

文章编号: 1007-4627(2016)01-0061-06

基于FPGA和蓝牙的远程图像采集同步系统

刘新, 薛思皓, 陈杰, 林胜钊, 董书成, 王坚

(中国科学技术大学近代物理系, 核探测与核电子学国家重点实验室, 合肥 230026)

摘要: 针对核物理实验中高精度时间同步触发图像采集系统的要求, 设计了一套基于 FPGA 和蓝牙的远程图像采集同步系统。该系统以 FPGA 作为主控制器, 负责 USB 接口通信、命令解析、蓝牙通信和同步控制等, 触发信号延时精度可达 10 ns; 使用 RS485 或 TTL 标准以适应长距离触发和短距离触发, 通过 GigE 千兆网口实现远程图像数据采集。采用 LabVIEW 开发了上位机图形化软件界面, 基于蓝牙 BLE4.0 协议, 实现了基于手机 APP 的无线终端控制, 完成了对相机延时时间、同步触发脉冲宽度、图像采集等命令的同步控制。

关键词: FPGA; USB; 同步触发; LabVIEW; 蓝牙 BLE4.0

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.33.01.061

1 引言

近年来, 随着核电子学的快速发展, 核物理实验对时间精度和图像获取形式提出了新的要求, 比如, 在可控的热核反应中, 惯性约束聚变(ICF)是一种控制热核反应的有效方式。ICF 发生在一个极短的时间和极小空间内^[1], 要准确地获取现场的情况, 对图像采集系统的时间同步精度要求很高; 由于现场有较强的辐射, 出于安全考虑, 人不能在操作现场, 需要用多个相机同时拍摄核反应过程的方式来获取现场情况; 要保证图像采集的真实有效性, 在多个相机同时拍摄时, 这就对各个相机之间的同步提出了要求。

FPGA 的并行处理特征, 能满足高时间精度的同步触发要求, 很好地符合核物理实验中的同步性要求。为了使系统在不同环境中能安全的工作, 需要为系统提供必要的保护措施, 三级防护电路保证了系统在不同的环境下能安全的工作。

基于 Android 系统的移动终端设备发展十分迅速, 以手机为核心的微系统开始进入人们的视野, 蓝牙技术也逐渐成熟。本文运用蓝牙技术将控制板和手机连接起来, 构建以移动设备为核心的网络微系统, 使用手机 APP 可以对系统实现无线实时控制。

如图 1 所示, 系统主要分为四个部分: 上位机控制、FPGA 主控板、RS485 触发板和相机系统。计算机通过 USB 总线^[2]或者使用手机 APP 通过蓝牙对 FPGA

主控板进行控制, 相机的图像信息通过 GigE 千兆网口传到计算机显示。基于 FPGA 和蓝牙的远程图像采集同步系统的设计, 具有灵活性强、成本低、结构简单和安全性能高等优点。

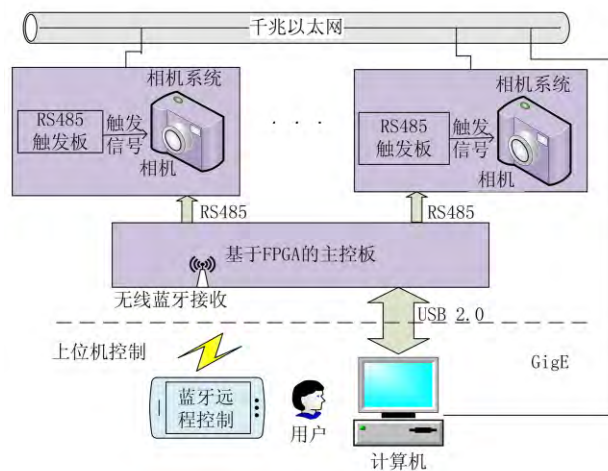


图 1 (在线彩图) 采集同步系统的结构图

2 同步系统设计

2.1 FPGA 主控板

同步系统 FPGA 主控板框图如图 2 所示。FPGA 是同步系统的核心控制部分, 主要功能是为相机提供同步控制、USB 2.0 接口、指令解析、延时触发以及蓝牙通信。

收稿日期: 2015-01-22; 修改日期: 2015-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(11178020, 11275197), 中央高校基本科研专项资助

作者简介: 刘新(1987-), 男, 重庆合川人, 硕士, 从事核电子学研究; Email: liux@mail.ustc.edu.cn

通信作者: 王坚, 副教授, wangjian@ustc.edu.cn.

