

# 基于TSC695F的高可靠航天相机控制器设计

徐伟<sup>1</sup>, 谭超<sup>2</sup>, 王绍举<sup>1</sup>, 金光<sup>1</sup>

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春130033; 2. 山东航天电子技术研究所, 烟台264000)

**摘要:** 针对传统相机控制器已无法满足航天相机更多的任务需求和更高的可靠性要求, 本文根据某实际型号项目应用背景提出了一种以TSC695F为核心处理器, FPGA辅助其进行功能及外围接口扩展的新型高可靠航天相机控制器设计方案, 并详细阐述了系统的组成和软硬件设计。结合航天光学相机模拟在轨飞行测试平台进行的大量测试, 结果表明, 本相机控制器在硬件设计简化和程序映像组织优化的同时工作稳定、可靠, 为新一代航天相机控制器设计提供了新的思路。

**关键词:** 航天相机; 相机控制器; TSC695F; FPGA

中图分类号: TJ760.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2011)03-0028-05

## Design of High Reliability Aerospace Camera Controller Based on TSC695F

XU Wei<sup>1</sup>, TAN Chao<sup>2</sup>, WANG Shaoju<sup>1</sup>, JIN Guang<sup>1</sup>

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033;

2. Shandong Institute of Space Electronic Technology, Yantai 264000)

**Abstract:** As the traditional camera controller cannot satisfy the requirement of aerospace camera for further task and higher reliability, this paper put forward a new design method for high reliability aerospace camera controller which uses TSC695F as kernel CPU with the assistant of FPGA for extended function and interface based on a practical project. The composing of the system has been illuminated, the software and hardware design has been given out at the same time. The high reliability aerospace camera controller has been tested with the simulation orbit test platform. The results show that the camera controller mentioned in this paper not only predigest the hardware design but also optimize the organization of software image. The controller works with high stabilization and reliability, it provides a new idea for new-style aerospace camera controller design.

**Key words:** aerospace camera; camera controller; TSC695F; FPGA

航天光学相机作为空间关键有效载荷, 主要完成对地测绘、地形勘察、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。相机控制器是航天光学相机电子学系统的核心, 在轨负责航天光学相机的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。

到目前为止, 各科研单位在航天相机控制器的研制上采用了多种型号的处理器的, 如早期的8086和

386EX, 这两款处理器现已停产<sup>[1]</sup>, 前者可靠性高但处理能力有限, 后者处理能力较强但可靠性低。中期由于DSP的不断发展, 陆续有型号应用TMS320C30、VC33以及VC5416等处理能力较强的DSP<sup>[2,3]</sup>, 但上述DSP国内无法采购到具备抗辐照指标的芯片, 因此对于在轨工作时间短, 不长加电的航天相机控制器来说勉强适合。目前, 随着航天相机在轨任务的增加、功能的增强、集成化及复杂程度越来越高, 可靠性一般的DSP将不再胜任, 而基于SPARC V7结构的TSC695F凭借其优异的高可靠

收稿日期: 2011-07-07

基金项目: 国家863计划项目

作者简介: 徐伟(1981-) 男, 博士, 副研究员, 主要从事高可靠航天相机控制器的设计研究, E-mail: xwciomp@126.com。

性,已逐渐成为新一代航天相机控制器应用的首选。

### 1 TSC695F 结构及性能

基于SPARC V7结构的TSC695F是一款高集成度、高性能的32位RSIC指令集的嵌入式微处理器,其采用0.5 μm抗辐照(≥300Krad)增强CMOS工艺生产,内部集成了内部/外部总线奇偶校验和外部总线EDAC纠错检错以支持容错功能<sup>[4]</sup>。

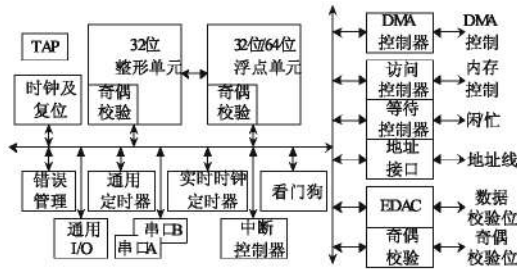


图1 TSC695F 功能模块框图

Fig.1 Chart of TSC695F functional module

除上述内容外,其主要性能和资源如下:

主频:25MIPs/5Mflops

1个高可靠性看门狗;1个通用定时器;1个实时时钟定时器;1个看门狗定时器;5个外部中断;2个全双工异步通信串口。

此外,TSC695F具备陷阱TRAP能力,能够监测到处理器内部总线错误。

### 2 航天相机控制器硬件设计

#### 2.1 航天相机控制器功能

航天相机控制器作为航天相机电子学系统的独立单元,主要具备以下功能:

- 1.通过双CAN总线接收飞行器中心计算机指令和参数并返回相机工程遥测参数;
- 2.根据飞行器轨道及姿态参数实时计算像移速度矢量及TDI CCD行转移控制量;
- 3.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;
- 4.通过RS422接口实现与热控控制器、编码器和CCD成像子系统之间的通信;
- 5.支持软件在轨重注。

#### 2.2 航天相机控制器组成

航天相机控制器核心单元主要由TSC695F和FPGA组成,另外还包括一些外围的辅助电路,如引导程序存储器PROM、应用程序存储器E<sup>2</sup>PROM、数据存储器SRAM以及大容量电子地图存储器

FLASH等,系统结构框图如图2所示。

其中FPGA选用Actel公司的反熔丝系列器件AX500PQ208I,该芯片有较丰富的可配置逻辑模块且不需要外挂存储器,能够有效避免空间辐射的干扰。在整个相机控制器系统中FPGA相当于DSP的宏功能协处理器,通过数据总线和地址总线与TSC695F相连,接收来自TSC695F的控制指令,实现外围接口电路扩展,辅助TSC695F实现数据通信和控制。TSC695F外围存储器均选用具有抗辐照加固指标的3D-PLUS公司的相关产品。

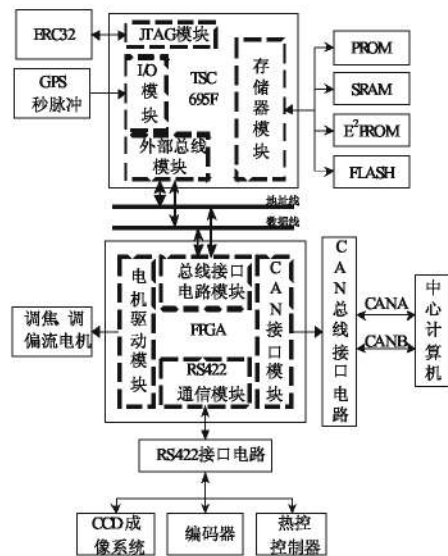


图2 相机控制器系统结构框图

Fig.2 System configuration of camera controller

#### 2.3 航天相机控制器接口电路设计

##### 2.3.1 外扩存储器

TSC695F内部不具备存储空间,均需要外扩存储器,包括32KB引导程序存储器PROM、2MB数据存储器SRAM、2MB应用程序存储器E<sup>2</sup>PROM及64MB电子地图存储器FLASH。

表1 存储器类型及组合方式

Tab.1 Memories types and combination

类型(容量)		SRAM (2MB)	E <sup>2</sup> PROM (2MB)	FLASH
存储器	规格	512K×32bit	512K×8bit	16M×16bit
	数量	1	4	2
EDAC 存储器	规格	512K×8bit	512K×8bit	16M×16bit
	数量	1	1	1

TSC695F可以采用8位或40位引导模式,为便于存储器选型,本系统采用32K×8bit PROM存储器作为引导程序存储器。此外,为保证存储器在轨工作的可靠性,除引导程序存储器外均采用

3D-PLUS公司高可靠抗辐照存储器。具体存储器类型及组合方式如表1所示。

存储器EDAC校验数据为CB0-CB6、DPAR,该校验数据写入时由TSC695F自动生成,读出时由TSC695F自动校验。值得注意的是E<sup>2</sup>PROM解保护和正常数据读写应分配不同的地址空间,片选信号由FPGA译码后送出。

### 2.3.2 外扩CAN总线

相机控制器需要另外扩充2路星上标准CAN总线,即采用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TSC695F采用地址线和数据线分离的设计方法,需进行接口逻辑转换,同时FPGA与SJA1000之间的电平不一致。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<sup>[5]</sup>。外扩双CAN总线结构逻辑框图如图3所示。

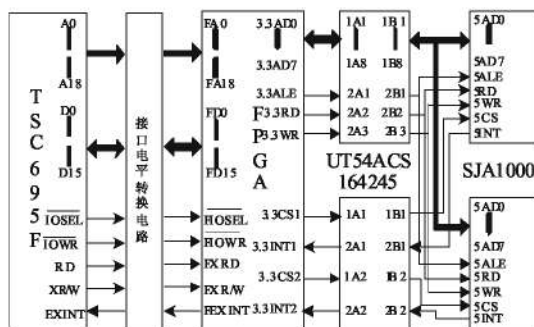


图3 外扩CAN总线接口逻辑电路示意图

Fig.3 Sketch map of CAN interface logic circuit

该相机控制器使用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TSC695F在读写控制时的访问地址产生相应的控制信号。SJA1000的INT引脚也通过FPGA间接与TSC695F的EXINT相连,从而实现中断方式的CAN通信。此外,该相机控制器采用UT54ACS164245解决了FPGA与SJA1000电平不匹配问题。TSC695F与FPGA之间也需要进行电平转换,转换方式类似。

