

文章编号: 1003-501X(2011)10-0084-08

航天光学相机模拟在轨飞行测试平台设计

徐 伟, 徐拓奇, 金 光

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 对相机综合管理单元进行大量的测试是航天光学相机研制过程中的重要环节, 传统的测试系统功能单一且无法模拟航天相机在轨飞行整个工作流程。本文以实际型号测试角度出发, 提出了以 DSP 硬件和遥测遥控 VC 软件为基础构建新型航天光学相机模拟在轨飞行测试平台的设计方法, 说明了该平台硬件组成和工作原理的同时, 给出了关键软件参考代码。结合某型号航天相机的具体测试, 表明该平台可模拟相机综合管理单元在轨飞行任意时刻的数据流并记录测试过程遥测参数, 能够验证相机综合管理单元的功能和性能, 达到了航天相机地面测试的目的, 具有广泛实际工程应用价值。

关键词: 航天光学相机; 相机综合管理单元; 模拟在轨飞行测试平台; DSP

中图分类号: V445.8; TH122

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2011.10.014

Design of Simulation Orbit Test Platform for Aerospace Optical Camera

XU Wei, XU Tuo-qi, JIN Guang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Taking amounts of tests to camera comprehensive management unit is one important segment in aerospace optical camera development. Traditional test system has disadvantages for its single function and lacking of ability to simulate the whole working schedule within on-orbit flight. This paper goes from actual testing angle and put forward a method of establishing new kind of simulation orbit test platform for aerospace optical camera, which is based on DSP hardware and VC software for telemetry and remote control. Then it introduces hardware components and working principles of this platform. Meanwhile, critical software reference codes are provided. Through detailed test in an aerospace camera, it shows that this platform can simulate data stream in arbitrary moment of camera comprehensive management unit during on-orbit flight. And it can record remote measuring parameters in testing process. These functions demonstrate that it can validate the function and performance of camera comprehensive management unit, which achieves the objective of aerospace camera ground test and possesses practical application value in projects.

Key words: aerospace camera; camera comprehensive management unit; simulation orbit test platform; DSP

0 引 言

航天光学相机作为空间关键有效载荷, 主要完成对地测绘、地形勘查、灾害预测、科学研究等重要功能, 是卫星完成对地观测任务的核心单元, 其获取的遥感图像信息对国家建设、国计民生有着重要意义。

航天光学相机在轨由其电子学系统中的相机综合管理单元进行资源管理和任务调度, 其功能、性能和协调性的好坏直接关系到航天光学相机的可靠性及在轨工作寿命, 同时由于空间设备工作环境特殊, 在执行任务中一旦遇到故障, 几乎是不可修复的, 因此在相机的研制过程中和交付总体总装前需要进行长期的运行监控与大量的仿真测试, 以获取定性、定量参数来评定航天光学相机的各项功能是否满足要求。

收稿日期: 2011-07-07; 收到修改稿日期: 2011-09-02

基金项目: 国家 863 计划项目

作者简介: 徐伟(1981-), 男(汉族), 黑龙江大庆人。副研究员, 博士, 主要研究工作是航天相机控制器设计。E-mail: xwciomp@126.com。

到目前为止,人们已经研究出了多种测试设备及测试方法^[1-4],但均以单机功能性测试为主,给定工作参数并判定遥测参数,无法判断相机在轨长期运行过程中卫星姿态及轨道参数连续变化时相机综合管理计算机运行的可靠性,该项测试对需要进行实时相移补偿的航天相机而言尤为重要。

本文针对现有航天光学相机测试手段的上述不足之处,提出了采用航天光学相机模拟在轨飞行测试平台(以下简称“模飞测试平台”)对航天光学相机进行全面测试的方法,除地面站遥测遥控终端可实时解析并显示遥测参数外,还可为相机电子学系统提供在轨飞行所需的姿态及轨道参数,模拟相机综合管理计算机在轨运行时的全部真实状态,同时具备星上接口故障模式仿真测试能力,具有仿真程度高、数据判读快速、故障定位准确等优点。

