

基于 FPGA 的航天相机控制器接口的设计

Design of Interface of Astronautic Camera Controller Based on FPGA

(1.中科院长春光学精密机械与物理研究所 2.中国科学院研究生院) 黄 钰^{1,2} 郭伟强¹ 金龙旭¹

HUANG Yu GUO Wei-qiang JIN Long-xu

摘要: 本文分析了航天相机控制器的构成与功能, 并利用 FPGA 设计实现了相机控制器的外围接口, 包括异步串行通讯接口、计时器接口、步进电机控制器接口, 并给出了仿真结果。程序下载到 FPGA 芯片中后, 控制器工作稳定、可靠, 通信数据完全正确。

关键词: 航天相机; 控制器; 接口; FPGA

中图分类号: TP332 **文献标识码:** B

Abstract: This paper describes the structure and function of Astronautic Camera Controller. The Peripheral Interface of Astronautic Camera Controller, which included UART, calculagraph, stepmotor, were implemented on FPGA. The simulation result is also given in the paper. After the program is downloaded in the FPGA chip, the controller works well and the data is totally correct.

Key words: Astronautic Camera; Controller; Interface; FPGA

1 引言

航天相机是航天遥感技术中最重要的遥感设备之一。航天遥感技术是一项应用广泛的高科技, 它具有可重复覆盖、连续观测、视点高、视域广、获取数据快的特点。近些年来, 航天遥感技术的应用范围不断扩大, 广泛应用于气象预报、资源管理、农业调查、环境监测以及军事照相侦查等诸多领域。

在航天相机的主体结构中, 相机控制器负责相机功能控制和运行管理, 是其重要的组成部分。本文介绍的相机控制器整体采用 FPGA+DSP 结构, 这种结构将 DSP 和 FPGA 两者的优点有机的结合在一起, 兼顾了速度和灵活, 完全符合航天相机中数据量大, 对处理速度要求高的信号处理要求。在整个系统中 FPGA 相当于 DSP 的宏功能协处理器, 用以实现相机控制器与外围设备的接口。本文介绍了一种基于 FPGA 的控制器外围接口的设计方案。

2 控制器系统的构成与功能

2.1 控制器系统的构成:

控制器整体系统主要由 DSP 和 FPGA 组成, 另外还包括一些外围的辅助电路, 如存储器以及 FLASH ROM 等, 系统结构框图如图 1 所示。

其中 FPGA 选用 Xilinx 公司的 Virtex 系列器件 XCV300, 该芯片有丰富的可配置逻辑模块 CLBS、大量的触发器以及内置的不占系统资源的块 RAM。系统最大工作频率可达 200MHz, 兼容多种接口标准, 且有相应的航天级产品。是目前市场上为数不多的能达到此项要求的高性能可编程逻辑器件。FLASH 型存储器 MMFL64002 作为程序存储器。

DSP 选用 TI 公司的 TMS320VC541, 这是一款 16bit 定点高性能 DSP, 它采用先进的哈佛结构和 8 条总线, 速率最高达 160Mys。DSP 处理器采用外部总线接口方式访问 FPGA, 即共享数据总线、地址总线及控制总线, 当输入信号进入 FPGA 时, FPGA 对地址总线进行译码, 然后选择内部寄存器, 同时通过三

态门进行数据总线隔离, 借助控制总线写入或读取寄存器内容。

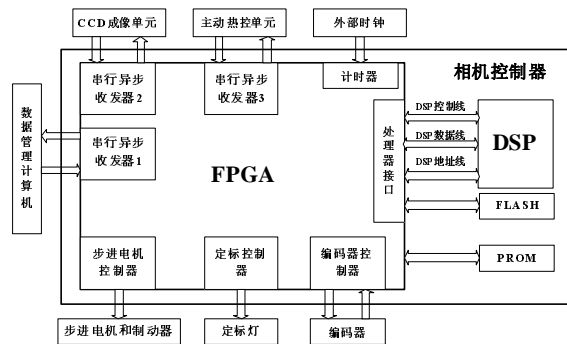


图 1 相机控制器系统结构框图

2.2 控制器的主要功能

相机控制器作为航天相机电子子系统的一个独立的控制单元, 主要有以下两个功能:

1. 通过一条 RS422 总线与卫星数据管理计算机连接, 接收来自卫星数据管理计算机注入的指令和参数, 并根据卫星轨道参数、姿态参数计算像移速度矢量和偏流角参数, 同时, 返回表征相机工作状态的遥测参数;

2. 通过 RS422 总线向 CCD 成像单元和主动热控单元发送控制指令和参数, 同时, 接收 CCD 成像单元和主动热控单元的工程参数。

实现这一系列任务需要大量的 I/O 端口和繁杂的总线连接, 所以在控制单元中引入 FPGA 器件, 以减轻处理器工作负荷、降低处理器端总线连接复杂性、增加数据通讯实时性、整体提高系统性能和工作可靠性。

3 控制器接口设计

从图 1 相机控制器系统结构框图中可以看出, 控制器外部接口主要包括: 与卫星数据管理计算机、CCD 成像单元、主动热控单元通讯的异步串行通讯接口; 计时器接口; 步进电机控制器接口; 编码器控制器接口。在本文中主要介绍异步串行通讯

接口、计时器接口和步进电机控制器接口。

3.1 异步串行通讯接口：

UART(即 Universal Asynchronous Receiver Transmitter 通用异步收发器)是应用广泛的串行数据传输协议,它的通信协议十分简单,以低电平作为起始位(Start Bit),高电平作为停止位(Stop Bit),中间可传输 5~8 比特数据和 1 比特奇偶校验位,最后是停止位。奇偶校验位的有无和数据比特的长度由通信双方约定。一帧数据传输完毕后可以继续传输下一帧数据,也可以继续保持为高电平,持续时间可以任意长。本文设计的相机控制器异步串行通讯时低位在前,高位在后,数据格式为 1 位起始位,8 位数据位,1 位奇校验位,1 位停止位。

异步串行通讯接口是整个相机控制器与外部进行通信的关键模块,由发送 Txd 和 Rxd 接收两个模块构成,其逻辑框图见图 2。其中 sdi 为串行数据接收输入, dout[7:0]为并行数据输出端, wrn 为写控制信号,为 1 时禁止数据输入,为 0 时允许输入, reset 为系统复位输入端, din[7:0]为 8 位并行数据的输入端,转换为串行数据后从 sdo 输出。

发送模块检测到处理器写信号出现跳变时,启动发送过程,首先将并行数据锁存至写缓冲寄存器,延迟 2 个时钟周期后,启动发送时钟,然后使用并转串移位寄存器,按位移出并发送数据,接收模块在空闲状态下,检测到输入信号低电平持续 5 个时钟周期,认为出现起始位,启动接收过程,使用串转并移位寄存器,将串行数据转换成并行数据。

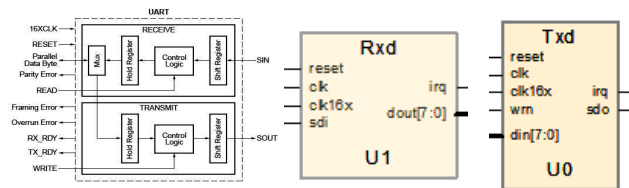


图2 通用异步串行通讯接口

3.2 计时器接口

卫星数据管理计算机提供的时钟为 1KHz 外部时钟,相机控制器中应设计一个 16 位计时器,用于系统时间校准,以同步控制器与外围设备。

计时器应该有三种控制命令,即启动计时器、读取计时器和停止计时器。当检测到处理器写信号出现低电平时,启动内部计时器,计时器启动后,自动检测外部时钟跳变,当检测到外部时钟出现上升沿时,计时器进行向上自加 1,直至 16 位计数器溢出,自动清零,重新开始计数,直至检测到读信号出上升沿,停止内部计时器。计数器计数值连接到处理器数据总线,接收到处理器发送的数据返回命令时,将计数值通过数据总线发送给处理器。计时器 Clock 接口框图见图 3。输入信号为处理器写信号 wrn、处理器读信号 rdn、外部时钟 clk。输出信号为本地时间码。

