

文章编号:1007-2780(2011)05-0688-05

基于 Matlab 虚拟现实 3D 动画显示模块的 卫星地面仿真系统

戴 路,金 光,徐 伟,谷 松

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033, E-mail: zjdailu@yahoo.com.cn)

摘 要: 由于传统的地面仿真系统往往是基于 VC++ 语言开发的,开发过程非常复杂,并且进行卫星模拟在轨状态显示时仅能显示数据,或者通过难度很大的 OpenGL、D3D 等 3D 编程技术才能进行 3D 动画显示,造成开发周期长,开发难度大,并且可修改性与可移植性均很差。文章提出了一种新的基于 Matlab 虚拟现实 3D 动画显示模块卫星地面仿真系统,采用 Matlab 已有的模块搭建仿真系统的数学模型及显示系统,可以大大减小系统开发的难度,并且具有 3D 显示功能。

关 键 词: 虚拟现实;3D 显示;地面仿真系统

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20112605.0688

Satellite Ground Simulation System Based on Virtue Reality 3D Display Model of Matlab

DAI Lu, JIN Guang, XU Wei, GU Shong

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: zjdailu@yahoo.com.cn)

Abstract: The traditional ground simulation system is usually developed with VC++, so the development is accordingly very complex. It can only show the data when performing satellite on-orbit state, or develop 3D display system with OpenGL and D3D technique which are very hard and time consuming. So, the paper gives a new design of the Satellite Ground Simulation System based on Virtue Reality 3D Display Model of Matlab which can make use of the existing model in Matlab to establish the mathematical model and the display system. The system has the 3D display function, the difficulty of the system development is also decreased.

Key words: virtue reality; 3D display; ground simulation system

1 引 言

卫星控制管理系统的有效性和可靠性是卫星能够正常完成任务的重要保障。为减小风险,在卫星发射前需对其进行地面仿真实验,也就是“模

飞”^[1]。目的是在一个虚拟的环境中,考验软件对正常及异常情况的处理能力是否达到设计要求。一套完整的地面仿真系统应该能够完成的功能有:

(1)能够实时产生卫星在轨的各种模拟信息,

收稿日期: 2011-03-12; 修订日期: 2011-04-23

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(No. 61008046/F051001)

作者简介: 戴路(1980—),男,吉林长春人,博士,主要从事卫星地面仿真系统的研究。

如轨道动力学信息、姿态动力学信息和空间环境信息等;

(2)能够提供用于和模拟星务计算机进行通讯的标准接口;

(3)能够提供模拟各种下位机的硬件或软件模块,使星务计算机能够与之进行通讯并对其进行操作;

(4)具备实时显示卫星信息的功能,包括卫星的位置、速度信息,各部件的工作状态等。

除了具备以上的几种地面仿真系统必须具备的基本功能外,一个智能化开放式的地面仿真系统还应该具备以下两个特点:

(1)应具备开放式、即插即用的特点,即系统可在不做改动或者很小改动的情况下容纳更多的模拟软硬件共同参与地面仿真;

(2)应具备快速调整的能力,可以方便地对地面仿真系统关键参数进行修改,以便快速地从一状态进入下一个状态仿真。

从以上功能和要求来看,地面仿真系统是一个高集成度、智能化的系统,需要众多设备与功能模块共同参与完成。以往完成第1和第3项功能,都需要进行 VC++ 语言开发,各种模块的动力学模型均需要自行编写,工作量及难度很大。对于完成功能4,一般仅能显示数据,或者通过难度很大的 OpenGL、D3D 等 3D 编程技术才能进行 3D 动画显示^[2-4]。Matlab 虚拟现实技术可以进行 3D 动画显示,并已在很多系统中得到应用,但仅限于纯数学仿真,并不能与外界进行数据交互以考验外部控制器的性能,并且仿真过程也并非实时,使得仿真度不高^[5-7]。

本文提出了一种新的基于 Matlab 虚拟现实 3D 动画显示模块卫星地面仿真系统,可以采用 Matlab 已有的模块搭建仿真系统的数学模型及显示系统,并利用 real-time windows target 模块将仿真系统与外界连接,实现实时系统仿真实验,测试外部控制器、控制软件的可靠性。本文方法可以大大减小系统开发的难度,并且具有 3D 显示功能。