1 模飞测试平台总体结构

1.1 相机综合管理单元功能

相机综合管理单元主要完成对航天相机的监测与控制任务^[3],通常由相机控制器和热控控制器组成。其中相机控制器的主要功能包括通过 CAN 总线接收飞行器中心计算机姿轨数据及注入指令;管理相机的运行状态、对内部信息进行采集后通过 CAN 总线向飞行器中心计算机返回遥测参数;实时驱动调偏流机构至预定位置,并根据需求进行指令调焦控制;接收 GPS 秒脉冲和 CAN 总线时标信息。热控控制器的主要功能是负责对相机的工作环境温度进行主动控制,以保证相机始终工作在一个适宜的温度环境中,通过 CAN 总线接收飞行器中心计算机热控模式及门限设置指令并返回热控遥测参数。

1.2 模飞测试平台组成

模飞测试平台由三大部分组成:平台星务计算机模拟器、平台 GPS 模拟器以及地面站遥测遥控终端模拟器。相机综合管理单元与模飞测试平台的连接关系如图 1 所示。

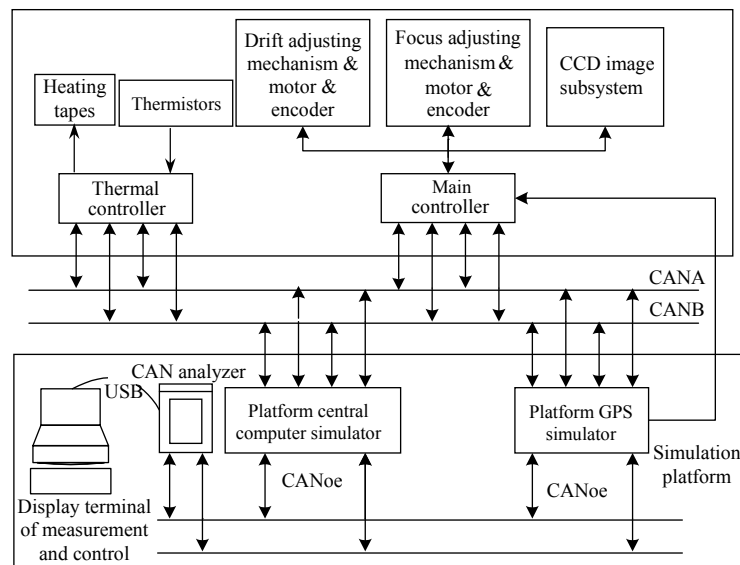


图 1 测试设备连接关系图

Fig.1 Connection diagram of test equipments

1.3 模飞测试平台工作原理

1.3.1 平台星务计算机模拟器

平台星务计算机模拟器主要功能为接收地面站遥测遥控终端模拟器发送的卫星姿态角、姿态角速度仿真数据源信息及相机控制器、热控控制器相关指令信息,将信息转换为星上数据格式后实现模拟中心机的双 CAN 总线数据指令帧的发送;完成数据同步广播帧的双 CAN 总线模拟发送;接收并转发相机控制器、热控控制器遥测参数帧及应答帧;可模拟中心机中任意 1 路及 2 路 CAN 总线故障状态。

1.3.2 平台GPS模拟器

平台 GPS 模拟器的主要功能为接收地面站遥测遥控终端模拟器轨道数据源信息,将该轨道数据源转换为星上轨道数据格式后实现模拟 GPS 的双 CAN 总线轨道数据广播帧的模拟;每秒提供 OC 形式的秒脉冲信号;可模拟 GPS 中任意 1 路及 2 路 CAN 总线故障状态;可模拟 GPS 秒脉冲硬件故障状态。

1.3.3 地面站遥测遥控终端模拟器

地面站遥测遥控终端模拟器负责向平台星务计算机模拟器提供姿态及姿态角速度数据源,向平台 GPS 模拟器提供轨道数据源,向测试人员提供人机交互界面,具备指令序列生存、遥控指令发送及遥测参数解析等功能。

