

平显信息配色绩效评价模拟系统的开发与研究

王智伟, 王明泉, 高虹
(中北大学信息与通信工程学院,太原 030051)

摘要:为研究动态飞行中外环境色彩对平显显示信息的视觉影响,研制了一套平显信息配色绩效评价模拟系统。首先,采用IData软件对飞行导航平显界面进行建模,设置平显颜色字符块变量;其次,将建模生成的平显画面导入模拟飞行视景中进行飞行模拟测试,在模拟飞行过程中调用JSBSim模型对飞行操作数据进行动力学解算;最后,在测试过程中根据不同的飞行视景改变不同的平显字符块颜色进行模拟操作性能的考察。模拟系统使用了OSG视景仿真软件包进行高逼真度视景仿真开发,大幅度降低了模拟系统的开发周期与难度。经过若干飞行员的模拟飞行试验,显示画面无抖动、无畸变,平显信息配色过程中无明显的视觉延迟,完全满足飞行员的测试需要。

关键词:平视显示器;显示色彩;模拟系统;视景仿真

中图分类号: V243.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)02-0075-06

Design of a Simulation System for Performance Evaluation of Color Scheme of HUD

WANG Zhi-wei, WANG Ming-quan, GAO Hong
(School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to study the visual effect of the external environment color on the information presented on Head-Up Display (HUD), a simulation system is developed to evaluate the performance of color scheme. At first, the IData software is used to model the flight navigation display interface, and the color character block of HUD is set up. Then, the HUD picture generated by the model is introduced into the simulated scene for flight simulation test. JSBSim model is used for flight operation data calculation. In the test process, different color of HUD character block is used for different visual scenes to inspect the simulated operating performance. The OSG visual simulation software package for high fidelity visual simulation development is used in the simulation system, thus the system development cycle and difficulty are reduced greatly. A number of pilot flight simulation tests show that: 1) The displayed picture has no fluttering and no distortion; and 2) There is no obvious visual delay in the color changing process, which can meet the needs for test.

Key words: HUD; display color; simulation system; scene simulation

0 引言

平视显示器(Head-Up Display, HUD)简称平显,是目前普遍应用于现代战斗机的主要飞行状态显示器,它能减少飞行员低头看仪表的频率,方便对飞机飞行状态的掌握。传统的飞机平显系统由于存在硬件技术

原因,所显示的信息通常为绿色。随着航空技术的发展、飞机飞行任务复杂性和飞行区域多样性的大幅增加,单一颜色的平显字符块画面叠加在不同的外部环境会对飞行员产生潜在的视觉干扰。近些年,我国平显系统像源显示能力和光导技术飞速发展,作为主飞行信息显示载体的平显系统,实现信息的彩色化显示已成为可能^[1]。而在实际操作过程中,直接应用战斗机进行模拟试验成本消耗过大、安全性得不到保障,因此,利用计算机飞行模拟系统的便捷性设计一款平显信息配色绩效评价模拟系统很有必要。本模拟系统将

收稿日期:2016-07-07

修回日期:2016-08-15

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ240803)

作者简介:王智伟(1990—),男,山西朔州人,硕士生,研究方向为智能信息处理、计算机仿真。

平显字符块合理分类并模块化。利用 IData 这款高效的人机界面开发软件进行建模,将生成的平显画面导入基于 OSG 开发的飞行视景中进行飞行模拟测试,在模拟飞行过程中遇到的天空、山丘等不同外部颜色的环境时改变特定的飞机平显字符块颜色,通过测试飞行员在飞行模拟过程中的主观感受,研究人员进行合理的配色方案研究,改善平显画面与外界环境颜色的差异,减轻飞行员视觉疲劳、缓解脑力负荷并提高飞行员的视觉绩效^[2]。

1 系统的整体设计和思路

1.1 模拟系统的结构介绍

模拟系统的主要组成模块包括:JSBSim 飞行动力学模型、平显信息画面的建模、OSG 飞行视景仿真系统和 MFC 的应用程序结构框架与通信接口模块。基于 JSBSim 的飞行动力学模型负责对输入的飞行数据进行解算,求出输出数据,完成对飞行动力学特性的仿真。OSG 飞行视景仿真系统负责对大规模外界地形、云层、天空等场景的管理与渲染;同时对平显信息画面进行驱动显示,它是整个模拟系统的关键^[3]。平显信息画面的建模主要负责对平显字符块进行分类建模,着重对字符信息中的颜色信息控制进行研究。MFC 的应用程序结构框架与通信接口模块主要负责完成主程序以及与飞行动力学模型之间的参数衔接与控制。

