

基于虚拟图像注入的目标模拟器设计

宋振丰^{1,2}, 李 岩¹, 于 洋¹, 李 姜^{1,2}

(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: 提出了一种新的基于虚拟图像注入的目标模拟器的研究方法。该方法基于速度追踪原理。模拟器从主控计算机获得跟踪设备及目标的参数, 用 DSP 产生图像数据, FPGA 控制图像时序, 最后通过 Camera Link 接口将目标跟踪的图像数据发送出去, 完成对目标捕获及跟踪的模拟训练过程。给出了软、硬件实现的方案和结构。跟踪捕获过程可以达到目标场景的全景性和实时性, 能够满足光电跟瞄设备的运行维护与操作训练要求。

关键词: 虚拟图像注入; FPGA; DSP; 异步 FIFO; Camera Link

中图分类号: TP391.8

文献标识码: A

Design of target-simulator based on virtual image injection

SONG Zhen Feng^{1,2}, LI Yan¹, YU Yang¹, LI Jiang^{1,2}

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

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

Abstract: A new research method of target-simulator based on virtual image injection is introduced, which is based on principles of velocity-tracking. Simulator accesses the parameters of tracking equipment and target from master computer. Image data are generated by DSP and image timing is controlled by FPGA. Finally, image data of goal tracking are sent through the interface of Camera Link and the simulation training process of goal capturing and tracking is completed. The software solutions and hardware architecture are given. The process of tracking capture achieves to panoramic and real time of target scene. It also can meet the maintenance and training request of the photoelectric tracking device.

Key words: virtual image injection; FPGA; DSP; asynchronous FIFO; Camera Link

军队靶场训练基地用于跟踪高速运动目标的主要手段是光电跟瞄设备。对于光电跟瞄系统而言, 操作训练需要外部目标环境的紧密配合, 因此, 训练所需的目标环境构建成为对操作手训练和对光电跟瞄设备仿真检测的关键因素之一。如果通过现场飞行试验来构造目标环境, 则训练成本过大, 还受到天气等环境因素的影响。因此, 如何低成本而又高效率地完成操作训练是目前困扰相关军事单位的一个难题。

目前, 在靶场训练的项目中, 通过研制目标模拟器来构造目标环境, 并采用虚拟场景注入的方法来实现。该方法通过事先录制好一段目标场景的图像, 操作手根据观看播放的录像, 操纵光电跟瞄设备对录像中的目标进行跟踪捕获训练。但此方法没有反馈, 而且实时性较差。本文提出一种新的虚拟图像注入方法。该方法实时

获得跟踪设备及目标的运行参数, 根据速度追踪原理模拟生成目标及背景的图像数据, 从而达到跟踪训练的目的。该方法实现简单方便、可操作性强, 更加注重操作手对光电跟瞄设备操纵的性能。

1 目标模拟训练系统的运行模式

在工作过程中, 首先由操作手根据训练需要设定目标模拟的速度、机动特性等初始参数并送到主控系统; 按照设定的目标运行特点在每帧待输出图像上设定、调整目标位置; 目标模拟器通过主控计算机接收编码器位置信息, 并解算设备运行速度, 根据速度追踪原理输出实时跟踪的图像数据; 将图像处理系统转换到接收目标模拟器输出图像信息的模式; 图像处理器将叠加十字丝的视频图像传送给操作手的监视器; 操作手操作单杆控制伺服系统运转, 使回转平台运转对目标进行模拟捕

获;最后,图像处理器根据编码器返回数据实时调整目标位置,完成对目标捕获过程的模拟训练。系统运行模式如图 1 所示。

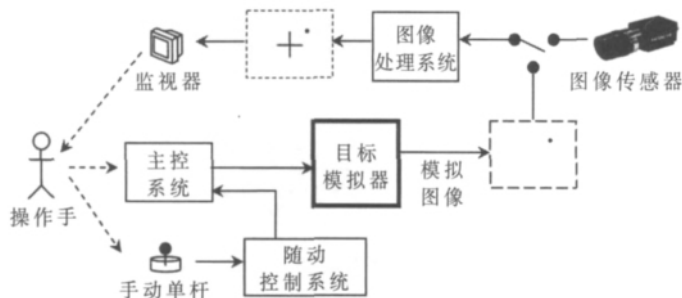


图 1 目标模拟训练系统的运行模式

2 数学建模

目标模拟器的数学模型基于速度追踪原理:假设目标按照特定速度与设备视轴做等速运动,该速度在单帧合成图片中体现为位置脱靶量,如图 2 所示。

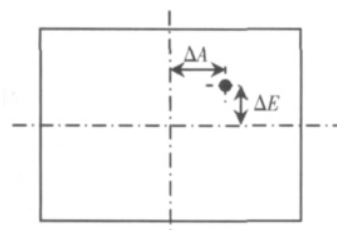


图 2 目标模拟器合成目标模型

图 2 中 ΔA 和 ΔE 的初始设置为:

$$\Delta A = \frac{V_A}{f}, \Delta E = \frac{V_E}{f}$$

当操作手开始进行手动跟踪时,目标仿真图像的调整数学模型为:

$$\Delta A' = \Delta A - \frac{V'_A}{f}, \Delta E' = \Delta E - \frac{V'_E}{f}$$

其中: V_A : 用户设定的目标方位运行速度;

V_E : 用户设定的目标俯仰运行速度;

V'_A : 设备实际方位运行速度;

V'_E : 设备实际俯仰运行速度;

f : 图像帧数。

3 硬件设计

目标模拟器由串口转换模块、DSP 模块、FPGA 模块、Camera Link 接口模块组成,结构如图 3 所示。

DSP 采用 TI 公司的 TMS320F2812 芯片,它是目前用于控制领域的最高性能的处理单元,具有控制精度高、速度快、使用灵活以及集成度高等优点,运行速率可达 150 MIPS,指令采用流水线处理,使得数据处理的能力大大增强^[1]。设计中主要利用其串行通信(SCI)接口、外部中断(XINTF)

T_x)接口和外部扩展(XINTF)接口。通过与主控计算机进行通信,接收模拟目标和跟踪设备的参数,并根据建立的数学模型解算出目标及设备的坐标,实时生成目标及背景的图像数据,同时接收时统的同步中断信号。

设计中选用 MAXIM 公司的 MAX3070 芯片进行 RS-422 到 RS-232 协议的转换,利用 DSP2812 的 SCI 模块实现与主控计算机的通信。把 MAX3070 的 DI 脚与 DSP2812 的 SCITXD 相连,RO 与 DSP2812 的 SCIRXD 相连,同时为了保证顺利地与主控计算机通信,允许接收 RE# 脚直接接地,允许发送 DI 脚直接接 V_{CC} 。加上两个电阻以及去耦电容实现了串行通信接口的硬件设计^[2]。DSP2812 通过外部扩展接口(XINTF)与 FPGA 进行数据传递,将 XWE# 引脚作为写使能信号与 FPGA 的 I/O 脚相连,将 XCLKOUT 引脚作为写时钟信号与 FPGA 的 I/O 脚相连,将 16 位数据线 with FPGA 的 I/O 脚相连,来传送图像数据信号。

FPGA 以 ALTERA 公司的 Cyclone II 系列的 EP2C8-Q208C8 芯片作为目标模拟器的时序和逻辑控制核心。EP2C8Q208C8 具有 8 256 个的逻辑单元(LE)、165 888 bit 基于流行的 M4K 嵌入式存储块,可以配置为广泛的操作模式,包括 ROM、单端口和双端口 RAM 等。设计中用芯片内部的双端口 RAM 构造异步 FIFO 控制图像数据的时序,加上帧同步(FVAL)和行同步(LVAL)信号一起按照红外图像的设计时序要求将图像数据发送到 Camera Link 接口模块。

Camera Link 接口采用 DS90CR287 作为驱动芯片,是专用的电平转换器件,能将 28 位 CMOS/TTL 电平数据和 1 位像素时钟信号分别转换成 4 组 LVDS 数据流及一对 LVDS 时钟信号进行传输。由于采用差分传输方式,提高了传输距离及信号精度。使用标准的 MDR26 作为 Camera Link 接口与图像采集卡之间的连接接口。

4 软件设计

目标模拟器的软件设计主要由 DSP 程序和 FPGA 程序组成。

DSP 程序流程图如图 4 所示。由于生成图像数据要通过 DSP 芯片的外部接口 XINTF 发送,DSP2812 有 5 个固定的存储映像区域,设计中采用 ZONE2 区作为映像区域,所以首先要解决数据存储映像的问题。本设计采用 CCS 提供的下面两个指令实现数据映像。

```
#pragma CODE_SECTION 针对程序空间;
#pragma DATA_SECTION 针对数据空间;
具体程序实现如下:
```

```
#pragma DATA_SECTION(pRGB,"My_Sect")
struct
{
    Uint16 r;
    Uint16 w;
}pRGB[320][240];
```