轨道数据源采用 STK 进行卫星轨道仿真,对被测相机工作的轨道进行数据分析与预测。依照测试时间长短,可获取卫星一天或更长时间的轨道参数并存储成特定格式的可读文件供地面站遥测遥控终端模拟器实时读取。姿态数据源是采用卫星动力学进行 Matlab 仿真得到的。

2 模飞测试平台硬件设计

平台星务计算机模拟器和 GPS 模拟器硬件设计类似,采用集成度高且具有丰富的片内外围设备的 DSP TMS320F2812 作为主控制器。该控制器内部有 64 K 的 SRAM 及 128 K 的 FLASH,并内嵌有 eCAN 模块,支持 CAN2.0B 协议,便于与地面站遥测遥控终端模拟器之间进行 CAN 总线通信。除此之外,该控制器经过 PLL 倍频后可工作在 150 MHz 下,高速指令执行速度可使 CAN 总线工作至最短帧间隔状态,可使得相机综合管理单元的测试更加充分。GPS 模拟器是在平台星务计算机模拟器的基础上增加了 OC 形式的秒脉冲接口。

TMS320F2812 系统基本组成硬件电路模块如电源模块、晶体振荡器模块、复位模块、JTAG 接口模块等均有大量参考电路^[5-6],此处不再赘述。本文仅针对测试接口需求,给出平台星务计算机模拟器和 GPS 模拟器外围 3 条 CAN 总线接口扩展参考电路和 GPS 秒脉冲输出参考电路。

地面站遥测遥控终端模拟器由 PC 机外接 CAN 分析仪作为主体,采用 VC 语言开发遥控指令发送界面及遥测指令解析界面。

2.1 CAN总线扩展

2.1.1 片上CAN总线

选用 TI 公司的 SN65HVD230 作为 CAN 控制器和物理总线接口,提供对总线的差动发送和接收能力。由于 SN65HVD230 和 F2812 均为 3.3 V 接口,因此 SN65HVD230 的 D、R 引脚分别连至 2812 的 CANTX、CANRX 引脚即可,硬件原理如图 2 所示。

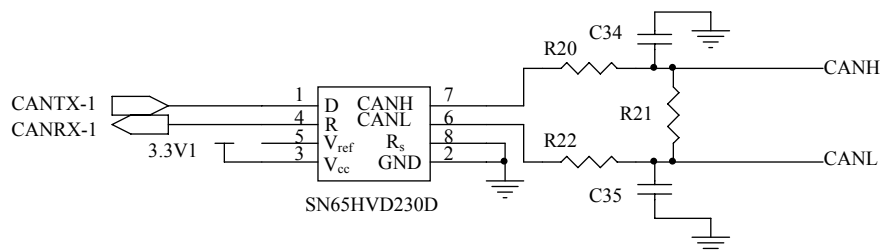


图2 CAN总线与F2812的接口电路示意图

Fig.2 Interface diagram between CAN bus and F2812

2.1.2 外扩CAN总线

由于 TMS320F2812 仅提供 1 路 eCAN 接口且该接口用于平台星务计算机模拟器和 GPS 模拟器与地面站遥测遥控终端模拟器之间进行数据通信,因此需要另外扩充 2 路星上标准 CAN 总线,即 CAN 总线通信控制器为 SJA1000、CAN 总线收发器为 PCA82C250 的组合方式与被测试的相机综合管理单元进行主备通信。

由于 SJA1000 是采用地址总线和数据总线分时复用结构通过 ALE 信号来锁存地址而 TMS320F2812 采用地址线 and 数据线分离的设计方法, 同时两者间电平也不一致。因此外扩 CAN 总线核心电路模块主要由 2 部分构成: 接口逻辑转换电路和接口电平转换电路。外扩双 CAN 总线结构逻辑框图如图 3 所示。