1.2 模拟系统的设计流程

平显信息配色绩效评价模拟系统是基于彩色编码认知工效学理论而设计的一款飞行模拟测试系统。该系统选用 VS2010 作为开发平台,使用 MFC 标准类库制作程序的启动界面与进程对话框,基于 OSG 相关资源的创建和视景数据的导入构建一个虚拟的外部场景,运用 IData 将平显画面分成若干字符块,并进行颜色变量的控制,建模完成后以对象的形式导入 OSG 管理的外部场景中,在测试过程中根据测试需求对特定的平显字符块颜色进行修改。模拟系统将飞行操纵杆等外部测试人员的操作数据读取后调用 JSBSim 模型进行解算,根据解算结果自动调整变化,将结果输出到视景系统中,该系统通过 VS2010 编译生成可执行文件对研究试验程序进行移植。系统的整体设计流程如图 1 所示,该模拟系统模拟了飞机在不同场景逼真的飞行过程。在不同的外界环境中,改变特定平显字符块的颜色使其更能符合飞行员在实际模拟过程中的认知特点以及感知运动操作特性。

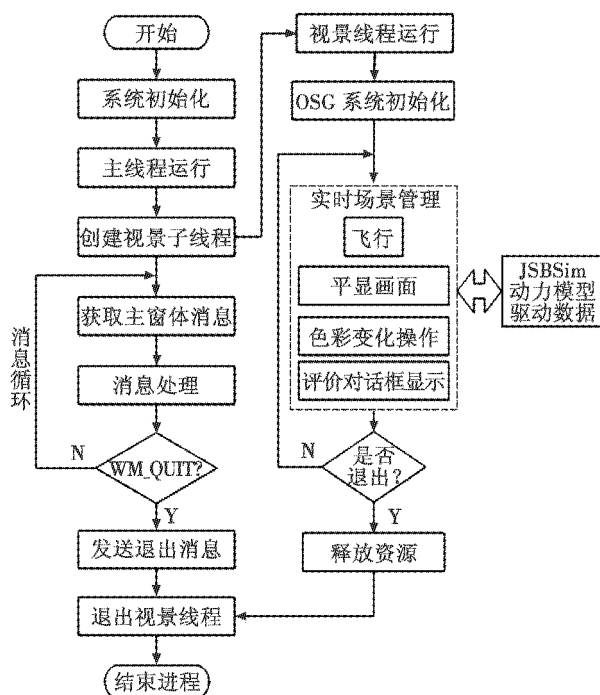


图 1 模拟系统整体设计流程图

Fig. 1 Overall design flow chart of simulation system

2 系统的整体开发流程

2.1 平显信息画面的绘制

2.1.1 平显字符块建模

根据系统的设计思路,首先使用 IData 软件对平显字符块进行系统建模。将平显字符数据在 IDataModeler 中进行分类并定义字符变量,飞机的平显字符块分为:飞机基准符(W 或 +),飞机矢量符,俯仰梯及刻度、坡度刻度及三角指标,当前的高度值、速度值、航向值,高度、速度、航向值指令符,提示信息 6 个部分。在 IDataModeler 图形绘制界面将不同的飞机平显字符数据进行建模,定义不同字符块的变量名称以及数据格式,并 Group 到 6 个文件中进行分类。IDataModeler 绘制的平显图形画面如图 2 所示,将字符数据分为独立可控的字符块可以简化程序对平显颜色的有效控制,保持各个单元的逻辑独立性^[4]。由于高度、速度、过载等字符信息需要随着外部场景的改变而进行合理范围的变化,指示字符图形在关联到与之相对应的变量后,对变量的定义进行范围的控制^[5]。范围设置完毕后,将 IDataModeler 绘制的飞机画面中所有的变量导入测试程序 Test Data Generator 中,并对每一个变量进行变量模式编辑。这些变量可通过命名机制与编辑器界面上显示的动态特性所需变量相映射^[6]。

