

## 基于 FPGA 的红外图像仿真注入系统

管目强<sup>1,2</sup>, 李岩<sup>1</sup>, 黄梅<sup>1,2</sup>, 王鹤淇<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**设计了一种新的图像注入系统来实现 PC 机仿真图像到红外处理系统的直接传输。首先,该系统利用 USB2.0 接收 PC 机对外场实测数据仿真得到的 BMP 格式文件,用 FPGA 控制由两个 SDRAM 组成的缓冲模块进行图像缓存,然后通过 Camera Link 接口传送出去。系统数据缓存采用乒乓操作,避免了数据处理时无法持续接收而丢失有效数据的现象。测试时用图像采集卡进行图像采集并显示。结果表明,该系统具有速度快、实时性好、稳定性高等特点,可替代光电跟瞄设备进行仿真训练及设备的动态检验。

**关键词:**红外图像仿真;图像注入系统;FPGA;乒乓操作;camera link 接口

**中图分类号:**V556; TP391.9 **文献标识码:**A

## Infrared image simulation injection system based on FPGA

GUAN Mu-qiang<sup>1,2</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, HUANG Mei<sup>1,2</sup>, WANG He-qi<sup>1,2</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** A new image injection system was presented to realize the direct transmission of PC simulated images. Firstly, the system received a BMP file obtained by simulation for the measured data of the external field using PC though USB2.0. Then, a FPGA was used to control the buffer module consisting of two SDRAMs for the image cache, and the image was sent to the image acquisition card by Camera Link. Finally, the image was acquired by the image acquisition card and displayed on a monitor. The ping-pong operation was adopted for data cache to avoid the condition that the data couldn't be received continuously and valid data may be lost. Experiments show that the image injection system has advantages in well real time, vividly and high-speed features, and provides reliable data for optical equipment scanning and manipulator training.

**Key words:** infrared image simulation; image injection system; FPGA; ping-pong operation; camera link interface

## 1 引言

在军队靶场训练基地,操作人员主要通过光电跟瞄设备完成对目标的捕获跟踪任务,能否迅速准确地捕获跟踪高速目标是检验光电跟瞄设备性能的主要手段。跟踪分为自动跟踪和手动跟踪。由于武器平台具有机动性强、目标远、目标小等特点,自动跟踪很容易把目标跟丢,因此必须有手动跟踪作为补充。而手动跟踪对操作手的操作能力有着很高的要求,操作手的跟踪捕获能力需要在大量的训练中得以提高。

目前,在光电跟踪设备训练方面的研究,大多都属于纯计算机仿真训练,脱离了实际的光电跟瞄设备。这些系统在跟踪慢速运动目标时,效果很好,但是在跟踪高速运动目标时,效果不是很理想。从使用方面看,现在的跟瞄设备训练系统的数据源均由算法计算所得,其效果很难接近真实的飞行环境,并且模拟训练不能实现闭环要求,无法实现对光电跟瞄设备的动态检测<sup>[1,2]</sup>。因此靶场实验基地急需一套专门的、低成本而又高效率的模拟训练系统。

本文提出了一种新的仿真图像注入系统,该系统利用 PC 机对外场测得的目标飞行信息进行仿真,然后将仿真结果注入到跟瞄设备中,从而替代光电设备进行仿真训练及设备的动态检测<sup>[3]</sup>。

## 2 图像注入系统运行模式

目标跟踪系统分为两种运行模式:一种是操作手训练模式,该模式下可以不开启红外相机,对操作手进行模拟训练,同时还可以对跟踪系统的动态性能进行检测;另一种是实战状态,在这种状态下可以实现目标的手动跟踪和自动跟踪。两种模式的切换方式如图 1 所示。

