

一种飞行模拟器虚拟座舱系统的设计与实现方法

蒋龙威 赵广兴 赵明波 钟 鸣 王 琦

(空军哈尔滨飞行仿真技术研究所 哈尔滨 150001)

摘要: 基于虚拟座舱飞行模拟器的诸多优势,进行虚拟座舱系统的设计与实现方法研究。结合实体座舱的结构与布局,确定整个虚拟座舱系统在功能和性能方面的要求,阐述图形仪表和控制面板的基本设计原理,在 GL Studio 里进行图形开发并在 VC++ 进行编译,两者配合的方法对其进行仿真开发。针对座舱系统结构复杂、模块繁多的特点,采用模块化思想,从顶层把需要仿真的模块进行分类,避免了以往繁杂冗余的结构,减少了模块间的耦合性,使得系统变得更容易维护、使用和升级。该设计方法的实现,减少了系统的开发成本,同时使得开发周期大大缩减,对于提升飞行员的基本飞行技能及战术水平有非常积极的作用。

关键词: 飞行仿真;飞行模拟器;虚拟座舱;模块化;GL Studio

中图分类号: TP27 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 413

Design and implement method of virtual cockpit system for a flight simulator

Jiang Longwei Zhao Guangxing Zhao Mingbo Zhong Ming Wang Qi

(HRB Flight Simulation Research Institute of Air Force, Harbin 150001, China)

Abstract: A design and implement method is studied based on the advantages of virtual cockpit system flight simulator. Combining entity cockpit composition structure and layout, the function requirement and performance requirement of virtual cockpit system are clear. Elaborating the basic design principle of the graphical instrument and control panel, the way of combining GL Studio with VC++ is adopted to simulation development. In view of the cockpit system's complex structure and various modules, the idea of modularization is used. Classifying the simulation module from the top, avoids the complex redundant structure, reduces the coupling between the modules and makes the system easy to maintain, use, and to upgrade. The virtual cockpit system design method largely reduces the cost of system development and it improves the speed of development. It will be a great positive role to promote the pilot's basic flying skills and tactics level.

Keywords: flight simulation; flight simulator; virtual cockpit; modularization; GL Studio

0 引 言

飞行模拟器的研究开发是开展现代仿真技术研究的重要方向,它主要用于训练飞行员的飞行技能和战术对抗水平,使飞行员尽快掌握飞行要领,具有经济、简单、安全、高效的特点。飞行模拟器构建了非常真实的座舱环境,使人有一种身临其境的感觉。目前,在航空、航天飞行训练过程中,驾驶真实飞行器之前必须经过对应型号模拟器的训练并考核合格,这已成为不可或缺的训练科目之一^[1]。飞行员坐在飞机的座舱里与飞机进行人机交互,形成人在闭环里的飞行控制,飞行员通过座舱获得飞机的状态信息和控制信息,因此它是飞机和模拟器必需的组成结构。而虚拟

座舱就是利用计算机图形学技术,在人机交互设备上(例如触摸屏)采用图形化仿真对真实座舱的设备进行模拟。采用综合模块化理念去设计虚拟座舱,不仅使得系统的可维护性大大增强,提高了模块的复用率,还便于系统日后进行扩展和升级。虚拟座舱概念的提出及应用到飞行模拟器设计中,可大大节省系统的开发成本,缩短研发周期,提高研制效率。

本文首先分析了虚拟座舱的组成结构,明确虚拟座舱系统的软件需求,进而介绍了图形仪表和控制面板的设计原理,利用 GL Studio 图形开发转件进行设计,在与 VC++ 平台下编译运行,采用模块化思想对系统进行分类,最大限度减少模块间的耦合^[2],方便日后系统的使用、

维护和升级。

1 系统设计原理

在开发一个系统之前,首先要对其进行软件需求分析,明确系统在功能及性能上有哪些需求,进而确定系统实现的设计原理。

本文针对某型飞机座舱系统结构,将虚拟座舱划分为图形仪表显示系统、控制面板及操纵系统,整体结构如图1所示。图形仪表包括电子飞行仪表系统(electronic flight instrument system, EFIS)、多功能显示器(multi-function display, MFD)和备份仪表。EFIS包括主飞行显示画面电子对抗画面、导航显示画面、自检画面等;MFD显示包括导航、飞行参数、雷达工作状态、武器外挂管理等相关信息;备

