

基于 Windows 的滑翔增程弹飞控系统半实物仿真研究

杨黔龙, 周凤岐

(西北工业大学 精确制导与控制研究所, 陕西 西安 710072)

摘 要: 通过引入外部硬时钟, 在普通 Windows 工控机上, 实现了精确定时以及稳定的多线程串口通信, 满足了滑翔弹飞控系统实时仿真的要求. 该系统不仅成本低, 而且稳定性高、通用性好以及第三方软硬件资源丰富, 并在实际仿真过程中得到了应用.

关键词: Windows; 定时器; 半实物仿真; 滑翔弹; 飞行控制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)04-0154-04

Semi-physical Simulation of the Gliding Missile Flight Control System Based on Windows Operation System

YANG Qian-long, ZHOU Feng-qi

(Institute of Precise Guidance and Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A semi-physical simulation platform in use of windows operation system is successfully established bases on general industrial PC combined with an external timer, the precise timing and steady multithreading serial communication are realized. The system is proved satisfying the real-time simulation requirement of the gliding missile. The novel platform could not only low-cost, but also is precise and universal, which has been successfully used in the semi-physical simulation practice of a gliding missile.

Key words: Windows operation system; timer; semi-physical simulation; gliding missile; flight control system

1 引言

由于纯数学仿真难以发现各种潜在的问题, 半实物仿真一直是飞控系统不可或缺的验证手段^[1-2]. 然而, 建设一个专业的半实物仿真试验室, 投资较大且建设时间长. 随着通用计算机性能的迅速提升, 选择通用工业控制计算机与通用软件平台来解决大部分的实时仿真任务成为可能^[3-7]. 本文在普通工控机上, 利用 Windows 加外部定时器组建某滑翔弹飞控系统半实物仿真平台, 实现了精确定时以及稳定的多线程串口通信, 满足了滑翔弹飞控系统实时仿真的要求. 该系统成本低, 通用性好, 对于缺少专业实验设备的单位非常实用, 不仅可以满足平时开展不带转台的半实物仿真需要, 而且, 在需要时把整套系统带到专业实验室, 与转台机构进行对接即可进行

带转台的半实物仿真验证, 试验周期及费用可以大为缩短. 该系统已在某滑翔弹半实物仿真过程中得到了成功的应用, 也可以为类似的其他应用提供参考.

2 半实物仿真系统设计

2.1 系统组成

某滑翔弹飞控系统半实物仿真实验布局如图 1 所示, 整个系统由综合控制台(集成火控模拟、数据记录与仿真进程控制)、仿真计算机、弹载任务计算机(即飞行控制计算机)、舵系统、组合导航系统(惯导+GPS)、GPS 模拟器、三轴转台以及电源系统组成.

2.2 综合控制台

综合控制台子系统的主要任务是模拟载机火控

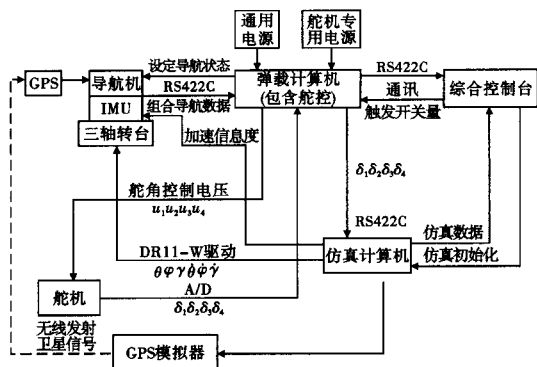


图 1 某滑翔弹半实物仿真实验布局

系统进行任务装订、参数初始化、发射时序控制、惯导传递对准、数据记录与显示以及仿真进程控制等。

硬件系统由工控机、MIL-STD-1553B 总线卡、DIO 卡、AD 卡、PCI-1612 串口卡、直流稳压电源和继电器构成(图 2)。带有多个 PCI 插槽的工控机可以协调使用多个板卡;MIL-STD-1553B 总线卡用于模拟载机与滑翔弹的电气接口,完成悬挂物状态监测及控制;串口卡接收任务机的状态并做出判断,控制开关量输出;DIO 卡主要负责控制开关量和接收数字量的变化。