2 地面仿真系统组成介绍

图1为地面仿真系统结构。地面仿真系统由星务计算机、实时仿真信息产生及发送系统、数据接收/处理/分发及显示系统和各分系统下位机

组成。

星务计算机采用高可靠的嵌入式 SPARC 架构处理器 TSC695F 作为处理核心,利用反熔丝 FPGA 提供丰富的接口及功能扩展,形成完备的一体化星上电子学系统,完成星务管理、姿态与轨道控制、热控、电源控制、载荷控制、固态存储器以及数据压缩等系统间控制与数据采集等工作。

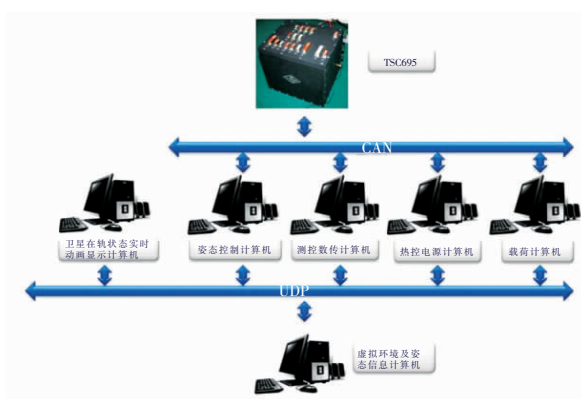


图1 地面仿真系统结构图

Fig. 1 Structure of the ground simulation system

实时仿真信息产生及发送系统的功能是为地面仿真系统提供一个尽量贴近真实情况的仿真环境。以往,这种环境信息都由一台计算机搭配专门编写的仿真软件进行仿真。这种做法有明显的缺点,就是针对性太强,系统不具备快速修改调整的能力;并且这种专门的软件一般采用 VC++ 进行编写,软件规模很大,实现过程非常复杂。针对上述缺点,仿真系统拟采用基于 Matlab real time windows target 模块的仿真环境。这种模块有以下优点:

(1)仿真环境基于 Matlab/Simulink 软件,有功能众多的模块可供系统选择,基本不需要自行搭建新的功能模块;

(2)可以使用已有的基于 Matlab/Simulink 轨道仿真程序和姿态控制仿真程序的模块,大大节约了开发时间及开发难度,采用这种模块还有修改方便的好处,可以快速将针对某一卫星的仿真程序修改为针对另一卫星的仿真程序,或者对仿真中一些不确定的因素进行快速修改;

(3)软件的可移植性非常好,可以运行 Matlab7.0 以上版本的计算机都可以作为空间环境信息及卫星在轨信息仿真系统。Matlab real time windows target 包含了众多通讯模块,支持

UDP、RS-232、CAN 等主通讯方式,可以方便地将生成的实时信息快速地传递出去,以保证仿真系统的实时性,并能方便地接收星务计算机模拟器发出的反馈信息。

数据处理与分发系统的任务是将空间环境信息及卫星在轨信息仿真系统通过 UDP 协议发送过来的信息进行解码并储存,当接收到 CAN 总线发送过来的查询该信息指令时,将该信息按照 CAN 总线通讯协议进行打包,发送到 CAN 总线上。当从 CAN 总线上收到星务计算机模拟器反馈给空间环境信息及卫星在轨信息仿真系统的信息时,如飞轮指令力矩、喷气发动机开关指令等,就要将其解码,并按照 UDP 协议打包发到局域网上。

卫星在轨信息显示系统是将空间环境信息及卫星在轨信息仿真系统收到的轨道、姿态信息通过解码后直接在显示器上进行实时动画显示的系统。其作用是直观地观察卫星的实时动态控制效果,方便判断系统运行的状态。卫星在轨信息显示系统也是基于 Matlab 软件虚拟现实模块搭建的。其优点是图形化、模块化编程,修改方便。

3 基于 Matlab Simulink 仿真模块

3.1 动力学/运动学、环境信息模块

图 2 为搭建的动力学、环境信息及传感器模型。采用现有的 Matlab Simulink 模块可以将成熟的仿真程序直接用于地面仿真系统中,可以做到很高的仿真度,并且可以方便地进行模块增减和修改。