在.cmd 文件中建立对应的 section 就可以使用了。

MEMORY

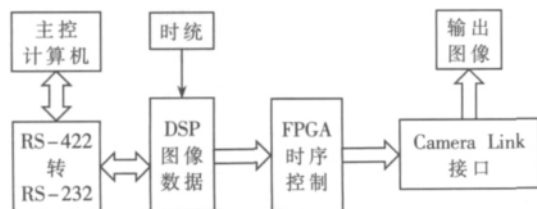


图 3 目标模拟器结构图

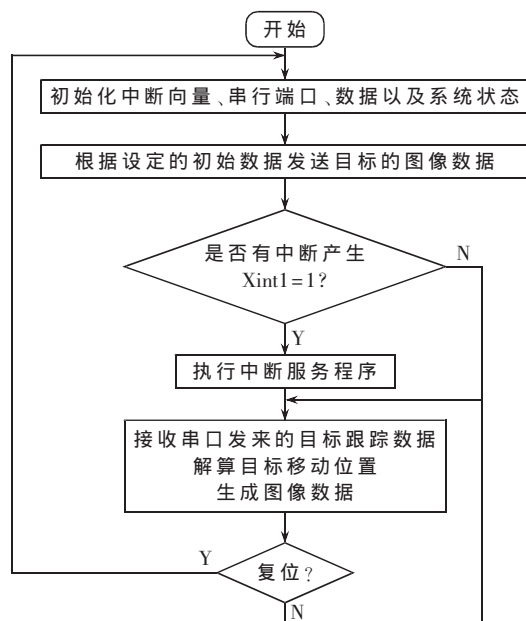


图4 DSP程序流程图

```

{PAGE1: ZONE2 ;origin=0x080000,length=0x080000 }
SECTIONS
{My_Sect ;>ZONE2, PAGE=1 }
    
```

建立映像后要设置 XINTF 的相应寄存器值,对于外部接口的访问主要分为 3 个阶段:(1)建立阶段:被访问区的片选信号变为低电平,地址被放置在地址总线上;(2)激活阶段:对外部器件进行访问。本设计主要是写访问,写使能(XWE#)选通变低并将数据放置在数据总线上(XD);(3)跟踪阶段:跟踪阶段为一保持时间,其片选信号为低,而后读和写选通变为高^[1]。

具体设置如下:

```

XintfRegs.XTIMING2.bit.XWRLEAD=1
XintfRegs.XTIMING2.bit.XWRACTIVE=1
XintfRegs.XTIMING2.bit.XWRTRAIL=1
    
```

建立、激活、跟踪分别为 1 个时钟周期。

DSP2812 的串行通信(SCI)模块使用 16 位的波特率选择寄存器(SCIHAUD 和 SCILBAUD)设置 SCI 的波特率,因此 SCI 可以采用 64 K 种不同的波特率进行通信,通过下面的公式计算出写入寄存器的值:

$$SCI = \frac{SYSCLK}{(BRR+1) \times 8}$$

其中:BRR 为写入寄存器的值。设计中系统时钟为 30 MHz,波特率为 38 400,则:

$$BRR = 30 \times 10^6 / (38400 \times 8) - 1 = 60H$$

所以寄存器 SCIHAUD 和 SCILBAUD 中的值分别为 00H 和 60H。

FPGA 程序结构图如图 5 所示,设计中使用 Verilog HDL 硬件描述语言进行时序设计。

从图 5 可以看出,采用模块化的设计方法,图像数据的写操作和读操作分别工作在两个不同的时钟域内,

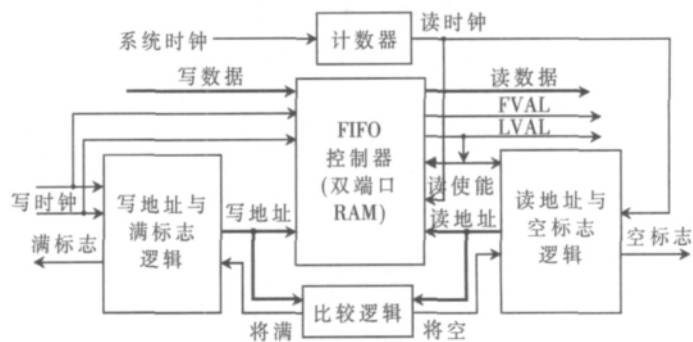


图5 FPGA程序结构图

数据的写入是连续的,数据的读出是按照一定的帧频和行频进行的。本设计采用双端口 RAM 构造异步 FIFO 的方法来实现。一方面要解决异步 FIFO 设计中存在的难点;另一方面要与 Camera Link 接口进行视频数据的同步控制,生成场同步信号 FVAL 和行同步信号 LVAL。

