

自动驾驶仪信号源仿真设备的软件开发

段富海, 杨 勇, 张强朝

(兰州飞行控制有限责任公司航空技术中心, 兰州 730070)

摘 要: 针对自动驾驶仪系统信号源仿真设备软件的可靠性问题, 采用软件工程化开发方法, 分析软件需求、软件设计重点和软件开发过程中的关键问题。应用结果证明, 驾驶仪信号源仿真设备的软件质量较好, 可仿真与驾驶仪交联的传感器分系统和电子飞行仪表系统的数字信号, 为驾驶仪提供良好的闭环仿真试验环境和软件测评环境。

关键词: 自动驾驶仪; 信号源仿真设备; 软件开发; 虚拟仪器

Software Development of Autopilot Signal Sources Simulation Equipment

DUAN Fu-hai, YANG Yong, ZHANG Qiang-chao

(Aeronautic Technical Centre, Lanzhou Flight Control Co. Ltd., Lanzhou 730070)

【Abstract】 Aiming at software reliability problem, and according to software engineering approach, software development process, including software requirements analysis and software design, of autopilot system signal sources simulation equipment are presented in detail. Several questions which are deserved to be mentioned are discussed. Practical application proves that autopilot signal sources simulation equipment software has high quality, and it can simulate many digital signals, which is connected with autopilot, such as aircraft sensors subsystem and Electronic Flight Instrument System(EFIS). Moreover the equipment software can provide better test environment and evaluation environment for autopilot close-loop dynamic simulation.

【Key words】 autopilot; signal sources simulation equipment; software development; virtual instrument

1 概述

任何一个自动驾驶仪系统, 都要进行全面和严格的地面物理试验^[1]。信号源仿真设备是多种飞机运动参数传感器、飞行电子仪表等机载设备的仿真系统, 是构成驾驶仪系统完整闭环半物理仿真环境和软件测评环境的关键设备, 可用于自动驾驶仪系统地面静/动态综合仿真试验、驾驶仪软件的测试与验证、全系统铁鸟综合试验中, 达到对驾驶仪进行功能和性能测试和评价的目的。

现代仿真技术的主要方法是在计算机平台上运行专用仿真软件, 实现系统的功能和性能。专用仿真软件是半物理仿真的核心, 软件设计的好坏, 是能否充分发挥半物理仿真系统效益的关键。

文献[2]介绍了驾驶仪系统仿真试验环境的组成原理、功能和特点, 着重阐明了研制驾驶仪系统信号源仿真设备的必要性、硬件设计与配置。本文从仿真设备专用软件开发的角度的出发, 按软件工程化开发方法的要求, 针对驾驶仪系统信号源仿真设备软件, 分析软件需求, 详细介绍了软件设计情况, 并讨论了软件开发过程中值得关注的几个问题, 旨在保证地面仿真设备的软件质量。

2 信号源仿真设备的软件需求

2.1 软件总体需求

飞机运动参数的传感器分系统包括惯性/GPS 组合导航系统、捷联航姿系统、无线电高度表和大气数据系统等; 电子飞行仪表系统(EFIS)与驾驶仪系统交联的部件是显示处理

计算机(DPU)及导航操纵控制板; 火控系统与驾驶仪系统交联的部件是火控计算机。

这些产品在飞控系统中按双余度配置, 采用 ARINC429 总线接口, 按系统约定的接口协议实现数据的传输。故仿真设备应具备仿真以上 12 套机载产品的能力, 具备仿真实物所有功能参数的实时发生和传输的能力, 同时支持控制、显示和故障注入等功能。为保证试验质量, 仿真设备的软件必须具备实时性、逼真性和较高的可靠性。

2.2 软件功能需求

仿真设备软件主要实现以下功能:

(1)模拟飞机传感器分系统与驾驶仪系统交联的 2 路 ARINC429 数字信号, 包括:

1)按惯导数学模型产生飞机姿态等信号数据, 依据通信协议, 实时输出 2 套惯导发送到驾驶仪系统的 2 路 ARINC429 信号。

2)按捷联航姿数学模型产生飞机角速率等信号数据, 依据通信协议, 实时输出 2 套捷联航姿发送到驾驶仪系统的 2 路 ARINC429 信号。

3)按无线电高度表数学模型产生飞机无线电高度等信号数据, 依据通信协议, 实时输出 2 套飞机无线电高度发送到

作者简介: 段富海(1965—), 男, 研究员、博士, 主研方向: 飞行器自动控制系统, 嵌入式系统, 测控技术; 杨 勇, 高级工程师; 张强朝, 工程师

收稿日期: 2009-07-20 **E-mail:** zhzhqch@sohu.com

驾驶仪系统的 2 路 ARINC429 信号。

4)按大气数据计算机数学模型产生飞行气压高度和速度信号等信号数据,依据通信协议,实时输出 2 套大气数据计算机发送到驾驶仪系统的 2 路 ARINC429 信号。

(2)模拟 2 套电子飞行仪表系统与驾驶仪系统交联的 ARINC429 数字信号,包括 2 路 EFIS 发送给驾驶仪系统 ARINC429 信号,2 路 EFIS 接收驾驶仪系统的 ARINC429 信号。仿真 EFIS 1、2 的通信协议,提供航向偏差和导航状态等信号,接收驾驶仪计算机的驾驶仪状态信息,仿真 EFIS 上自动驾驶仪的状态显示画面。

(3)模拟 2 套电子飞行仪表系统虚拟显示单元和预选功能(航向预选和高度预选等)控制部件。

(4)模拟接收 1 路驾驶仪计算机给飞参记录仪的 ARINC429 信号。

(5)模拟 2 套火控系统发送到驾驶仪的 2 路 ARINC429 信号,仿真火控 1、2 的通信协议,提供火控导航操纵信号。

(6)要求设备提供与驾驶仪计算机连接的 4 路串行接口和 2 路网络接口,作为软件开发平台使用,提供软件开发、调试、测试与验证环境。

2.3 软件接口需求

信号源仿真设备数字信号符合与驾驶仪交联信号的接口控制文件的格式定义,智能接口符合实物产品接口的物理特性和实时性要求。

2.4 软件环境需求

运行环境:主机 1 应用软件运行在传感器仿真计算机上,主机 2 应用软件运行在电子飞行仪表系统和火控系统的仿真计算机上,接口板软件运行在接口板的 ARM 处理器中。操作系统为 Windows 2000/XP;开发环境为 Lab Windows/CVI^[3], VC++ studio, GL studio。

