

文章编号:1007-2780(2013)03-0435-05

月基极紫外相机图像采集与实时显示系统

王永成,王金玲,宋克非

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033, E-mail:wyc_dyy@sina.com)

摘 要: 为了对月基极紫外相机输出的科学数据进行采集,将其生成图像并实时显示,设计了月基极紫外相机图像采集与实时显示系统。该系统选用 XILINX 公司的 Virtex II 系列 FPGA 作为图像采集和处理以及控制中心,完成科学数据接收、图像数据生成和存储以及 USB 接口控制功能,利用 RS-422 接口实现与极紫外相机的通讯功能,利用 LVDS 接口接收相机发送的科学数据。输出的图像数据通过 USB 总线传输到上位机,由上位机形成图像并实时显示。该系统与极紫外相机进行了联合成像实验,实验结果证明,本系统在光子计数率为 66 kcps 的情况下,能够正确地采集科学数据将其转换为图像数据并实现实时显示功能。

关 键 词: 极紫外相机;图像采集;实时显示;FPGA;USB

中图分类号: TN919.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132803.0435

Image Acquisition and Display System for Lunar-Based Extreme Ultraviolet Camera

WANG Yong-cheng, WANG Jin-ling, SONG Ke-fei

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail:wyc_dyy@sina.com)

Abstract: In order to collect scientific data of lunar-based extreme ultraviolet camera, generate images, and display these images in real-time, a display system of lunar-based extreme ultraviolet camera is designed. This system adopts FPGA of XILINX Virtex II series as the image acquisition, processing and control core. It has the functions of receiving scientific data, generating and storing the image data, as well as controlling USB interface. The system can communicate with extreme ultraviolet camera based on RS-422 interface, and receive scientific data by LVDS interface. The image data is transmitted to computer through USB bus. And the computer can generate images and display these images in real-time. Imaging experiment, using this system and the extreme ultraviolet camera, has been done. The result of this experiment shows that the system can correctly collect scientific data, generate image data and display image when the photon counting rate is 66 kcps.

Key words: extreme ultraviolet camera; image acquisition; real-time display; FPGA; USB

1 引 言

月基极紫外相机作为中国探月工程二期嫦娥三号月球探测器上的一个重要载荷,主要负责对

地球周围等离子体层产生的 30.4 nm 辐射进行全范围、长期的观测研究,这对于地球大气和空间天气研究具有非常重要的意义^[1-2]。月基极紫外相机的探测器采用楔条形阳极光子计数探测

收稿日期:2012-12-06; 修订日期:2013-01-29

基金项目:探月工程二期

作者简介:王永成(1980—),男,甘肃嘉峪关人,博士,副研究员,主要从事嵌入式系统设计和可靠性工程方面的工作。

器^[3],探测器由微通道板和楔条形阳极构成,探测器要置于真空中,因为微通道板只有在高真空高电压条件下才能激发出二次电子,入射光子进入微通道后转换为电子,然后在高压加速电场的作用下产生大量的电子,从微通道板的另一端出射。出射的电子团具有动能,最终会降落在楔条形阳极上,并扩散成一定大小的电子云,由楔条形阳极负责收集电荷。阳极收集电子后会输出三路电荷信号,这三路电荷信号经过前端电子系统进行电荷灵敏前置放大、整形放大和峰值保持后由 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号。

月基极紫外相机工作时获取大量的科学数据信息,在各种地面试验以及测试过程中,为便于对仪器的成像性能进行实时分析和测试,研制一种设备以实现对于月基极紫外相机的图像进行采集并实时显示对于相机的研制过程具有重要的意义。

本文介绍了一种基于 FPGA 的月基极紫外相机图像采集与实时显示系统以下简称图像采集与实时显示系统,通过 RS-422 接口实现对月基极紫外相机的控制,通过 LVDS 接口接收月基极紫外相机的科学数据,采用 USB 接口实现与上位机之间的通讯,并将接收到的图像数据在上位机上形成图像并显示。该图像采集与实时显示系统完全基于月基极紫外相机的工程需求而设计,以 FPGA 为核心单元实现系统的主要功能,通过上位机可以灵活设置各种参数以适应工程研制的各种需求,具有灵活、体积小以及可维护性强的特点。

2 系统总体设计

图像采集与实时显示系统的结构框图如图 1 所示,从图中可以看出该系统由 5 个单元构成,分别为 RS-422 接口电路、LVDS 接口电路、FPGA 及其外围电路、USB 接口电路和上位机。