份仪表包括高度表、速度表、升降速度表、应急地平仪等。控制面板由前方仪表面板、左/右侧操纵台3部分构成。这些控制面板或操纵台上配置了各类控制盒、仪表及指示灯,包括着陆滑行灯、数字式组合油量表、航空电子启动板、通信控制盒、组合接收控制盒、空管应答机控制盒、正前方控制面板等。操纵系统包括油门、方向舵、驾驶杆,采用真实部件仿真。按照功能要求,本设计主要实现图形仪表显示系统的虚拟仿真和控制面板的虚拟仿真。

虚拟座舱系统按照功能可主要划分为数据采集、数据处理、控制和显示4个部分。控制面板完成数据采集和控制功能,图形仪表主要完成数据显示功能,二者含有少量数据处理工作,大部分数据处理工作由解算计算机完成。

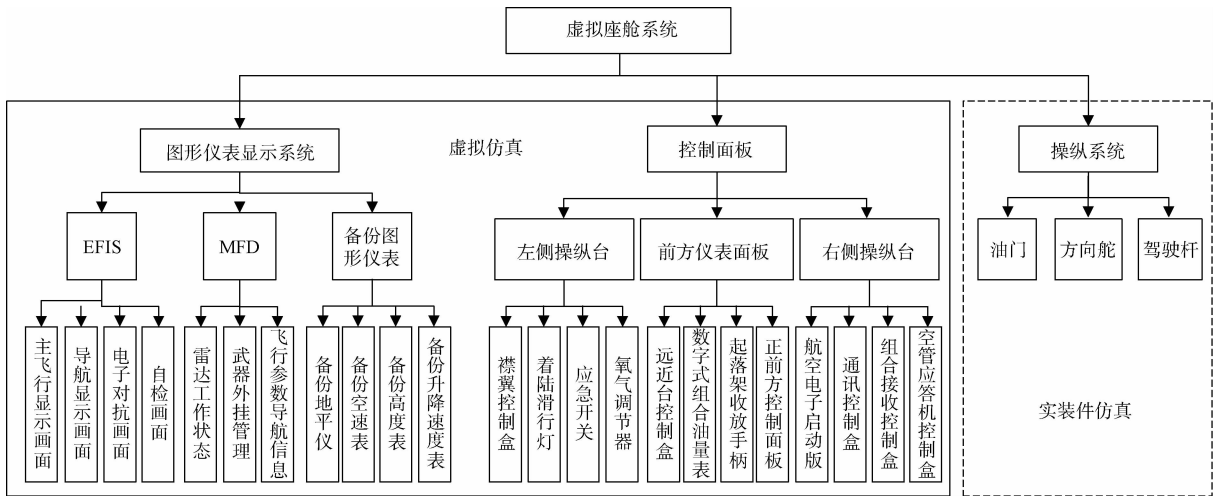


图1 系统整体结构

本设计采用 Windows XP 分时操作系统,面向对象的程序设计方法,利用 PhotoShop 图形处理软件对所需要的图片纹理进行处理,图形开发软件 GL Studio 是图形设计的主要软件工具,利用 VC++ 作为平台进行编译^[3],采用 UDP 网络接口协议进行数据通信,进而完成虚拟座舱系统的设计开发。

1.1 需求分析

针对飞行模拟器所要求达到的训练等级标准,基于虚拟现实、计算机图形技术的功能特性,本文将虚拟座舱通过液晶触摸屏进行实现,实现人机交互功能。依据飞行仿真工程对虚拟座舱显示系统的要求,结合实际需要,明确了所仿真虚拟座舱的功能要求及性能要求。

1.1.1 功能要求

- 1)能够响应虚拟座舱控制面板上的开关、旋钮等设备的操作事件,并进行对应参数的设置,实现人机交互;
- 2)接收上位机控制指令,分析判断仿真系统的工作状态,进而按照要求切换显示界面;
- 3)通过网络协议接口接收上位机传来的数据信息,控

制显示页面相应字符、图形等显示状态和数据的更新;

4)通过网络通信将虚拟座舱模块产生的操作数据传送给上位机,完成与上位机的实时连接^[4];

