

显示控制模拟实验系统的总体设计

杨建新, 彭海军, 钱玉莹

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 显示控制管理分系统作为第三代战斗机综合航电系统的核心分系统, 采用综合显示和集中控制的方式完成飞行员与飞机之间的人机交互功能; 针对院校缺乏实装难以满足综合航电专业教学需求的现实问题, 论述了显示控制模拟实验系统的功能需求, 搭建了基于 TCP 通信的总体框架, 分析了显示控制模拟设备的集成方案, 以构建逼真的半实物操作环境; 分析了模拟实验系统软件的总体结构、主控、界面管理、画面显示与管理、通信、设备功能仿真等模块的设计, 以及反映教学需求实验项目的开发, 为进一步的软件代码实现奠定了基础, 也为其他机型航电模拟训练系统的研制提供了切实可行的技术途径。

关键词: 航电系统; 显示控制; 模拟; 硬件集成; 软件开发; 总体设计

Overall Design of Display Control Simulation Experiment System

Yang Jianxin, Peng Haijun, Qian Yuying

(Qingdao Branch, Navy Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: As the core sub-system of integrated avionics system, display control management sub-system is the man-machine interface by integrated display and central control. Due to the actual problem of equipment shortage difficult to satisfy the teaching need, functional requirement of display control simulation experiment system is expounded, overall structure based on TCP communication is constructed, integration plan of display control simulation equipment is analyzed to construct the visual Semi-physical operation environment. Software design of overall structure, main control, interface management, picture display and management, communication, equipment function simulation and development of experiment item is analyzed, to establish the base for further implement software code, and to provide practicable technology way for the development of avionics simulation training system of other plane.

Keywords: avionics system; display control; simulation; hardware integration; software development; overall design

0 引言

综合航电系统是第三代战斗机的大脑, 对飞机作战效能的发挥具有重要作用。不同机型战斗机综合航电系统均由数量不等的分系统组成, 它们分布处理, 并通过 MIL-STD-1553B 总线连接实现数据交换, 达到信息共享的目的。显示控制管理分系统作为综合航电系统的核心分系统, 在其统一调度下有序实现系统综合显示、集中控制的功能^[1-2]。

由于实装价格昂贵, 短时间内不可能装备院校。缺乏相应的系统级的实装或者有效的模拟训练设备, 已严重影响综合航电专业人才培养质量。虽然校内已开发有多型基于 3D 座舱显示环境的飞机虚拟仿真训练系统, 可以满足初学者熟悉座舱环境的学习需求, 但由于这些仿真训练系统提供的虚拟操作画面不够完善, 只能达到了解座舱设备的分布情况和少量通电步骤的目的, 而综合航电系统物理连接复杂, 信息传递关系复杂, 为提高综合航电专业实践教学条件, 满足综合航电专业的培训需求, 急需研制不同机型的综合航电模拟实验系统, 但考虑到经费条件, 采取分步建设的方式, 前期建设综合航电系统核心分系统对应的显示控制模拟实验系统。

1 功能分析

1.1 功能组成

综合航电系统采用的是两级集中控制架构形式, 其中系统级采用 2 条 1553B 总线作为通信介质, 核心分系统的显示控制管理分系统采用 RS-485 总线作为通信介质^[3-4]。显示控制模拟实验系统本质上是综合航电模拟系统, 可以采用的实现技术也比较多^[5-8]。为降低成本, 突出显示控制部分的地位, 显示控制模拟实验系统由显示控制模拟和交联环境模拟两个功能部分组成, 两者之间通过 TCP 通信实现数据交换, 共同构成综合航电模拟实验系统, 如图 1 所示。

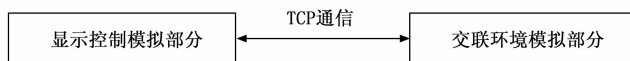


图 1 功能组成

显示控制模拟部分提供综合航电系统的显示控制人机界面及其交互功能, 其中显示控制人机界面既可以是纯虚拟的操作界面, 也可以是显示控制模拟硬件设备; 交互功能是显示控制模拟部分的核心。

交联环境模拟部分为一个纯应用软件, 为显示控制模拟部分提供一个虚拟的航电交联环境。

显示控制模拟部分和交联环境模拟部分的软件既可运行于同一台计算机, 也可分别运行于两台计算机。

1.2 功能设计

显示控制模拟实验系统应能提供如下功能:

收稿日期: 2017-04-10; 修回日期: 2017-04-26。

作者简介: 杨建新(1970-), 男, 江苏泰兴人, 硕士, 副教授, 主要从事综合航电专业的教学与科研工作方向的研究。

- 1) 设计制作综合航电系统的显示控制仿真件, 并按实装布局搭建一个逼真的简易座舱 (操作硬件环境);
- 2) 提供所有显示控制仿真件的控制信号采集和显示信号的输出功能, 构建一套显示控制模拟硬件系统;
- 3) 严格按照操作逻辑实现综合航电系统的显示控制人机交互功能;
- 4) 提供必要的显示控制交联环境功能;
- 5) 提供一定的故障模拟功能;

显示控制模拟实验系统的层次可划分为物理层、虚拟层、功能层和应用层等 4 个层次, 如图 2 所示。

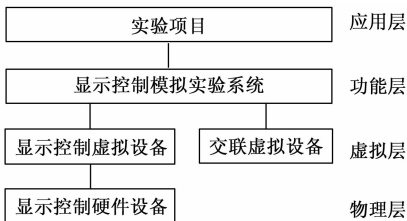


图 2 显示控制模拟实验系统的层次划分

其中物理层主要包含显示控制操作环境中的显示控制模拟硬件设备; 虚拟层主要包含显示控制虚拟设备和交联虚拟设备, 是显示控制模拟实验系统的基础; 功能层主要是指综合航电模拟系统的功能逻辑仿真, 是显示控制模拟实验系统的核心; 应用层主要针对是实验项目, 通过特定的操作顺序, 反映特定的概念或动作, 以达到一定的实验目的。

1.3 设计要求

- 1) 应用软件具有一定的适应性, 能适应多种运行环境, 如表 1 所示;

表 1 运行环境

显示器数量	显示控制模拟部分	交联环境模拟部分	
		同机环境	双机环境
1	顶层←(快捷菜单)→底层		环境显示器
2	显控显示器(左)	环境显示器(右)	环境显示器
n>2	显示模拟设备(n-1)	环境显示器(1)	环境显示器

- 2) 兼顾多种操作方式。考虑到经费因素, 不可能研制多套对应于硬件操作方式半实物的模拟实验系统, 无法满足大规模教学需求, 为此同步设计有纯软件操作方式的模拟系统, 只需要一台计算机即可。硬件操作方式和纯软件操作方式。

2 硬件集成方案

2.1 硬件组成

纯软件操作方式所对应的硬件主要包括一台或两台计算机; 硬件操作方式对应的硬件主要包括显示控制模拟计算机、显示控制模拟设备、集线器、串口服务器和电源箱, 以及交联环境模拟计算机, 其组成关系如图 3 所示。

- 1) 显示模拟设备: 显示模拟设备主要包括 3 台多功能显示器、平视显示器、备份控制显示器、参数显示器等含有 VGA 显示接口的座舱高仿设备。所有显示模拟设备的位置和布局参照飞机座舱的仪表板、左右水平控制台的布局设计制作加工。显示模拟设备的视频信号均由显示控制模拟计算机提供。

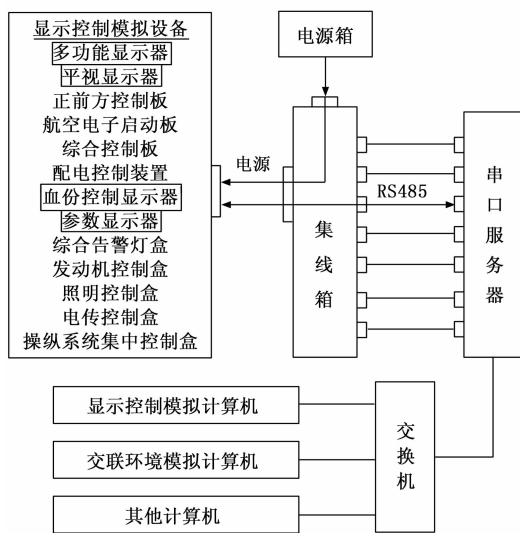


图 3 硬件集成

- 2) 控制模拟设备: 模拟设备主要包括 3 台多功能显示器、参数显示器、备份控制显示器的周边键、正前方控制板、航空电子启动板、综合控制板、配电控制装置、综合告警灯盒、发动机控制盒、照明控制盒、电传控制盒、操纵系统集中控制盒等座舱高仿设备。

所有显示控制模拟硬件设备参照战斗机座舱的仪表板、左右水平控制台及侧壁设备、配套组件及设备的布局设计制作加工, 并通过 RS-485 总线实现所有控制模拟设备的信号采集和控制输出, 构建一个简易模拟座舱显示控制环境。所有显示控制模拟设备的电源、输入与输出信号均由集线箱转接。