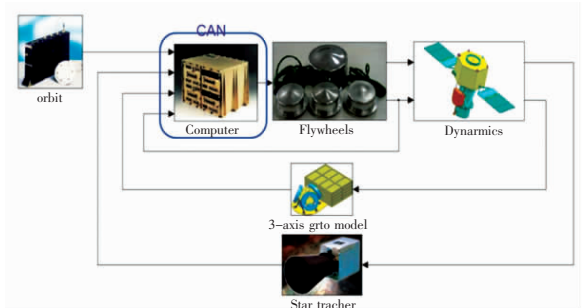


图 2 基于 Matlab Simulink 仿真模块
Fig. 2 Models based on Matlab Simulink

这些模块主要包括动力学/运动学模型,系统的姿态动力学及运动学方程为^[8]:

$$\boldsymbol{H}_B + \boldsymbol{\omega}_B (\boldsymbol{H}_B + \boldsymbol{h}_w) = \boldsymbol{M}_B - \boldsymbol{h}_w \tag{1}$$

$$\dot{\boldsymbol{q}} = \frac{1}{2} \boldsymbol{\Omega}(\boldsymbol{\omega}_{BN}) \cdot \boldsymbol{q} \tag{2}$$

从式(1)、(2) 可以看出,模型是一个非常复杂的非线性微分方程,如进行 VC++ 编程难度很大。而 Simulink Aerospace 工具箱内的模块可以直接使用。

环境信息的生成更为复杂,由文献[5-7]知,地面仿真实验必须用到的地球磁场模型、重力场数学模型极为复杂,微分方程达到 6 阶以上。而 Simulink Aerospace 工具箱内含有成熟的封装模块可用于仿真。图 3 为动力学/运动学、环境信息模块。使用时只需将相应的仿真设定信息提前输入,将相应的信号线连好即可,与搭建控制系统数学仿真环境相同。

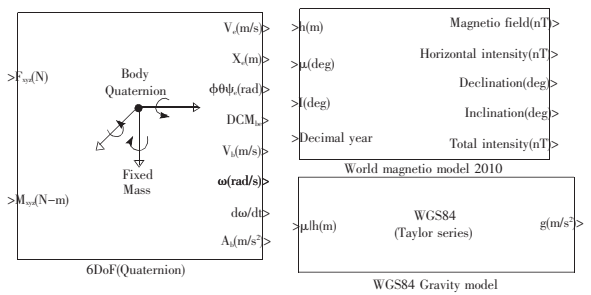


图 3 Simulink Aerospace 工具箱模块
Fig. 3 Simulink Aerospace blockset models

3.2 实时通讯模块

由动力学/运动学、环境信息模块生成的地面仿真实验所需数据需要通过实时通讯模块传出去。PC 机最常用的通讯方式为串口和网口,串口的通讯速率明显不能满足大量实时信息的传输,所以必须采用 100 Mbit/s 以上的网口传送信

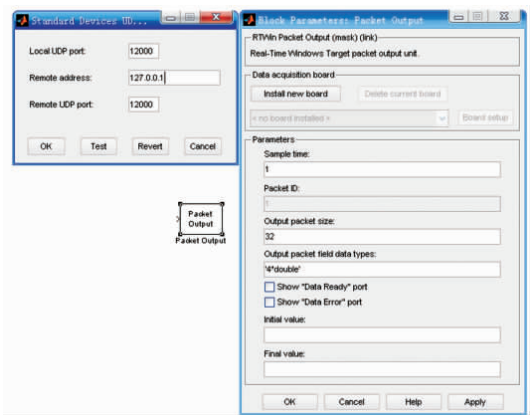


图 4 UDP 通讯模块及设置
Fig. 4 UDP communication model and configure

息。以往的信息发送程序必须通过编写有针对性的基于网络的 VC++ 程序来实现。本系统中采用 Matlab Real-time Windows Target 工具箱 UDP 网络通信模块,可将由 Simulink 模块生成的信息实时打包传送出去,有利于已有的数学模型与外界进行无缝连接通讯。

