

基于 C/S 结构的分布式飞机显控仿真系统设计^①

吴华兴 李战武 鲁 艺 (空军工程大学 工程学院 陕西 西安 710038)

摘要: 为了实时地、简捷地仿真复杂的飞机显控系统, 结合其功能特点, 提出了一种基于客户/服务器(C/S)结构的分布式显控仿真系统设计方案。通过采用 C/S 结构将显控仿真系统划分为服务器和多台客户机, 确定它们之间的通讯接口, 并利用多线程技术对软件进行模块化的线程划分, 以提高仿真系统的实时性。仿真结果表明系统的显示速率和通讯速率均满足实时性要求, 这为未来更复杂显控系统的仿真奠定了基础。

关键词: 客户/服务器; 显控系统; 仿真; 多线程

Design of Distributed Display and Control Simulation System for an Aircraft Based on C/S Structure

WU Hua-Xing, LI Zhan-Wu, LU Yi (The Engineering Institute of AFEU, Xi'an 710038, China)

Abstract: For real-time simulation of the complicated display and control system of aircrafts in a simple and quick way, a design scheme of distributed display and control simulation system based on Client/Server structure is presented with its functional features. Through using C/S structure, the system is divided into one server and multi clients, between which communication interfaces are established. And multithreading technology is applied to the division of the system software into modularized threads, to improve the real-time performance of system. The simulation results show that both display rate and communication rate meet the real-time requirements, which lays the foundation for the simulation of a more complex display and control system.

Keywords: client/server; display and control system; simulation; multi-threading

在飞机综合航空电子系统的地面仿真中, 主要任务之一是对其显示与控制系统(简称显控系统)的仿真, 具体内容包括: 对显控系统通过外部总线进行的数据通讯进行仿真; 对显控系统管理航电工作模式的功能进行仿真; 对座舱内属于显控系统的各种显示部件和开关控制面板等人机界面进行仿真^[1]。

目前常见的仿真方法多为采用一台仿真计算机对整个显控系统进行集中仿真, 这样做的优点是系统硬件结构简单, 也符合实际显控系统的行为方式, 缺点是计算机连接的外部设备太多, 对系统硬件配置要求极高。而且由于仿真计算机通常采用非实时操作系统(如 Window), 软件内核不具备机载嵌入式操作系统

的微内核和实时特性, 尤其当在一台计算机内仿真机载显控系统各组成硬件所包含的大量复杂的显示、操作、记录、通讯和管理等功能时, 仿真软件的复杂度通常是成倍增加, 这不仅给软件的开发、维护和拓展带来困难, 同时也影响了软件本身的实时性和可靠性。

而采用分布式结构, 不但可以降低系统组成计算机的配置, 直接利用普通 PC 机及 Window 操作系统, 而且可以利用局域网络, 将仿真软件的大量功能模块化划分, 分散到多个计算机之中, 通过多个软件的独立开发, 降低每个软件设计的复杂性, 缩短系统的开发周期。此外, 分布式网络根据节点数量和复杂程度结构布局一般不同, 对于功能节点数量相对较少的显

^① 基金项目: 空军工程大学学术基金(XS0901012)

收稿时间: 2009-10-26; 收到修改稿时间: 2009-12-01

控仿真系统，并不需要采用高层体系结构(High Level Architecture, HLA)，而可以采用技术上比较成熟的服务器/客户机(英文缩写 C/S)结构。采用这种结构主要基于 TCP/IP 协议，建立一台服务器和多台客户机的通讯连接，多台客户机可以共享服务器提供的数据服务和管理服务。因此，结合显控系统内多个显示部件共享其中央控制计算机提供的显示数据这一重大特点，本文提出了一种基于 C/S 结构的分布式显控仿真系统设计方案。

