

· 电路与控制 ·

## 高速密集多路光电信号的并行采集与控制

张斌, 赵冬娥, 宋涛, 罗倩倩

(中北大学电子测试技术重点实验室, 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:**针对激光光幕坐标靶测试中控制器I/O口不足的问题, 提出现场可编程门阵列(FPGA)和单片机相结合实现高速密集多路光电信号的并行采集与控制。采用FPGA作为光电开关信号数据的采集和存储装置, 单片机控制FPGA的工作, 并处理、显示数据。对7.62 mm弹丸的过靶坐标进行了测试实验, 结果证明, 基于FPGA和单片机的高速密集多路光电信号并行采集与控制系统解决了传统激光光幕测坐标靶的处理器I/O口紧缺、处理速度慢等缺点。系统具有响应速度快、灵敏度高、可拼接的优点。

**关键词:**激光测坐标靶; FPGA; AVR单片机

中图分类号: TP274<sup>+</sup>.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)01-0066-04

## Parallel Acquisition and Control of High Speed and Intensive Multi-Channel Optical Signals

ZHANG Bin, ZHAO Dong-e, SONG Tao, LUO Qian-qian

(National Defense Key Laboratory of Electronic Measurement Technology, Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the lack of I/O numbers of the controller in laser screen coordinates measurement, the parallel acquisition and control of high speed and intensive multi-channel optical signals are implemented, by combining field programmable gate array (FPGA) devices with MCU (Micro-Controller Unit). FPGA is used as acquisition and storage devices of a photoelectric switch signal data, MCU controls FPGA, processes and displays the data. After a test for the target coordinate of 7.62 mm projectile, the result proves that the system based on FPGA and MCU to implement parallel acquisition and control of high speed and intensive multi-channel optical signals solves the shortcomings of I/O shortages and low processing speed of traditional coordinates target. The system has the advantages of fast response, high sensitivity and split joint.

**Key words:** laser measurement coordinates target; FPGA; AVR MCU

目前国内外测坐标方法很多, 基于光敏管阵列的测坐标法以其测试精度高、可靠性好、成本低廉、直观等优点常成为众多测坐标方案的首选<sup>[1-4]</sup>。文献[5]是目前国内应用的比较先进的测坐标系统, 但是没有具体提到信号采集和处理的方法。文献[6]实现了示靶、检靶、自动报靶的一体化, 但在信号的处理方面有些不足。首先由于传统的微控制器I/O

口不足, 使其不得不使用串联编码器或循环检测的方法来弥补管脚的不足, 这样会使系统整个运行速度下降, 且不能保证时序, 无法准确探测高速运动物体的坐标, 同时无法适应大靶面的需求。其次, 由于传统微控制器的处理速度慢, 使这种系统无法测试子弹连发的坐标<sup>[7]</sup>。

针对这些问题, 文中将现场可编程门阵列(FP-

收稿日期: 2010-12-09

基金项目: 山西省科技基础条件平台建设项目(2010091013)

作者简介: 张斌(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光电探测理论与技术。

GA)和AVR单片机相结合,应用于激光光幕坐标靶测试,达到了高速密集多路光信号的并行采集,充分发挥FPGA I/O口众多、响应速度快和单片机控制方便的特点。

## 1 Altera FPGA和AVR单片机

文献[6]介绍了一种实弹射击精确自动报靶系统。在该系统中,发光二极管发射平行光束,光电二极管组成接收传感器阵列,共同组成光电靶。子弹穿过靶遮挡光束,X、Y轴对应的光电二极管输出脉冲信号,通过编码形成8位二进制地址码,利用单片机进行数据处理。为了解决I/O口不足的问题,文献[5]不得不采用13片74148芯片的8-3线编码器组合成100-8线编码器,这样做不仅连线繁杂而且无法适应大靶面的需求。而用FPGA和单片机相结合,就可以很好地解决这些问题。