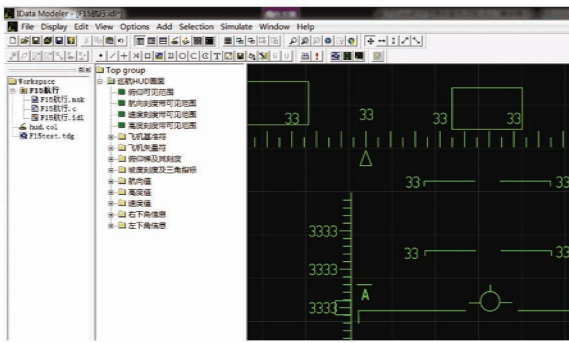


图2 平显字符块信息界面图

Fig. 2 Picture of HUD character block information

上述工作完成后,利用 IData 的布局编译器 IData-Layout 来定义布局文件,最后经过编译生成 .idb 文件,如图 3 所示。使用 IData 平显流程绘制编译完毕后,将 IData 平显图形画面导入到 OSG 管理的视景仿真系统即可。

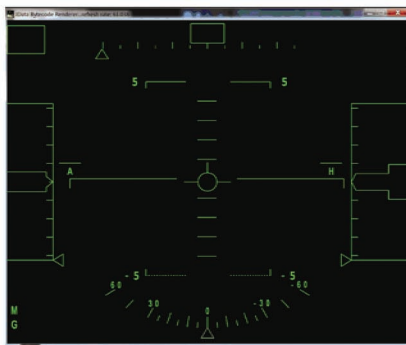


图3 编译生成的.idb文件图形画面

Fig. 3 Compiler generated .idb file of graphics screen

将 IData 平显图形画面移植到 OSG 管理的视景仿真系统需要对 IData 建模数据进行初始化、渲染以及关闭。IData 的 .c 文件中给出了 IData 建模数据初始化函数 IDR_Initialize(), 初始化数据后调用数据加载函数 IDR_Load(), IData 软件采用字节码文件的形式进行数据变量之间的映射,使用加载函数对字节码文件进行加载后,调用 IDR_Render() 函数对字节码文件的渲染,最后使用 IDR_Cleanup() 释放系统资源,关闭系统^[7]。

2.1.2 平显颜色信息的控制

根据对彩色字符编码认知工效学的研究,针对天空、城镇、山丘等不同的外部场景,飞行员需要在平显画面中迅速识别出需要辨识的目标,所以平显字符块颜色和外界环境的颜色差异尤为重要。平显颜色信息的控制就是对字符块颜色进行调整使其和外界环境产生不同的色彩差异,对信息进行合理的颜色匹配,以提高飞行员辨认识别信息的效率。

平显字符块颜色的变化是 IData 图形界面出现在不同的条件下显示不同的属性,在 IDataModeler 工具

(.idl 文件)中是无法完成改变平显字符块颜色工作的,需要在工程的 .c 文件中添加代码来实现平显不同字符块颜色的改变。实现方法是在 .c 文件中的 PLUGIN_API void DriveData(void * pInstrument) 中添加代码来控制平显字符块的颜色^[8],代码如下所示。

//平显字符块颜色控制

```
enum HUDColor
{
    xMagenta = 0,    // 洋红色
    xAmber = 1,     // 琥珀色
    xGreen = 2,     // 绿色
};

void IDataHUD::UpdateHudColor( const
RADS_ENTITY_POS_TYPE &d)
int * pChangeColPart1; // 高度、升降率、迎角
int * pChangeColPart2; // 速度、航向、坡度
iMissiontype = 30;
if ((iMissiontype >= 1)&&(iMissiontype <= 6))
{
    fChangeColPart1 = 2;    // 绿色
    fChangeColPart2 = 2;    // 绿色
    * pChangeColPart1 = fChangeColPart1;
    * pChangeColPart2 = fChangeColPart2;
}
else if ((iMissiontype >= 7)&&(iMissiontype <= 12))
{
    fChangeColPart1 = 0;    // 洋红色
    fChangeColPart2 = 0;    // 洋红色
    * pChangeColPart1 = fChangeColPart1;
    * pChangeColPart2 = fChangeColPart2;
}
else if ((iMissiontype >= 13)&&(iMissiontype <= 18))
{
    fChangeColPart1 = 1;    // 琥珀色
    fChangeColPart2 = 1;    // 琥珀色
    * pChangeColPart1 = fChangeColPart1;
    * pChangeColPart2 = fChangeColPart2;
}
else if ( )
...