3 仿真设备软件设计

3.1 总体设计

概要设计完成本项目软件的功能划分和模块化结构设计。在结构设计中,遵循各模块间“松耦合、紧内聚”的原则,从需求中分析,根据数据和控制流程,构造软件结构。

3.1.1 软件组成

仿真设备软件组成见图 1。

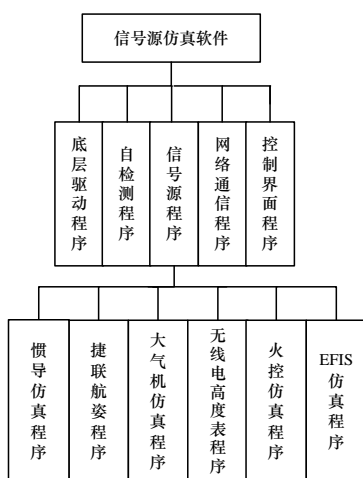


图 1 信号源仿真软件组成

3.1.2 软件流程

信号源仿真软件的流程见图 2。

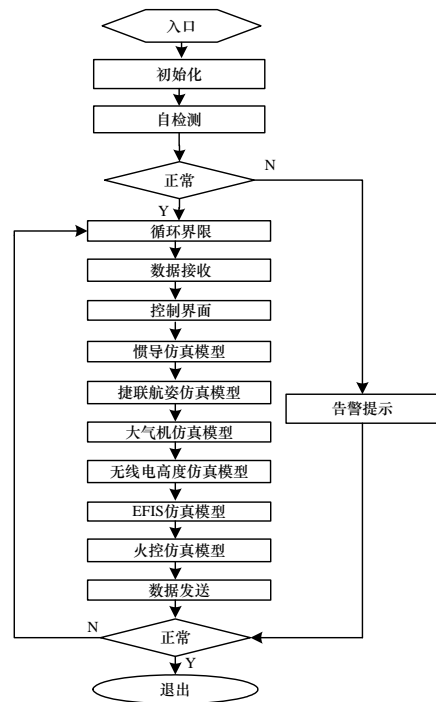


图 2 信号源仿真软件流程

3.2 详细设计

3.2.1 主机 1 应用软件

主机 1 应用软件完成传感器系统的数据仿真,图 3 为其软件数据流程图。

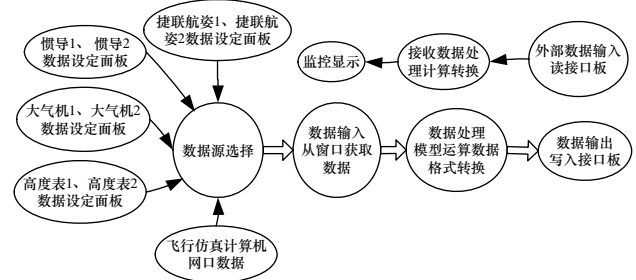


图 3 主机 1 软件数据流程图

模拟传感器系统的输入方式包括:(1)通过以太网按协议接收飞行仿真计算机中各传感器模型动态发生的数据;(2)操作人员在各传感器虚拟面板上指定的窗口设定某时刻的状态和数据。输入模块读取刷新窗口的数据,按设备模型完成数据计算和处理模块计算并组合数据到通信字结构中,输出模块将数据写入到智能接口板的双端口 RAM 指定的区域中。由于人机界面涉及的控件和数据比较多,因此采用 LabWindows/CVI 作为人机界面的开发环境^[3]。

3.2.2 主机 2 应用软件

主机 2 应用软件完成电子飞行仪表系统和火控系统的仿真和接收数据显示等功能,软件数据流程图见图 4。

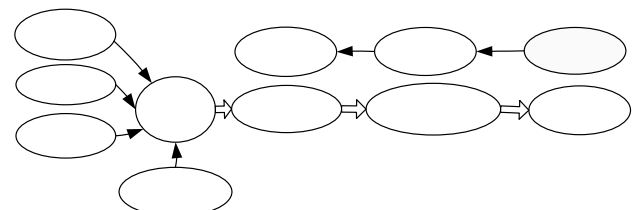


图 4 主机 2 软件数据流程图

数据输入模块采集导航操纵台旋钮信号, 模拟航向航道控制板功能, 即航向选择、航道选择、高度预选信号; 采集虚拟面板设定的数据; 接收驾驶仪计算机发往 EFIS、飞参的 ARINC429 数据。数据计算与处理模块实现数据解包、数制转换、航向偏差计算、航道偏差计算、高度偏差计算以及数据组包等计算处理功能。数据输出模块将按协议文件组合的数据包发送到各设备对应的智能接口板。

数据显示模块动态显示虚拟飞行仪表, 按实物模型, 设计 EFIS 中 ADI, HSI 的动态显示单元。在虚拟罗盘上显示飞行航向、预选航向、当前航道指针、小飞机图标等信息。驾驶仪系统故障信息显示面板显示驾驶仪计算机发出的驾驶仪系统监控数据及故障代码信息。当故障信息有效时, 显示为红色。查询按钮支持显示具体的故障信息。

3.2.3 主机软件中 ARINC429 接口数据结构设计

仿真设备软件数据量大, 数据结构复杂, 因此, 采用了结构体作为数据结构, 将每个部件中各信号量定义为一个结构体, 按照接口文件把各个信号量定义为: 标号位(8 bit), 数据位, 状态位(2 bit), 奇偶校验位(1 bit)。标号位、状态位、奇偶校验位在程序初始化时全部按照接口文件定义赋值, 这样对数据的操作只是对结构体中数据位进行操作。

3.2.4 ARINC429 接口板软件设计

接口板软件是嵌入式实时软件, 运行在接口板的 ARM 处理器, 包括初始化程序、数据接收程序、数据发送程序等。

接口板上电后, 初始化程序完成接口板资源的初始化, 查询双端口 RAM 指令区域, 等待接受上位机指令; 接收到启动命令后, 按任务周期执行发送、接收程序。接收程序按中断方式接收外部 ARINC429 设备数据, 并按 RAM 访问控制逻辑将收到的数据写入相应的环形数据缓冲区。发送程序按 RAM 访问控制逻辑读取相应通道的数据缓冲区的数据, 并发送到 ARINC429 总线上。

3.2.5 主机软件与接口板软件之间的接口设计

主机软件与接口板软件之间是通过接口板上的 8 KB 容量、16 bit 位总线宽度的高速双端口 RAM 作为载体进行数据的交换。其接口协议就是对双端口 RAM 地址空间的分配和定义, 如图 5 所示。