- 3) 电源箱: 电源箱将市电转换输出经集线箱送到各显示控制模拟设备, 提供所需的工作电源和照明电源。

- 4) 串口服务器: 串口服务器采用虚拟串口技术实现各显示控制模拟设备与显示控制模拟计算机之间的物理连接与 RS485↔TCP 转换通信, 通过配置实现, 简化了通信接口。采用固定长度的消息格式。

- 5) 集线箱: 集线箱主要完成电源箱与各显示控制模拟设备之间的电源转接, 以及各显示控制模拟设备与串口服务器之间的 RS-485 总线转接。

- 6) 显示控制模拟计算机: 显示控制模拟计算机为显示控制模拟部分的核心组成, 主要完成所有显示器的显示驱动、显示控制人机界面的交互和综合航电系统模拟功能的实现, 并实现与串口服务器和交联模拟环境之间的 TCP 通信。

- 7) 交联环境模拟计算机: 交联环境模拟计算机主要用于提供显示控制模拟部分各类交联分系统/设备的模拟功能, 以及相应的状态指示和状态设置, 便于与显示控制模拟部分协同工作模拟综合航电系统的工作情景。

2.2 视频显示驱动

硬件操作模式下, 综合航电系统共有 6 个显示器。显示控制模拟计算机的主板上插有 2 块 4 输出的多屏显卡, 驱动三台多功能显示器、左参数显示器、备份控制显示器、平视显示器, 其连接关系如图 4 所示。当处于单机模式时, 还需

驱动交联环境显示器。

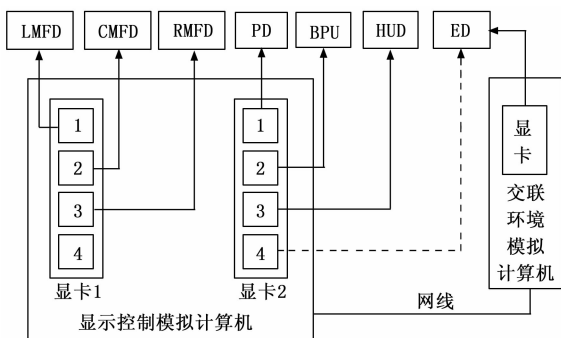


图 4 显示控制实验系统显示交联关系

2.3 控制信号采集和显示信号输出

显示控制模拟部分内部信号采集和控制输出关系如图 2 所示。

控制信号的采集：所有显示控制模拟设备的控制部件的动作采用自动发送的方式，即有显示控制模拟设备的处理器采集识别控制部件的动作，形成相应的发送数据经 RS-485 总线传送到串口服务器，转换成 TCP 传输字符串后再通过网线传送到显示控制模拟计算机。

显示信号输出：显示控制模拟计算机将显示命令转换成相应的 TCP 传输字符串，通过网线送到串口服务器，自动转发到对应的 RS-485 总线端口，再由显示控制模拟设备的处理器输出到相应的显示部件。

3 软件开发

3.1 总体结构设计

显示控制模拟实验系统应用软件主要包括显示控制模拟应用软件和交联环境模拟应用软件两部分，两者之间通过 TCP 通信完成交换数据的双向传输，如图 5 所示。

其中显示控制模拟应用软件提供综合航电系统的显示控制人机界面及其交互功能；交联环境模拟应用软件提供显示控制管理分系统的航电交联模拟环境。

3.2 主控模块

显示控制模拟应用软件和交联环境模拟应用软件的主控模块主要负责两个应用软件的流程控制，具体流程如图 6 所示，按照时间顺序和划分为初始化和动作响应两个阶段。

初始化阶段需要完成的任务主要有所有虚拟面板的初始化（但不显示）、TCP 服务器的注册、等待交联环境模拟部分进行 TCP 连接，根据显示器的数量确定操作模式（硬件操作模式和纯软件操作模式）；纯软件操作模式下的主界面初始化和显示初始化；硬件操作模式下的串口 TCP 服务器的注册，并等待串口服务出去进行 TCP 连接，主界面初始化和显示初始化；显示初始化结束后，进入动作响应阶段，循环等待用户的操作，负责动作数据和状态数据的传输等。

3.3 界面管理模块

在硬件操作模式下，显示控制模拟部分的人机界面均通过座舱显示控制设备实现人机交互。其控制界面主要是各显示控制设备上的控制部件；其显示界面主要包括 3 台多功能显示器、左参数显示器、BPU 显示器和平视显示器，以及单