Altera公司的Cyclone I系列的FPGA,是基于Stratix的工艺架构,采用0.13  $\mu\text{m}$ 的工艺制造,其内部有锁相环、RAM块、逻辑容量从2 910~20 060个LE。本系统选用了Cyclone的EP1C6Q240C8,它有5 980个LE、20个M4K的RAM,2个锁相环、最大用户I/O数为185<sup>[8]</sup>。由于测坐标模块的X轴和Y轴各需要125个光电探测器组成,所以必须有125路输入信号,加上各种控制管脚和输出口,选用的FPGA用户I/O口必须在140个以上。

ATMEL公司的AVR是8位单片机中第一个真正采用RISC结构的单片机。它采用了大型快速存取寄存器组、快速单调周期指令系统以及单级流水线等先进技术,使得AVR单片机具有高达1 MIPS/MHz的高速运行处理能力。系统的总控制模块使用ATMEL公司的ATmega16L作为控制器,它采用先进的RISC结构和AVR内核,拥有16 KB在线可编程Flash程序存储器,1 KB片内SRAM数据存储器,512字节片内在线可编程EEPROM数据存储器。支持片内调试,包含丰富的外围接口,同时具备了宽电压、高速度、低功耗等优点<sup>[9]</sup>。完全满足系统的要求。

## 2 FPGA和单片机应用于密集多路光电开关信号检测

### 2.1 控制和采集

激光光幕测坐标靶的控制和采集部分由单片机Atmega16和FPGA EP1C6Q240C8组成。控制部

分的框图如图1所示,由于X轴和Y轴的采集系统相同,故只画出Y轴的系统框图。

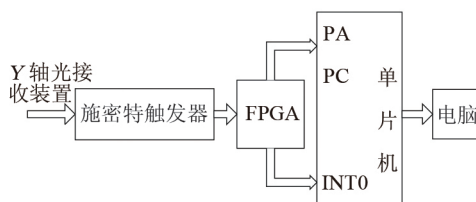


图1 控制和采集框图

激光光幕测坐标靶的原理与文献[6]相似,也是通过对X、Y轴的输出脉冲信号进行处理,在此不赘述,从图1中可以看出,输出脉冲信号经过施密特触发器,使输出的电压满足FPGA的电压要求。

### 2.2 FPGA和单片机的软件处理

软件的处理主要分为FPGA和单片机的软件处理,其中要用到的信号如表1所示。

表1 信号功能图表

信号	初始值	功能
rest	0	FPG复位信号
cs	1	FPGA工作信号,当cs=1且rest=1时,启动FPGA
cx	1	FPGA片选信号,当cx=1时,单片机从FPGA中读数据
into	1	FPGA向单片机发的中断信号,下降沿有效
dclk	0	单片机向FPGA发的数据传输信号,上升沿有效
ain	125位0	FPGA输入数据端口
q	8位1	FPGA输出数据端口
PA	8位1	单片机输入数据口
PC	8位1	单片机输入数据口