训练模式时操作手操作单杆,并将信息传递给仿真控制系统,控制系统根据初始化参数、单杆

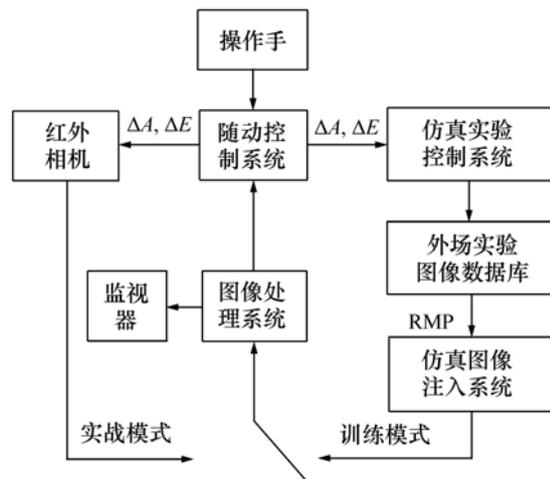


图 1 图像注入系统运行模式图

Fig. 1 Operation diagram of image injection system

控制信息及外场实验图像数据库生成目标图像,并叠加背景图像,生成 BMP 格式的输出图像,然后利用仿真图像注入系统传输到图像处理系统,图像处理系统解算出脱靶量等信息,并将处理结果传递给控制系统,完成对目标的捕获训练。

## 3 仿真图像注入系统

本文设计的仿真图像注入系统技术指标如下:

(1) 图像注入系统接收 PC 机发出的仿真图像信息,接收速度要求大于 15 MB/s。即图像注入系统可以接收分辨率为  $320 \times 240$ , 深度为 16, 帧频为 100 frame/s 的图像。

(2) 注入系统能将接收到的图像数据按照 Camera Link 协议高速、实时、不间断地送给后级图像处理系统,保证传递到后级系统的图像数据没有丢帧的情况发生。

根据图像注入系统的技术指标采用模块化设计思想,模块分为图像数据接收模块、图像数据缓存模块、图像数据发送模块和时序控制模块。系统框图见图 2。

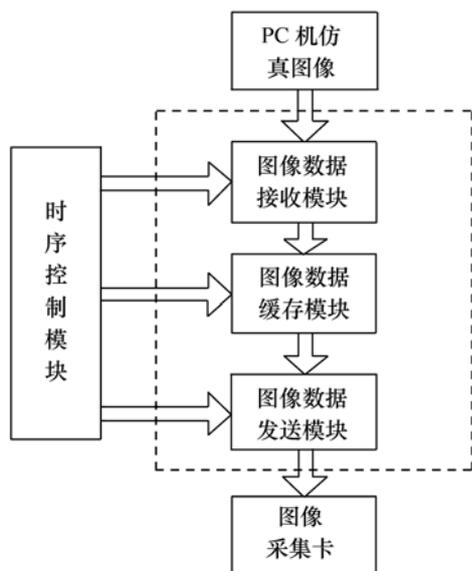


图2 图像注入系统框图

Fig.2 Block diagram of image injection system

### 3.1 图像数据接收模块

图像数据的接收速率要求大于 15 MB/s, 满足该速率的方案可以使用 USB2.0 和 PCI 总线, 但 USB2.0 具有应用广泛、携带方便的特点, 故本系统选用 USB2.0 作为数据的接收方式。

设计中采用 Cypress 公司的 EZ-USB FX2 芯片, 该芯片将 USB 外围接口设备所需要的各种功能包装成一个简洁的集成电路。EZ-USB FX2 的串行接口引擎 (SIE) 可工作在全速 (1.5 MB/s) 或高速 (60 MB/s) 传输速率下。为了实现 60 MB/s 的高传输速率, 外部逻辑通常直接接到 FIFO 进行数据传输, 且在传输过程中不需要 FX2 CPU 的参与。当一个实际应用要求 CPU 处理外部逻辑与 USB 之间传输的数据, 或者当不存在外部逻辑时, 则固件程序能够存取端点缓冲区, 就像取 RAM 区或者利用一个自动增量指针存取 FIFO 一样。

FX2 有两种接口方式: Slave FIFOS 和通用可编程接口 (GPIF)。本文采用的是 Slave FIFOS 方式, 这种接口与 FPGA 相连比较简单。FIFO 数据总线宽度  $FD[x:0]$  可以是 8 位, 也可以是 16 位, 其由 FIFO 的 WORDWIDE 位 (EPxFIFOCFG.0) 决定。芯片上电或复位后, FIFO 的数据总线默认为 16 位 (WORDWIDE = 1)。FIFOADR[1:0] 引脚用