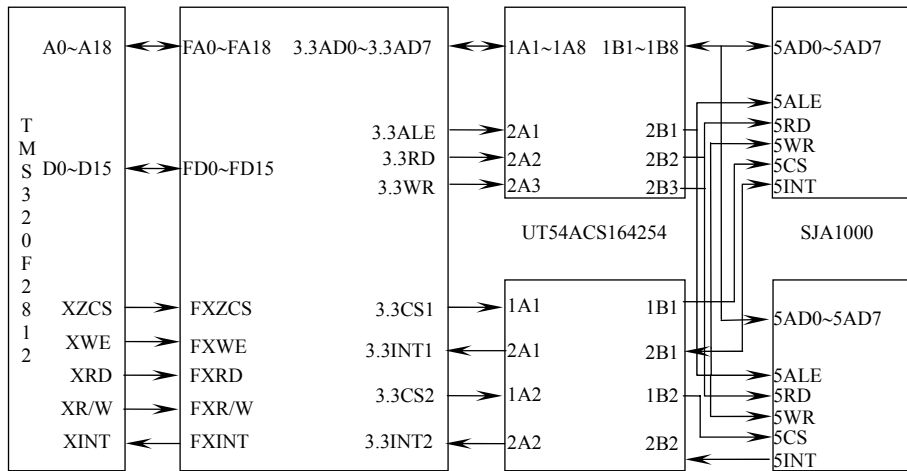


图 3 外扩 CAN 总线接口逻辑电路示意图

Fig.3 Logic diagram of the extended CAN bus interface

本文采用 UT54ACS164254 解决了 DSP 地址/数据线的分离与 SJA1000 地址/数据线共用的接口以及电平转换问题。使用 Xilinx FPGA 完成逻辑译码控制, 产生 SJA1000 的地址锁存信号 ALE、片选信号 CS 等, 即将 ALE、CS 及 RST 分别虚拟为存储器地址, 由 FPGA 根据 TMS320F2812 在读写控制时的访问地址产生相应的控制信号。SJA1000 的 INT 引脚也间接与 DSP 的 INT 相连, 从而实现中断方式的 CAN 通信。

2.2 GPS 秒脉冲

GPS 秒脉冲设计为 OC 形式输出, 采用二级管隔离控制信号和三级管, 可以有效防止三级管被击穿时对控制信号输出电路的高电压冲击, 采用双路驱动可以提供有效的备份手段。GPS 秒脉冲接口电路形式如图 4 所示。

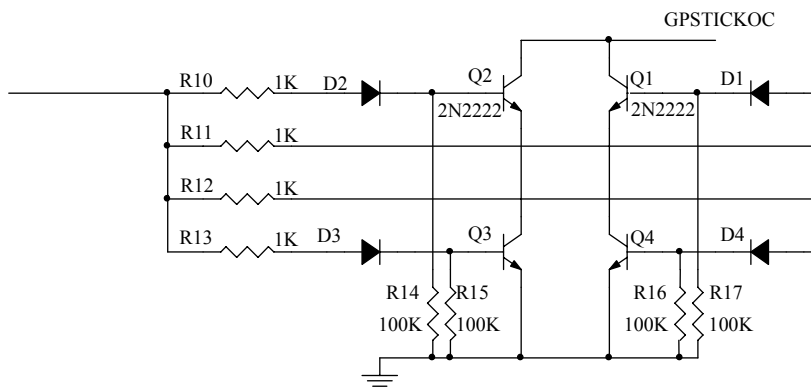


图 4 GPS 秒脉冲接口电路示意图

Fig.4 Interface circuit diagram of GPS second pulse

3 模飞测试平台软件设计

模飞测试平台软件由中心计算机模拟器 DSP 程序、平台 GPS 模拟器 DSP 程序和地面站遥测遥控终端控制显示 VC 程序三部分组成。

中心计算机模拟器 DSP 程序和平台 GPS 模拟器 DSP 程序软件基本一致, 软件核心思想是进行 CAN 总线数据转发: 通过片上 CAN 总线接收地面站遥控指令及参数并转发至外扩双 CAN 总线至相机综合管理