5)对特定的仪表或控制盒可实现界面的局部放大。

1.1.2 性能要求

1)逼真度。所仿真图形仪表系统页面的显示内容如图符形状、字符、亮度和大小应与实装机相一致,同真实设备具有相同的操作与控制逻辑;

2)实时性。系统运行仿真频率要同主仿真程序等其他分系统具有相同的频率。所有虚拟仪表的指示精度和跟随性等应与实装设备相一致;

3)交互性。飞行员与虚拟座舱的交互应易于操作、准确性高,画面布局简单,易于接受;

4)模块化。划分的模块之间要低耦合,各模块功能上要独立,这样有利于设计上的分工合作;

5)可维护性。系统如果报错,能够方便查找问题^[5];

6)可扩展性。使用高级编程语言,源程序便于理解、修改和扩展,协议接口定义清晰利于系统联调^[6]。

1.2 图形仪表设计方法

本文采用一种通用的仿真方法,利用计算机图形学仿真实现虚拟座舱仪表显示。在研究飞行模拟器或飞行训练时,这种方法具有降低仿真仪表成本、便于维护和使用的优点。因此,本文将虚拟座舱显示部分的驱动方式定为计算机实时图形显示^[7]。虚拟座舱系统软件模块与上位机解算软件模块之间的连接结构关系如图 2 所示。

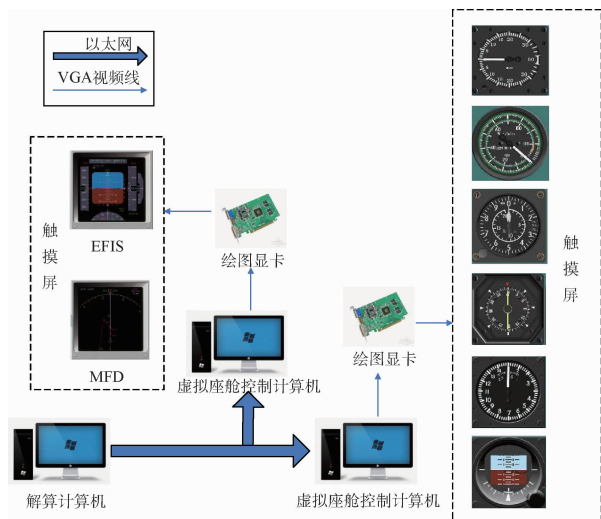


图 2 模块连接结构关系

实时飞行仿真系统启动后,首先要初始化虚拟座舱控制计算机的虚拟座舱软件模块,软件模块将 GL Studio 生成的图形信息进行解析计算并传递给绘图显卡,绘图显卡对这些图形信息进行转化,转换成触摸屏上需要显示的控制信号和视频信号,这时屏幕上将会显示在初始条件下的静止画面。解算计算机的解算模块将图形仪表所需的数据信息封装成为一个数据结构。在实时飞行时,数据解算模块将数据结构通过 UDP 协议实时发送给虚拟座舱控制计算机的接收端口,虚拟座舱控制计算机软件模块通过内部自身编写驱动函数向图形仪表系统传递控制参数,产生实时的动态数字信号,绘图显卡使触摸屏实时显示仪表的逻辑变化和动态画面,标志和符号根据条件动态显示。

1.3 控制面板设计方法

在所设计的飞行模拟器虚拟座舱中,没有真实的硬件操作设备,控制面板全部采取计算机触摸屏功能仿真;因此,控制面板上的旋钮、指示灯等都是虚拟仿真,这些设备不存在电路和传感器为其提供信息信号,它们的功能都由触摸屏来完成。控制面板信息交互原理如图 3 所示。

当运行虚拟座舱可执行程序时,操作控制触摸屏上的按键和开关设备,虚拟座舱控制计算机的座舱信号采集模块响应触摸屏操作事件,并将事件转化为控制信号,虚拟座舱控制计算机将这些信号处理打包后利用网络传送给解算计算机,解算计算机的解算模块对数据进行计算与逻辑分析,然后将对应的指示灯、仪表计算结果再输出给虚