于选择 4 个内部 FIFO 中的一个与 FD 脚连接<sup>[4]</sup>。

### 3.2 图像数据的缓存模块

图像数据缓存可以采用三种方案: 一是采用先进先出 (FIFO) 的方式, 该种方式具有两套数据线, 没有地址线, 可以在一端写的同时另一端读; 二是采用双端口 RAM 的形式, 与第一种方式不同, 该方式具有两套独立的数据、地址和控制总线, 可以从两个端口同时读写而互不干扰; 三是采用双 SDRAM 结构, 该结构使 SDRAM 工作在“乒乓”模式, 一个 SDRAM 接收数据的同时另一个 SDRAM 发送数据。第一种方案读写数据比较呆板, 并且大容量的高速 FIFO 非常昂贵; 第二种方案大容量的高速双口 RAM 很难实现且价格高。考虑到系统的性能、价格及读写速度等原因, 本系统采用第三种方案<sup>[7]</sup>。

SDRAM 作为系统的缓存区来完成图像的暂存功能。SDRAM 需要对接收来的一帧数据进行缓存, 每帧图像的尺寸为  $320 \times 240 \times 16 = 1\,228\,800$  bit, 近似为 150 KB。因此, 采用两片 256 KB 的 SDRAM 就可以实现系统的缓存要求。

### 3.3 图像数据的发送模块

Camera Link 协议是各公司为简化图像采集的接口, 该协议使不同制造商的图像采集卡与数码相机有了一个统一的连接标准。Camera Link 采用 LVDS 传输方式, 该协议比较适宜于高速数据的传输。Camera Link 是由 channel link 技术发展而来的。channel link 包含一个驱动器和一个数据接收器。发送端驱动器在一个时钟周期内将 28 位的数据信号以 7:1 的比例转换成 4 路数据信号对, 同时将时钟信号也转换成 1 路时钟信号差分对, 发送器将这 5 路差分信号同时传送给接收端。接收端将接收到的 5 路差分信号转换回 28 位的并行信号和 1 位时钟信号。采用这种传输方式可以减少数据传输中电缆的条数和数据接收器个数<sup>[8]</sup>。

发送模块主要采用 NI 公司的 DS90CR287 来实现。如图 3 所示, DS90CR287 对 FPGA 送出的 28 位 TTL 数据信号和 1 路时钟信号进行电平转换与发送。28 位数据包括: 24 位图像数据, 4 位图像数据同步信号 Spare, LVAL, FVAL 和 DVAL, 设计中只用到 FVAL 和 LVAL 同步信号。

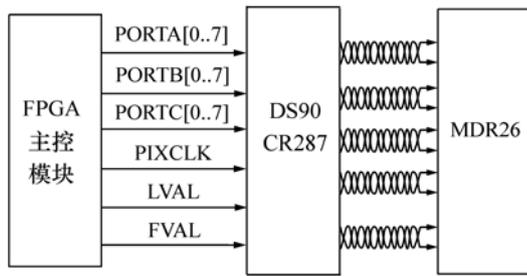


图3 Camera Link 接口电路

Fig. 3 Camera Link interface circuit

### 3.4 时序控制模块

时序控制模块采用 ALTERA 公司的 EP2K8Q208C8N 作为整个图像注入系统的时序控制模块。该模块主要控制 USB2.0 接口的数据接收、SDRAM 的读写和 Camera Link 接口的数据发送。

FPGA 和 USB2.0 之间的数据传递采用 Slaves FIFOs 的形式,该设计方法比较便捷。为避免读写过程的亚稳态、空满状态判断问题,设计中采用格雷码指针和划分地址空间方法产生空满逻辑。控制状态机发出的控制信号不断查询 Slaves FIFOs 的空满状态,根据这些状态决定是否将接收的数据读到 FPGA 中,根据状态机的控制信号判断把数据写入相应的 SDRAM 中。

对双缓存 SDRAM 的控制采用在 FPGA 中构建嵌入式系统来实现,利用 IP 核的形式来构建。SDRAM 控制器核可通过不同的数据宽度(8位、16位、32位或64位)来访问 SDRAM,可以访问不同容量且有多个片选的存储器。可以完成 SDRAM 的初始化,将 FPGA 发出的读写指令转变为 SDRAM 的读写电平格式,以及定时刷新 SDRAM 等工作。SDRAM 从 FPGA 发出读写控制指令到 SDRAM 与数据总线之间实现交换,有 11 个时钟周期的延迟时间。为提高传输的效率,SDRAM 的读写采用整页读写模式,并将突发读写长度设置为 64 个时钟周期。SDRAM 数据的读写控制信号由 FPGA 中的控制状态机实现,当写完一帧数据时两块 SDRAM 进行读写功能切换,即原来写数据的 SDRAM 切换到读数据模式,而原来读数据的 SDRAM 切换到写数据模式。