```

2.2 视景仿真平台的搭建

飞行的外部视景系统是整个模拟系统的关键,其流畅度和清晰度直接影响着飞行员对平显字符块颜色的直观判断与选择,必须尽可能地构造一个让飞行员可以沉浸到真实环境中的视景仿真平台进行测试。OSG 是一款专业的场景图形管理开发库,其强大的仿真运算和图形渲染能力能给飞行员构造一个相对逼真的虚拟环境。同时,OSG 是一个开源的场景图形管理开发库,它实现了对 OpenGL 底层渲染 API 的封装,可以使程序员更加快速、便捷地开发高性能、跨平台的交

互式图形程序^[9]。

使用 OSG 对视景仿真的搭建主要由两部分组成, 场景图形树与渲染图形树。OSG 采用场景图来对场景进行组织和渲染, 场景图形采用一种自顶向下的、分层的树状数据结构来组织空间数据集, 以提升渲染的效果。场景图形树结构的顶部是一个根节点, 从根节点向下延伸包含若干个组节点, OSG 程序使用组节点来组织和排列场景中的几何体。OSG 的渲染图形树是一棵以 StateSet 和 RenderLeaf 为节点的树, 它可以做到 StateSet 相同的多个 RenderLeaf 同时渲染而不用切换 OpenGL 状态, 并且做到尽量少但在多个不同的 State 间切换。渲染树在 CullVisitor 的 cull 过程中逐渐创建^[10]。飞机的视景仿真场景图形树结构如图 4 所示。

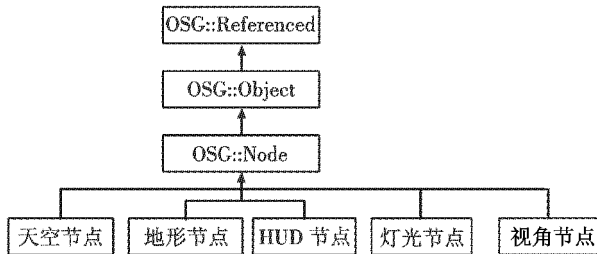


图 4 场景树结构图

Fig. 4 Tree structure view of the scene

需要搭建一个一定规模的地形数据库, 通过下载高精度的高程数据与地表纹理, 对其进行切割、拼接、校正, 使地表纹理数据与高程数据进行完美的匹配。将其配置校正后生成地形数据文件^[11], 然后添加天空节点、HUD 界面、灯光节点, 一同嵌入 MFC 结构中, 由 MFCViewer 创建 OSG 窗口, 通过初始化、模型添加、场景渲染生成 OSG 视景, OSG 遍历整个视景程序, 将各个组节点的属性和状态进行变换、管理, 最终调用 OpenGL 底层的 API 把飞行视景显示到计算机显示器上^[12]。为配合平显信息配色绩效评价测试, 视景仿真的视点采取绑定视点, 方便飞行员只对单一信息给予观察与评价。以下是 OSG 中地形、天空、视角等节点的代码。

```

//添加卫星照片地形节点
terrain = newCAtlasTerrainSceneNode ( theApp. GetMC( ). m_pScnMgr -> getRootSceneNode( ),
theApp. GetMC( ). m_pScnMgr, DEMO_TERRAIN_PHOTO);
//添加天空节点
CDayNightSkySceneNode * skyNode = newCDayNightSkySceneNode
( theApp. GetMC( ). m_pScnMgr -> getRootSceneNode( ),
theApp. GetMC( ). m_pScnMgr, DEMO_SCENE_NODE_SKY,
ESST_DAY_SKY2, 40, 30, video::SColor(0,0,0,0));
//添加一个环境光
theApp. GetMC( ). m_pScnMgr ->
setAmbientLight( video::SColorf(0.4,0.4,0.4,1.0));