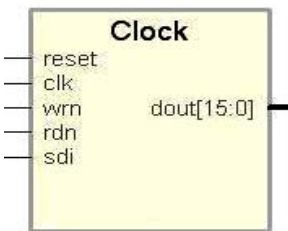


图3 计时器接口

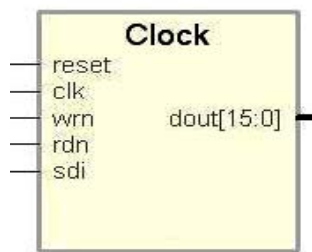


图4 步进电机控制器接口

3.3 步进电机控制器接口

步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构,在航天相机中通常作为调焦电机使用。当步进驱动器接收到一个脉冲信号,它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(称为“步距角”),它的旋转是以固定的角度一步一步运行的,所以可以通过控制脉冲频率来控制电机的速度和加速度,同时还可以控制脉冲“相位”来改变定子绕组的通电顺序,从而达到控制电机正反转的目的。

本系统选用的步进电机是四相的。步进电机工作在四相八拍方式,分正转和反转两种工作方式。当步进电机制动器吸合则失去自锁功能,步进电机可以工作,制动器断开则步进电机不可以工作。

当步进电机控制器检测到写信号出现跳变,将并行数据锁存至缓冲寄存器,首先对寄存器内容进行判读,有五种合法控制命令,制动器吸合、制动器断开、电机设置启动频率、电机正转以及电机反转,确定为合法控制命令后锁存控制信息,并依照接收到的控制信息控制步进电机和制动器。从处理器接收的输入数据中,高两位代表控制命令类型,低 14 位代表电机步数及启动频率,故电机步数最大值为 16384 步,电机启动频率最低值为 1.25KHz。步进电机控制器 Motor 接口见图 4,其中 din [15:0] 为处理器输入数据, wrn 为写信号,低电平有效, a、b、c、d 为四相位输出, brake_enga 为制动器驱动信号。

4 仿真验证

4.1 异步串行通讯接口

对发送模块进行仿真:当写信号出现低电平,将并行输入数据 57H 以串行方式发送出去。功能仿真见图 5A。

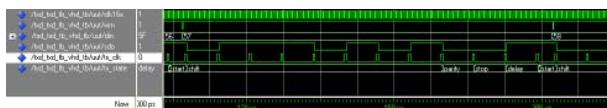
对接收模块进行仿真:当输入信号出现低电平,状态机启动,将串行数据转换成并行数据输出。功能仿真见图 5B。

4.2 计时器接口

处理器写信号出现低电平,启动计时器;处理器读信号出现低电平,停止计时器。功能仿真见图 5C。

4.3 电机控制接口

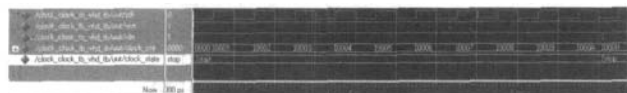
处理器数据输入为 08H,电机正向旋转 8 步,功能仿真见图 5D;处理器数据输入 412EH,电机反向旋转 302 步,功能仿真见图 5E。



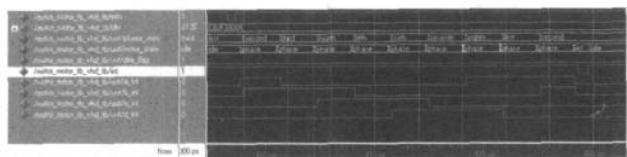
A 异步通讯接口发送模块功能仿真



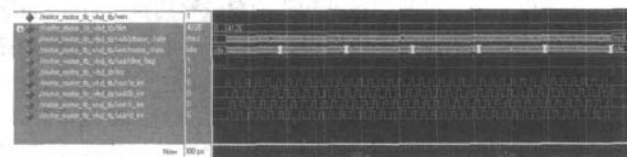
B 异步通讯接口接收模块功能仿真



C 计时器接口功能仿真



D 电机正向旋转功能仿真



E 电机反向旋转功能仿真

图 5 系统功能仿真

通过功能仿真可以看出相机控制器很好的完成了通讯、记时和对步进电机的控制等一系列工作,符合系统要求。仿真无误后,将程序下载到 FPGA 芯片中运行,结果系统工作稳定,可靠,通信数据完全正确。

