

某型号卫星桌面联试平台数据接口研究

马玉海, 陈雪芹, 耿云海, 兰盛昌, 潘 瑞

(哈尔滨工业大学 卫星技术研究所, 150080 哈尔滨, cxqhit@163.com)

摘 要: 对某型号卫星桌面联试平台中的数据接口设计与实现进行研究. 首先, 结合工程需求设计以实时仿真机和星载计算机为中心的桌面联试平台总体结构, 并描述平台中各部件之间的接口关系. 然后, 针对平台中实时仿真机的组成、xPC Target 接口编程, 接口采样时间, 双精度浮点数的接口编码以及 CAN 总线应用层协议的制定等问题进行研究. 最后, 通过测试分析验证数据接口方案的有效性与实用性.

关键词: 卫星; 桌面联试; 数据接口; 实时仿真机; 星载计算机

中图分类号: V422 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2011)09-0025-05

Research on data interfaces in desktop testing platform for a certain satellite

MA Yu-hai, CHEN Xue-qin, GENG Yun-hai, LAN Sheng-chang, PAN Rui

(Research Center of Satellite Technology, Harbin Institute of Technology, 150080 Harbin, China, cxqhit@163.com)

Abstract: Research on design and implementation of data interfaces in the desktop testing platform for a certain satellite was introduced in this paper. Firstly, to satisfy the engineering requirements, general structure of the platform was designed with the real-time simulator and the on-board computer as its core components, and the interfaces among various components in the platform was described. Then, topic focused on researching problems including constitution of the real-time simulator, programming on interfaces using xPC Target, sample time of the interfaces, encoding double precision floating point number for transmission through interfaces, and design of CAN bus protocol on the application layer. Finally, by analyzing results of the testing experiment, effectiveness and practicality of the data interfaces solution were proved.

Key words: satellite; desktop testing; data interface; real-time simulator; on-board computer

在卫星型号研制过程中,对星上所有设备进行桌面电性能联接调试是必不可少的步骤. 卫星桌面联试可以初步验证卫星各功能部件的电气特性和数据接口是否兼容,以及整体设计能否完成任务需求,为型号研制的后续工作展开提供基础. 从某种程度上讲,所谓的联接测试平台,就是为构成桌面联试系统,联接起各种星上设备的一系列接口的集合.

卫星桌面联试所涉及的设备、单位和人员较多,常规的桌面联试常常占用较大的工作量和较长的研制时间. 为了缩短卫星研制周期,实现卫星

研制任务快速响应,满足低成本的新需求、新理念,有必要构建一种具有高可靠性和可扩展性且开发周期短的卫星桌面联接测试平台,进行整星的调试与研制;同时也可以通过调整测试平台的实时仿真组件,适应性地形成不同的仿真回路,实现对卫星各分系统设备的独立调试^[1-2].

数据接口的实现是设计高效的联接测试平台的关键. 解决了各分系统部件之间的数据接口问题,卫星的研制就得以按功能划分为各个模块,各分系统研制团队通过遵循统一的数据接口规范,构建功能相对独立的模块,从而使研制任务的分配清晰明了、整星与各分系统任务规模减小、成本降低、整星的研制效率提高. 同时,已开发成熟的模型和程序等通过适应数据接口规范,可以继承性地应用到新的任务中去,大大缩短后续型号的

收稿日期: 2010-04-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60904051,61104026).

作者简介: 马玉海(1988—),男,硕士研究生;

耿云海(1970—),男,教授,博士生导师.

研制周期.

本文针对某型号卫星桌面联试平台系统的体系结构方案及其主要组成进行详细描述,对实时仿真机的组建、xPC Target 接口编程,接口采样时间,双精度浮点数的接口编码以及 CAN 总线应用层协议的制定等关键问题进行分析与设计,并通过设计的地面控制台发送指令并接收数据,对桌面联试平台系统及其数据接口设计进行测试分析,检验数据接口解决方案的有效性、实用性.

1 桌面联试平台体系结构

典型的卫星桌面联试系统由实时仿真计算机(仿真机)、地面控制台、星载计算机(星载机)和其它星上部件/设备组成^[1-4]. 桌面联试过程可以对尚未研制完成的设备、不便实现的动力学过程、以及难以获得的环境因素建立数学模型,生成可在仿真机中运行的实时目标代码,以模拟真实运行情境的输入和响应.

在星载机中运行真实的星上控制程序,通过地面控制台发送指令并接收数据,对桌面联试平

台系统与各数据接口进行测试分析完成桌面联试. 因此,为实现某型号卫星的桌面联试,设计桌面联试平台体系结构如图 1 所示,主要由 3 部分组成.