### 2.3.3 其它硬件设计

相机控制器二次电源及调焦、调偏流功率驱动等外围电路分别由对应的功能扩展板提供,相机控制器与其它功能扩展板通过底板进行集成。该相机

控制器目前已完成高低温、热循环、热真空、随机振动、正弦振动、电磁兼容性等各项环境试验,工作状态良好。

## 3 高可靠航天相机控制器软件设计

基于TSC695F的高可靠航天相机控制器,其应用程序以多任务方式运行于嵌入式实时操作系统VxWorks中,本文所涉及的某型号航天相机的根据实际硬件配置情况,充分考虑到系统可靠性,将E<sup>2</sup>PROM存储空间等分为4份,前3个存储空间存储有3个版本的应用程序,第4个存储空间为重注软件预留空间。存储器空间布局如表2所示<sup>[6]</sup>。

表2 存储空间布局

Tab.2 Distribution of memory space

存储器	存储内容
PROM	汇编级启动代码
	C语言级启动代码
	空白
E <sup>2</sup> PROM	应用程序版本1 (RD ONLY)
	应用程序版本2 (RD ONLY)
	应用程序版本3 (RD ONLY)
	重注软件版本 (RD and WR) 拷贝至此的应用程序代码
SRAM	SRAM .data .bss 堆栈空间 TRAP表

### 3.1 引导程序设计

相机控制器引导程序代码存放在PROM中,为加电后最初运行的程序,主要完成系统硬件初始化、操作系统和应用程序的加载与注入操作。启动代码主要包含两大部分:汇编级硬件初始化程序BOOTS.s和C语言级引导程序BOOTC.c。

汇编级硬件初始化程序BOOTS.s,其主要功能是实现系统硬件的基本初始化、堆栈初始化、中断向量的定义以及设置一些重要寄存器的初始值,并完成应用代码加载前的SRAM初始化,这种依赖于CPU体系结构的代码采用汇编语言实现,代码短小精悍。

C语言级引导程序BOOTC.c,在汇编级硬件初始化完毕后被调用,可以实现复杂的功能且代码具有更好的可读性和可移植性。本型号相机控制器中,该段代码用于判断所需引导应用程序的版本,并将E<sup>2</sup>PROM中相应版本的应用程序重定向至SRAM中,同时还负责完成软件代码重注功能。C语言级引导程序共包括三种状态。



等待状态:该状态为C语言引导程序最初状态,若在该状态下连续10s未收到平台任何加载指令,则切换至应用程序加载状态并依照默认版本加载应用程序;

应用程序加载状态:该状态负责将某版本应用程序从E<sup>2</sup>PROM重新定位至SRAM中,随后跳转至应用程序中执行,该状态结束后,启动代码任务完成;

软件重注状态:该状态负责完成软件重注操作,将CAN总线发送过来的重注数据写入至E<sup>2</sup>PROM指定代码区间。随后返回至等待状态,等待加载相应的应用程序并调转执行。

### 3.2 应用程序设计

本型号高可靠航天相机控制器应用程序运行于多任务实时操作系统VxWorks上,依照任务要求划分为各个功能模块,每个独立功能模块为独立运行任务,任务间采用信号量进行同步。相机控制器多任务应用程序功能模块组成框图如图4所示。

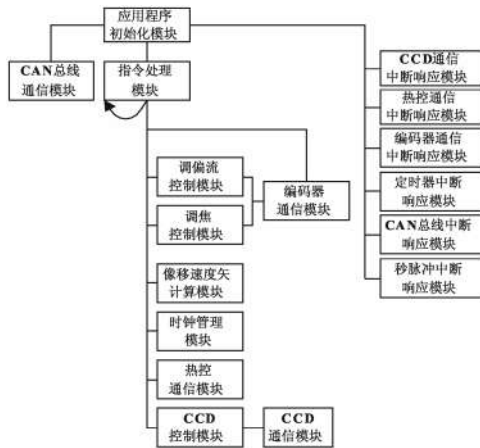


图4 多任务应用程序功能模块组成框图

Fig.4 Chart of multi tasks application software

## 4 实际应用与系统测试

高可靠航天相机控制器在研制过程中和交付总体总装前利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”)对相机控制器各项功能进行了长期的运行监控与大量的仿真测试<sup>[7][8]</sup>。