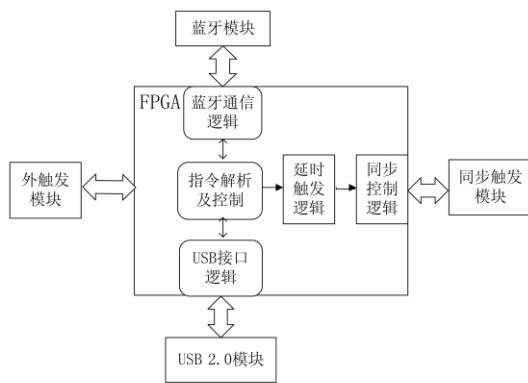


图 2 FPGA控制逻辑框图

USB 接口逻辑负责 USB 2.0 芯片的通讯接口；指令解析接收来自上位机的命令、解析上位机的命令；同步控制逻辑可以控制触发脉冲的占空比以及脉冲频率；延时触发逻辑是为触发提供同步延时；蓝牙通信逻辑负责蓝牙模块与 FPGA 的通信。

电路的 FPGA 主控板实物图如图3所示，主要部分是 FPGA、USB 芯片、RS485 驱动、串口芯片和蓝牙接收模块。

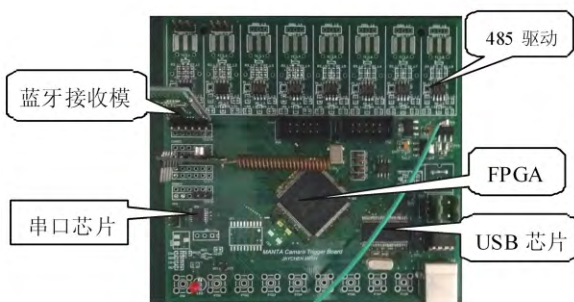


图 3 (在线彩图)主控板的实物图

同步系统输出有两种触发信号，TTL 信号和 RS485 信号。当距离较近时，FPGA 给出的触发信

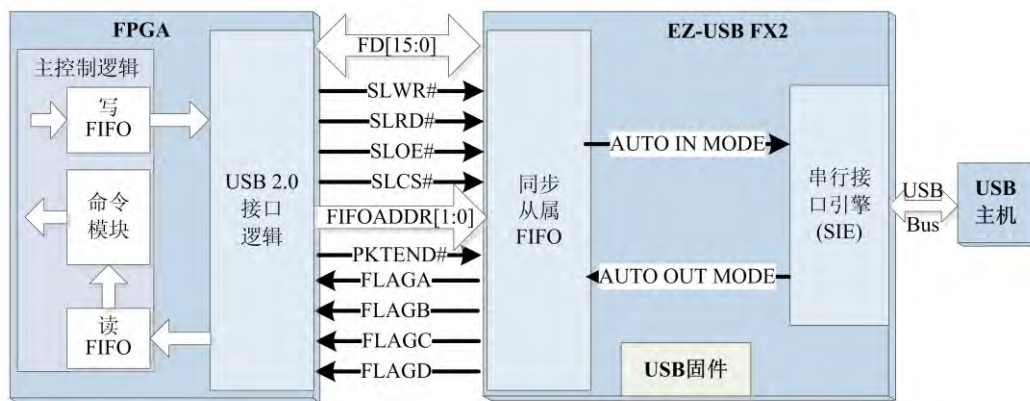


图 4 (在线彩图)USB通讯框图

号，通过 TTL 驱动芯片 SN74LV244A^[3]直接去触发相机工作；当距离较远时，FPGA 输出出来的触发信号输出给 RS485 芯片，接收板把接收到的 RS485 信号再通过 RS485 芯片转换成 TTL 信号，去触发相机。RS485 总线作为一种稳定、简易的总线结构，具有传输距离远、抗干扰能力强、信号传输稳定等优点。RS485 总线传输距离可达 1.2 km。

