

# 基于多处理器的外部遥测模拟系统设计

何英<sup>1,2</sup>, 叶新<sup>1</sup>, 宋宝奇<sup>1</sup>, 方伟<sup>1</sup>, 张广伟<sup>1,2</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. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为实现地面模拟在轨飞行环境试验中星载仪器遥测信号的实时采集与显示, 设计了一种以单片机为数据处理器、FPGA 为采集控制器的多处理器外部遥测模拟系统, 实时采集和处理多路遥测信号, 并通过串口传输至上位机, 由上位机通过 VC 界面显示遥测信号曲线, 达到实时监测仪器工作状态的目的; 实验表明, 遥测信号中电压信号与正常工作值的偏差在 0.3 V 以内, 温度信号波动范围小于 0.1 °C, 系统运行稳定可靠, 满足仪器外部遥测系统的任务要求; 整个系统各模块功能明确, 易于扩展成复杂系统, 高效地实现更多的功能。

**关键词:** 遥测; 单片机; FPGA

## Design of Exterior Remote Measurement Simulation System Based on Microprocessor

He Ying<sup>1,2</sup>, Ye Xin<sup>1</sup>, Song Baoqi<sup>1</sup>, Fang Wei<sup>1</sup>, Zhang Guangwei<sup>1,2</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** In order to sample and display the remote measurement signals of satellite payload during the space environment experiment mocked on the land, an exterior remote measurement simulation system was designed based on MCU and FPGA. The system samples and resolves the remote measurement signals and transmits the data to PC via serial port, and displays the curves of the signals by VC interface to monitor the working state of satellite payload. The experiment shows that the standard deviation between each voltage remote measurement signal and the normal value is 0.3V, and for the temperature signals the standard deviation is 0.1°C. The data shows that the system runs stably and reliably and satisfies the demand of remote measurement for satellite payload. The whole system works effectively and is easy to extend the system to achieve more functions.

**Key words:** remote measurement; MCU; FPGA

## 0 引言

太阳辐射是地球上最重要的外部能量来源, 它的微小变化将导致全球范围内能量、水、碳和氮循环过程的变动, 引起全球范围内地球环境和气候的变化。高精度的太阳辐射在轨监测, 对长久评估太阳辐射对中长期气候的影响具有深远的意义<sup>[1]</sup>。太阳辐射监测仪 (SIM) 是风云三号太阳同步气象卫星上的遥感仪器之一, 其主要任务是监测太阳辐照度的变化, 为气候变化研究提供精确的太阳辐射资料。太阳辐射监测仪在轨工作时, 由卫星平台的遥测系统完成对仪器遥测信号的采集, 但是在太阳辐射监测仪的地面环境模拟试验中, 需要设计配套的外部遥测模拟系统, 实时采集和显示遥测信号, 监测仪器工作状态, 及时发现异常情况, 保证仪器的正常工作。

本文利用单片机智能控制性能好以及 FPGA 高速稳定、抗干扰能力强的优点<sup>[2]</sup>, 设计了一种基于多处理器的外部遥测模拟系统。整个系统功能明确, 易于扩展, 为实时监测太阳辐

射监测仪的工作状态提供了保障。

## 1 系统工作原理

太阳辐射监测仪主要由探测头部和电控箱组成, 绝对辐射计和热电信号放大器安装在探测头部, 而测控系统则集中在电控箱内。探头箱内的绝对辐射计接收太阳辐射, 通过测控系统把温度传感器的热电输出信号和加热丝上所加电压值测量出来, 同时控制绝对辐射计快门的开关状态, 并对绝对辐射计的加热丝加电压<sup>[3]</sup>; 由 14 路遥测信号监测仪器工作是否正常。

太阳辐射监测仪 14 路外部遥测信号分别为: 加热电压遥测 (2 路)、热电遥测 (2 路)、基准电压、4 路电源电压遥测 (+2.5V、+3.3V、+5V、+12V)、电控箱温度遥测、辐射计粗温控遥测、辐射计精温控遥测、FPGA 下载指示信号遥测和系统工作正常方波输出信号遥测。其中, 加热电压遥测为加热丝的加热电压输出, 热电遥测为两个探测器的信号放大输出; 电控箱温度、辐射计粗温控和精温控遥测为三路热敏电阻温度信号<sup>[3]</sup>; 所有遥测信号电压设计范围都在 0~5 V 之间。正常工作和关机状态下各遥测信号都有一定的工作范围, 下位机将实时采集遥测信号并传输给上位机进行处理、判断并实时显示, 从而监测仪器的工作状态。