图像采集与实时显示系统和月基极紫外相机之间通过 RS-422 接口进行通讯,图像采集与实时显示系统通过该接口向月基极紫外相机发送各类命令以此控制相机处于不同的工作模式,月基极紫外相机收到命令后向图像采集与实时显示系统返回其工作参数数据,以表明其当前的工作状态。

月基极紫外相机通过 LVDS 接口向图像采集

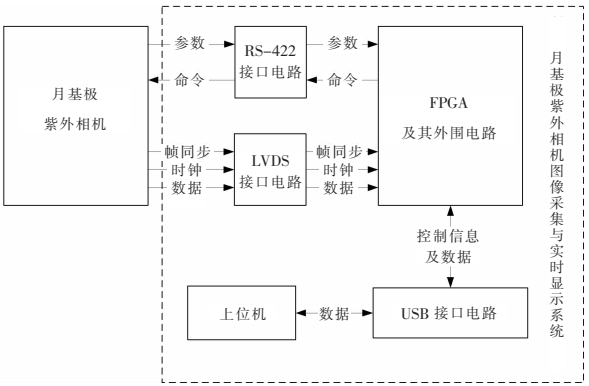


图 1 系统结构图

Fig. 1 Diagram of the system architecture

及实时显示系统发送科学数据,LVDS 接口采用三线制接口标准,包括帧同步信号、时钟信号和数据信号,这些信号都由 FPGA 电路产生,其时序图如图 2 所示,时钟信号 DT_CLK 的频率为 5 MHz,帧同步信号 DT_EN 为低电平有效,与时钟信号的下降沿同步,数据信号 DT_DATA 与时钟信号的下降沿同步,数据信号的数据宽度为 36 位,由 3 个 12 位的数据拼接而成,每一个 12 位的数据高位在前、低位在后,分别代表本文引言中所述的三路电荷信号经过放大、整形、峰值保持后由 A/D 转换而成的数字信号。

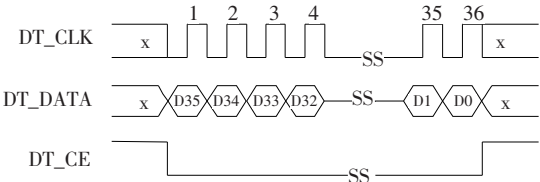


图 2 LVDS 接口数据时序图

Fig. 2 Sequence diagram of LVDS

FPGA 及其外围电路是整个系统的核心单元,负责与月基极紫外相机的 RS-422 通讯并接收月基极紫外相机发送的科学数据将其转换为图像数据并进行缓存,还实现对 USB 接口电路的控制以及与上位机之间的数据传输功能。USB 接口电路实现 FPGA 与上位机之间的数据通讯功能,上位机通过 USB 接口向 FPGA 发送命令和参数,并接收 FPGA 发送的图像数据将其形成图像。

3 系统实现

图像采集与实时显示系统选用 XILINX 公司

的 Virtex II 系列 FPGA, 型号为 XC2V3000-4BG728I, 具有丰富的内部资源, 包括 14 336 个 Slices, 448 kbits 的 RAM, 12 个 DCM, 516 个 I/O 引脚^[4], 这些丰富的资源为本系统的实现提供了基础。FPGA 的功能框图如图 3 所示, 完成时钟管理、UART、命令解析和处理、USB 通讯控制、科学数据接收、坐标计算和坐标值存储的功能^[5-6]。时钟管理模块负责接收晶振电路提供的时钟信号, 利用 FPGA 提供的 DCM 将其进行分频操作为其它模块提供所需的时钟信号; UART

完成与极紫外相机之间的 RS-422 通讯功能; 命令解析和处理模块负责接收上位机发送的各种命令和参数并将其解析处理后发送给其他模块; USB 通讯控制模块负责控制 USB 控制器 CY7C68013A; 科学数据接收模块负责接收极紫外相机通过 LVDS 接口传输的科学数据; 坐标计算模块负责将科学数据接收模块接收的科学数据根据公式(1)计算出坐标; 坐标值存储模块负责将坐标计算模块计算出的坐标值采用乒乓方式进行存储。