```

```

//添加一个 HUD 节点
m_IDataNode = new
IDataHUD( theApp. GetMC( ). m_pEnv,
theApp. GetMC( ). m_pScnMgr, theApp. GetMC( ). m_pEnv ->
getRootGUIElement( ), DEMO_GUI_IDATA_NODE,
core::rect < s32 > ( hudCenterPos. X - hudWidth,
hudCenterPos. Y - hudHeight, hudCenterPos. X + hudWidth,
hudCenterPos. Y + hudHeight));
//添加一个视角节点
view2 -> getCamera ( ) -> setViewport ( new osg::
Viewport(0, height/2, width, height/2));

```

将读入的节点设置到场景中, 就可以实现搭建三维场景并在场景中读入外部三维模型, 控制模型的观察视角。

2.3 飞行动力学模型的调用

飞行员根据显示器中飞机的飞行状态对键盘、鼠标、驾驶杆等外部输入设备进行操作, 输入系统将飞行控制器输入的数据进行转换并输入到飞行动力学模型中。飞行动力学模型通过一系列的运动学方程进行解算, 在解算完毕后得到飞行状态的参数, 最后由输出设备将飞行状态输出到显示器上。

2.3.1 飞行操作数据的输入

本文操作系统采用的是将飞行驾驶杆与油门控制分离的双手分离式 X52 型模拟飞行控制器, 该飞行控制器更符合现代飞行员的操作方式, 可以使飞行员更加真实地模拟飞行。美国微软公司通过 DirectX SDK 对飞行控制器的操纵杆类进行了封装, 同时提供了包括键盘鼠标在内的外部输入功能。飞行控制器采用 USB 与计算机连接, 并通过在代码中添加 .lib 库文件以及调用 .h 头文件实现对飞行控制器的支持。

2.3.2 JSBSim 模型的调用

当飞行的操作数据输入以后, 系统开始调用 JSBSim 飞行动力学模型对数据进行解算, 先初始化 JSBSim 模型, 创建 FGFDMExec 类, FGFDMExec 类封装了 JSBSim 模拟执行, 通过执行 FGFDMExec 类初始化和运行所有其他仿真类实例化, 然后创建 Input, FCS, Inertial 和 Aircraft 等模型对象, 将所有模型对象初始化以后, 将其加入执行序列, JSBSim 采用 XML 语言进行数据的存储处理和显示, 飞行配置文件将飞行的高度、速度、航向、俯仰角等数据初始化进行配置, 通过采用封装的 LoadAircraft () 函数加载到 Aircraft 模型对象中, Aircraft 模型对象将飞行配置文件的初始化数据解算得到初始化飞行状态数据。在得到初始化飞行状态数据后调用时钟函数确保飞行动力学模型的持续运行, 通过 Run () 函数的调用对飞行初始化数据和飞行控制器输入的飞行数据进行运动方程解算^[13]。JSBSim 模型的初始化结构如图 5 所示。

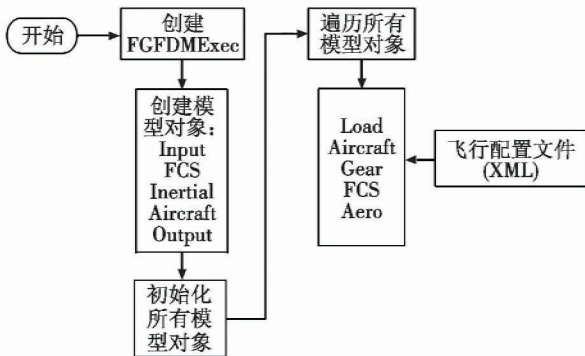


图5 JSBSim 初始化结构图

Fig. 5 JSBSim initialization structure

2.3.3 飞行状态数据的显示

在该模拟系统中采用 IData 绘制的平显画面对飞行高度、航向、速度、俯仰角等飞行状态数据进行显示。飞行动力学模型对飞行状态数据进行解算后通过 CSV 文件进行数据的导出,系统通过 Read() 函数对 CSV 文件读取识别,并通过 IData 数据的调用将飞行状态参数实时地显示到飞行平显画面中^[14]。