FPGA主要负责信号的并行采集,由于I/O口丰富,可以并行采集125路数据,免去了串联编码芯片的繁杂。工作的流程图如图2所示。

单片机主要负责将FPGA传输来的数据转换成坐标数据,然后进行显示。主程序工作流程图如图3所示。

## 3 应用分析及仿真验证

### 3.1 应用分析

为了能使FPGA和单片机应用到弹丸坐标的测试

中,首先应该满足的条件就是有足够快的反应速度。

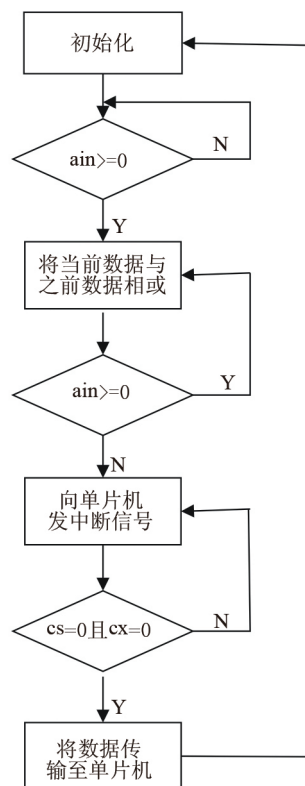


图2 FPGA工作流程图

这里设定弹丸长度为3 cm,光幕宽度为0.5 mm,这样,弹丸通过光幕时,采集装置必须在这35 mm的路径之内对弹丸飞行坐标进行采集。设弹丸速度为2 000 m/s,则弹丸从飞入光幕到飞出光幕的时间为17.5  $\mu$ s,设置FPGA的采集间隔为20 nm,这样,在35 mm的路径中,FPGA已经对同一个弹丸的坐标值采集了875次,绝对满足弹丸坐标数据的采集。但如果将这875次的数据全部传输给单片机,不仅造成数据的拥塞,还会给单片机的处理造成麻烦,所以FPGA将这875次数据进行相或的运算,得出一组数据,这样不仅保证了准确度,而且需要传输的数据量也不大。

对于AVR单片机,使用的是7.372 8 MHz的晶振,每个机器周期为125 ns左右,为了使单片机不拖延FPGA的运行速度,这里采用采集和处理相独立的方法,单片机的处理速度不会影响到FPGA的采集速度,因此不会影响系统性能。

系统是否能测连发,关键是看第二发通过启动光幕之前,系统是否已经对第一发数据处理完毕并复位,即枪械的射频不能超过系统每秒处理弹丸数据的次数。假设弹丸的速度为720 m/s,靶距为2 m,

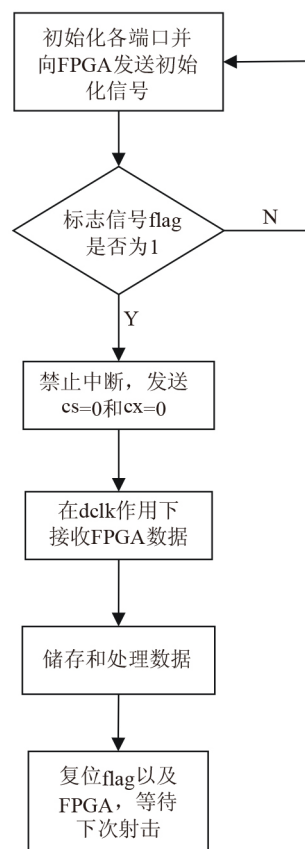


图3 单片机工作流程图

则弹丸通过两光幕的时间为2.8 ms,AVR单片机采用7.372 8 M晶振,系统一个时钟周期大约是0.14  $\mu$ s,系统进入一个子函数需要3个时钟周期,进入外部中断至少需要8个时钟周期。

在编写程序时,为了节省单片机处理数据的时间,系统对弹丸参数只进行简单的处理,待全部打完之后,由上位机发送信号,使单片机对数据进行处理,然后发送。这样就可以满足连发的测试要求。

此外,FPGA还有I/O口众多的优点,弥补了其他处理器的采集端口不足的缺点,如果要求测试的靶面较大,可以采用FPGA拼接的方法,利用多个FPGA并行采集,系统的响应速度也不会降低。

### 3.2 仿真实证

FPGA工作的仿真图如图4所示,在FPGA初始化后,当ain不为0时,FPGA开始采集,当ain再次回到0时,into发出下降沿,单片机将cs拉低后,在16个dclk脉冲之后,将q信号读到单片机中。在整个系统中,FPGA独立完成数据的采集以及储存,这样做的好处是可以发挥FPGA I/O资源丰富,速度快

的优点。

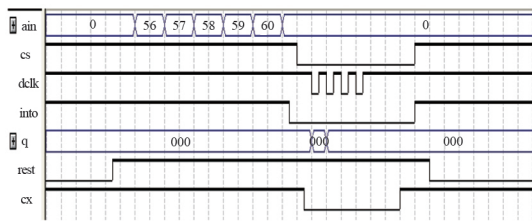


图4 FPGA工作仿真图

为了验证系统是否可以测高速连发弹丸坐标,文中对单片机的程序进行仿真,如图5所示。通过在 AVR Studio 软件上仿真可知,从弹丸穿过截止靶,系统开始接收数据,到最后初始化完成,等待下一发弹丸,程序上总共用了 122.21  $\mu\text{s}$ ,不足 1 ms,即只要枪械每一发的射出时间间隔大于 1 ms,系统就可以测试该枪械的连发弹丸参数。