收稿日期: 2012-07-14; 修回日期: 2012-09-14。

基金项目: 国家自然科学基金 (61077080)。

作者简介: 何英 (1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统设计方向的研究。

### 2 硬件系统设计

系统整体原理框图如图 1 所示。系统以单片机 C8051F020 作为主控制器，Xilinx 公司生产的 FPGA —XC3S50A 作为辅助控制器；FPGA 在单片机的控制命令下完成多路遥测信号采样通道的切换和 AD 采样；单片机通过串口实现对上位机的数据上传；上位机对接收的数据进行处理，通过 VC 界面实时显示遥测曲线。

遥测信号通过外部遥测接口接入电路后，经过由运算放大器 OP07 构成的电压跟随器进行前后级隔离，隔离后的输出信号在 FPGA 的控制下经模拟开关 ADG506 被选通，然后经过由 OP07 构成的抗混叠滤波电路进行滤波，滤波后的信号由 AD676 进行模数转换<sup>[4-6]</sup>。

数据采集电路的关键就是保证电压测量的绝对精度，为此选用 AD 公司生产的精密电压参考源 AD586，它产生的 5 V 基准电压，经过由一个 10K 和 5K 精密电阻构成反馈支路的 OP07 放大电路进行放大<sup>[6]</sup>，放大输出的 10V 电压作为 AD676 的基准电压输入。

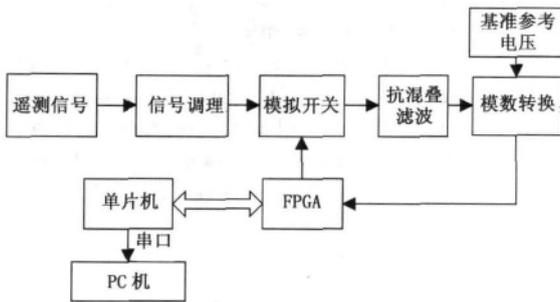


图 1 系统原理框图

### 3 软件设计

太阳辐射监测仪外部遥测系统软件完成太阳辐射监测仪外部遥测信号的采集及显示。FPGA 程序在单片机的控制下完成遥测信号通道选择以及 AD676 顺序采样。单片机程序完成数据采集控制以及和上位机的数据传输；上位机程序完成遥测数据显示以及和下位机的通信；上位机与单片机之间通过串口进行通信，通信波特率为 115200 bps。

#### 3.1 FPGA 系统软件设计

FPGA 程序系统采用模块化编程思想<sup>[7]</sup>，设计了：多路模拟开关 ADG506 的通道选择模块以及 AD676 的采样控制模块。

FPGA 作为单片机的下位机，它与单片机的通信方式为：单片机 P1、P2 口合并为 16 bit 总线，配置为输入模式，等待接收 FPGA 传来的 AD 转换数据；P3 口配置为输出模式，用于向 FPGA 输出采样通道地址以及 AD 自校准模式和采样模式的设置。P0. 4 接收来自 FPGA 的外部中断信号；P0. 5 向 FP-

GA 输出 AD 采样使能信号，上升沿有效；P0. 6 向 FPGA 输出采样地址使能信号，上升沿有效。

P0. 6 产生上升沿信号，FPGA 接收到通道选择命令，根据 P3 口的地址数据选择相应通道。低 5BIT 地址数据有效。00000—01111 选通第一片 ADG506，10000—11111，选通第二片 ADG506。其仿真时序图如图 2 所示。