上位机发送控制命令和接收来自主控板返回的数据，完成相关的处理工作。相机控制路径有两个，一个是使用上位机软件通过 USB 总线到达 FPGA 进行解析处理；另一个是使用手机 APP 程序通过蓝牙到达 FPGA，两路控制相机工作是等效的。FPGA 主控板上有八路 TTL 输出和八路 RS485 总线输出，可以控制八套相机系统同时工作，每路 RS485 总线都有三重防护设计，各路同步延时精度高达 10 ns。

2.2 USB接口设计

主控板的 USB 接口部分负责计算机和主控板之间的通讯。接口使用 USB 2.0 协议，选用的芯片是 Cypress 公司的 CY7C68013^[3]。该芯片集成了 USB 2.0 收发功能，SIE、微控制器，可编程串口以及增强型 8051 内核，具有 GPIF master 模式、Slave FIFO 模式以及端口模式。

USB 通讯框图如图 4 所示。USB 规范 2.0 版本定义了 USB 的传输模式，分别是：中断传输、同步传输、控制传输和块传输，不同的传输模式以适应不同的应用需求。块传输提供数据校验，可大批量无误地传输数据。本文选择 USB 的 Slave FIFO 模式，所需的控制信号均由 FPGA 给出，由 FPGA 控制与上位机通信。具体地，采用 512 Byte 缓冲的 EP2 端点作为上位机命令下传通道和 512 Byte 缓冲的 EP8 数据上传通道，这样的设置只需在 USB 固件里面作简单的修改。

2.3 蓝牙通信模块

移动设备通过蓝牙对系统进行远程控制，使用的是BLE(Bluetooth Low Energy)^[4]。蓝牙 4.0 技术和协议在 2010 年提出,因其功耗低、安全性高、连接速度快、便于实现移动设备近距离互联等优势成为当前研究的热点之一。相比于传统蓝牙，BLE 建立连接更为迅速。同时，BLE 使用短数据包保证硅片可以保持在低温状态下，不需要因为硅片发热使得材料物理特性发生变化而频繁对无线设备进行校准。同步系统中，使用 Java 语言编写 Android 控制程序。蓝牙模块和 FPGA 之间使用蓝牙通信逻辑实现接收和解析来自蓝牙模块的消息。蓝牙模块与设备的连接示意图如图 5 所示。

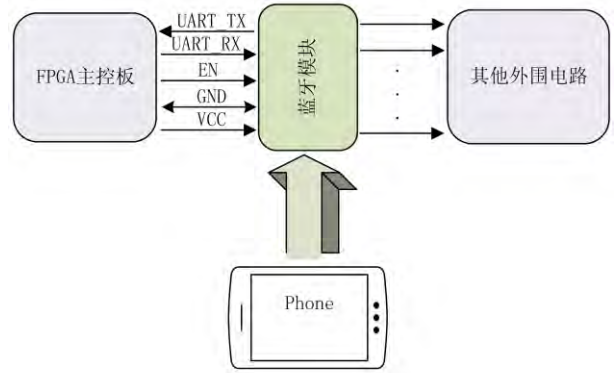


图 5 (在线彩图) 蓝牙与设备的链接图

2.4 RS485总线设计

RS485 芯片采用 TI 的 SN65HVD1176^[5]，该款芯片采用 5 V 供电，信号的传输速率达 40 Mbps，共模抑制比高达 50 M。差分输出电压超 2.1 V，低的总线电容，ESD (静电释放) 达±10 kV(人体模型下)，具有热关断保护、断路电流限制，这些功能能为同步系统提供一个安全的工作环境。