1 显控仿真系统结构

1.1 系统硬件结构

系统根据 C/S 结构特点，被分为显控服务器、显示客户机 1 和显示客户机 2 等三台独立的仿真计算机，其硬件结构组成如图 1 所示。

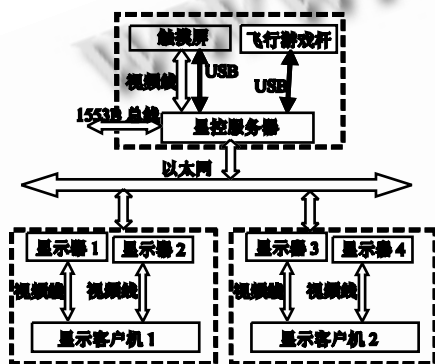


图 1 显控仿真系统硬件结构框图

(1) 显控服务器作为 C/S 层次中的服务器，是显控仿真系统的控制管理中心。它的首要任务是仿真机载航电系统的 1553B 总线控制器功能，通过 1553B 总线实时对外部仿真设备(如雷达仿真设备、惯导仿真设备)进行信息采集、状态监控，即时响应人工操作信息，对系统工作逻辑进行管理控制，并产生显示数据供显示客户机显示^[1]。此外，为了均衡系统各计算机的工作负荷，并将仿真显控系统的油门杆和驾驶杆(HOTAS)、航空电子启动板(AAP)以及上前方控制板(UFCP)等控制部件的任务加入到显控服务器^[2]，其中 AAP 和 UFCP 在触摸屏上以虚拟面板的形式进行仿真。

(2) 显示客户机 1 和显示客户机 2 作为 C/S 层次中的客户，是显控服务器的控制对象，它们功能类似，主要任务是仿真机载显控系统的复杂显示功能，

产生平视显示器(HUD)和 3 台多功能显示器(MFD)的显示画面^[3]。由于在目前的 Windows 操作系统平台下，大量的实时显示非常占用系统的软硬件资源，容易影响仿真系统的实时性。因此显控仿真系统将这部分显示功能分离出来，转移至多台显示客户机之中，使系统各主机的工作负荷大致均衡。此外，两台显示客户机除了仿真 HUD 和各 MFD 的显示画面外，还要仿真 MFD 面板上的周边键，使系统响应对周边键的人工操作。

显控仿真系统采用上述的分布式结构，与采用单台计算机的同类仿真系统相比，减少了每台计算机连接的硬件设备，显然可以减轻各仿真计算机的工作负荷，降低每台计算机的硬件配置水平。

1.2 系统软件结构

与系统硬件的分布式结构对应，系统的软件按 C/S 结构亦被分为三部分：显控服务器程序、显示客户机程序 1 和显示客户机程序 2。

(1) 显控服务器程序运行于显控服务器，按照功能划分主要包括以下模块：HOTAS 模块、AAP 模块、UFCP 模块、1553B 通讯模块、以太网通讯模块和工作模式管理模块。其中 HOTAS 模块的功能是通过飞行游戏杆仿真油门杆和驾驶杆；AAP 和 UFCP 模块的功能是分别是仿真 APP 和 UFCP 面板；1553B 通讯模块的功能是通过 1553B 总线实时与外部仿真设备进行通讯；以太网通讯模块的功能是通过以太网实时与显示客户机进行通讯；工作模式管理模块的功能是根据所有操作信息和数据对显控系统的工作模式进行管理。

(2) 显示客户机程序 1 运行于显示客户机 1，主要包括以下模块：主界面模块、HUD 绘图模块、左 MFD 绘图模块和以太网通讯模块。其中主界面模块负责生成程序的 HUD 显示窗口和左 MFD 窗口；HUD 和 MFD 绘图模块的功能分别是在内存中绘制 HUD 画面和左 MFD 的画面；以太网通讯模块的功能是通过以太网实时与显控服务器进行通讯。

(3) 显示客户机程序 2 运行于显示客户机 2，它与显示客户机程序 1 类似，按照功能划分主要包括以下模块：主界面模块、中 MFD 绘图模块、右 MFD 绘图模块和以太网通讯模块。

总之，通过将系统软、硬件划分为三个部分可以降低系统设计的复杂性和耦合度，提高可靠性和可维

护性，尤其是便于系统的进一步拓展。例如，当仿真高级教练机时，前后舱显示器总数一般多于 4 台，此时参照本文方案，仿真系统硬件上只需再添加相应的客户机，软件上也易于增加客户机程序和拓展服务器程序。