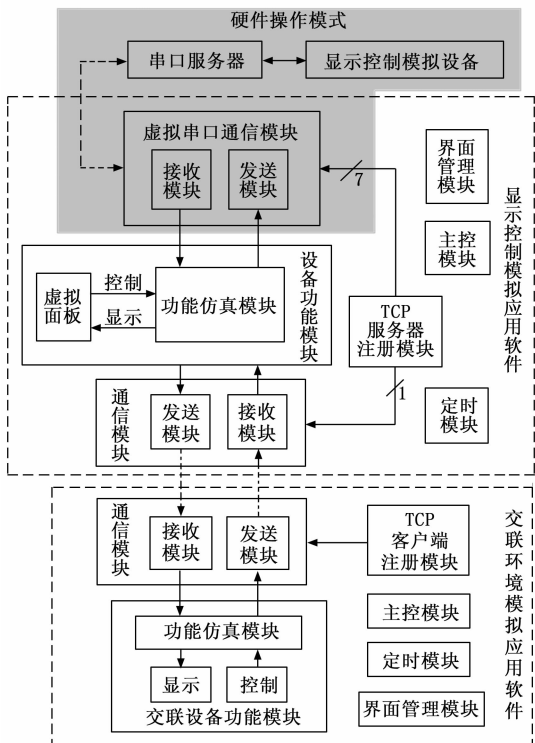


图 5 软件总体框图

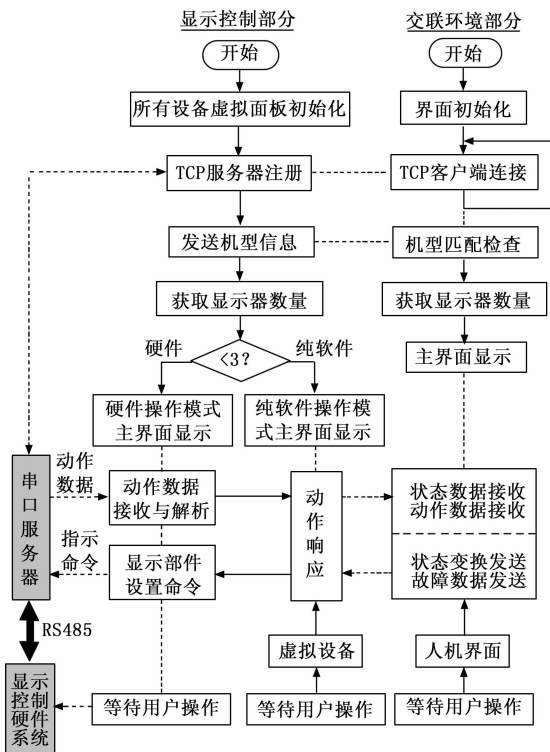


图 6 主控模块流程

机模式下交联环境显示器，还有各显示控制设备上的指示灯，其中各显示器的画面对应于整个显存，分别映射到各个显示器的显示屏上，实现所有的显示窗口在空间上的有序布局。

在纯软件操作模式下，显示控制模拟部分所有的显示控

制设备虚拟面板均显示在一个显示器, 参照座舱布局以一定的比例缩小显示, 实现所有的显示控制设备虚拟面板在空间上的有序布局。通过鼠标实现各显示控制设备的模拟操作。任何一个虚拟设备的面板均可放大显示, 便于观察与操作。如果采用单屏显示, 则需有效控制两个应用软件, 为此, 采用快捷菜单的形式引导操作者快速完成两者之间的切换。

3.4 画面显示与管理模块

显示控制模拟实验系统中共有 3 台多功能显示器、1 台平视显示器、1 台参数显示器、1 台 BPU 显示器和交联环境显示器等 7 台显示器, 其中 3 台多功能显示器、参数显示器、BPU 显示器含有周边键, 通过各自的周边键实现画面的转换, 此外, 正前方控制板具有自己的 4 行显示器和 8 个周边键。由此可见, 显示器的数量比较多, 各自的画面数量也比较多; 依据显示器的类型、实际显示的画面内容和各自的显示方法, 画面可划分为多功能显示器画面、BPU 显示器画面、参数显示器画面、正前方控制板画面和平显画面 5 大类, 其中前 4 种均含有周边键, 画面的管理方法是相似的, 可统称为含周边键的显示器; 由于平显画面的图形比较复杂, 与含周边键的显示器画面的显示技术不同, 平显画面采用 Open GL 技术显示。