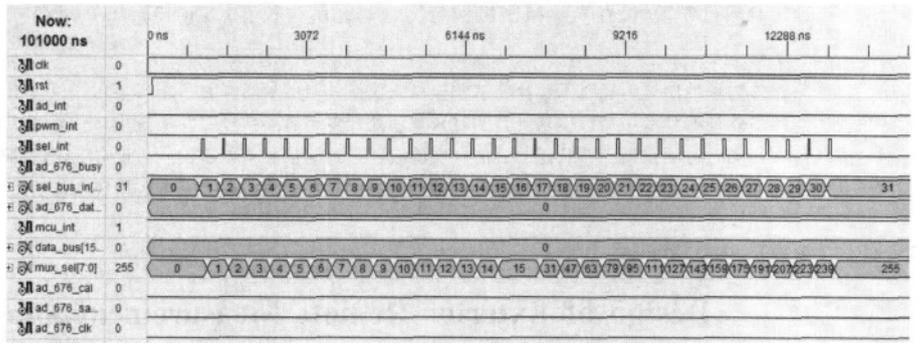


图 2 ADG506 通道选择仿真时序图

P0. 5 产生上升沿信号，FPGA 接收到采样命令，AD676 采样信号 SAMPLE 线变为高电平开始采样，在其变为低电平时刻的输入电压值即为实际采样值；在 SAMPLE 线变为低电平一段时间后的 17 个时钟脉冲内，AD676 完成 16 位逐次逼近转换过程，转换期间 BUSY 变为高电平，转换结束 BUSY 变为低电平。当 BUSY 变为低电平后，产生单片机外部中断，数据被输出并一直保持到下一次转换开始。采样转换周期约为 10 (s。由于电路中 AD676 的 BUSY 信号经过三极管反相输出给单片机中断信号，所以时序图中 BUSY 信号电平刚好相反。其仿真时序图如图 3 所示。

#### 3.2 单片机系统软件设计

单片机控制 FPGA 完成 14 路遥测信号的顺序采样，获得

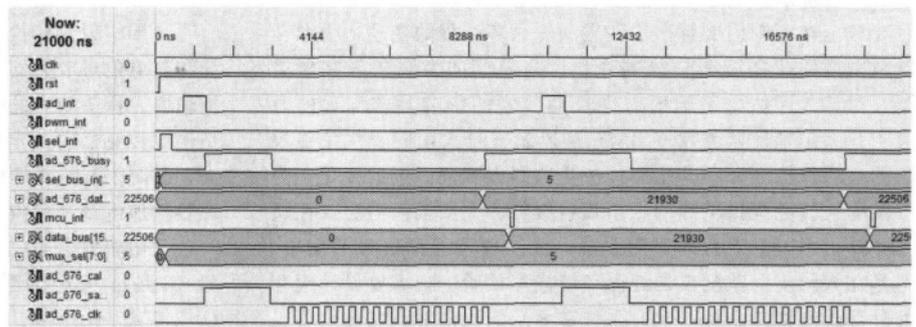


图 3 AD676 采样仿真时序图

采样数据的源码值，并将所有通路的采集结果一起通过串口上传给上位机。外部遥测的采样周期为 1 s。软件流程图如图 4 和图 5 所示。单片机作为 FPGA 的上位机，在上电后首先初始化单片机接口，然后等待定时器产生 1 s 中断；每隔 1 s，单片机控制 FPGA 对 14 路遥测信号进行顺序采样，将从 FPGA 获得的遥测信号采样值储存并上传；为保证采样信号的可靠性，对遥测信号各采样 10 次，去掉采样最大值和最小值后取平均值再上传至上位机<sup>[8]</sup>。同时，由于 ADG506 通道切换需

要建立时间, 所以在选通相应通道后延时 0.5 ms 再进行采样。

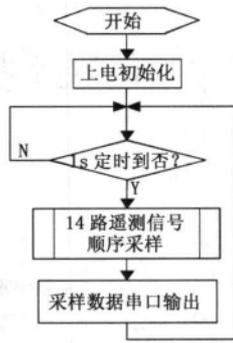


图 4 单片机主程序流程图

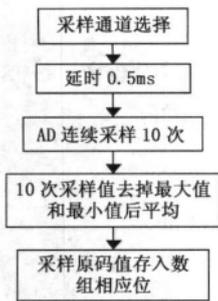


图 5 各通路采样流程图

### 3.3 上位机软件

上位机软件接收下位机采集的 14 路遥测信号原码数据, 按照公式 (1) 完成原码值和采样电压值的转换。其中: 数模转换后的电压  $V_{OUT}$ 、下位机采集的数据源码  $SC_{CODE}$ 、参考电压  $V_{REF}$  的关系如公式 (1) 所示。