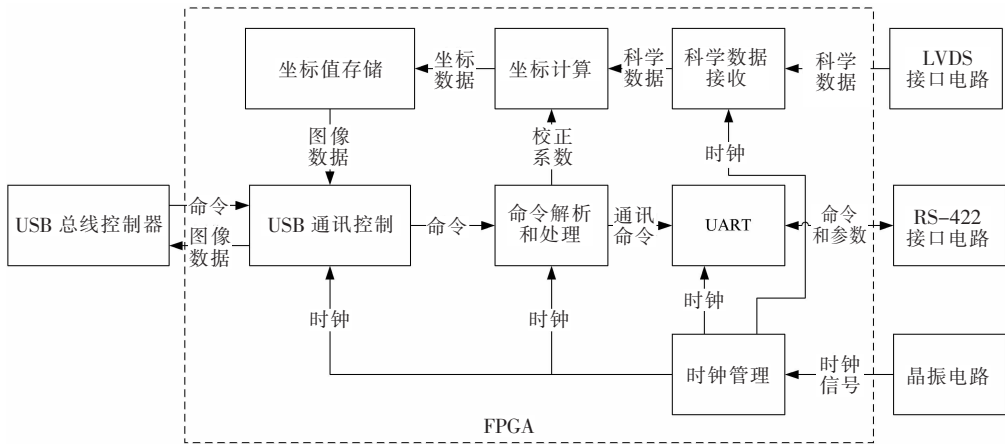


图 3 FPGA 功能框图

Fig. 3 Function diagram of FPGA

3.1 图像数据的生成与缓存功能的实现

月基极紫外相机的科学数据是由楔条形阳极收集电子后输出 3 路电荷信号经放大、整形、峰值保持以及 A/D 转换后生成, 在本文的第 2 部分已经对其

时序进行了描述, 每一个 12 位的数据代表前述 3 路电荷的电压值, 分别用 Q_s 、 Q_w 、 Q_z 表示。根据相关文献中三电极楔条形阳极的位置解码算法可以获得电子云的质心位置的坐标如公式(1)所示^[3]:

$$\begin{aligned} x &= N \times K \times \left(a_1 \times \frac{Q_s}{Q_s + Q_w + Q_z} + b_1 \times \frac{Q_w}{Q_s + Q_w + Q_z} + C_1 \right) - x_0 \\ y &= N \times K \times \left(a_2 \times \frac{Q_w}{Q_s + Q_w + Q_z} + b_2 \times \frac{Q_s}{Q_s + Q_w + Q_z} + C_2 \right) - y_0 \end{aligned} \tag{1}$$

在公式(1)中 N 为一维像元数, a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 为校正系数, K 为放大系数, x_0 、 y_0 为中心化坐标。表 1 为各系数的取值范围, 从表中可以看出参数 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 、 x_0 、 y_0 的取值范围均包含负值, 为了简化 FPGA 的处理, 要求上位机通过 USB 接口输入参数时对包含负值的参数进行处理, 对于 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 , 采用 16 位数据的高 3 位表示符号位, 用“111”表示负数, “000”表示正数; 对于 x_0 和 y_0 , 采用将其值加 1 500 后再转换为 16 进制数发送给 FPGA。

图像采集与实时显示系统的 FPGA 单元根据公式(1)计算电子云的质心位置坐标, 公式(1)中的校正系数、放大系数以及中心化坐标由上位机通过 USB 接口传递给 FPGA, FPGA 对其进行有效性判断, 如果输入的参数值未超过其值域范围, 使用该组参数利用公式(1)进行坐标计算, 若输入的参数值超过其值域范围, 则放弃该组数据利用默认数据进行坐标值计算。

对于通过公式(1)计算得到的坐标值 x 和 y , 各使用 2 块 $1k \times 12$ bit 的 FIFO 存储器采用乒乓

表 1 各参数取值范围
Table 1 Range of parameters

参数	值域	分辨率	USB 写入数据范围
N	0~1 500	1	0x000H~0x5DCH
K	1.0~5.0	0.1	0x0AH~0x32H
a ₁	0.001~8.000	0.001	0x0001H~0x1F40H
a ₂	0.001~8.000	0.001	0x0001H~0x1F40H
b ₁	-8.000~8.000	0.001	0xFF40H~0x1F40H
b ₂	-8.000~8.000	0.001	0xFF40H~0x1F40H
c ₁	-8.000~8.000	0.001	0xFF40H~0x1F40H
c ₂	-8.000~8.000	0.001	0xFF40H~0x1F40H
x ₀	-1 500~1 500	1	0x000H~0xBB8H
y ₀	-1 500~1 500	1	0x000H~0xBB8H