### 4.1 模飞测试平台组成与功能

该测试平台除地面站遥测遥控终端可实时解析并显示遥测参数外,还可为相机控制器供在轨飞行所需的姿态及轨道参数,模拟相机控制器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。

模飞测试平台由三大部分组成:平台中心机模拟器、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5所示。

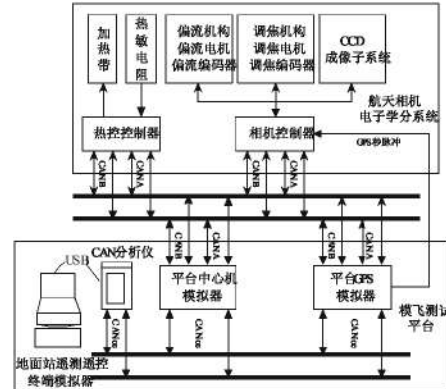


图5 模飞测试平台接口示意图

Fig.5 Interface of simulation orbit test platform

平台中心机模拟器主要功能为接收并转发地面站遥测遥控终端模拟器发送的姿态仿真数据源信息及相机控制器相关指令信息;接收并转发相机控制器遥测参数帧及应答帧。

平台GPS模拟器的主要功能为接收并转发地面站遥测遥控终端模拟器发送的轨道仿真数据源信息,同时提供OC形式的秒脉冲信号。

地面站遥测遥控终端模拟器负责向平台中心机模拟器和平台GPS模拟器提供姿态(Matlab仿真得到)及轨道数据源(STK仿真得到),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。

### 4.2 模飞测试结果

平台中心机模拟器与平台GPS模拟器采用一体化设计手段,共用机壳结构,相机控制器与模飞测试平台间连接关系如图6所示。

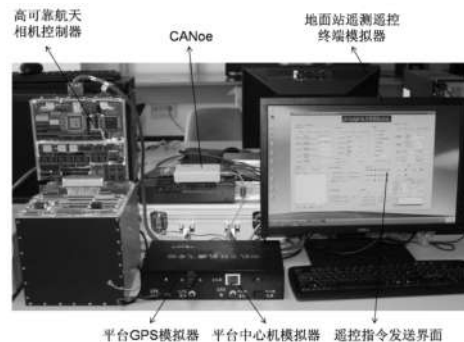


图6 测试连接关系

Fig.6 Connect relation for test



图7 相机控制器遥测参数显示界面

Fig.7 Telemetric parameters of camera controller

通过地面站遥测遥控终端模拟器指令发送界面可向相机控制器发送CCD拍照控制、CCD参数设置、调焦控制、软件注入等指令用于相机控制器功能测试,通过显示界面切换可得到图7所示的相机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。

### 5 结论

本文以实际工程项目应用出发,针对目前航天相机控制器任务功能复杂、可靠性要求高的特点,提出了采用高可靠抗辐照 TSC695F 实现核心控制并通过反熔丝 FPGA 辅助实现接口扩展和端口映射的高可靠航天相机控制器软硬件设计方案,该方案充分发挥了 TSC695F 高可靠性和 FPGA 高扩展性的双重优势,简化系统外围电路可节省硬件布线空间的同时,优化了程序映像的组织方式,对于重量要求苛刻且可靠性指标要求极高的航天相机控制器来说优势明显。

目前依据该方案研制的某型号航天相机控制器已利用航天光学相机模拟在轨飞行测试平台进行了大量测试工作,实现了相机控制器在轨的全过程模拟,工作正常并完全满足任务要求并通过各项环境

试验。实践证明本文所提出的基于 TSC695F 的高可靠航天相机控制器具有广泛的实际工程应用价值,为新一代航天相机控制系统设计提供了新的思路。

### 参考文献

- [1] 华更新,王国良,郭树玲,等.386EX CPU抗辐射能力研究[J].控制工程,2002,5(2): 7-11.
- [2] 马天波,郭永飞,宁永慧.基于DSP和FPGA的光学遥感器控制器系统设计[J].光机电信息,2010,27(2): 23-27.
- [3] 黄钰,郭伟强,金龙旭.基于FPGA的航天相机控制器接口的设计[J].微计算机信息,2009,25(3): 200-202.
- [4] 凌幸华.基于TSC695F的高可靠星载嵌入式系统设计与实现[D].复旦大学硕士学位论文,2009,3:14-16.
- [5] 周新发,刘群,褚南,等.CAN总线技术在星载控制计算机中的应用研究[J].控制工程,2005,11(5): 33-39.
- [6] Wei Xu. Bootstrap Loader Design of Aerospace Payload Controller Based on TSC695F [J]. IEEE CINC, 2010,9:60-64.
- [7] 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.
- [8] 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.