1) xPC 实时仿真机. 基于 PC/104 构建并配置有多种外部接口,用于运行 xPC Target 实时目标代码,模拟星载机外部的设备环境.

2) 地面控制台. 基于 PC 机构建并配置多种功能软件及外设接口,用于卫星地面站的模拟及执行仿真过程中的监视与控制. 使用 MATLAB/Simulink 及 Visual C++ 构建 xPC Target 实时目标编译环境,在调试过程中可实现实时目标的编译、下载、修改及监视;Xilinx Platform Studio(XPS)完成对星载计算机中 FPGA 嵌入式内核及星载计算机程序注入;用 Visual C++ 编写 Windows 串口操作界面作地面控制台,按星地指令协议向 PCI 串口板写入地面指令和接收下行数据.

3) 待测星上设备. 包括星载计算机、GPS 接收机、信号处理单元、数据处理器、测控应答机以及有效载荷中央电子设备等.

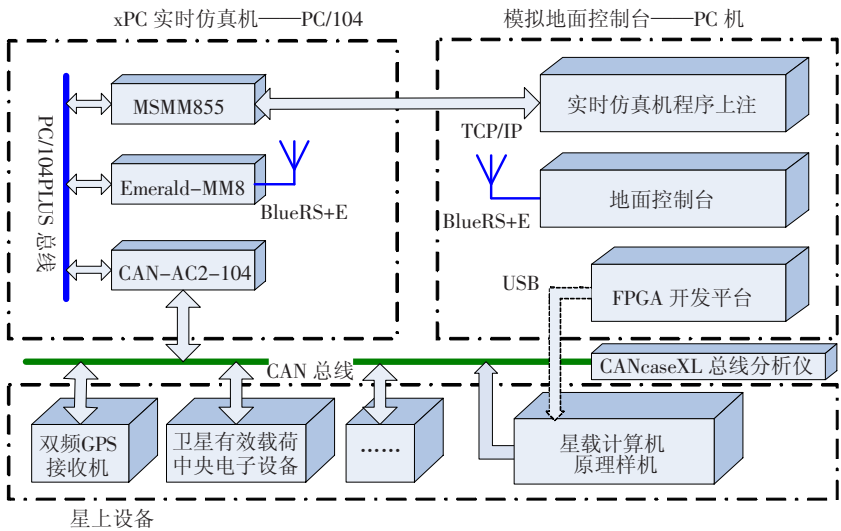


图 1 某型号卫星桌面联试平台体系结构

图 1 中所示各设备间的接口关系为:待测星上设备及其与仿真机之间统一采用 CAN 总线联接,CANcaseXL 总线分析仪用于监测调试. 仿真机内部主模块与各接口板间用 PC/104PLUS 总线联接. 仿真机与地面控制台之间采用无线通信链路,用蓝牙串口模块 BlueRS + E 实现. 仿真机中的实时目标代码可经局域网电缆或无线局域网通过 TCP/IP 方式由 PC 机上注,并可在调试完毕后,通过配置 xPC Target Embedded Option 以 StandAlone 模式固化,随仿真机启动运行;星载机中

FPGA 的 BITSTREAM 文件从 PC 机上的开发平台软件通过 USB 接口上注,并在调试完毕后可进行固化,随上电自主运行.

桌面联试平台的核心设备有:

1) PC/104 实时仿真机. PC/104 是通过改造成熟的 PC 架构形成的工业控制计算机,PC/104PLUS 支持 PCI BUS. 基于 PC/104PLUS 组建实时仿真机具有稳定性高、速度快、可扩展性好、接口丰富、体积小、开发便捷等特点,适于桌面联试及基于气浮台的半物理仿真^[2-3, 5].

本测试平台选用 PC/104PLUS 智能嵌入式计算机 DIGITAL-LOGIC MSM855 作为主模块,配置 Diamond Emerald-MM8 串口通讯板及 Softing CAN-AC2-104 CAN 通讯板,扩展了 8 路串行接口和 2 路 CAN 接口. 主模块与通讯板间通过紧凑的堆栈式联接成为 1 个整体设备. 值得一提的是, MATLAB/Simulink xPC Target 提供了对这些接口通讯硬件产品的支持,可以方便地实现对接口的操作.

2) 星载计算机. 星载计算机以 FPGA 为核心集成 CAN 接口, 在快速动态可重构技术的基础上可按控制功能的要求改变计算机构架, 使计算机系统结构与控制过程相匹配, 从而获得优良的系统性能, 也称为可重构星载计算机. 其功能结构主要包括处理器单元、配置模块单元、射频模块.