所有显示器窗口上的内容均是通过画布 (Canvas) 控件实现的, 其画面显示模型如图 7 所示。

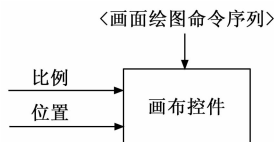


图 7 显示器画面显示模型

通过画布的位置和比例属性完成画面的位置和大小的设置; 通过一系列的画布绘图函数 (或 Open GL 函数) 实现画面的显示。

对于含周边键的显示器而言, 首先整理各个显示器的画面调用关系, 构建各自的画面转换矩阵, 便于画面的直接调用; 对于参数修改等画面的局部处理需要单独处理。

为了避免平显画面大小变化时显示符号的显示失真, 平显画面采用 OpenGL 编程来显示。平显画面的显示与组织可划分为字符、参数字符串和平显画面 3 个层次, 其中字符是由笔画构成的序列; 参数字符串是由字符构成的序列; 平显画面是由参数字符串构成的序列。

依据平显画面的显示与组织的层次关系, 平显画面的显示与组织的核心任务就是 OpenGL 矢量字库的设计。根据参数信息显示字符串的格式组成生成相应的参数显示字符串; 再结合综合航电系统的状态和平显画面的布局组织平显画面的显示。

3.5 通信模块

显示控制模拟实验系统中的 TCP 通信主要包括显示控制模拟计算机分别与交联环境模拟部分和串口服务器的 TCP 通信。其中显示控制模拟计算机与交联环境模拟部分的 TCP 通信是完全自定义的; 显示控制模拟计算机与串口服务器的 TCP 通信须严格按照各显示控制模拟设备的 RS-485 总线通信协议格式。

3.5.1 与交联环境模拟部分的 TCP 通信设计

依据时间顺序, 显示控制模拟计算机首先完成 TCP 服务器的注册, 交联环境模拟部分连接 TCP 服务器, 建立两者之间的 TCP 链路, 然后进行必要的机型匹配检查和显示部件/控件的初始位置检查, 显示初始化结束后, 实现显示控制模拟计算机与交联环境模拟部分的数据交换。两者之间所有交换信息, 都是通过定义各种数据结构, 减少 TCP 通信数据量, 并实现信息的共享。

3.5.2 与串口服务器的 TCP 通信设计

首先显示控制模拟计算机完成 7 个 TCP 服务器的注册, 串口服务器分别连接这 7 个 TCP 服务器, 建立显示控制模拟计算机与串口服务器之间的 TCP 链路。然后严格按照各显示控制模拟设备的 RS-485 总线通信协议格式完成动作数据 (显示控制设备的控制部件或显示控制虚拟设备的控制控件 → 串口服务器 → 显示控制模拟计算机) 和状态指示数据 (显示控制模拟计算机 → 串口服务器 → 显示控制设备的控制部件或显示控制虚拟设备的控制控件) 的组合发送和接收解析。

3.6 设备功能仿真设计

设备功能仿真设计涉及到软件设计的各个方面, 是对前面各种设计的综合运用, 这是由综合航电系统的分布处理、综合显示和集中控制特点所决定的。功能仿真设计涉及到的设备可分为显示控制设备和交联设备两大类。

3.6.1 显示控制设备的功能仿真设计

显示控制设备主要是指座舱显示控制设备, 其功能仿真设计主要包括显示控制模拟部分和交联环境模拟部分, 且以显示控制模拟部分为主, 交联环境模拟部分为辅, 其中显示控制模拟部分又包含硬件设备和虚拟设备两部分; 交联环境模拟部分主要通过 TCP 通信实现对显示控制设备的参数设置和故障设置, 以及显示控制部件的状态显示。

虚拟设备主要包括虚拟面板、功能仿真模块和定时模块。虚拟面板上布置与真实装备面板一致的显示控件和控制控件, 是设备的人-机交互界面; 功能仿真模块是显示控制设备功能仿真的核心; 定时模块主要完成显示控制设备功能的时序控制。

纯软件操作模式下, 通过鼠标操作控制控件, 在定时模块的控制下, 功能仿真模块完成相应的逻辑处理, 最终的变化输出到显示控件, 并通过 TCP 通信向交联环境模拟部分发送该显示控制设备的状态数据, 接收交联环境模拟部分发送的参数设置和故障设置数据, 完成相关状态的转换; 在硬件操作模式下, 两者之间通过串口服务器传递动作数据 (硬件设备 → 虚拟设备) 和状态指示数据 (虚拟设备 → 硬件设备), 完成两者之间的同步, 进一步完成纯软件操作模式下的所有任务。

3.6.2 交联设备的功能仿真设计

交联设备主要是指除座舱显示控制设备之外的所有设备, 其功能仿真设计同样包括显示控制模拟部分和交联环境模拟部分, 但是以交联环境模拟部分为主, 显示控制模拟部分为辅。其中交联环境模拟部分主要完成交联设备的参数设置和故障设置, 以及状态指示, 在定时模块的控制下, 完成交联设

(下转第 136)