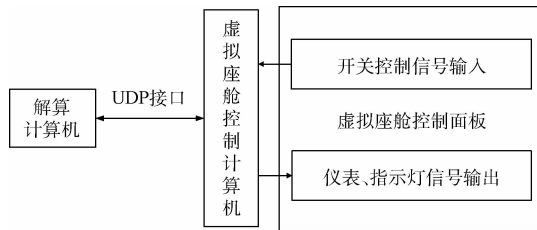


图 3 控制面板信息交互原理

拟座舱控制计算机,对控制面板上的仪表和指示灯的状态显示进行实时驱动。

2 系统开发实现

2.1 图形仪表的实现

第 1 节已经将图形仪表显示系统组成介绍。虚拟座舱图形仪表显示系统软件设计既要条理清晰、又要构造简单,采用面向对象的编程思想、模块化思想,使得程序更加容易移植和扩展。模块之间尽量减少耦合,具有独立性^[8]。虚拟座舱图形仪表按照功能划分由不同单元组成,各功能单元彼此独立但又相互连接。图形显示系统的软件模块构成如图 4 所示。

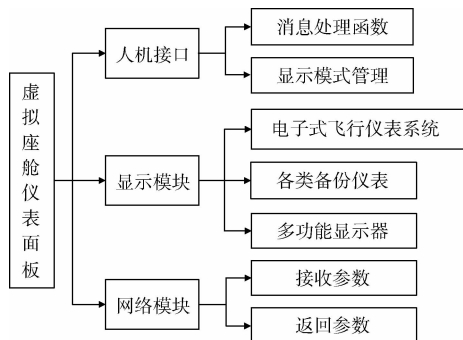


图 4 图形仪表显示系统软件构成

图形仪表的设计与开发主要包括以下几个方面:图形的建模、仪表内部驱动程序设计、人机交互、网络接口的开发。一个优秀的设计程序的开发需要循环往复的过程,图形仪表显示系统的开发流程可概括如下:把每一个仪表实体抽象成 GL Studio 面板的显示模块,进行模块化设计,在每个模块内编写控制逻辑,通过内部驱动程序对图形进行驱动。可执行程序生成后,将其添加到整个飞行仿真系统的运行网络中,通过 UDP 协议接口,实现与解算计算机的数据信息收发交互。假如仿真程序需要修改,只需在 GL Studio 编辑界面进行修改,再更新到 VC++ 工程中,重新编译、链接,生成可执行程序即可^[9]。仪表开发步骤如图 5 所示。

对虚拟座舱仪表显示系统的设计,首先收集要显示的字符、画面,完成图形建模,图形建模工作是系统设计的基础、前期准备工作。利用 PhotoShop 图形处理软件对图片

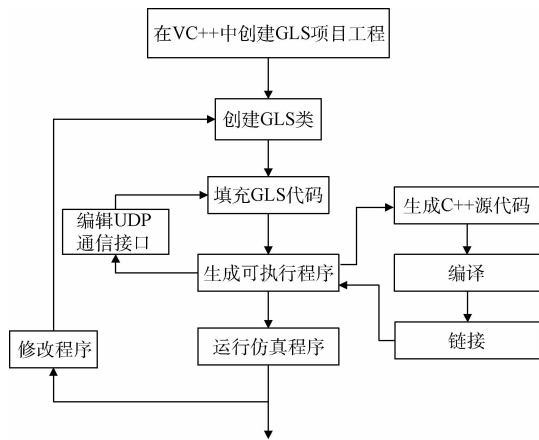


图5 仪表面板开发步骤

进行处理,得到纹理图片,将纹理图片导入进 GL Studio。此外,对于简单易画的模型,GL Studio 软件平台编辑界面提供了字符、矩形、多边形、直线,线型、颜色、合并组、设置旋转中心等功能,可直接在软件平台进行绘图制作。

模型建好后,按照逻辑顺序和空间顺序,确定画面各个模型及其子画面的层次结构,使各仪表画面的显示逻辑、层次、内容正确无误。下面以 EFIS 为例,阐述其设计实现过程。

由于 EFIS 画面组织结构比较复杂,将画面分为不同区域,进行分类分模块编程实现。画面分为空速指示、高度指示、升降速度指示、姿态指示、航向指示及信息显示 6 个部分。各个组成部分的模型建好后,要根据逻辑关系对模型进行布局。准备工作完成后设置它们的属性同时,要把图形驱动起来,在模块内部定义逻辑结构,编写行为程序,使每个模块能够响应来自飞行员、数据及时间的触发,进而使整个画面实时驱动起来。