桌面联试中,在星载计算机中运行真实的星上控制程序,并通过 CAN 总线完成传感器的数据采集及执行机构的控制输出(传感器和执行机构可以采用数学模型或者实物),与仿真机及其他星上设备样机构成仿真回路^[4]。

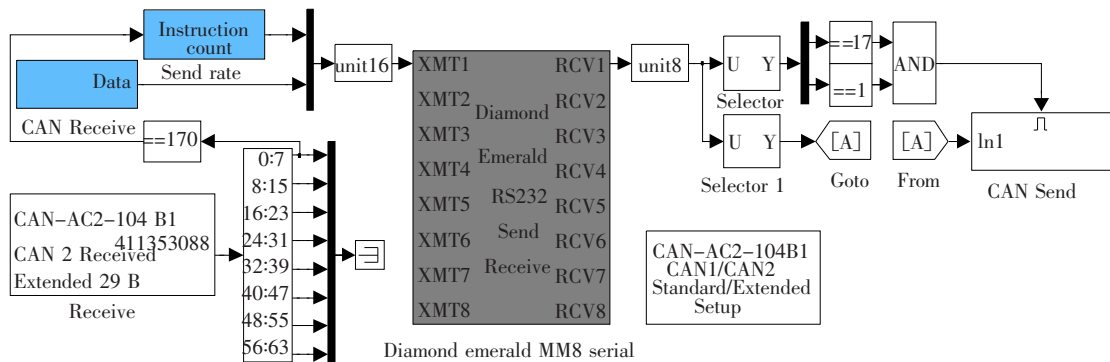


图2 实时仿真机接口设计

图 2 中的数据链路可描述为: 右侧 RCV1 → CAN Send 代表卫星指令接收装置, 接收到地面遥控指令后, 根据星地指令协议向星载机发送指令; 星载机根据星务管理协议判断该指令对应的设备及操作, 例如向有效载荷中央电子设备发送遥测数据下行指令; 左侧 Receive ~ XMT1 代表中央电子设备, 接收到遥测数据下行指令后按协议解析, 控制遥测数据按时序发送, 直到下行允许指令被复位。

2.2 实时仿真中的采样时间问题

与数学仿真不同,仿真机中的 xPC Target 实时目标需要采用定步长的数值积分解算器,以定步长运行^[8]. 为保证仿真测试效果,应选取较小的积分步长. 接口操作受波特率及接收端处理能力的限制,发送数据时不能采用过小的采样时间;而接收数据希望实时性好,宜采用小的采样时间.

2 桌面联试平台接口设计

本测试平台采用的实时仿真机接口硬件产品受 xPC Target 支持,因而参照软件提供的说明文档,可以清楚地了解接口编程的基本操作^[6]。然而,实际使用中必须对仿真机接口、采样时间、数据格式与接口编码以及总线协议等进行详细设计,以建立完整的桌面联试平台。

2.1 实时仿真机接口设计

如图 2 所示,采用 MATLAB/Simulink xPC Target 进行仿真机的接口设计,其中 Diamond Emerald-MM8 Serial 为串口板驱动模块, CAN-AC2-104 Setup 为 CAN 通讯板配置模块^[7]. RCV1 处接收由蓝牙串口模块传送来的模拟地面控制指令,进行数据分流后,分为协议部分和数据部分. XMT1 处的数据来自于发送控制时序生成模块 Send Rate 及 CAN 总线数据接收模块 CAN Receive,经串口板由蓝牙串口模块传送回模拟地面控制台.

因此,必须解决接口配置模块收发采样时间要求不一致的问题^[3].

Emerald-MM8 串口板驱动模块的 Transmit Setup 中可设置发送缓冲区数据格式带有待发送数据长度 *count*。通过产生控制时序动态修改 *count* 值, (*count* 为 0 时不发送数据) 可实现在保持配置模块较小采样周期的前提下使发送周期加长。

图2中 Send Rate 模块的实现如图3所示,采样周期为 0.05 s. 设置模块 Pulse Generator 中的周期参数为 1 s, 脉冲宽度为 5%, 相位延迟为 1 s, 生成的时序波形如图4所示. 指令信号为真时, 每 1 s 内只有第 1 个采样周期允许发送 71 B 遥测数据, 指令信号为假时, 不允许发送数据.

2.3 数据类型与接口编码

联试平台中收发的数据类型包括整型和浮点型。整型数据用于描述开关指令,计数值等;浮点

数用于表示精确时间、姿态参数、某些控制指令以及遥测数据等信息. IEEE754 双精度浮点数是标准的浮点数格式, 如何将其通过接口或总线进行精确、高效的收发是数据接口设计的关键.