在对数据发送时序控制时采用了 Verilog HDL 语言,数据传输时采用视频同步信号的 FVAL(帧同步信号)和 LVAL(行同步信号)<sup>[9]</sup>。如图4所示,当 FVAL 为高电平时,输出一帧有效数据;LVAL 为高电平时,输出一个有效像元行,在两个有效像元行中间,LVAL 会跳过几个无效的像素点,可以在实际应用中设定跳过的像素点数。当 FVAL 与 LVAL 信号都为高电平时,数字图像数据在时钟信号 PIXCLK 的控制下依次发送。设计中 FPGA 的时钟为 50 MHz,仿真图像发送控制时钟信号 PIXCLK 采用系统时钟的 2 分频,即 25 MHz。视频同步信号 FVAL 和 LVAL 均由时钟信号 PIXCLK 计数产生,时序如图5所示。设计中采用帧频为 100 frame/s,所以传输一帧图像所用的 PIXCLK 周期的个数为  $25\text{ MHz}/100 = 250\ 000$  个。设定跳过的无效像元  $P_1, P_2$  分别为 41, 19 个 PIXCLK 周期,帧同步信号 FVAL 在一个周期中低电平的时间为 162 340 个 PIXCLK 周期。传输一帧图像用的时间为  $240 \times (320 + 45) + 41 + 19 + 162\ 340 = 250\ 000$  个时钟周期。

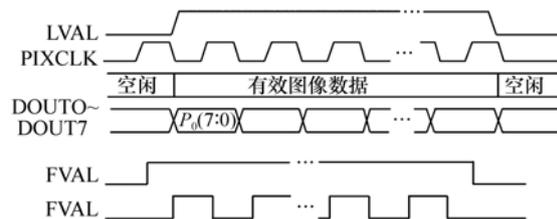


图4 图像时序信号关系

Fig. 4 Timing relationship between the image signals

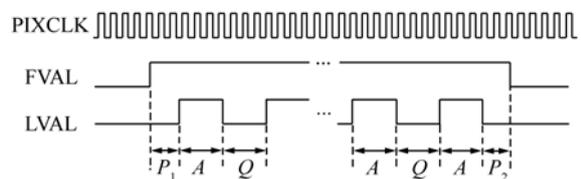


图5 视频同步控制信号时序

Fig. 5 Video synchronous signal timing

根据模块化设计思想,设计的图像注入系统的总体数据信号流程图如图6所示。

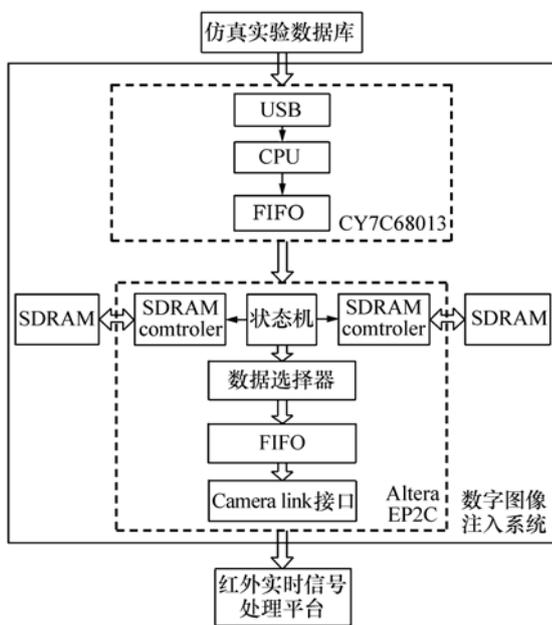


图6 图像数据流图

Fig.6 Flow diagram of image data

#### 4 试验结果

根据所设计的硬件电路编写软件代码,



图7 图像注入系统上位机测试对话框

Fig.7 Dialog box of PC testing in image injection system

#### 参考文献:

- [1] 宋振丰,李岩,于洋. 数字图像注入式红外目标捕获跟踪训练仿真[J]. 中国光学与应用光学,2010,3(9):194-200. SONG ZH F,LI Y,YU Y. Simulation for IR capturing and tracking train based on digital image injection[J]. Chinese J. Opt. Appl. Opt. ,2010,3(9):194-200. (in Chinese)
- [2] 王斌,赵跃进. 基于电子稳像跟踪技术滤波算法[J]. 光学精密工程,2009,17(1):202-206. WANG B,ZHAO Y J. Motion filtering algorithm for tracking technology based on image stailization[J]. Opt. Precision Eng. ,2009,17(1):202-206. (in Chinese)