3 模拟系统的测试

在飞机的飞行模拟试验中邀请4名飞行员对该系统进行测试,并截取了试验系统的飞行界面,本次试验模拟了单一颜色的外部环境:天空。测试的平显画面基色为绿色,如图6所示,在此基础上改变平显字符块中的速度值、航向刻度值和坡度刻度的三角指标颜色为琥珀色,高度值、攻角和升降率为洋红色,如图7所示。同样,在飞机的飞行模拟试验中截取外部环境为山丘的测试画面,如图8所示。在登录该测试系统后,按照彩色编码认知工效学理论规定平显字符颜色画面进行测试,测试人员根据不同的外部场景改变平显字符块的颜色。在飞行过程中飞行员按照规定的导航路径进行飞行,在飞行完成后,对飞行过程进行记录,比较实际飞行与导航飞行的速度差、航向差、高度差以及完成飞行任务的总时间。经测试,4名飞行员在飞行任务总时间相同的情况下,平显字符块中字符颜色为琥珀色与洋红色时比字符颜色为绿色时导航飞行的速度、航向、高度的偏差大,偏差均值为6.93%。飞行员对测试画面进行信息捕获的容易性、颜色显示协调性、长时飞行适合性、整体画面效果进行评价,普遍认为琥珀色与洋红色的效果会更适合在天空和山丘为外部场景的情况下飞行。通过试验可以很直观地看到不同颜色字符块叠加在外部环境天空下对飞行员视觉绩效的影响。

测试过程中软件的画面质量无抖动、无畸变、无锯

齿、无明显的视觉延迟,可以满足飞行员在飞行过程中对不同颜色字符块的平显画面叠加在外部场景进行直观的判断。同时,试验程序满足可使用性、可靠性、易维护性、易移植性等特点。该试验模拟数次后,飞行员的飞行模拟结果提供给飞机平显彩色字符编码认知工效学,供其进一步理论研究。

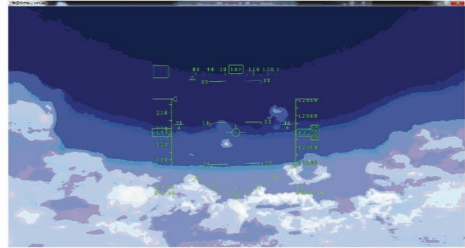


图6 绿色字符块的平显画面

Fig. 6 Green character block of the HUD screen

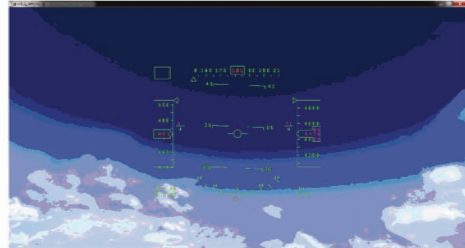


图7 彩色字符块的平显画面

Fig. 7 Color character block of HUD screen



图8 不同外界环境的平显画面

Fig. 8 Display picture of HUD against different external scene

4 结语

由于直接利用飞机模拟平显配色进行实战演练消耗的成本过大、安全性差,且易受其他因素的干扰,本文针对彩色编码认知工效学理论,设计了平显信息配色绩效评价模拟系统。由于 OSG 视景仿真软件包、JSBSim 飞行动力学模型以及 IData 都是开源软件,具有更好的开放性和重用性,一般情况下,只需要很少的改动,即可实现不同型号、不同任务飞机的应用。所以,本模拟系统可以移植到不同的平台,为飞行模拟训练提供了较大的测试便利;另外,系统对飞行员快速熟悉飞行环境,提高真实环境下的作战能力也具有重大意义。