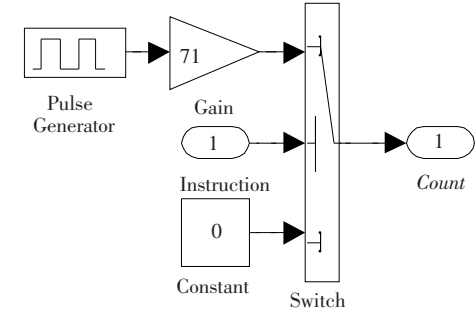


图 3 控制时序生成模块图

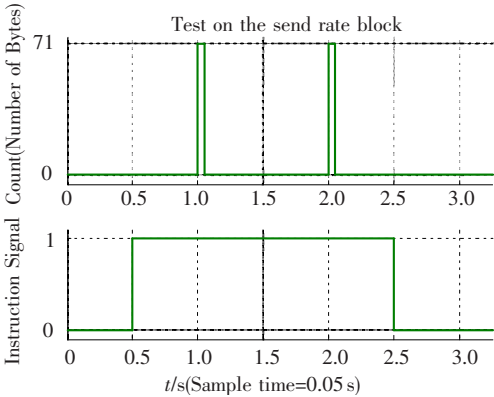


图 4 控制时序波形

MATLAB/Simulink 不方便进行数位、内存以及接口编码等操作, 考虑用 C 语言编写 S-Function, 实现对浮点数的收发^[3]. 其中 *mdlOutputs* 函数中关键的代码如下:

```
union
{
    double u_real;
    unsigned char u_byte[8];
} un;

uint8_T i;
const real_T *u = (const real_T *)
ssGetInputPortSignal(S,0);
uint8_T *y = ssGetOutputPortSignal(S,0);
un.u_real = u[0];
for(i = 0; i < 8; i++)
y[i] = un.u_byte[i];
```

64 位浮点数和 8 B 无符号整型字面值通过联合体共享内存, 可实现双向转换^[9]; S-Function 的唯一参数用于设定采样时间. 这种方法无须进行算术及移位运算, 效率高, 传输精确, 星载计算机解码方便. 利用封装模块对双精度浮点数 -3.141 592 653 589 8 (十六进制字面值

C00921FB54442D28) 进行自发自收的效果如图 5.

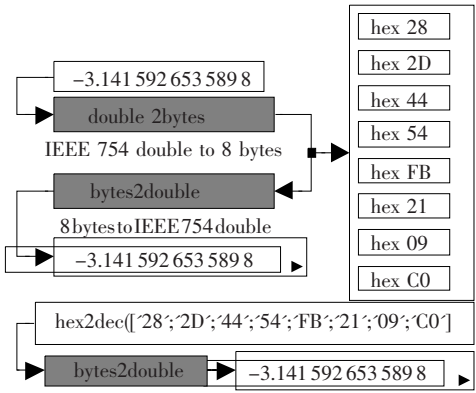


图 5 接口编码模块收发浮点数

2.4 CAN 总线应用层协议的制定

控制器局域网 (Controller Area Network, CAN) 总线是近年来通过对工业现场总线标准进行改造, 应用到航天领域的总线; 具有可靠性高、速度快、总线操作方便等优点^[10]. 本联试平台采用 PC/104 实时仿真机, 以较低的成本扩展了 CAN 总线接口板. 制定 CAN 总线应用层通信协议即为不同设备分配满足其功能需求的报文识别码 (帧 ID).

CAN 总线扩展帧 ID 所在的字节如表 1. 可见, 由于 ID 尾部未填满整字节, 从协议字面信息不容易得到有意义的 ID 值. 而在编程、监视过程中, 要大量使用 ID 值. 因此, 使用 Visual C++ 设计 CAN 扩展帧 ID 计算器如图 6.

表 1 CAN 总线扩展帧信息局部字节表

字节 2	字节 3	字节 4	字节 5
报文识别码	ID. 28-ID. 21	ID. 28-ID. 21	ID. 28-ID. 21XXX
ID. 28-ID. 21			

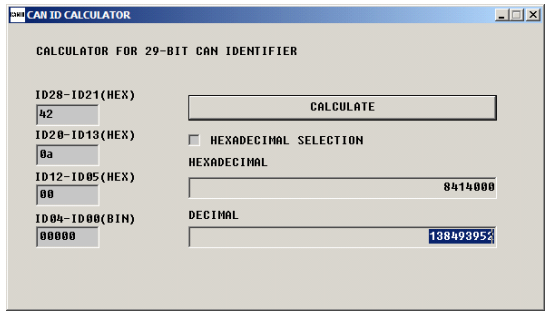


图 6 CAN 总线扩展帧 ID 计算器

其核心程序段如下:

```
union
{
    unsigned int id;
    struct
    {
        unsigned id0400;5;
        unsigned id1205;8;
```