UDP 通讯模块及设置如图 4 所示。可以看出所用到的端口号、IP 地址、数据采样发送周期均可通过 Configure 页进行方便的设置和更改。

3.3 实时地面仿真设置

通过以上工作,可搭建完成地面仿真系统所需要的数学模型及 UDP 网络收发模块。然而地面仿真实验一个重要的特点是实时性(real-time)。实时性主要有两方面内容,一是数据的生成与传输尽量零延时,本系统采用高性能的 PC 机、Matlab 模块、及高速 UDP 网络通讯能够满足系统延时在微秒级,满足系统仿真对延时性的需要;二是仿真系统的“时间”要和真实世界的“时间”保持一致。而普通的 Simulink 仿真由于电脑的速度不一样,其仿真系统与真实时间往往差距很大。

本仿真系统采用 Real-time Windows Target 模块,可将仿真系统的时间与真实时间保持一致。仿真系统经过 1 s 完成的过程,在现实中也要经过 1 s,这样可以真实地考验软件的在轨工作性能。进行实时仿真实验需要对搭建完毕的 Simulink 模块进行相应设置,如图 5 所示。首先选择 External 模式,填入仿真实验时间,然后进行模块编译,编译通过后点击黑色箭头即可进行仿真。通过仿真系统右下角自带的时钟可以看出系统仿真的时间与真实时间保持一致。