5 结束语

本文的创新点是:一是建立了一种 FPGA+DSP 控制系统的模型,且硬件电路实现简单,开发周期短,同时也容易维护和扩展,为类似系统核心控制器的建立提供了范例;二是通过对 FPGA 进行模块化设计,实现了航天相机控制器与外部设备接口的连接,并经过仿真验证符合航天相机整体要求,完成了对航天相机的控制工作。

参考文献

- [1]Virtex 2.5V Field Programmable Gate Arrays Data Sheet.
- [2]陈耀和,VHDL 语言设计技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [3]杨大柱,基于 FPGA 的 UART 电路设计与仿真[J].微计算机信息,2007,5-2:212-213.
- [4]金元郁,李勇,李园园.基于 FPGA 的步进电机控制器的设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2007,3.

作者简介:黄钰(1983—),男(汉族),吉林省白山人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生,主要从事 FPGA 系统设计的研究。

Biography: HUANG Yu (1983—), Male (Han), Jilin Province. Study in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, major in researching work of System of FPGA.

(130033 吉林 长春 中科院长春光学精密机械与物理研究所)

黄钰 郭伟强 金龙旭

(100039 北京 中国科学院研究生院)黄钰

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China) HUANG Yu GUO Wei-qiang JIN Long-xu

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China) HUANG Yu

通讯地址: (130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号长光所空间光学部)黄钰

(收稿日期:2009.02.03)(修稿日期:2009.03.05)

(上接第 278 页)

4 结论

通过试验表明本文设计和实现的自由活塞式内燃发电机点火系统可行、有效,能够满足 FPGA 样机点火基本要求,整个设计和实现流程为进一步开发基于速度、压力等多种信号检测的微机控制点火系统的研制提供了宝贵的经验。

本文作者创新点是提出和实现了自由活塞发电机这一新型动力系统的点火系统设计方案,为整个自由活塞发电机样机的研制和试验奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]Atkinson C, Petreanu S, Clark N, et al. Numerical Simulation of a Two-Stroke Linear Engine-Alternator Combination [C]. SAE 990921, 1999.
- [2]Kleemann A P, Dabadie J C, Henriot S. Computational Design Studies for a High-Efficiency and Low-Emissions Free Piston Engine Prototype [C]. SAE 2004-01-2928, 2004.
- [3]Jorgen H. Analysis and Control of a Hybrid Vehicle Powered by a Free-Piston Energy Converter [D]. Sweden: Royal Institute of Technology, 2006.
- [4]Caresana F, Comodi G, Pelagalli L. Design Approach for a Two-Stroke, Free-Piston Engine for Electric Power Generation [C]. SAE 2004-32-0037, 2004.
- [5]夏必忠.往复式原动液压泵的机理研究[D].浙江:浙江大学, 2003.
- [6]李飞,叶佩青,张仕民.二冲程微型摆式内燃机试验点火系统的设计与实现[J].小型内燃机与摩托车, 2006, 35(4), 30-32.
- [7]张涛,马游春,张文栋.线性光耦 HCNR201 在正负电压测量上的应用[J].微计算机信息, 2007, 2-2: 297-298.

作者简介:肖翀(1981—),男,湖南永州人,博士生,主要从事复杂机电系统设计、仿真及测试研究。左正兴(1963—),男,河北石家庄人,北京理工大学教授,博士生导师,博士,主要从事车辆和动力系统研究。傅申(1984—),男,上海人,硕士生,主要从事控制系统设计研究。

Biography: XIAO Chong (1981—), male, Hu nan, Beijing institute of technology, Ph.D. candidate. Major: design, simulation and test of the Complex system.

(100081 北京 北京理工大学机械与车辆工程学院)肖翀 左正兴

(100081 北京 北京理工大学信息科学与技术学院)傅申

(School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing institute of technology, Beijing, 100081) XIAO Chong

ZUO Zheng-xing

(School of Information Science and Technology, Beijing institute of technology, Beijing, 100081) FU Shen DONG Lei

通讯地址: (100081 北京 北京理工大学机械与车辆工程学院 CAD 室)肖翀

(收稿日期:2009.02.03)(修稿日期:2009.03.05)

微计算机信息杂志 旬刊

每册定价:10 元 一年订价:360 元

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)