在使用 GL Studio 进行程序开发时,利用 VC++ 建立一个 GLS 工程,GL Studio 生成的 C++ 源代码在 VC++ 编译器中编译运行,所见即所得的设计方式使得开发难度大大降低。利用软件平台自身留有的驱动接口(主计算函数)和 VC++ 紧密联系在一起,把每个图形仪表的每一个驱动函数放入主计算函数里执行。注意软件模块在接收网络数据时,必须对该函数的调用频率进行设定,数据交互时接收端与发送端的频率保持一致,本软件平台默认调用频率为 30 Hz。

对象的行为事件由各成员函数组合而成,行为事件的驱动受上位机接口数据控制,但行为事件本身的驱动程序要在模块内部实现完成,每个模块都有自己独立的行为。GL Studio 为用户提供了十分强大的 API 函数库^[10],在设计中使得对控件的移动、旋转、消隐、闪烁、字符显示等操作都能实现,甚至在图符旋转过程中出现锯齿或走样的情况下,GL Studio 提供了一个反走样功能。解决了反走样之后,例如罗盘刻度和航迹线变的光滑,提高了逼真度^[11]。

本设计还利用 GL Studio 中的视角转换和放大方法实现部分界面局部放大功能,可单独放大飞行员当前关注的主要部分,提高虚拟座舱人机交互的便利性。图 6 和图 7 分别是仿真生成的电子飞行仪表系统(EFIS)和多功能显示器(MFD)。



图6 EFIS



图7 MFD

类似于电子飞行仪表系统的设计方法,本文还实现了备份地平仪、升降速度表、高度表、空速表等图形仪表的仿真,如图 8~11 所示。

2.2 控制板的实现

第 1 节已经介绍到虚拟座舱控制面的组成结构。控制面板含有大量的按键开关、转换电门、转换指示灯、指示仪表等,这些设备在实装件中结构十分复杂,本文同样只对其进行虚拟化仿真设计。由于不存在长线传输,控制信号在传输过程中不受干扰。图形软件模块的功能是接收



图 8 备份地平仪



图 11 空速表



图 9 升降速度表



图 10 高度表

控制面板的仿真实现流程类似于电子飞行仪表系统, 2.1 节中已经详细介绍。开发步骤概括如下: 首先, 收集图片和纹理数据, 把开关电门、仪表指示灯等其他设备的图片做成纹理图片, 并进行处理。建立一个 GLS 工程, 在 GLS 文件中完成图形建模, 按照功能把控制面板各部分划分为各个模块组件; 然后利用 GL Studio 将图片模型转换为 OpenGL 和 C++ 源代码, 将控制面板的源代码加入到用户工程中; 最后进行编译调试^[12]。

为了响应用户的键盘、鼠标、触屏等人机交互操作事件, 用户可以把任何一个多边形在 GL Studio 中设置成 InputDevice 对象, 每一个 GL Studio 所支持的事件(如鼠标按下左键或拖拽等)在 InputDevice 对象里都定义了一个回调函数(CallbackFunction), 在回调函数中添加代码, 就可响应触发事件。对于能实现交互功能的器件, 例如旋钮、开关等, 软件平台提供了相应的 Device, 它们的对应关系如表 1 所示。在实现各交互输入设备的事件行为时, 注意在回调函数里仿真对象实际值与使用变量值之间要有一个的换算关系, 所接入的实际值的类型和变化范围一定要注意^[13]。

表 1 输入设备与 Device 对应关系

输入设备	Device
旋钮	Knob Device(GlsKnob)
按键	Push Button Device(GLsPushButton)
两(三)位开关	Switch Device(GlsSwitch)
其他交互输入设备	Input Device(InputDevice)

控制面板上虚拟旋钮、按键、开关等输入信息以及显示对应的指示灯和仪表信息。具体原理为触摸屏响应开关按钮操作事件, 虚拟座舱控制计算机将事件转化为控制参数并打包向解算计算机传送座舱控制数据, 解算计算机进行逻辑判断和处理并发送状态信息, 完成虚拟座舱触摸屏显示画面、状态和数据的更新。

