

嵌入式软件实时动态仿真系统设计

张萍

(中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471009)

摘要:为提高飞控软件研制效率,研制基于真实 DSP 的软件实时动态仿真系统,该系统采用与弹载计算机相同的 DSP 板作为仿真对象,通过中断驱动方式,使嵌入式软件运行;通过 1553B 接口板,RS-422 接口板和双口 RAM 实现与外界通讯;在仿真计算机上搭建模拟真实外部环境的数学模型对目标进行仿真,从而达到从功能上验证嵌入式软件的目的;最后给出该系统在实际中的应用。

关键词:DSP;嵌入式软件;仿真系统;实时

中图分类号:TJ765.4

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)05-0102-03

Design of Real-Time Dynamic Simulation System of Embedded Software

ZHANG Ping

(China Airborne Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: A real-time dynamic simulation system based on real DSP is developed to improve the efficiency of flight control software design. The DSP board, which is the same as the one loaded on bomb, is used as the target board of the system. The embedded software runs through the interrupt driving mode. Communication with outside is through 1553 interface, RS-422 interface and dual-port RAM. Mathematical models of external environment are built on simulation computer to test the embedded software functionally. Application in engineering is given at the end.

Key words: DSP; embedded software; simulation system; real-time

飞控软件是动态运行的实时嵌入式系统控制软件,从设计开发到最后的装入产品,是一个反复调试,反复验证的过程。如何在动态情况下,针对飞控软件进行真正意义上的仿真与验证,确保飞控软件的可靠性是一个关键问题。目前飞控软件的验证手段主要有基于虚拟样机^[1-2]的软件仿真和半实物仿真。随着弹载计算机技术的深入应用,基于虚拟样机的飞控软件仿真技术得到了迅猛发展,逐渐成为验证飞控软件功能的主要工具。但随着飞控计算机主频的不断提高,虚拟样机单位时间内需要解析执行的指令数量大幅提高,这就使得飞控软件的仿真速度受到限制。对于 100 M 主频的飞控计算机,单指令周期 10 ns,假设一条弹道的真实飞行时间为 40 s,基于虚拟样机的仿真系统则需要运行 40 min。这对于需要验证各种条件的仿真来说,效率低下,将延长软件研制周期。根据飞控软件的研制需要,研制软件实时动态仿真系统。它采用基于半实物仿真的设计思想,以载有嵌入式

软件的计算机板作为仿真对象,通过中断驱动方式,使嵌入式软件运行。并且在仿真计算机上搭建模拟真实外部环境的数学模型对目标进行仿真,从而达到从功能上验证嵌入式软件的目的。

1 软件实时动态仿真系统设计

软件实时动态仿真系统由嵌入式软件运行单元(即真实的计算机板)、运行在仿真计算机上的外部模型运行单元、中断控制单元、接口处理单元以及仿真计算机上的总控软件组成。

1.1 嵌入式软件运行单元

飞控软件属于嵌入式软件,运行在飞控计算机上,是整个导弹的重要组成部分。为使该实时动态仿真系统的仿真结果更加反应导弹飞行中的实际情况,采用了与弹上处理器

相同的 DSP 处理芯片。

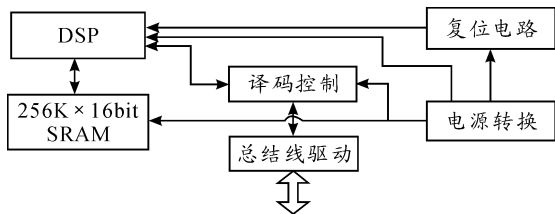


图1 嵌入式软件运行单元的组成

DSP 处理器是整个嵌入式软件运行单元的核心。SRAM 为 DSP 处理器提供运行时的存储空间。复位电路为 DSP 处理器提供可靠的上电复位。电源转换电路完成电源电压的转换,可将 5 V 电源电压转换为 FPGA 等其他电路所需的 3.3 V,1.8 V 等电压。译码控制部分为一片 FPGA 芯片,主要实现译码、分频等功能。总线驱动则实现 DSP 处理器对外总线的驱动,包括数据总线、地址总线及控制总线的驱动。

在 PC 机上利用集成环境 CCS(Code Composer Studio)对飞控软件进行调试开发,将编译连接后的目标代码通过仿真器下载至目标板(SRAM 区),通过对目标板上电复位,飞控软件开始运行。首先要对硬件进行初始化并完成计算机自检,之后系统进入死循环等待外部中断,当外部中断到来时,飞控软件访问中断向量地址,读取中断向量字并判断中断类型,程序跳入相应的中断服务程序,执行数据的采集、算法运算以及控制信号的输出。