2 基于C/S模式的通讯接口设计

由于显控服务器程序和各显示客户机程序之间的所有通讯均需通过以太网接口进行，因此首先必须确定它们之间具体的通讯方法和接口。

本文通过采用有连接的 TCP 通讯方式，在 Visual C++ 开发环境下使用 Windows Socket API，将各显示客户机程序的套接字配置为客户端，将显控服务器程序的套接字配置为监听服务器，从而使通讯方式与 C/S 模式一致。且服务器与各客户端之间的通讯方法相同，如图 2 所示。



图 2 程序间的通讯方法

其中，显示客户机程序依靠来自显控服务器程序的数据实时更新 HUD 和 MFD 的画面，根据人工操作即时向显控服务器程序发送 MFD 周边键的操作信息。因此在显示客户机程序端设置两个客户端套接字，分别命名为操作套接字和显示套接字，同时连接到显控服务器的监听套接字。

根据图 2，当在显示客户机上人工操作 MFD 周边键时，它会通过操作套接字向显控服务器程序即时发送约定格式的按键编码，由服务器程序处理；当客户机程序需要显示数据时，则会发送显示数据请求到服务器程序，服务器程序收到请求后立即将数据以约定格式打包发送到客户机程序，客户机程序接收处理完毕后，根据需要继续发送显示数据请求，从而最大限度地利用网络带宽，达到数据通讯的实时性要求。

值得一提的是，两个客户机程序之间并不存在通讯往来，这大大降低了系统设计的复杂性。

3 系统软件的线程模块划分

在系统软件确定了程序的功能模块和通讯接口之后，为了进一步提升软件的实时性，保证软件间的通讯效率，需要对各程序进行线程模块划分，合理分配每个线程的任务，确定线程之间的通讯接口。

3.1 显控服务器程序的线程模块划分

由于无需复杂的显示画面更新，显控服务器程序根据各功能模块的特点和耗时特性，被划分为 3 个线程：主线程、1553B 通讯线程、定时处理线程。各线程所包含的功能模块如图 3 所示，各线程间的接口关系如图 4 所示。

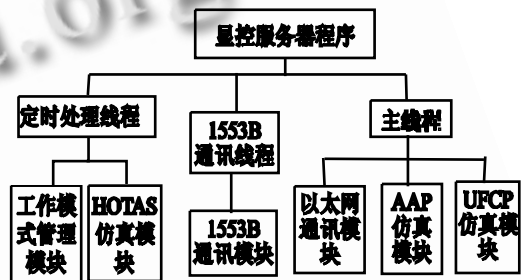


图 3 显控服务器程序的线程划分

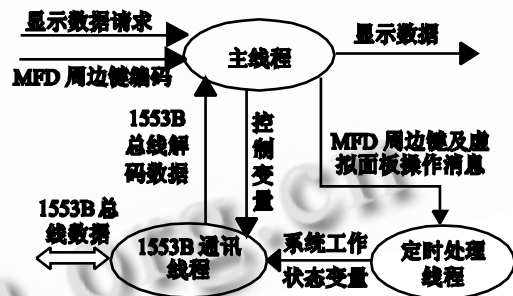


图 4 显示服务器程序各线程间的接口关系

(1) 主线程模块：负责整个程序的初始化和运行管理，产生主窗口界面和虚拟的 APP、UFCP 面板，管理以太网通信，将 1553B 线程解码得到的显示数据进行打包，通过以太网发给客户机，以及将对虚拟面板的操作信息和从客户机收到的 MFD 周边键操作信息以指定消息格式方式发送给定时处理线程。它主要通过全局变量和消息机制与其他线程的交互。

(2) 1553B 通讯线程模块：它通过 1553B 接口卡的中断服务激活，主要负责通过从外部的仿真设备中采集数据并进行解码，解码后的数据以多个全局结构体变量形式与主线程共享，以及根据当前系统工作状态发出总线控制指令集。

(3) 定时处理线程模块:它通过一个周期为 20ms 的 Windows 内核定时器激活,周期地处理自身消息队列中的人工操作消息,改变系统工作状态变量,使 1553B 通讯线程的指令集随之相应改变。