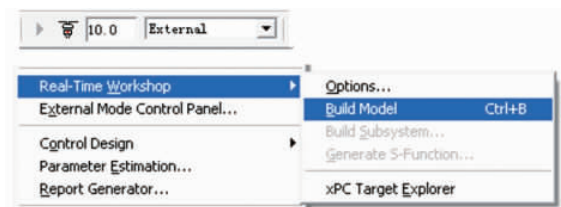


图 5 Real-time Windows Target 设置过程

Fig. 5 Configure flow of Real-time Windows Target

4 虚拟现实 3D 动画显示模块

为了直观地显示地面仿真系统卫星在轨信息,以快速判断卫星在轨状态,最好采用 3D 显示

技术。以往开发地面仿真系统一般只将数据罗列显示,只能通过数据进行状态判读,很难直观地看到卫星的实时状态,如图 6 所示。

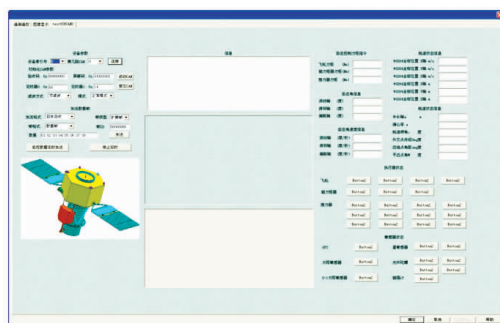


图 6 传统卫星在轨信息显示系统

Fig. 6 Traditional satellite on-orbit information display system

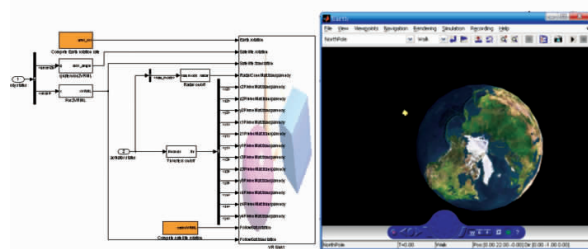


图 7 虚拟现实 3D 显示模块

Fig. 7 Virtue reality 3D display model

本系统采用 Matlab 虚拟现实 3D 显示模块进行实时的三维状态显示,避免了传统的 OpenGL、D3D 技术开发,并且 Matlab 模块间的数据可

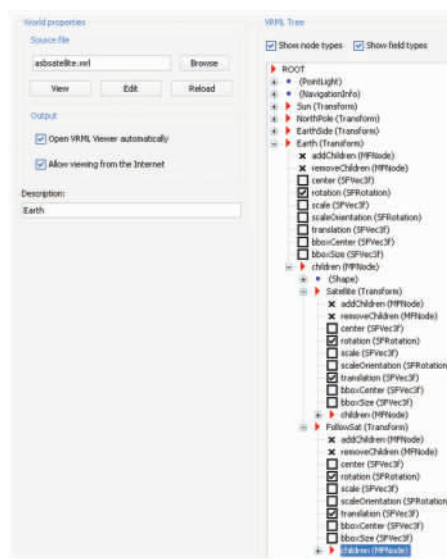
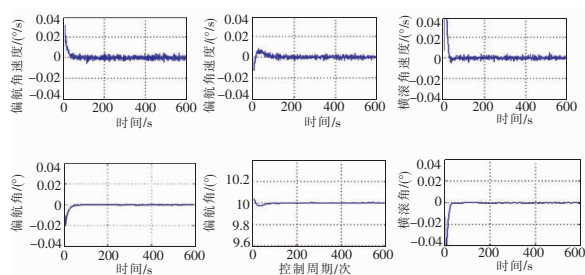


图 8 3D 模型姿态、位置输入设置。

Fig. 8 Attitude, position input configuration of 3D model.

以快速进行通讯共享,方便显示系统与已有的仿真系统模块进行对接。

建立如图 7 的 3D 显示模块需在 V-Realm Builder 环境下进行编辑。首先通过输入形状、尺寸数据建立地球、卫星的 3D 模型,并贴图,得到卫星与地球的模型。将卫星与地球的 3D 模型的姿态、位置值作为输入预留数据接口。这样,将第三节所建模型的数据输出到 3D 模型上,就可以将当前的实时状态显示出来。姿态、位置的输入设置如图 8 所示。



这样就在 Matlab 下建立了可实时进行 3D 显示的地面仿真系统。

5 仿真实验

将以上仿真系统设置初始参数,轨道高度 561 km,轨道倾角 97° ,进行对地三轴稳定姿态控制模式。实验结果如图 9 所示。

从仿真结果可以看出,系统能够按设计进行对地姿态控制,并且控制精度达到设计指标。3D 显示模块也能够如实地反映系统的状态。

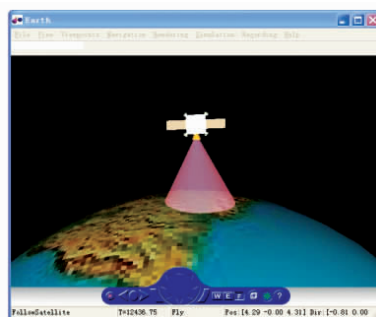


图 9 仿真结果及显示效果

Fig. 9 Simulation results and display effect

6 结 论

基于 Matlab Simulink 模块的地面仿真系统能够充分利用数学仿真的成熟模型,减小系统开发难度和周期。基于虚拟现实 3D 动画模块的显示系统也可以通过较简单的方法实现模型的三维

显示效果,并且仿真系统可以通过 real-time windows target 模块实现与外界的通讯和实时仿真功能,极大提高了仿真真实度。此方法不仅可以应用于卫星地面仿真系统,还可以应用在飞机、轮船、经纬仪等大型设备的仿真实验中。

参 考 文 献:

- [1] 刘良栋. 卫星控制系统仿真技术 [M]. 北京:宇航出版社,2003:3-15.
- [2] 崔晓宝,杜祥楚,顾伟. 利用 OpenGL 实现飞行器真三维模型实时驱动的方法[J]. 电子技术应用, 1999,11(1): 14-16.
- [3] 杨锋,袁修干. OpenGL 在航天员舱外活动仿真中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2003,22(2): 229-232.
- [4] 吴粉祥. 利用 OpenGL 实现复杂机构的运动仿真[J]. 南京理工大学学报(自然科学版),2003,04: 341-344.
- [5] 颜南明,张豫南,刘春光,等. MATLAB 环境下的分布式硬件在环仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2010,22(8): 1866-1869.
- [6] 张家祥,罗雪山,方凌江,等. 用 MATLAB 的虚拟现实工具箱进行飞机起飞模拟[J]. 计算机仿真, 2003,20(4): 66-68.
- [7] 徐延海,宁凡坤. 用于汽车操纵稳定性模拟的虚拟现实平台的研究[J]. 系统仿真学报, 2007,19(17): 3984-3987.
- [8] Leffers E J, Markley F L, Shuster M D. Kalman Filtering for Spacecraft Attitude Estimation [J]. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 1982, 5(5):417-428.