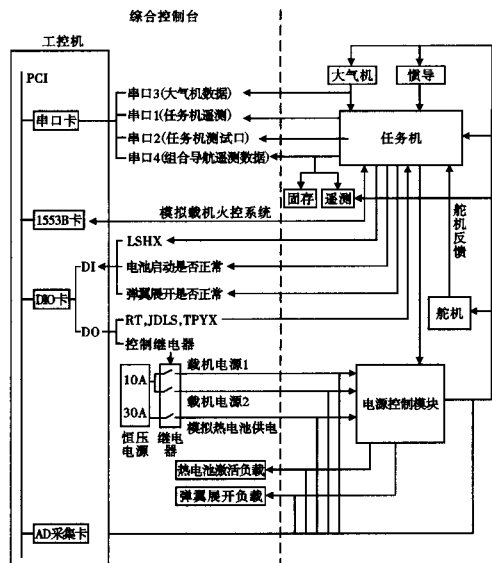


图2 综合控制台硬件系统

软件系统由载机火控模拟、开关量控制、数据监视(分为串口数据监控、DI 监控、电路状态参数监控)与记录和仿真进程控制四个部分组成。各部分既有独立功能,又需要互相作用,所以采用创建多线程的方式进行设计开发。载机火控通信和数据监视部分,需要每隔 20 ms 定时完成,本软件采用 DIO 卡自带的时钟源作为中断源,定时触发这几个线程。滑翔弹飞控系统半实物仿真流程如图 3 所示。

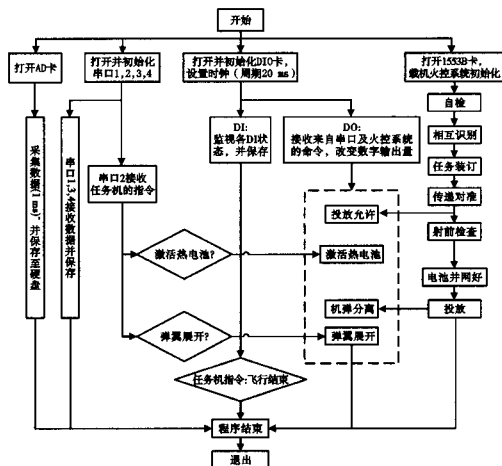


图 3 半实物仿真流程

2.3 基于 windows 的仿真平台

近年来,随着计算机软硬件技术的迅速发展,许多个人计算机的性能已经超过了从前的大型计算机,然而,到目前为止,能找到的可满足半实物仿真应用的实时操作系统却依然有限. 目前专门的半实物仿真操作系统如 VXworks, RTLinux, Ctask, pDOS 等虽可以满足半实物仿真实时性要求,但是存在价格昂贵,通用性不好,建模不方便等问题. Windows 操作系统以其稳定性高、界面友好、易操作以及第三方软硬件资源丰富等特点成为基于 PC 应用最为广泛的平台. 但是,在半实物仿真应用中,一切动作都以实时的外部事件为中心,系统需要处理很多外部并发事件的输入数据流,而且还要求系统必须在事先设定好的时限内作出相应的响应,因此,精确定时以及多线程串口通信显得至关重要. 普通 Windows 系统由于线程调度的不确定性,实时性难以保证,在应用于半实物仿真前必须首先解决好定时与通信的问题.

2.3.1 精确定时

在 Windows 中,可以使用以下两种方法进行定时.

(1) Windows 系统内部定时器

Windows 平台下,有多种 VC++ 定时器函数,常用的有两种.一种是利用多媒体定期器实现定时,使用方法是调用 `timeSetEvent()` 启动定时器,在第一个函数中设置定时器时间间隔,参数 `lpTimeProc` 指定回调函数,在回调函数中写入要定时执行的操作.另外一种是利用 `WM_TIMER` 消息映射实现,在 `SetTimer()` 中设置定时器,在 `OnTimer()` 中设置定时响应的处理函数.在传统的串口调试工具中,使用的是这种定时器.但是,通过调用 Windows 提供