整个程序可分为 6 个模块。其中 FIFO 控制器模块中包含一个双端口 RAM,用来存储数据及控制读写操作;写地址与满标志逻辑生成写地址并产生满标志,写地址和写使能由 DSP 提供;读地址与空标志逻辑生成读地址并产生空标志,读时钟由系统时钟通过计数分频得到。因为读操作要在 LVAL 信号的控制下完成,所以读使能信号使用 LVAL,其中空、满状态通过增加标志位和划分地址空间来产生;比较逻辑用来异步比较读、写地址,并产生将满、将空信号,其中读、写地址用格雷码指针表示。该设计很好地解决了异步 FIFO 设计中存在的两个关键问题,即降低了电路中亚稳态的出现概率,正确产生了空、满状态逻辑^[3]。FVAL 和 LVAL 的计算方法如下所述。

设计中像素时钟信号 PIXCLK 的频率为 10 MHz。模拟的图像数据的像素为 320×240,帧频为 50 Hz,即每秒传输 50 帧图像。行同步信号 LVAL 和帧同步信号 FVAL 均由像素时钟信号进行计数产生,其时序如图 6 所示。

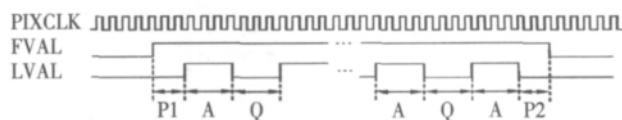


图6 视频同步信号时序

图 6 中,P1 为 35 个 PIXCLK 时钟周期;A 为 320 个 PIXCLK;即一行包含 320 个像素点;Q 为 47 个 PIXCLK;P2 为 13 个 PIXCLK,帧同步信号 FVAL 为低电平的时间是 111 872 个 PIXCLK。一帧图像包含 240 行有效数据,可计算出传输一帧图像信号的时间为 240×(A+Q)+P1+P2+111 872=200 000 个 PIXCLK 时钟周期,帧频为 10 MHz÷200 000=50 Hz^[4]。

5 实验结果

将 DSP 程序和 FPGA 程序下载到实验板中,使用开发工具 Quartus II6.0 中自带的逻辑分析仪 SignalTap 对

(下转第 57 页)

通过选择电容 $C1=0.5\text{ pF}$, 时间常数 $\tau=R1\times C1=50\text{ ps}$, 刚好与过冲持续时间一致, 以达到最佳补偿。

这种 R-C 补偿电路的负面影响是减缓了上升沿爬升速度。这主要是因为信号中的高频成份被补偿电路衰减了。所以为了保持快速的上升时间, 有时需要适当容忍一定的过冲。

2.2 欠冲

对于欠冲的补偿, 需要降低阶跃信号的低频分量。引起的不利因素是可以达到的峰值功率会被降低。图 9 的电路是针对光信号欠冲的补偿。

有些激光器驱动器具有内置的背向匹配电阻。如果电感 $L1$ 和背向匹配电阻串联, 则可以阻止额外的功率损失。R-L 补偿的操作原理和 R-C 补偿类似:

$$\tau = \frac{L1}{R1}$$

$$t \gg \tau \rightarrow Z = R1 \parallel ZL$$

$$t < \tau \rightarrow Z = ZL$$

以 $25\text{ }\Omega$ 负载、 50 ps 、 20% 欠冲的光信号为例 (可以理解为图 6 中的欠冲幅度为正常幅度的 20% , 持续时间是 50 ps), 取值 $100\text{ }\Omega$ 的电阻 $R1$ 可以减小低频阻抗 $Z=R1\parallel ZL$ 到 $20\text{ }\Omega$ 或者低于正常值的 20% , 这可以使得高频和低频的幅度相等。取值 5 nH 的电感 $L1$ 将会引入 $\tau = \frac{L1}{R1} = 50\text{ ps}$