参 考 文 献

- [1] 熊端琴,黄靖,张清俊,等. 动态模拟飞行平显信息的彩色效应研究[J]. 航天医学与医学工程,2016(2): 127-132.
- [2] 张杰,刘旭峰. 彩色字符编码的认知工效学研究[D]. 西安:第四军医大学,2012.
- [3] 郭佳. 基于 OSG 的飞行仿真系统视景平台的研究与开发[D]. 沈阳:沈阳航空工业学院,2009.
- [4] 赵保明,程洪书,刘灿灿,等. 基于 IData 的 EICAS 系统仿真软件的研究与开发[J]. 系统仿真学报,2015,27(8):1902-1906.
- [5] 宋青,赵敏,周坚峰,等. IData 在高级座舱显示系统快速开发中的应用[J]. 航空电子技术,2008,39(4):30-33,43.
- [6] 胡靖宇. 基于 IData 和 VxWorks 的飞机座舱显示系统[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
- [7] 许少尉,陈思宇. 基于 IData 的航空多功能显示器图形界面[J]. 航空计算技术,2013,43(3):108-111.
- [8] 韩彦东,周兴平,赵保明,等. 基于 IDATA 的气象雷达图像仿真系统[J]. 计算机工程与设计,2010,31(12): 2811-2814.
- [9] 闫晓东. 基于 OSG 的飞行视景仿真平台开发[J]. 计算机仿真,2008,25(5):58-60.
- [10] 姚崇. 无人机飞行仿真系统关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [11] 郝笃刚,张哲,赵忠东,等. 基于 OSG 的南海岛礁三维地理信息系统的设计与实现[J]. 海洋测绘,2010,30(6):67-70.
- [12] 鱼江海,占怡. 基于 OSG 的三维场景构建[J]. 黑龙江科技信息,2010(1):81.
- [13] BERNDT J S. JSBSim: an open source, platform-independent, flight dynamics model in C++ [M/OL]. [2016-06-19]. <http://wpage.unina.it/agodemar/TSV/JSBSimReferenceManual.pdf>.
- [14] 岳显,吉华,王强,等. 基于 JSBSim 模型飞行能力初步评价系统的研究与实践[J]. 计算机应用与软件,2015,32(4):96-99,190.

(上接第 38 页)

5 结 束 语

本文设计了一种新的分级合作目标,并融合了 Tsai 方法和快速四点方法估计无人机位姿参数。实验结果表明,分级合作目标使无人机在自主着陆过程中的不同高度,均能够获取完整合作目标图像及特征进行位姿参数的估计,同时融合方法提高了 Tsai 方法和快速四点方法估计位姿的精度,能够满足自主着陆对无人机位姿参数获取准确性和实时性的要求。

参 考 文 献

- [1] 唐大全,毕波,王旭尚,等. 自主着陆/着舰技术综述[J]. 中国惯性技术学报,2010,18(5):550-555.
- [2] SKOCZYLA M. Vision analysis system for autonomous landing of micro drone[J]. Acta Mechanica et Automatica, 2014, 8(4):199-203.
- [3] 张勇. 基于合作目标的无人机位姿估计算法研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [4] XU G L, QI X P, ZENG Q H, et al. Use of land's cooperative object to estimate UAV's pose for autonomous landing[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26(6):1498-1505.
- [5] 郑晓平. 基于视觉的小型无人直升机自主降落导航系统的设计和研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [6] YANG S, SCHERER S A, SCHAUWECKER K, et al. Autonomous landing of MAVs on an arbitrarily textured landing site using onboard monocular vision[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2014, 74(1/2):27-43.
- [7] YUAN H, XIAO C, WEN Y, et al. Visual pose measurement system for VTOL UAV autonomous landing[C]// International Conference on Information and Automation, IEEE, 2015. doi:10.1109/ICInfA.2015.7279450.
- [8] GIOI R G V, JAKUBOWICZ J, MOREL J M, et al. LSD: a line segment detector[J]. Image Processing on Line, 2012, 2(4):35-55.
- [9] 刘婷,徐贵力,程月华,等. 基于组合式红外合作目标的无人机着陆位姿估计方法[C]//中国制导、导航与控制学术会议,2014:1606-1611.
- [10] 王晓剑,潘顺良,邱力为,等. 基于双平行线特征的位姿估计解析算法[J]. 仪器仪表学报,2008,29(3):600-604.
- [11] TANG D Q, CHEN Y, KOU K H. Navigation method based on the solution to PnP problem for autonomous landing of UAV [C]//Proceedings of IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference(CGNCC), 2014. doi:10.1109/CGNCC.2014.7007529.