单元;通过外扩双CAN总线接收相机综合管理单元遥测参数转发至片上CAN总线,至地面站遥测遥控终端模拟器进行解析、显示和存储。

基于TMS320F2812内嵌eCAN模块的CAN总线通信相关软件设计参考文献[7-8],本文重点介绍地面站遥测遥控终端模拟器VC软件设计。

3.1 软件总体结构

地面站遥测遥控终端模拟器采用Visual C++ 6.0进行开发,基于PC机的CAN总线接口采用USBCAN-2A/II型CAN分析仪实现。在VC主框架程序中添加其库函数ControlCAN.h、ControlCAN.lib、ControlCAN.dll和一个文件夹kerneldlls后,即可通过OpenDevice()、CloseDevice()、InitCan()、StartCAN()、Transmit()、Receive()等函数完成与平台星务计算机模拟器和GPS模拟器进行CAN总线通信。

地面站遥测遥控终端中测试指令发送、遥测参数解析、遥测参数显示与存储等各自独立任务均采用多线程技术实现并行处理,避免某项任务长时间占用CPU时间以保证系统的实时性。

3.2 姿态轨道数据生成与发送

卫星轨道六根数参数主要从STK中仿真提取,然后利用Matlab引擎和STK联立,从STK中提取WGS84坐标系下的速度矢量和位置矢量,星下点经纬度以及惯性坐标系下的速度矢量和位置矢量,利用此进行相机像移速度矢量的计算。

系统姿态数据生成采用模型仿真和离线数据读入的方式,利用Matlab软件Simulink模块搭建姿态仿真系统,构建卫星姿态动力学和运动学模型,选择控制敏感器及执行机构并建立其传递函数关系。按照飞行器的姿态控制算法对该飞行器姿态进行控制,Matlab的仿真结果会存储三轴姿态角和姿态角速度数据。该仿真系统周期可以通过编程改变,以适应各种控制模式需要。

最终姿态及轨道数据以文本形式分别存储在地面站遥测遥控终端模拟器PC机中,并且定时每秒发送一次,本系统直接使用定时器函数SetTimer()实现在Windows下定时。轨道数据发送示例代码如下:

```
UINT CTestDlg:: DataSendThread(void *param)
{ //轨道数据发送线程
  BYTE Content3[52];
  CString StrFileName="E:\\orbit.txt";
  CFile MyFile;
  SetTimer(1,1000,NULL);
  if(MyFile.Open(StrFileName,CFile::modeRead,NULL))
  { //读取并存储轨道参数
    MyFile.Seek(mm*52,0);
    MyFile.Read(Content4,52);
    mm++;
  }
  //轨道参数CAN总线格式转换过程略
  m_EditSendData=tmpdata; //待发送数据
  m_EditSendFrmID="tmpid"; //设置发送id
  OnButtonSend(); //启动CAN总线发送
}
```

3.3 控制指令发送

控制指令在VC界面显示为不同的指令按钮,进行测试时通过点击不同按钮从而触发对应的指令发送函数。下面以CCD级数设置指令示例代码说明带参控制指令发送过程,不带参指令与此类似。

```
UINT CTestDlg::CCDDegSetThread(void *param)
{ //CCD级数设置指令发送线程
```

```

CString ccdxz,ccdjs;
m_EditSendData="AA 11 66 "; // 指令头
//读取对话框参数判断所选 CCD
if(m_CCDXUANZE1.GetCurSel()==0)
xz="11"; // 选择 CCD1
else if(m_CCDXUANZE1.GetCurSel()==1)
xz="22"; // 选择 CCD2
//读取对话框参数判断 CCD 设置级数
if(m_CCDJISHU.GetCurSel()==0)
js="10"; // 设置为 16 级
else if(m_CCDJISHU.GetCurSel()==1)
js="20"; // 设置为 32 级
//组织数据域内容
m_EditSendData=m_EditSendData+xz+js;
m_EditSendFrmID=" tmpid"; // 设置发送 id
OnButtonSend();// 启动 CAN 总线发送
}
    
```