接收板和主控板，每组 RS485^[6]驱动都有独立的三防装置 (ESD, EFT, Surge)。ESD 防护采用芯片的自带防护。Surge^[7]防护由 GDT(气体放电管)、TBU(高速响应保护器)以及 MOV(200 V, Metal-Oxide, Varistor) 组成。

三级保护系统如图 6 所示，可为 RS485 通信端口提供三重保护，确保发送器和接收器之间能动态协同地工作，保护它们免受静电放电 (ESD) 和电涌的破坏。

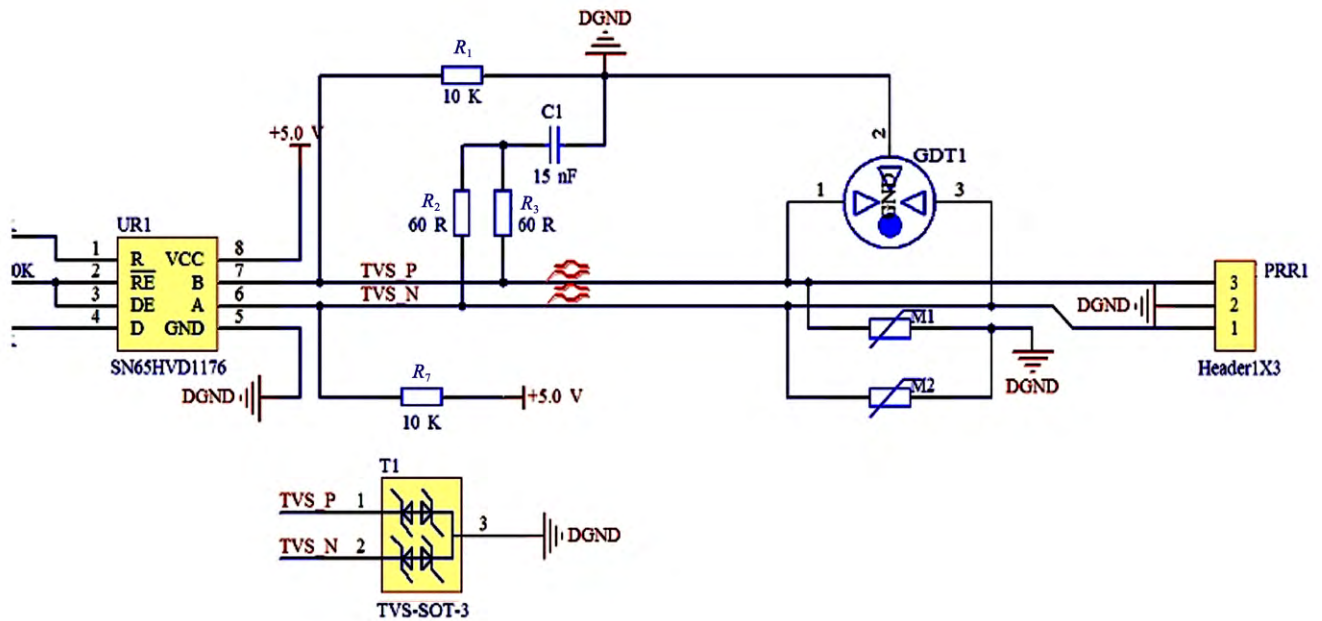


图 6 (在线彩图) 三个EMC兼容的485输出保护电路

3 控制程序设计

控制程序采用 PC 机与手机无线终端两种控制方式，采用不同的开发工具和开发语言实现。在 PC 机上使用 LabVIEW，手机上使用基于 Android 系统的 APP 程序。