$$V_{OUT} = SC_{CODE} / 32768.0 * V_{REF} \quad (1)$$

上位机软件按照公式 (1) 计算出采样电压后, 乘以相应系数计算最终的实际遥测数据, 遥测数据实时显示, 并通过给定的“判断准则”判别遥测数据是否存在异常情况。

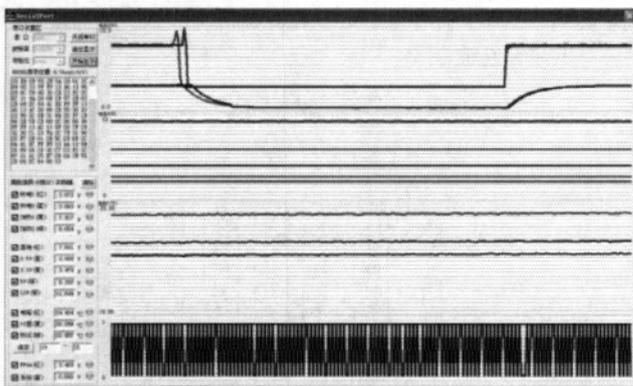


图 6 系统实时监测界面

## 4 实验结果

在太阳辐射监测仪真空热试验中, 对系统进行功能验证。

图 6 为仪器正常工作时代外部遥测模拟系统实时监测界面。界面左侧上方功能键可实现串口设置、波特率设置、串口开关, 数据显示和清空以及数据保存; 中间文本框显示 14 路遥测信号的 AD 采样原码值; 下方可实现遥测通路选择、遥测信号实测值显示以及报警指示灯显示; 右侧为各路遥测信号的实时遥测信号曲线。报警指示灯为绿灯时说明遥测信号正常, 红灯则说明该路遥测信号不正常。同时也可以通过所设保存路径下的数据表格进行数据回放和分析。整个界面满足对遥测信号的实时监测要求。通过曲线可以看出, 仪器开始工作后, 热电遥测电压和加热丝电压先低压后高压; 各电源电压值稳定在各自电压水平, 电压值与正常工作值的偏差在 0.3 V 以内; 热敏电阻温度信号波动范围小于 0.1 °C; 系统工作方波指示信号波形正常。各遥测信号基本稳定在正常工作范围之内, 无报警指示, 仪器工作状态正常。

## 5 结论

本文设计了基于多处理器的外部遥测模拟系统, 实现地面模拟环境试验中太阳辐射监测仪遥测信号的实时采集与显示。对外部遥测模拟系统的组成原理, 硬件电路和软件设计进行了详细的阐述。根据实验所测得的数据及温度曲线能够实时监测太阳辐射监测仪各路遥测信号, 说明系统满足外部遥测信号采集和实时显示的要求, 为实时监测仪器工作状态提供了数据依据。由于充分利用单片机智能控制好以及 FPGA 高速稳定、抗干扰力强的优势, 使得系统简单方便, 易于进行功能扩展。

### 参考文献:

- [1] 方 伟, 禹秉熙, 王玉鹏, 等. 太阳辐射绝对辐射计及其在航天器上的太阳辐照度测量 [J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2 (1): 23-28.
- [2] 向 诚, 夏国荣, 桂 玲. 基于单片机和 FPGA 的高速测频系统的开发 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (11): 238-240.
- [3] 王玉鹏, 方 伟, 等. 双锥腔互补型绝对辐射计 [J]. 光学精密工程, 2007, 15 (11): 1663-1667.
- [4] 卜英勇, 鲁志佩, 贺茂坤, 等. 基于 FPGA 的高速数据采集系统设计及与 TMS320C6416 接口实现 [J]. 仪表技术与传感器, 2008, 7: 95-98.
- [5] 赵 亮, 缪玲娟, 沈 军. 光纤陀螺捷联惯导系统中数据采集单元的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (4): 555-557.
- [6] 康华光, 等. 模拟电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [7] 边计年, 薛宏熙. 用 VHDL 设计电子线路 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [8] 谢维成, 杨加国, 等. 单片机原理与应用及 C51 程序设计 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.