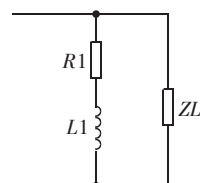


图 9 R-L 补偿网络

的时间常数, 这和欠冲的持续时间刚好相等。

电感补偿的优点是可以加快上升沿爬升速度, 主要基于高频阶跃响应的推挽效应。

提高光发射机的信号完整性通常可以从分析阶跃响应所获得的波形信息着手, 实际 TOSA 的准确寄生参数是不需要的。依照下面的处理思路一般都可以得到满意的结果:

- (1) 设置激光器的偏置电流大于一定幅度的激光器阈值电流。
- (2) 设置合适激光器的调制电流, 达到标准消光比。
- (3) 设置足够的阶跃长度以确保可以观察到任何瞬态变化, 几个比特周期应该足够了。
- (4) 基于过冲或者欠冲, 选择合适的补偿网络。
- (5) 基于过冲或者欠冲的幅度, 选择补偿电阻 R 。
- (6) 基于过冲或者欠冲的持续时间, 选择合适的时间常数, 从而确定 C 或者 L 。
- (7) 基于实际眼图改善效果的微调。

参考文献

- [1] HFAN-2.0. Interfacing Maxim Laser Drivers with Laser Diodes, Maxim.
- [2] Datasheet of MAX3738, Maxim.
- [3] 张肃文. 高频电子线路. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] 曹泰斌. 电路分析基础教程. 北京: 电子工业出版社, 2003.

(收稿日期: 2009-03-20)

(上接第 54 页)

试验中的主要信号进行采样监测, 采样结果如图 7 所示。其中 data 为写入数据, wraddress 为写地址, rdata 为读出数据, raddress 为读地址。当行有效信号 lval 为低时读操作停止, 当写满信号为高时数据停止写入。

结果表明信号时序准确, 数据和地址没有毛刺现象。最后将实验板连接到图像采集卡, 模拟的图像像素是 320×240 , 频率是 50 Hz , 通过观看采集卡采集的图像, 表明图像时序稳定, 能够达到设计要求。

设计中采用新的虚拟图像注入方法的目标模拟器为训练系统提供目标的图像数据, 该方法实现简单。基于 Camera Link 接口协议的图像信号采用 LVDS 方式传输, 增加了传输距离, 提高了传输过程中的信号精度。经过试验测定图像数据信号稳定、可靠, 各项指标与目前光电跟瞄设备采用的红外热像仪输出图像格式吻合, 实时性满足要求, 能够很好地完成操作手对光电跟瞄设备

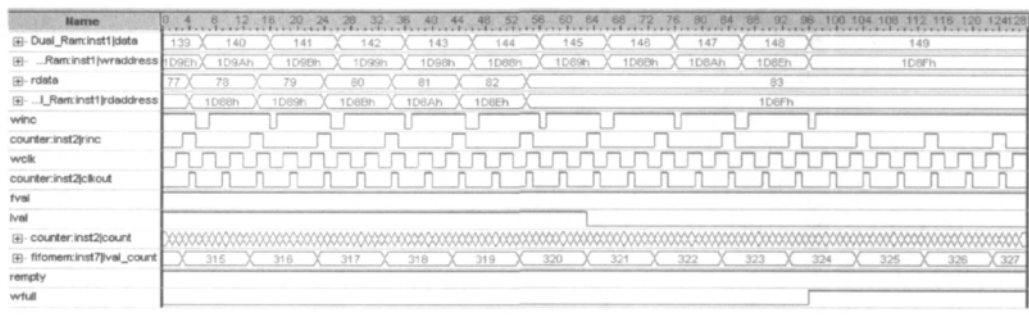


图 7 SignalTap 采样结果

的跟踪训练和日常维护的任务。

参考文献

- [1] 苏奎峰, 吕强. TMS320F2812 原理与开发. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 刘承, 刘向东, 李黎. RS-422 在串口通信在 DSP 中的设计与应用. 工业控制计算机, 2006, 19(3).
- [3] 魏芳, 刘志军, 马克杰. 基于 Verilog HDL 的异步 FIFO 设计与实现. 电子技术应用, 2006(7).
- [4] 王小艳, 张会新, 孙永生. Camera Link 协议和 FPGA 的数字图像信号源设计. 国外电子元器件, 2008(7).

(收稿日期: 2009-01-05)