3.1 基于蓝牙BLE 4.0的APP程序设计

本文基于蓝牙 BLE 4.0 通信协议，在 Eclipse 环境下用 Java 开发的 Android 手机蓝牙控制界面，具有连接速度快、功耗低、安全性高、界面简洁明了、近程连接控制等优点，蓝牙程序为同步系统提供了功能齐全的

控制界面。手机蓝牙和同步系统的蓝牙模块配对成功后将进入数据设置界面，用户将在该界面进行参数设置与发送。程序可进行设置的参数包括输入设置参数和按钮控件设置参数；参数设置完成后，蓝牙模块把接收到的信号通过串口传给 FPGA。

图 7(a) 是基于蓝牙的手机 APP 程序框图，图 7(b) 是程序流程图。在程序框图中，Packages 是各种编程

包，里面集成了各种各样的类，Framework 为用户提供 API，C/C++ 是蓝牙传输的协议，Kernel 内核给外设提供丰富的接口驱动。工作流程图中包括程序启动、检查蓝牙版本，输入参数、进行数据转换，最后判断是否退出等流程并重复以上步骤，直到命令全部发完为止，最终退出程序。

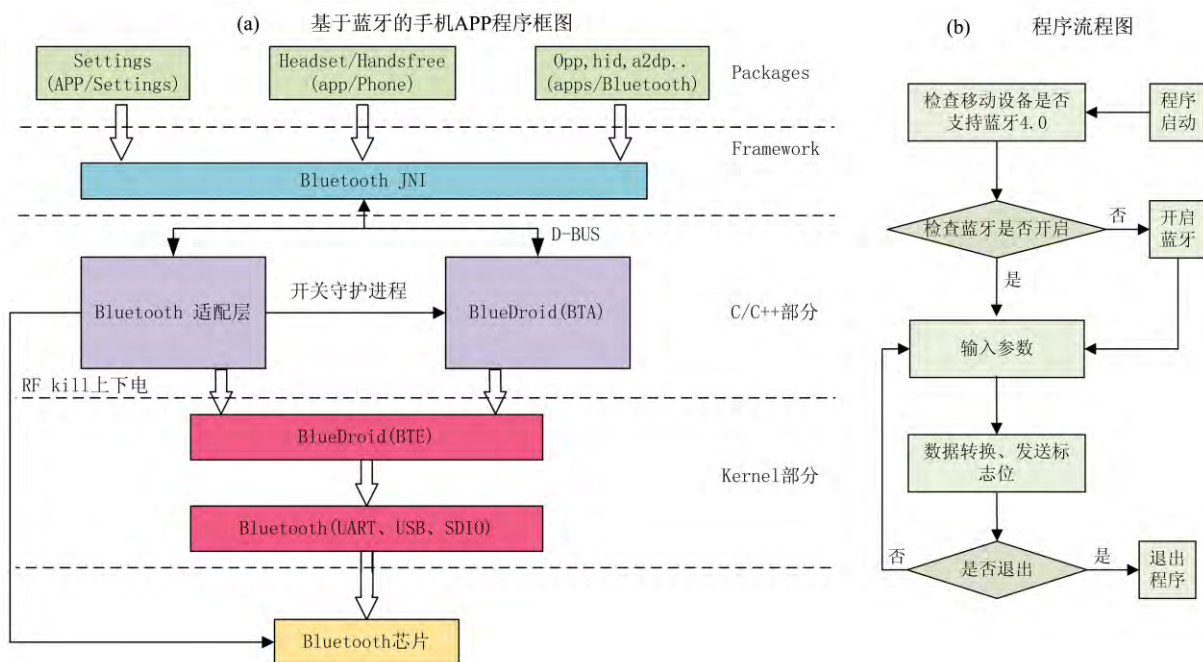


图 7 (在线彩图) APP 程序结构示意图

3.2 LabVIEW 控制程序的设计

上位机的控制软件使用 LabVIEW^[8] 开发，LabVIEW 是基于图形化的语言，它把复杂、费时、繁琐的语言编程简化成图标或菜单的形式，利于开发；LabVIEW 编程语言里面最基本的单元是 VI (Virtual Instrument)，VI 分为前面板、程序框图、图标和连接器，前面板是用户操作界面，用于输入和显示，框图程序是具体的实现过程。该程序采用了 melaY 状态机^[9] 的结构，设计程序控制流程，保证程序的工作稳定性；程序基于 windows 事件处理结构，编写了前面板控制程序。事件结构和状态机相互搭配，可以使程序在处理用户操作的同时，不用中断对下位机的控制和读写操作。