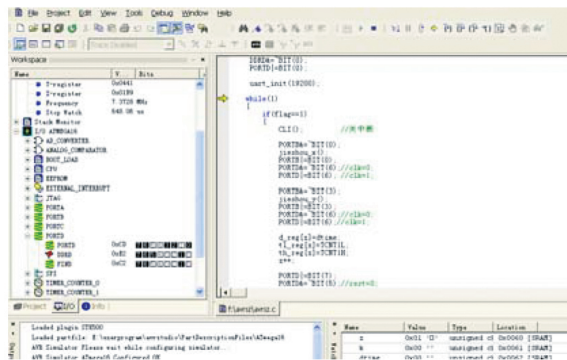


图5 AVR Studio工作仿真图

### 4 靶场坐标测试实验

为了测试 FPGA 和单片机应用在激光测坐标靶中的性能,进行了现场实弹射击实验,用某半自动步枪发射直径为 7.62 mm 的子弹,弹丸速度约为 750 m/s,通过串口显示阻挡 Y 轴探测器的路数。Y 轴测试长度为 125 路信号(可扩展),靶纸位置距光敏二极管阵列 2 m,光幕宽度约为 5 mm,由于接收装置选用了直径为 4 mm 的光敏二极管阵列,所以本系统的精度为  $\pm 2$  mm,且子弹通过光幕最多遮挡两路信号。测试数据如表 2 所示。

从实际测得的 10 发子弹的弹着点坐标数据中,可以看出,弹着点分布于整个有效靶区范围内,即在靶区的任何位置,FPGA 和单片机都能够准确地

显示坐标数据。

在试验数据中,发现有部分实验数据和比对数据出现偏差,其原因是因为每次子弹通过坐标纸后,以相同直径的铁棒插进弹孔,然后查看光敏二极管阵列中哪几路被挡光,由于人为因素,插入弹孔的铁棒不一定能与地面保证平行,且不一定能准确反映子弹弹道,所以应该以显示数据为准。

表 2 试验数据

弹序	坐标靶测量值/(路)	静态测量值/(路)
第 1 发	44	43,44
第 2 发	55	55
第 3 发	35,36	36
第 4 发	7	7
第 5 发	65	65
第 6 发	20	20
第 7 发	42	42
第 8 发	32	32
第 9 发	58,59	58
第 10 发	28	28

实验没有对连发弹丸进行弹着点坐标的测试,因为在单发测试中已经表明,只要满足 FPGA 的反应速度,就可以准确地捕捉到弹丸的过靶信号。

### 5 结论

在对比文献[4]和文献[5]的基础上,将现场可编程门阵列(FPGA)和单片机相结合,用于激光光幕坐标靶测试。通过使用 FPGA 来代替众多编码器的串联,同时利用单片机控制的灵活性对采集数据进行处理。

理论和实践都表明,由 FPGA 和单片机组成的数据处理、采集装置应用在激光光幕测坐标系统中,不仅继承了光电靶的众多优点,满足不同尺寸弹丸飞行坐标的测试,还解决了传统激光光幕测坐标靶的处理器 I/O 紧缺、处理速度慢等缺点。同时,FPGA 和单片机可以应用在大靶面的坐标测试中,同时保证较高的测试精度和较小的误差。

此外,它不仅能测试弹丸的弹着点坐标,还可以测试高速物体的飞行轨迹以及速度,应用前景比较广阔,在军事、反恐、安检、商业等方面都可以得到很好的应用。(下转第 73 页)

QT开发软件制作USB读数应用程序,完成了数据的传输任务。该设计实现了基于arm的便携式USB读数设备,可取代笔记本完成野外读数任务。

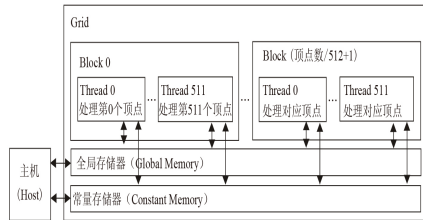


图2 arm开发板与数据记录仪

图3是利用LabVIEW做的数据显示界面,经过多次试验,所显示的数据波形与使用FIDI公司官方提供的FT245驱动的PC机读取的数据波形完全相同。所用试验表明驱动的设计是成功的。

