时辅以仪表与对话框显示仿真参数。本仿真平台可以同时进行无人机动力学仿真, 并可以将动力学仿真结果实时传递给平台其他组成部分, 实现动力学仿真、视景仿真一体化。同时, 本仿真平台可以通过 UDP 通信、串口通信方式接收其他计算机或地面站的仿真数据, 也可以接收本计算机其他仿真程序的数据进行视景仿真, 这极大地增强了本仿真平台的仿真功能。

### 4 结论

本文针对无人机研制过程需求, 利用 DirectX 与 Visual Studio 开发工具, 在普通 PC 机上, 实现无人机视景仿真平台, 仿真平台功能强大, 实用性强。同时, 可以根据实际情况的需要, 实现不同通信方式下的视景仿真。实验表明, 本平台符合无人机视景仿真的要求, 为无人机的研制起到了重要的辅助作用, 具有一定的工程应用价值。

#### 参考文献:

[1] 邹明皓. 视景仿真技术在无人机任务规划中的应用与研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2011.  
 [2] 陈永彬. 基于 VR 的航天发射视景仿真系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (12): 1903-1906.  
 [3] 赵沁平. 虚拟现实综述 [J]. 中国科学, 2009, 39 (1): 2-46.  
 [4] Frank D. Luna. DirectX 9. 0 3D 游戏开发编程基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.  
 [5] 李哲煜, 杨洪波, 张 询. 航空成像平台视景仿真系统的实现 [J]. 光学精密工程, 2005, 13 (1): 240-244.  
 [6] 吴森堂, 费玉华. 飞行控制系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.  
 [7] 周前祥, 姜国华, 曲战胜, 等. 虚拟环境中最佳观察视场角的实验研究 [J]. 人类工效学, 2002, 8 (2): 11-15.

(上接第 1486 页)

#### 参考文献:

[1] Lu K S, Saeks R. Failure prediction for an on-line maintenance system in a passion shock environment [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9 (6): 356-362.  
 [2] Khoshgoftaar T M, Pandya A S, More H B. A neural network approach for software development faults [A]. Proceedings of the Third Symposium on Software Reliability Engineering [C], 1992, 1: 83-89.  
 [3] Lennox B, Rutherford P, Montague G A, et al. A novel fault prediction technique using model degradation analysis [A]. Proceedings of the American Control Conference [C], 1995, 5: 3274-3278.  
 [4] Devabhaktuni V K, Yagoub M C E, Zhang Q J. A robust algorithm

for automatic development of neural network models for microwave applications [J]. IEEE Transactions Microwave Theory Technology, 2001, 49 (12): 2282-2291.

[5] 杜金榜, 王跃科, 王湘祁, 等. 军用自动测试设备的发展趋向 [J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9 (5): 2-3.  
 [6] Qiu H, Lee J, Lin J, et al. Robust performance degradation assessment methods for enhanced rolling element bearing prognostics [J]. Advanced Engineering Informatics, 2003, 17 (6): 127-140.  
 [7] Young J C, Min S P, Chong N C. Prediction of drill failure using features extraction in time and frequency domain of feed motor current [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, 48 (1): 29-39.  
 [8] 曾声奎, 吴 际. 故障预测与健康管理 (PHM) 技术的现状与发展 [J]. 航空学报, 2005, 26 (5): 626-632.