FPGA部分的软件信息采用 Flash 配置,上电后系统自动加载。系统测试时采用在输入端连续发送一幅图像数据为  $320 \times 240$  的灰度图像,图像深度为 16,帧频为 100 frame/s,上位机发送对话框如图 7 所示。用 CL160 采集卡进行图像采集与显示,测试结果稳定,没有丢帧现象,测试效果如图 8 所示。测试中平均传送帧频为 101 frame/s,平均传输速率为 15.483 MByte/s。



图8 采集卡采集效果图

Fig.8 Collection effect image of acquisition card

#### 5 结论

本文提出一种将计算机仿真图像注入到跟瞄设备的方法。该方法既可以完成模拟目标跟踪日常训练,提高操作手捕获跟踪目标能力的任务,又可以完成跟踪设备的自动跟踪性能检测及跟踪算法的验证。输出图像数据真实、实时性好、图像连续不间断。该系统能够实现在不开启红外相机的情况下完成训练及各种跟踪算法的客观评价,节约了成本。

- [3] 吴军辉,朱震,薛芳侠,等. 数字图像注入式红外捕获跟踪闭环仿真试验探讨[J]. 系统仿真学报,2004,16(9):2067-2070.  
WU J H,ZHU ZH,XUE F X,*et al.*. Study on loop-locked IR capturing and tracking simulation based on digital image injection[J]. *J. System Simulation*,2004,16(9):2067-2070. (in Chinese)
- [4] 许永和. EZ-USB FX 系列单片机 USB 外围设备设计与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.  
XU Y H. *EZ-USB FX USB Peripherals MCU Design and Application* [M]. Beijing:Beihang University Press,2002. (in Chinese)
- [5] 姚剑敏,靳明,宋建中. 基于 USB2.0 的实时视频图像传输[J]. 数据采集与处理,2004,19(3):352-355.  
YAO J M,JIN M,SONG J ZH. Real-time video image transmission based on USB 2.0 technology[J]. *J. Data Acquisition Processing*,2004,19(3):352-355. (in Chinese)
- [6] 梁风梅,赵敬. 基于 USB2.0 的高速实时图像采集系统[J]. 电脑开发与应用,2009,22(6):26-30.  
LIANG F M,ZHAO J. An rapid real-time image acquisition system based ON USB 2.0[J]. *Computer Development Appl.*, 2009,22(6):26-30. (in Chinese)
- [7] 康艳霞,曹剑中,天雁,等. 实时视频处理系统中乒乓缓存的设计[J]. 火箭与制导学报,2007,27(4):218-221.  
KANG Y X,CAO J ZH,TIAN Y,*et al.*. Ping-pang cache structure in real-time video processing system[J]. *J. Projectiles; Rockets; Missiles and Guidance*,2007,27(4):218-221. (in Chinese)
- [8] BASLER,CONGNEX,CORECO Corporation,*et al.* Specifications of camera link interface standard for digital camera and frame grabbers[S]. Camera Link Specifications. [S·1·]:BASLER,CONGNEX,CORECO Corporation,2000.
- [9] 王小艳,张会新,孙永生,等. Camera Link 协议和 FPGA 的数字图像信号源设计[J]. 国外电子器件,2008(7):59-61.  
WANG X Y,ZHANG H X,SUN Y SH,*et al.*. Design of numeral picture signal source based on Camera Link standard and FPGA[J]. *International Elements*,2008(7):59-61. (in Chinese)
- [10] 黄维通. Visual C++ 面向对象与可视化程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.  
HUANG W T. *Visual C++ Object-oriented Programming and Visualization* [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2003. (in Chinese).
- [11] 朱丽,陈钟荣,张秀再. 基于 VC 的 USB 接口通信程序设计[J]. 电子工程师,2008,34(3):57-60.  
ZHU L,CHEN ZH R,ZHANG X Z. Program design of USB interface communication based on VC[J]. *Electronic Eng.*, 2008,34(3):57-60. (in Chinese)

作者简介:管目强(1985—),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事计算机仿真应用、视频数据传输方面的研究。

E-mail:guanmuqiang@sina.com