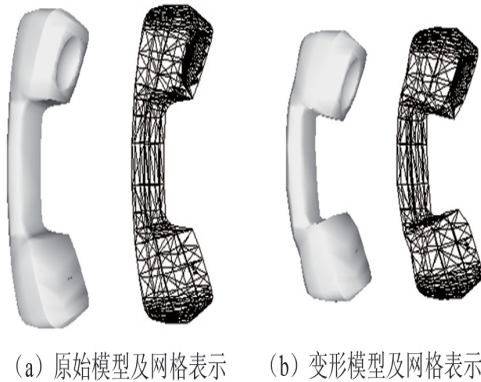


图3 基于LabVIEW的数据显示界面

## 4 结束语

针对FT245芯片设计制作Linux操作系统下的USB驱动程序,并移植到arm开发板上,经实验验证驱动设计是成功的。该设计在专用测试系统工程的项目中已得到应用,成功解决了FT245 USB芯片在linux+arm平台下没有驱动的难题,具有实际意义。

## 参考文献

- [1] 魏鹭,张焕强,方贵明. 基于Linux的USB驱动程序实现[J]. 计算机应用,2002,22(8):17-19.
- [2] 蔡震,蒋辉柏,周利华. Linux系统下USB设备驱动程序的开发[J]. 计算机测量与控制,2003,11(2):135-137.
- [3] 冯光磊,郭忠文. 基于ARM和Linux的USB OHCI驱动的设计与实现[J]. 计算机应用,2009,29:53-55.
- [4] 刘永祥,贺金平,吕杨. 基于Linux的USB设备驱动程序实现[J]. 无锡职业技术学院学报,2006,5(3):23-25.
- [5] 艾妮,曾成斌. Linux系统下USB2.0设备驱动程序的开发[J]. 现代机械,2005(2):16-17.
- [6] 闫婷婷,龙卓群. 基于Linux的USB从设备驱动研究[J]. 电子元器件应用,2009:11(10):55-57.
- [7] 杨建华,黄宇东,陈安. 基于嵌入式Linux的USB驱动设计[J]. 福建电脑,2009(4):11-14.
- [8] 赵昌明 穆煜. 嵌入式Linux应用开发教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:253-264.
- [9] 梁孔科,杨林楠,张丽莲. 基于S3C2410与Linux的USB驱动的设计[J]. 福建电脑,2008(4):2-4.
- [10] Alessandro Rubini. Linux Device Drivers[M]. 2nd. USA: O'Reilly,2001:101-160.
- [11] Linux USB developer and support information[EB/OL], (2010.8.5) [2010.10.20], <http://www.linux-usb.org>.
- [12] 赵凯生,刘爽. 基于ARM的线阵CCD测量系统应用分析[J]. 光电技术应用,2006,21(1):17-19.

(上接第69页)

## 参考文献

- [1] 王昌明. 实用弹道学[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
- [2] 周承仙. 连发射弹弹丸速度及弹着点坐标测量系统的研究[D]. 太原:中北大学,2008.
- [3] 赵豫姝,赵冬娥,赵辉. 一种新型激光测速系统的设计与应用[J]. 弹箭与制导学报2008(4):285-287
- [4] 白兴满. 炮用激光测速系统的设计[D]. 太原:中北大学,2003.

- [5] 王连海,杨慧武. 组合平行激光光幕靶. 中国200420007418.7 [P].
- [6] 范茂彦,张丽芳. 实弹射击自动精确报靶系统研制[J]. 传感器世界,2003(11):3-5.
- [7] 秦向军,周汉昌. 激光光幕自动报靶系统的设计与实现[J]. 计量与测试技术,2009(3):14-17.
- [8] 黄智伟. FPGA系统设计与实践[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [9] 马潮. AVR单片机嵌入式系统原理与应用实践[M]. 北京:航空航天大学出版社,2007.