的 API 函数,理论上能获得最小 1 ms 的时钟精度,而实际上仅达到为 55 ms,直接应用难以保证高精度定时要求^[2]。

(2) 外部硬件定时器

为了提高 windows 系统定时的精确性与可靠性,引入了外部硬时钟(定时中断)是另外一个选择方案。所谓硬件时钟是使用专门的计时电路产生高精度时钟信号(数字量或模拟电压方式),根据仿真周期向各仿真设备发送,各仿真设备控制计算机通过 AD/DIO 板读入该时钟信号。8554 板卡就是一个提供硬件时钟的板卡,它可以提供不同时间的中断(时钟为 8 MHz),所产生的时钟信号最小间隔为 125 ns,相对根据 windows 提供的函数设计的中断,该硬件中断更稳定精确,完全可以满足飞控系统实时仿真需求。此外,由于 8554 板卡自带 DIO 功能,不需要额外的 DIO 板卡读入时钟信号,使用简单方便^[8-9]。

基于以上分析,本文利用 windows 加外部硬时钟组建实时仿真系统。系统硬件由研华工控机、凌华公司的 PCI-1612CU 串口卡和 PCI-8554 时钟板卡构成的。

2.3.2 多线程串口通信

线程是一种系统资源,在单个 CPU 的情况下,不可能真正实现多个线程并行执行,系统不断在各个线程之间切换,线程只有在分配的时间片中才对 CPU 有真正的控制权。所以如果读写线程同时发生时,容易互相产生干扰,产生不稳定值。

多线程串口通信工作流程为:首先设置好串口参数,开启串口监测工作线程,串口监测工作线程监测到串口接收到数据、流控制事件等,就以消息方式通知主程序,激发消息处理函数来进行数据处理(图 4)。对于发数据,利用 PCI-8554 定时器设置中断、创建新的线程,当中断到来时激活写线程,通过串口向外设发送数据。由于预先对读数据操作、数据处理操作、写操作等的时间进行了计算,在一个控制周期中分配不同的时间片,这样保证了数据通信的稳定性和准确性。也可以采取线程同步的方法,一个线程处理完成之后,来激活其他被挂起的线程来处理,这样达到协调处理的目的。

设置中断的程序如下:

```
DIO_SetDualInterrupt(0, INT1_COUT12, INT2_DISABLE, hEvent); // 设置 PCI-8554 中断
CTR_Setup(0, 11, 3, 80, BIN);
CTR_Setup(0, 12, 2, 500, BIN); // 设置中断时间
```

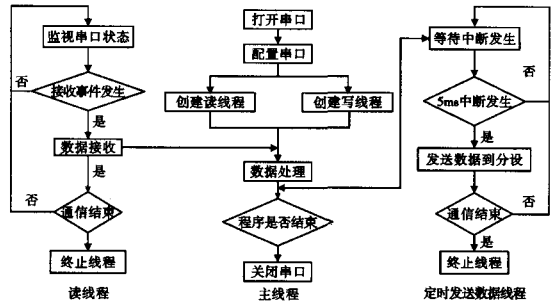


图 4 定时多线程串口通信流程

MFC 应用程序的线程是由 CWinThread 表示,在多数情况下,程序不需要自己创建 CWinThread。本文需要调用 AfxBeginThread()来创建新的线程,程序如下:

```
hThread1 = AfxBeginThread(ProcessInterrupt, this);
SetThreadPriority(hThread1, THREAD_PRIORITY_
TIME_CRITICAL); // 设置线程优先级
UINT ProcessInterrupt(LPVOID param)
{CPC_MBDlg * dlg = (CPC_MBDlg *) param;
do
{
WaitForSingleObject(hEvent[0], INFINITE); // 等待
5ms 中断
dlg->DataSend // 发送处理好的数据
```

单纯在 Windows 系统下进行半实物仿真,数据传输很容易出现丢帧现象。加入定时器板卡后,数据传输稳定可靠,提高了半实物仿真的实时性和可靠性。

2.4 弹体模型

根据某滑翔弹的数学模型,采用模块化建模的思想,将系统划分为功能相对独立的大气环境、阵风、重力加速度、力和力矩、弹体平动运动、弹体转动运动、攻角侧滑角解算以及坐标变换矩阵等功能模块,再对这些功能模型进行集成,构建出如图 5 所示的总体模型,最后利用 C 语言完成程序编译。运动方程组及主要坐标系定义见文献^[10-11],在此不再赘述。