控制程序的状态机实现图如图 8 所示，该状态机结构有初始化、设置参数、等待、停止采集图像一共五个状态，每次设置完控制命令后，程序自动返回等待状态，触发开始之后，开始采集图像，直到发送停止命令，结束程序。

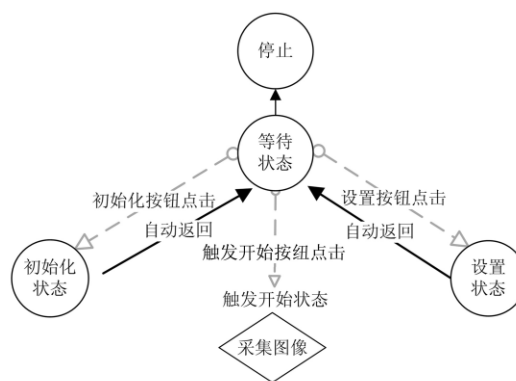


图 8 (在线彩图) LabVIEW 的状态机实现图

4 运行结果

图 9 是基于 LabVIEW 计算机控制界面和基于蓝牙的手机 APP 界面，图 9(a) 是基于 LabVIEW 的程序控制和图像采集界面，图 9(b) 是基于手机 APP 的蓝牙程序界面，程序界面完成控制参数的设置，计算机控制程序界面同时完成图像信息的采集。