3.4 遥测参数数据库存储

由于相机综合管理单元的测试阶段显示在遥测遥控终端模拟器显示界面上的数据信息只是反映航天相机当前状态,测试人员无法做出完整判断。因此要将测试阶段所采集得到的航天相机遥测参数以一定格式保存下来,方便测试人员对该测试时段的相机状态进行总体分析与判断。依据该需求同时便于与其它分析软件接口,本文采用 ADO 数据库访问技术并配合多线程程序设计,将现场采集的遥测参数存储在 Access 数据库中。

数据库记录分为两部分,数据库建立及初始化和数据库记录线程。程序流程图如图 5 所示。

数据库建立及初始化代码如下:

```

CDAODatabase m_MyDB;
//建立原始mdb数据库文件
m_MyDB.Create("C:\\Datebase.mdb");
CDAOTableDef Tab (&m_MyDB);
Tab.Create("热控试验数据");
//建立记录序号、记录时间、记录温度值
Tab.CreateField("IDS",dbLong,dbAutoIncrField);
Tab.CreateField("TIME",dbText,dbVariableField); Tab.CreateField("T01",dbSingle,dbUpdatableField);
//可根据任务需要建立对应记录,其它数据略
Tab.Append();
Tab.Close();
m_MyDB.Close();
    
```

数据库记录过程是采用 Open()、AddNew()、Update()以及 MoveLast()等函数打开数据库记录集,增加并更新数据库记录,移动指针至下一次记录位置。数据库记录过程示例代码略。

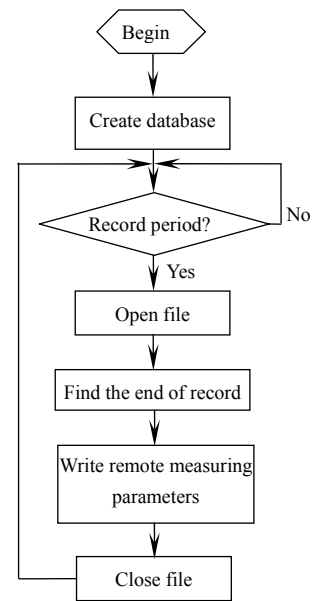


图 5 数据库记录程序流程图

Fig.5 Program flow chart of database record

4 实际应用及遥测参数显示

平台中心计算机模拟器与平台 GPS 模拟器采用一体化设计手段, 共用机壳结构, 参与测试设备及设备间连接关系如图 6 所示。

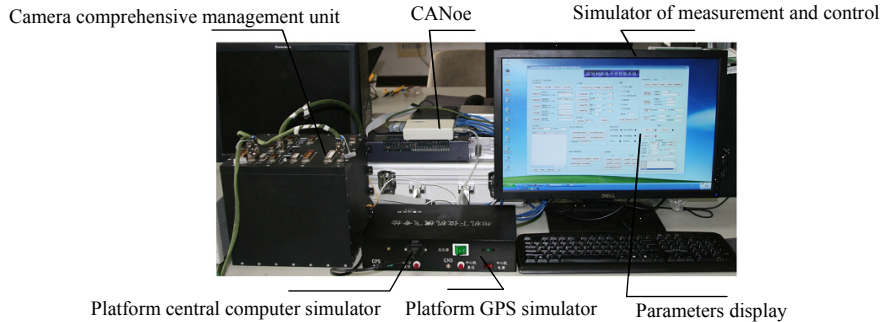


图 6 模飞专检硬件设备

Fig.6 Hardware of simulation orbit test platform

通过地面站遥测遥控终端模拟器指令发送界面可向相机综合管理单元发送 CCD 拍照控制、CCD 参数设置、调焦控制、软件注入、热控模式设置及热控门限类设置等指令用于相机控制器和热控控制器功能测试, 并分别通过图 7、图 8 所示的相机控制器和热控控制器遥测参数显示界面对遥测参数进行判读以判断设备工作状态, 同时该遥测参数以文本形式进行存储, 方便回放遥测参数进行故障定位。