1.2 外部模型运行单元

外部模型的操作系统平台选择 Windows XP + RTX。RTX 为运行在 Windows2000 下的实时操作系统^[3-5]。在该环境下选择 Visual C++ 6.0 开发平台编写外部模型仿真软件,实现系统高效运行,并且提供良好的软件操作界面保证 RTX 与 WIN32 系统的信息交互,实现系统的实时仿真(RTX 提供最高 100 μs 定时器)。

外部模型能够接收中断控制单元产生的同步中断信号,由该中断驱动执行,与飞控软件同步配合运行。外部数学模型包括导弹动力学模型、导弹运动方程计算、传感器模型、控制信号生成模型、舵机模型、载机运动模型、相对运动模型等;并能完成与接口处理单元间的 1553B 和 RS-422 数据通信;通过与接口处理单元间的双端口存储器交换数据模拟完成 ARINC429、BMK 及一次性指令的数据通信;将运行数据以一定的时间周期存储于数据存储区中,同时将数据区内由嵌入式软件生成的相关数据读取到外部模型处理单元并予以保存,以便对系统运行过程进行事后分析。

1.3 中断控制单元

嵌入式软件运行于真实的计算机板上,软件的运行由中断驱动。定时计数器按照要求产生系统所需的定时中断。定时中断和 1553B 中断、429 中断、BMK 中断及一次性指令中断一起被送入中断优先级仲裁排队电路,进行优先级仲裁和排队(图 2)。嵌入式软件和外部模型接收到中断相应后,读取中断矢量,判断中断类型,根据不同的中断类型进行数

据的解算,从而实现实时仿真的目的,也使整个仿真过程更加接近飞控软件真实的运行情况。

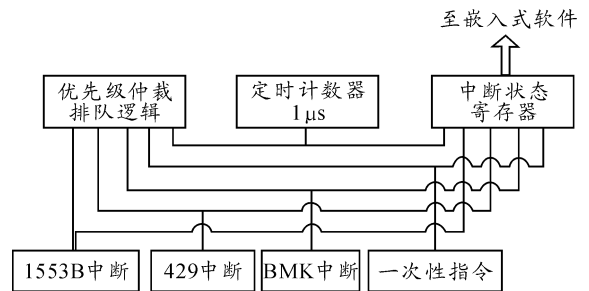


图2 中断控制单元组成

1.4 接口处理单元

与真实的飞控软件进行数据交换的外部接口包括:载机接口、舵机接口、导引头接口、GPS 接口、传感器接口和遥测接口等。基于 DSP 的飞控软件实时仿真系统中,与载机的通讯通过 1553B 接口实现;与舵机的通讯通过 RS-422 接口实现,其他通讯,包括 BMK、ARINC429 和一次性指令等通过双端口存储器实现。

接口处理单元由译码控制电路、1553B 接口、RS-422 接口以及双端口存储器组成,如图 3 所示。嵌入式软件运行单元通过译码控制电路访问双端口存储器、RS-422 接口和 1553B 接口。

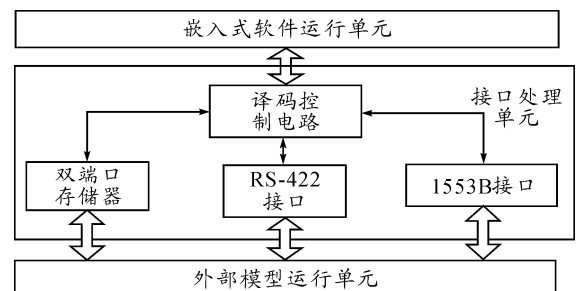


图3 接口处理单元图

1553B 接口提供单通道双裕度 1553B 数据首发功能,实现飞控软件与外部模型中载机接口的数据通讯。RS-422 接口实现独立 4 路全双工 RS-422 接口功能,实现飞控软件与外部模型中舵机等接口的数据交换。双端口存储器(16K)用于在嵌入式软件运行单元和仿真计算机之间传递数据。它按地址分为若干个区,分别模拟 BMK、ARINC429 以及一次性指令数据端口。嵌入式软件运行单元通过对双端口存储器不同区域的访问,模拟实现与仿真计算机之间的 BMK、ARINC429 及一次性指令数据交换。