以上 3 个线程在全部正常运行之后,必须明确各线程间的数据关系,避免访问冲突,即解决线程同步的问题。显控服务器程序采用的是基于临界区的同步方法,根据图 4 给出的各线程间的数据关系,在各线程访问关联数据时设置临界区,避免了程序运行时出现数据访问冲突。

3.2 显示客户机程序的线程划分

与显控服务器程序不同,两个显示客户机程序均包含大量绘图和显示更新操作,根据其组成模块的特点和耗时性,它们被划分为了 2 个线程:主线程、定时处理线程。以显控服务器程序 1 为例,其所包含的线程模块如图 5 所示。

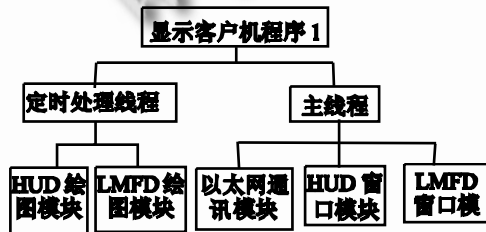


图 5 显示客户机程序的线程划分

(1) 主线程模块:负责程序的初始化和运行管理,产生 HUD 和 LMFD 窗口界面,以及管理以太网通信,将来自服务器的显示数据进行解包,解包后的数据以全局变量形式与定时处理线程共享,并将对 LMFD 周边键的操作以指定消息格式通过以太网发给服务器。

(2) 定时处理线程:通过一个周期范围为 20~50ms 的 Windows 内核定时器周期性地运行,在该线程中使用了内存 DC(设备环境, Device Context) 技术进行画面绘制,根据全局变量形式的显示数据,绘制 HUD 和 LMFD 的画面,并通知主线程更新各窗口,使软件的显示刷新率满足 20Hz 的最低要求。

这两个线程之间的同步方法可以参照显控服务器程序,此处不再赘述。

4 系统仿真实例

根据上述系统软硬件的 C/S 架构和模块划分方法,设计了分布式飞机显控仿真系统,初步实现了

系统的基本功能,其各程序的运行界面如图 6 所示。其中第一个图为显控服务器程序的运行界面,第二、三个图为显示客户机程序 1 的运行界面,最后两个图为显示客户机程序 2 的运行界面。

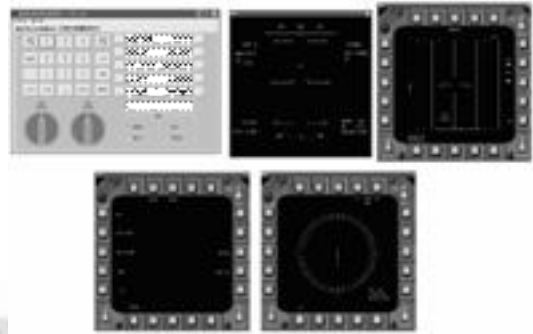


图 6 仿真系统的运行界面

从运行情况来看,对于只有三台计算机的显控仿真系统,当服务器与各客户程序间的显示数据包大小为 4K 字节时,可以测得数据包收发的通讯速率能达到每秒 30 次左右,完全符合通讯速率要求。而且各客户机程序的显示画面刷新速率在定时器周期控制下,可以在 20~50ms 之间调节,也满足显示速率要求。

5 结论

根据本文所述的基于 C/S 结构的分布式设计方案,快速地构建了可应用于综合航电系统仿真平台中的飞机显控仿真系统,经运行试验证实系统具有良好的实时性,且易于拓展。这不仅为目前飞机航电系统的仿真奠定了基础,也为未来更复杂、更先进的显控系统的仿真提供了新的思路。

参考文献

- 1 吴华兴,张斌.某型飞机拦截过程再现与仿真系统设计.指挥控制与仿真,2009,(3):84-87.
- 2 范天慈.机载综合显示系统.北京:国防工业出版社,2008.
- 3 董大勇,袁修平等.基于飞行任务的驾驶舱显示人机界面仿真.系统仿真学报,2007,19(3):678-680.
- 4 Shepherd G, Kruglinsk D. Visual C++. NET 技术内幕.北京:清华大学出版社,2004.
- 5 Beveridge J, Wiener R. Win32 多线程程序设计.武汉:华中科技大学出版社,2002.