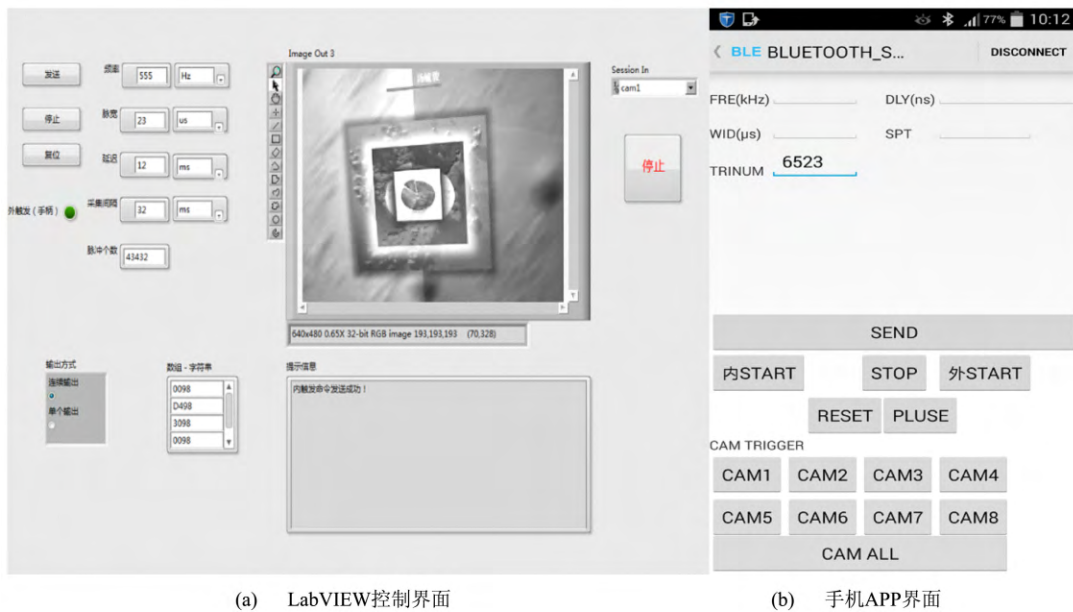


图 9 (在线彩图) 控制界面示意图

5 小结

使用FPGA为多个相机系统提供触发信号, 实现了延迟精度在10 ns以内的同步触发; 控制接口使用USB 2.0和蓝牙, 控制程序采用LabVIEW和手机APP无线终端, 极大方便了整个系统的控制。RS485三级防护设计保证了系统在恶劣的环境下能安全有效地工作, 满足了长距离传输数据的要求。

参考文献:

- [1] PENG Nengling. Applied Research about High-Precision Delay and High-Speed Pulse Dechnology in ICF Experiments and Slow Positron Beam Apparatus[D]. HeFei: University of Science and Technology of China, 2007: 3. (in Chinese) (彭能岭. 精密延时和高速脉冲技术在ICF实验和慢正电子束装置中的应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007: 3)
- [2] CUI Ke, ZHANG Hongfei, LUO Chunli, *et al.* Journal of Optoelectronics Laser, 2012, **23**(4):751. (in Chinese) (崔珂, 张鸿飞, 罗春丽, 等. 光电子激光, 2012, **23**(4): 751.)
- [3] QIAN Feng, KONG Xiangxie, FAN Manhua. EZ-USB FX2 Microcontroller Theory, Programming and Applications[M]. BeiJing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2006: 3. (in Chinese) (钱峰, 孔祥燮, 范曼华. EZ-USB FX2单片机原理、编程及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006: 3.)
- [4] FAN Chencan. Based on Bluetooth 4.0 Transmission Android Phone ECG Monitoring System[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013: 3. (in Chinese) (范晨灿. 基于蓝牙4.0传输的Android手机心电图监护系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 3.)
- [5] TEXAS Instruments SN74LV244A Datasheet[S].
- [6] TEXAS Instruments RS-485 TRANSCEIVERS Datasheet [S].
- [7] ANALOG DEVICE RS-485, Transceiver Protection Circuit, Technical Documents[S].
- [8] YANG Zhongren, RAO Cheng, ZHOU Jian, *et al.* Journal of Chongqing University, 2004, **27**(2): 32. (in Chinese) (杨忠仁, 饶程, 邹健, 等. 重庆大学学报, 2004, **27**(2): 32.)
- [9] WANG Jianmin. Design and Implementation of CCD-based Data Acquisition Software for LabVIEW[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2013: 12. (in Chinese) (王建民. 基于LabVIEW的CCD数据采集软件设计和实现[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013: 12.)

Remote Image Acquisition and Synchronization System Based on FPGA and Bluetooth

LIU Xin, XUE Sihao, CHEN Jie, LIN Shengzhao, DONG Shucheng, WANG Jian

(*Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, State Key Laboratory of Nuclear
Detection and Nuclear Electronics, Hefei 230026, China*)

Abstract: An image acquisition and synchronization control system based on FPGA (Field Programmable Gate Array) and bluetooth is studied in this paper. FPGA as the main controller is responsible for USB (Universal Serial BUS) interface, command analyze, delay control, and trigger signal generation. Trigger signal can be RS485 or TTL. RS485 signals can be used for long-distance transmission without distortion while TTL is suitable for near field. The system's delay accuracy reached to 10 ns. Images can be obtained via GigE Ethernet. Meanwhile, a PC graphical control software is developed by LabVIEW. Based on the Bluetooth BLE 4.0 protocol, an Android mobile phone APP is developed for wireless control.

Key words: FPGA; USB; Synchronous Trigger; LabVIEW; Bluetooth BLE 4.0

Received date: 22 Jan. 2015; **Revised date:** 2 Mar. 2015

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (11178020, 11275197); Basic Research and Special Funding for the Central Universities

Corresponding author: WANG Jian, Email: wangjian@ustc.edu.cn.