2 软件实时动态仿真系统应用

该实时仿真系统已应用于某型产品飞控软件的仿真实验验证中。其具体的仿真操作步骤如下:

1) 首先给弹载计算机板卡供电,板卡上的电源指示灯

亮,说明系统硬件供电正常;用代码调试工具 CCS 将飞控软件烧入嵌入式软件运行单元,完后断电;

2) 运行仿真计算机的仿真主程序;点击“参数表”菜单下的“选择监视变量”子菜单项,在弹出的窗口中选择需要监视的变量;

3) 在仿真程序主窗口中点击“设备”菜单下的“开始仿真”子菜单项,初始化设备并准备仿真;

4) 按下弹载计算机板卡供电开关,仿真开始,主程序窗口将实时显式所监视的模型运行的变量。

由于该仿真系统加载的是真实的弹载飞控软件,所以整个仿真过程是接近产品的真实飞行过程。图 4 中所示为该仿真系统输出的曲线。通过将该仿真系统输出的曲线与纯数字仿真系统的结果比对,可以看出该结果真实可信,能够较好的反映产品整个飞行过程的动态品质。

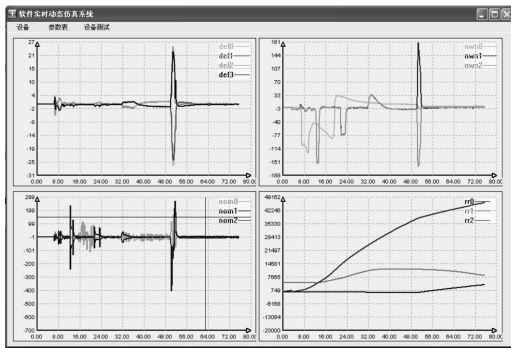


图 4 仿真界面和曲线

通过在仿真开始之前对仿真界面中监视变量的选择,可以实时观察仿真状态;另外,该系统将飞控软件的大量特征变量通过双口 RAM 传输到外部环境中,并将其保存,以便在仿真结束后通过数据分析来对飞控软件做全面的功能验证。

3 结束语

本文介绍的基于 DSP 的嵌入式软件实时动态仿真系统使用真实的飞控计算机,RS-422 接口板,1553B 接口板和真实的硬件中断,在外部模型和飞控软件之间交换数据,外部模型和飞控软件的同时运行保证了系统的实时性,能够实现实时验证飞控软件的目的。与其他半实物仿真设备相比,不依赖真实舵机、飞控组件、遥测组件等硬件设备,便于软件调试,避免了和硬件交联带来的问题,不仅能够降低飞控软件研制成本,也能大大提高研制效率。

参考文献:

- [1] 靳凌,张文山. 面向对象的弹载软件仿真平台方案设计[J]. 航空兵器,2003(6):14-15.
- [2] 宋龙,张文山,靳凌,等. 空空导弹飞控软件研制中的虚拟样机应用[J]. 计算机仿真,2005,22(5):19-24.
- [3] 黄键,宋晓,薛顺虎. RTX 平台下实时仿真系统的设计方法[J]. 计算机应用与软件,2009,26(4):167-169.
- [4] 刘晓川,樊子明. Windows 2000(XP) + RTX 的实时性分析与测试[J]. 舰船电子工程,2007,27(6):135-138.
- [5] 王礼,凌明祥,曾庆双,等. RTX 在激光制导炸弹半实物仿真中的应用[J]. 红外与激光工程,2006,35(1):78-81.
- [6] 董成基,齐杏林,吕静,等. 飞行控制软件测试用例生成技术[J]. 兵工自动化,2012(9):93-96.

(责任编辑 周江川)

(上接第 82 页)

- [4] 王强,骆英,顾建祖. 基于压电材料的振动能量获取技术的研究[J]. 电子元件与材料,2008,27(3):47-50.
- [5] 河道清,张禾,湛云海. 传感器与传感器技术[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [6] 廖伟翔. 压电换能器于低频发电应用之设计与分析[D]. 台湾:国立成功大学,2007.

(责任编辑 杨继森)

- [7] 胡仁喜,龙凯,党沙沙,等. ANSYS13.0 多物理耦合场有限元分析从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [8] 王小兵,陈建军,刘应华. 压电材料在薄板振动抑制中的应用研究[J]. 功能材料,2010(6):1090-1092.