的控制方式进行存储。每块 FIFO 各包含一个读信号和一个写信号,初始状态为 FIFO1 的写信号有效,读信号无效,FIFO2 的写信号无效,读信号有效;当 FIFO1 存满 1k 的数据后,将 FIFO1 和 FIFO2 的读写信号切换,即 FIFO1 的读信号有效,写信号无效,FIFO2 的读信号无效,写信号有效。当 FIFO2 存储满 1k 数据时,再次切换,依次类推,实现乒乓制的存储功能。对一块 FIFO 进行写操作之前,先需要对该块 FIFO 进行清零,以此保证 FIFO 内没有无效数据。

3.2 图像数据的输出与图像的生成

上位机通过 USB 接口实现与 FPGA 之间的通讯,本系统中采用了 CYPRESS 公司生产的型号为 CY7C68013A 的芯片作为 USB 控制芯片,该芯片支持 USB2.0 接口,理论传输速度可达 480 Mbit/s^[7-8]。它集成了符合 USB2.0 协议的收发器,串行接口引擎,增强型的 8051 内核以及可编程的外围接口^[9]。图 4 是 FPGA 与 USB 控制器的接口图,图中 FD [0..15] 为双向数据总线,通过该总线实现 FPGA 与 CY7C68013A 之间的数据交互;FIFOADR [0..1] 为端点 FIFO 选择信号,当 CY7C68013A 被配置为 Slave FIFO 模式时,FLAGA、FLAGB 和 FLAGC 为 FIFO 的输出状态标志信号;IFCLK 为接口时钟信号;SLOE 是 FPGA 向 CY7C68013A 提供的 Slave FIFO 输出允许信号;SLCS 是 FPGA 向 CY7C68013A 提供的 Slave FIFO 选通信号;

SLRD 是 FPGA 向 CY7C68013A 提供的 Slave FIFO 读允许信号;SLWR 是 FPGA 向 CY7C68013A 提供的 Slave FIFO 写使能信号。

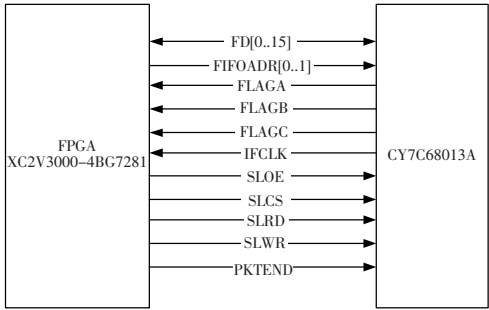


图 4 FPGA 与 USB 控制器的接口图
Fig. 4 Interface of FPGA and USB controller

USB 接口的程序由固件程序、驱动程序和应用程序 3 部分构成,其中固件程序的架构由 CY-PRESS 公司提供,用户只需要提供一个 USB 描述符表,添加其他端点接收和发送数据的通信代码,以及控制外围电路的程序代码。驱动程序的主要作用是使操作系统能够识别 USB 设备,并建立起主机端和设备端之间的通讯。应用程序设计以驱动程序为桥梁,对 USB 设备进行控制,处理 USB 设备传回的数据。

上位机应用程序部分的接收图像数据使能时,上位机通过 USB 接口读取缓存于 FPGA FIFO 中的坐标数据,上位机将其读取的坐标数据存储在内存中,对于具有相同坐标值的坐标进行累加计数,最后形成一幅 $N \times N$ 的图像,在本系统中 $N=1\,500$ 。

4 实验结果与分析

图像采集与实时显示系统与极紫外相机联合实验的实验环境示意图如图 5 所示:极紫外相机放置在真空室中,真空室与平行光管连接,光源产生的光线经过平面反射镜和抛物面反射镜反射后进入极紫外相机,极紫外相机对置于微通道板 1 mm 位置处的分辨率板进行成像。极紫外相机通过穿舱电缆与图像采集与实时显示系统连接,极紫外相机工作时,其产生的科学数据由图像采集与实时显示系统采集并处理后在上位机上显示。