在设计过程中, GL Studio 可复用组件的优点变得更加突出, 因为在控制面板系统中, 尽管有大量的开关、按键、旋钮和指示灯等交互设备存在, 例如两位开关、自复位按钮等, 但每一类设备都具有相同的模型大小、形状和逻辑关系。如果对所有设备进行建模, 势必会造成极大的工作量和麻烦^[14]。这时利用可复用组件的优势, 在内存中只

保留一份实例,把它看作一个参考,通过复制来建立相同的实物,针对不同功能只需改变内部的控制逻辑,从而避免了重复劳动,节省了建模的工作量。接下来,以正前方控制面板(如图12所示)和前方仪表盘上的远近台控制盒(如图13所示)为例,介绍所涉及交互设备的具体实现。



图12 正前方控制面板调节旋钮



图13 远近台控制盒

首先是对控制面板上的交互设备按照功能和外形分类,然后进行内部程序驱动,最后检验调试。各个设备的实现下面详细介绍。

1)对于指示灯,例如远近台控制盒近台灯对应的逻辑量为真时灯亮,否则灯灭。

2)对于两位开关,例如罗盘/断开姿态开关打开时,开关对应变量设为1;开关断开时,对应变量设为0。多路开关的实现与其相似。

3)对于自复位按钮,例如远近台控制盒的姿态锁定按钮,当按钮处于凸起状态时,其对应变量置为0,当处于凹下状态时,其对应变量置为1。在PushButton选项卡中,选中Momentary复选框,即可实现按钮的自复位功能。

4)对于波段开关,例如防拥旋钮在(-50,50)角度范围内旋转变化,共有4个波段。在波段开关对象属性对话框的“Knob”选项卡中,进行属性设置和行为函数编写^[15]。

5)对于电位计,例如正前方控制面板上调节字符亮度的平显旋钮,这种旋钮的变化是连续的,在“Knob”选项卡中进行属性设置和行为函数编写。

2.3 网络通信

可靠性、实时性和可延展性往往是选择网络通信方式的评价要素。本文基于以太网进行数据通信,使系统具有较好的实时性和可靠性。上位机与下位机利用UDP/IP的协议交换数据。UDP通信具有很高的速度优势,执行速度有了保证,极大降低了执行时间,并且数据传输过程中即使偶尔一两个数据包丢失,对虚拟座舱控制计算机的图

像显示不会有太大影响^[12]。

虚拟座舱控制计算机既要实现数据的接收,又要实现数据的发送,所以既要有数据接收模块又有数据发送模块。在这里虚拟座舱控制计算机的发送函数将波段开关、两位开关、按键开关等交互设备的输入量通过定义的输出口传递给解算计算机的接收函数,解算计算机不断查询这些输入设备的工作状态,并进行逻辑分析和处理。之后,解算计算机通过发送函数,输出状态信息给虚拟座舱控制计算机。系统间建立通信连接后,信息双向交互传输,使得系统间实现信息交互。

3 系统测试

虚拟座舱设计完后,需要验证运行效果,并且要根据之前制定的功能要求和性能要求进行测试。本设计先后采用了单机测试和系统联调测试方法。

网络通信程序的实现需要上位机与下位机两个系统相互协调配合,是一个复杂耗时的过程,为节省时间验证系统有效性,本系统可先进行单机测试。单机测试的优点在于:单机测试只需要在本机进行,操作简单。操作流程虽然简化了,但对后期系统联调测试不会造成任何影响。只是在虚拟座舱控制程序内部直接给外部的数据变量进行自赋值,来检验虚拟座舱系统运行效果。

单机测试实际上是系统联调的简化,它能使大部分逻辑关系得到验证,但这往往不够严谨,可能会漏掉实际运行中的某种特殊状况。为了能够全面、综合地验证虚拟座舱总体设计方案的可行性和各项指标参数,虚拟座舱系统必须要同整个飞行模拟系统进行联合测试运行。开启飞行仿真系统,将主仿真程序、航电解算程序、虚拟座舱程序进行初始化,解算计算机将主仿真程序数据进行解算传递给虚拟座舱程序,对座舱仪表进行驱动,同时座舱控制面板的开关按键的采集信息又传给航电解算程序,再与主仿真程序进行交互,形成闭环,进而检验虚拟座舱系统运行效果。