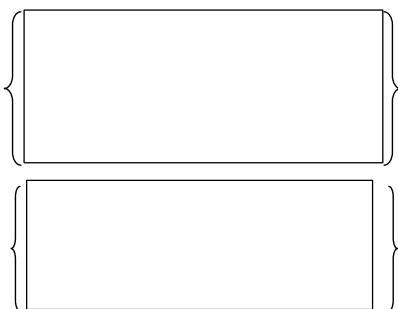


图 5 软件接口定义

主机软件通过 PC-ISA 总线访问双端口 RAM。数据发送时, 将发送的指令和数据写入相应的 RAM 发送缓冲区中, ARM 处理器读取并执行缓冲区指令^[4]; 数据接收时, ARM 先将接收到的数据按照事先约定的格式存入该 RAM 中, 由主机软件访问该区域 RAM 取走数据。使用双端口 RAM 存储通信数据, 使得数据的读取可以同时进行, 保证了通信的实时性。同时可以利用该 RAM 存储一部分通信过程中的冗余

数据, 用来辅助进行故障的分析、判断、设备监控。

4 软件开发中的问题

4.1 实时性问题

仿真设备的实时性主要由智能 429 板卡保证。智能 ARINC429 总线接口板主要由微处理器、CPLD、429 接口芯片等组成, 然后通过 PC 总线与工控机连接一起, 以上、下位机的结构形式构成信号源模拟器的计算机系统。板上的处理器实时处理来自上位机的数据和指令以及外部的 ARINC429 总线数据, 数据的发送和接收无需主机干预。为保证板卡设计的实时性, 在板卡底层软件设计中, 采用了由板卡自带的定时器进行数据定时接受和发送, 将界面数据接收发送与板卡数据接收发送进行分离, 做到互不影响, 避免了频繁的上位机界面和非实时性造成的影响, 保证了仿真设备能够实时发送或接收数据。

4.2 测试性问题

为保障仿真设备的可测试性, 本文设计了 429 板卡自检和系统自检程序。该程序对每一块 429 板卡进行板卡回绕自检, 用于判断板卡是否工作正常。系统自动检测保证信号源仿真设备处于正常运行状态, 系统自检将系统电缆一端与信号输出连接, 另一端与回绕测试连接, 直接运行自测试程序进行。

4.3 模拟 EFIS 界面显示

EFIS 界面主要包括 ADI 显示和 HSI 显示 2 个部分。界面设计使用美国 DISTI 公司的 GL STUDIO 软件, 使用 GL STUDIO 处理图形的纹理, 通过 VC 对其进行编译处理, 生成一个可以单独运行的 ActivX 控件, 在 LAB Windows/CVI 下, 通过定时的方式驱动界面, 实现 ADI 和 HSI 的显示。ADI 和 HSI 在可以根据传感器所提供的信号, 实时显示飞机的飞行姿态。在 ADI 和 HSI 显示界面中, 同时显示驾驶仪给飞参记录仪的信息和飞机当前的状态及数据。

5 结束语

信号源仿真设备通过软件实现与飞机驾驶仪交联的传感器分系统、EFIS 系统和火控系统的 ARINC429 信号模拟; 通过软件实现人-机交互界面; 通过软件模拟 EFIS, 显示地平仪、气压高度表、垂直速度表、空速表以及电子罗盘等虚拟仪表, 同时显示飞行状态; 通过软件实现故障注入功能。信号源仿真设备软件按照软件工程化开发方法的要求, 经过需求分析、概要设计、详细设计、编码和第三方独立测评等工作阶段, 较好地控制了质量, 减小了硬件成本, 提高了设备的通用性、可靠性、维护性和可扩展性, 便于设备升级。

信号源仿真设备软件在型号研制中成功得以应用。实用证明, 仿真设备满足飞控系统静态和动态仿真联试的需要, 具有降低试验复杂程度、缩短试验周期、减小试验成本等优越性。

参考文献

- [1] 张德发, 叶胜利. 飞行控制系统的地面与飞行试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [2] 杨 勇, 段富海, 张强朝. 一种飞控系统信号源仿真设备的设计与实现[J]. 测控技术, 2008, 27(3): 24-26.
- [3] 宋玉峰. LAB Windows/CVI 逐步深入与开发实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

编辑 金胡考