光源发出的光线经过光阑进入平行光管,通过调整光阑的大小可以控制探测器成像的光子计数率。根据极紫外相机对光子计数率不大于这

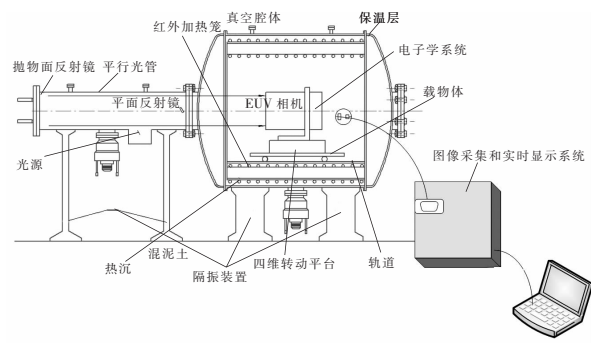
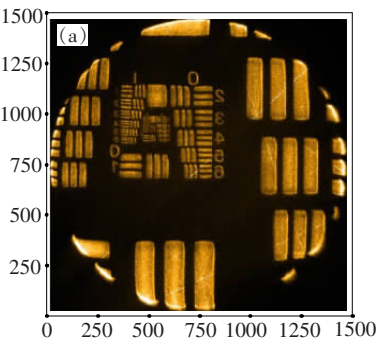


图 5 实验环境示意图

Fig. 5 Diagram of experiment environment



67 kcps 的技术指标要求,在测试中通过调整光阑使得探测器的光子计数率控制为 67 kcps,曝光时间为 10 min,在此种条件下由图像采集与实时显示系统采集的图像如图 6(a)所示,从图中可以看出所生成的图像位于坐标为 $1\,500 \times 1\,500$ 的区域内,查看图像数据的原始文件,其大小为 34.3 Mbit,说明未发生丢失图像数据的现象。为了进一步验证本系统的算法是否正确,通过设置各校正系数使得坐标满足 $x=y$ 的函数关系,在此种设置下采集的图像如图 6(b)所示,从图中可以看出,在此种设置下,所采集到的所有图像点皆位于 $x=y$

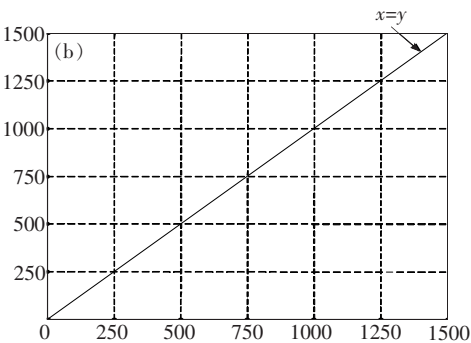


图 6 实验中所采集的图像

Fig. 6 Image of experiment

条直线上,以此验证了图像采集与实时显示系统采集算法的正确性。

5 结 论

设计了一种基于 FPGA 的极紫外相机图像采集与实时显示系统,该系统与极紫外相机通过 RS-422 接口和 LVDS 接口连接,实现对极紫外相

机的控制和科学数据的接收,生成的图像数据通过 USB 总线输出到上位机生成图像并显示。通过极紫外相机成像实验证明了该系统的正确性,该系统在极紫外相机的研制过程中已广泛使用,为相机的研制过程的顺利开展起到了重要的作用。

参 考 文 献:

[1] 李朝辉. 月基对地观测极紫外相机光机结构设计 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2352-2356.
[2] 王智, 李朝晖. 月基极紫外相机光机结构设计 [J]. 光学 精密工程, 2011, 19(10): 2427-2433.
[3] 何玲平. 极紫外光子计数探测器成像特性研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2010.
[4] XILINX. Virtex-II 1.5V field-programmable gate arrays datasheets [R]. San Jose, USA: XILINX, 2001.
[5] 熊文彬, 蒋泉, 曲建军, 等. 基于 FPGA 实现的视频显示系统 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(1): 92-95.
[6] 孙航, 冯强, 韩红霞. 基于 FPGA 的红外序列图像动态压缩显示 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(4): 551-554.
[7] Cypress Semiconductor Corporation. EZ-USB FX2LPTM USB microcontroller datasheets virtex-II 1.5V Field-programmable gate arrays [R]. San Jose, USA: Cypress Semiconductor Corporation, 2006.
[8] 薛盼盼, 王晓东, 刘文光, 等. 空间遥感仪器便携式数据采集试验系统研究 [J]. 液晶与显示, 2012, 27(2): 257-262.
[9] 李鉴, 黄大勇. 基于 CY7C68013 的 USB 数据采集系统 [J]. 微计算机信息, 2009, 25(1-1): 97-98, 154.