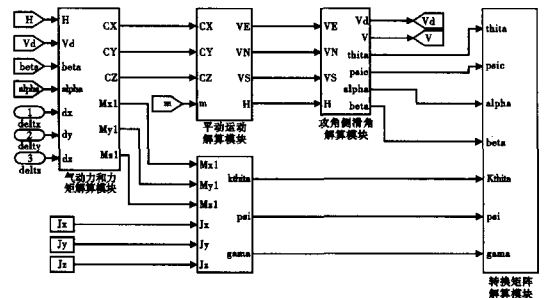


图 5 滑翔弹六自由度非线性模型

3 半实物仿真实验与分析

通过所建立的半实物仿真系统,对上述滑翔弹模型进行了半实物仿真实验,以检验控制系统性能。图6是某条飞行弹道下,六自由度非线性数学仿真与半实物仿真的攻角变化曲线。由实验结果看出,半实物仿真与数学仿真结果吻合很好,说明仿真平台以及控制系统已经达到设计要求。

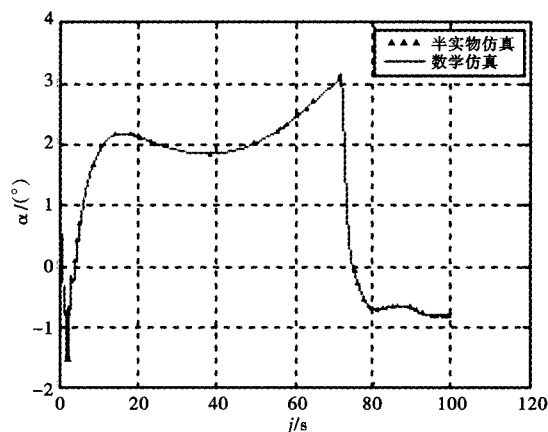


图6 攻角变化曲线

4 结束语

专业的半实物仿真实验室通常费用昂贵,协调困难。在基于 windows 操作系统的普通工控机上,通过引入外部时钟组建半实物仿真平台,不但满足了一般飞行仿真的需要,还可以充分发挥 Windows 操作系统成本低、稳定性高、界面友好、易操作以及第三方软硬件资源丰富等优点,试验周期及费用可以大为缩短。

该系统已在某导弹半实物仿真过程中得到了成

功的应用,对于缺少半实物仿真实验条件或是经费不足的研究队伍,本文的方法可以提供参考。

参考文献:

- [1] 梁思礼. 导弹控制系统研制工作的质量和可靠性管理(一)[J]. 微电子学与计算机, 1992(2): 1-4.
- [2] 梁思礼. 导弹控制系统研制工作的质量和可靠性管理(二)[J]. 微电子学与计算机, 1992(3): 1-7.
- [3] 徐立萍, 张健. Windows2000 平台下精确定时研究[J]. 微型电脑应用, 2005, 21(4): 46-48.
- [4] 陈坤中, 刘亚斌, 李军, 等. Windows NT 环境下的实时仿真技术研究及其应用[J]. 微计算机信息, 2006, 22(7-1): 239-241.
- [5] 陈春鹏, 姚益平, 蒋志文. 基于 Windows NT 开发实时半实物仿真的研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(12): 98-100.
- [6] 韩志勇, 李先国. Windows2000 下高精度计时的研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(9): 2389-2394.
- [7] 王晓东, 董新民, 姚崇. 基于 xPC 的飞行控制系统半实物仿真设计[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(2): 122-124.
- [8] PCIS-DASK User Manual, Revision: 2.02[R]. 2009.
- [9] PCIS-DASK Function Reference Manual, Revision: 2.06[R]. 2009.
- [10] 钱杏芳, 林瑞雄, 赵亚男. 导弹飞行力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008.
- [11] 张友安, 胡云安. 导弹控制和制导的非线性设计方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.

作者简介:

杨黔龙 男, (1976—), 博士研究生, 副研究员. 研究方向为飞行器设计、计算机应用、制导与控制。

(上接第 153 页)

- [4] 董时华, 乔庐峰. 改进部分积压缩结构的快速乘法器[J]. 计算机工程, 2010, 36(9): 229-231.
- [5] 郭阳, 丁伟, 李振涛. 高性能算术 SIMD 模块的电路设计[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9): 29-32.

作者简介:

冯寅舫 男, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为微处理器设

计、VLSI 设计。

张盛兵 男, (1968—), 教授, 博士生导师. 研究方向为 VLSI 设计、计算机体系结构。

黄嵩人 男, (1972—), 教授. 研究方向为数字集成电路设计。

樊晓桢 男, (1962—), 教授, 博士生导师. 研究方向为先进微处理器体系结构。