图 7 相机控制器遥测参数显示界面

Fig.7 Parameter display of camera main controller



图 8 热控控制器遥测参数显示界面

Fig.8 Parameter display of camera thermal controller

5 结论

本文针对目前航天相机地面测试设备无法满足模拟相机在轨长期运行过程中卫星姿态及轨道参数连续变化时相机综合管理单元的测试需求, 提出了一种新型的航天光学相机模拟在轨飞行测试平台, 详细说明了该测试平台的硬件组成及设计原理, 并给出关键硬件参考电路。此外, 结合实际测试应用有针对性地给出了姿态轨道数据生成与发送、测试指令发送和遥测参数数据库存储等关键软件设计参考代码。

该系统目前已成功应用于某型号航天相机综合管理单元的测试工作, 实现了相机在轨的全过程模拟, 研发人员根据测试结果能够及时发现问题并完善设计, 得到了很好的测试效果。实践证明本文所提出的模飞测试平台具备模拟全部星上指令及数据接口的能力, 可对相机进行综合测试, 适用于相机各个测试阶段, 既能提高相机研发效率和可靠性, 又能降低研制成本, 填补了我国航天光学相机在轨模拟飞行测试的空白, 具有广泛的实际工程应用价值。

参考文献:

- [1] Gupta M, Bastani F, Khan L, *et al.* Rapid Goal-oriented Automated Software Testing Using MEA-Graph Planning [J]. **Software Quality Journal**(S0963-9314), 2007, **15**(3): 241-263.
- [2] Cunning S J, Rozenblit J W. Automating Test Generation for Discrete Event Oriented Embedded Systems [J]. **Journal of Intelligent and Robotic System**(S0921-0296), 2004, **41**: 87-112.
- [3] 王栋, 胡君. 空间光学遥感器控制系统的实时仿真测试 [J]. 计算机工程, 2010, **36**(9): 10-13.
WANG Dong, HU Jun. Real-time Simulation and Detection for Control System of Space Optics Remote Sensing Device [J]. **Computer Engineering**, 2010, **36**(9): 10-13.
- [4] 代霜, 徐抒岩. 空间遥感相机电子学仿真专家系统 [J]. 微计算机信息, 2006, **22**(1): 232-234.
DAI Shuang, XU Shu-yan. Aerial Remote Camera Electrical Simulation Expert System [J]. **Microcomputer Information**, 2006, **22**(1): 232-234.
- [5] 陈佳桂, 曾岳南, 罗彬. 基于 TMS320F2812 DSP 的 CAN 总线通信系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2007, **20**(5): 14-15.
CHEN Jia-gui, ZENG Yue-nan, LUO Bin. Communicated System Design Based on TMS320F2812 DSP With CANBus [J]. **Industrial Control Computer**, 2007, **20**(5): 14-15.
- [6] 李迎, 孙亚飞. 基于 TMS320F2812 的 CAN 总线接口通用电模拟器研制 [J]. 宇航学报, 2009, **30**(6): 2328-2333.
LI Ying, SUN Ya-fei. Development of General Purpose Electric Simulator Based on TMS320F2812 and CAN-Bus Controller [J]. **Journal of Astronautics**, 2009, **30**(6): 2328-2333.
- [7] 佟俐, 潘宏霞, 胡田. 基于 TMS320F2812 的 CAN 总线通信系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2008, **10**(2): 36-38.
TONG Li, PAN Hong-xia, HU Tian. Design of CAN Bus Communication System Based on TM S320F2812 [J]. **Instrument Technique and Sensor**, 2008, **10**(2): 36-38.
- [8] 李杨, 乔毅, 吴化柱. TMS320F2812 芯片中的 CAN 口 C 语言通信编程 [J]. 控制工程, 2004, **11**(2): 168-170.
LI Yang, QIAO Yi, WU Hua-zhu. Communication Program of CAN Port of TMS320F2812 Chip [J]. **Control Engineering of China**, 2004, **11**(2): 168-170.