通过单机和联合测试,本设计实现的虚拟座舱系统运行良好,符合之前制定的性能指标和功能特性,满足训练要求。

4 结 论

本文应用GL Studio可视化图形编辑软件,在VC++平台上进行编译,生成可执行程序,利用触摸显示屏对模拟器虚拟座舱完成显示和控制。系统的设计和实现采用模块化设计思想,使各个仪表及控制盒具有较强的独立性和内聚性,减少了模块间的耦合,方便日后的维护、扩展和升级。该系统的设计实现方法已经成功地应用于模型飞机飞行模拟器的虚拟座舱系统的实际当中,并取得了良好的使用效果,该系统具有较高的逼真度,功能和性能满足训练要求。由于具有良好的扩展性,本设计方法可用于多

种型号飞机的飞行实时仿真、教学训练、科研和型号初步设计等研究工作,为其他飞行模拟器虚拟座舱系统的开发提供一定的参考。与此同时,在该设计当中虚拟座舱系统使用了 3 块触摸屏、3 台计算机,今后为了进一步节约成本,在不影响软件功能和执行效率的基础上,可实现 1 台计算机同时驱动 3 块触摸屏。

参考文献

- [1] 刘丽娇. 基于 GL-Studio 的飞行模拟机虚拟座舱开发[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [2] 陈超,黄建,梁旭. 基于虚拟仪器技术的直升机电源试验系统设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(1): 89-93.
- [3] 郑颖,史晓锋. 一种基于 OpenGL 光纤陀螺测斜仪的井眼轨迹三维可视化方法[J]. 电子测量技术,2016, 39(12):145-149.
- [4] 韩晨,刘超慧,陈雪英. 关于 GL Studio 在某型飞行模拟器多功能显示器建模与仿真中几点关键问题的探究[J]. 舰船电子工程,2016, 36(11):20-24.
- [5] 景博,徐光跃,黄以锋,等. 军用飞机 PHM 技术进展分析及问题研究[J]. 电子测量与仪器学报,2017, 31(2):161-169.
- [6] 陈怀民,吴锦雯,黄晓波. 基于 GL Studio 的飞行仿真虚拟仪表软件设计与实现[J]. 测控技术,2013, 32(5):89-91.
- [7] 刘丹红,马颖学. 飞行模拟器鉴定标准及其在工程研究中的应用[C]. 全国仿真器学术会议,2010:9-14.
- [8] 刘超华. 飞行训练模拟器座舱仪表及控制系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [9] 汪丹丹,杨大光. 飞行模拟器仪表指示系统设计[J]. 工业控制计算机,2015, 28(7): 67-68.
- [10] 刘鲁峰. 基于 GL Studio 的虚拟仪表的仿真研究[J].

甘肃科学学报,2015,27(2):15-18.

- [11] 杨大光,常波,孙国庆,等. GL Studio 在飞机仪表盘仿真中的应用[J]. 现代电子技术,2010(24): 158-160.
- [12] 高颖,邵亚楠,郑涛,等. GL Studio 在飞行座舱模拟器中的仿真研究[J]. 弹箭与制导学报,2008, 28(1):257-260.
- [13] 王述云,林亚军. 飞行模拟器虚拟仪表设计[J]. 开发案例,2011, 12(2): 27-30.
- [14] 徐强,顾宏斌,高振兴. 飞行模拟器座舱仪表通信技术研究[J]. 信息技术,2012(1):1-4.
- [15] 黄旭,何传易,杨德辉. 基于 Vega Prime 和 GL Studio 的某型飞机虚拟座舱系统研究与实现[J]. 科技视界,2015(32):116-117.

作者简介

蒋龙威,工学硕士,工程师,主要研究方向为飞行仿真技术、飞机航电系统显示控制技术、图像处理技术。

E-mail:824636318@qq.com

赵广兴,工学硕士,工程师,主要研究方向为飞行仿真技术、飞机语音通信音响系统。

E-mail:1847280187@qq.com

赵明波,工学博士,工程师,主要研究方向为飞行仿真技术、飞机航电主解算、模拟机运动平台。

E-mail:zhmb831019@163.com

钟鸣,工学硕士,工程师,主要研究方向为飞行仿真技术、飞行航电系统导航解算。

E-mail:fz_zm@126.com

王琦,工学硕士,工程师,主要研究方向为飞行仿真技术、飞行模拟器视景生成技术等。

E-mail:172915255@qq.com