

SDI 红外图像在火炮光电跟踪系统中的应用

岳元, 彭亮节

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:为实现远距离对可疑目标的捕获、跟踪、锁定功能,提高作战人员工作效率,提出了一种 SDI 红外图像的传输方式。该方法将 4 路 LVDS 数字信号进行解码,利用 FPGA 产品 Virtex-5 系列逻辑资源丰富的特点,对图像格式按照 SMPTE296M 标准进行重新编码组合,实现无损、高清图像数据的实时传输。试验结果表明,该方法与其他数字图像传输方式相比,提高了图像的传输效率和稳定性,并在实际应用中取得良好效果,为进一步研究火炮光电跟踪系统提供了可行的解决途径和借鉴意义。

关键词:SDI; 火炮; 光电跟踪系统

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.08.023

Application of SDI IR image in the artillery photoelectric tracking system

YUE Yuan, PENG Liang-jie

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 10015, China)

Abstract:To achieve the capture, track and lock of suspicious targets in the long distance, a SDI IR image transmission method is proposed. Four LVDS digital signals were decoded firstly, and then image format was recoded according to the SMPTE296M standard because Virtex-5 of FPGA has the abundant logic resources. Finally, the real-time data transmission of lossless and high-definition image was realized. The experimental results show that this method can improve the efficiency and stability of the image transmission comparing with other digital image transmissions. This method has a good effect in the practical application. This research results provide the solution and reference for further study of artillery photoelectric tracking system.

Key words:SDI; artillery; photoelectric tracking system

1 引言

随着科学技术的发展,现代军事对抗已由原来的兵力对抗转变为电子对抗,为了有效地提高军事实力,需要开辟新的对抗手段以有效应对。光电跟踪系统作为一种无源跟踪设备,具有隐蔽性好、成像分辨率高和跟踪精度高的特点而被广泛应用。它是以探测器作为敏感元器件,通过将光、机、电、控制和信号处理高度集成的一种跟踪装置,实现对超低空

飞行的飞机和导弹等目标的捕获、跟踪、锁定功能,配合火控系统完成对目标的最终打击^[1]。作为火炮中不可或缺的组成部分,它改变了以往用肉眼对目标的搜索和识别,依靠炮手对目标的手动控制跟踪。该系统可以从复杂的背景中迅速、可靠的提取目标,从而使操作人员获得更快速的反应^[2]。其中图像传输速率对目标提取起到至关重要的作用,而 SDI 的出现正好弥补了这方面的不足。

作者简介:岳元(1984-),男,工程师,主要从事红外搜索跟踪系统的研究。E-mail: yueyuan7763@sina.com.cn

收稿日期:2015-12-21; **修订日期:**2016-01-28

SDI 是近年来随着安防行业高清技术的兴起而发展起来的一种传输接口,由于其高保真、无延时的优势,深受安防行业高端领域的钟爱^[3]。通过普通的 75 Ω 同轴电缆就可以将图像数据进行传输,由于未经过压缩,可以保证图像的无损性。不对图像进行压缩处理,可以实现数据的实时传输,不会造成图像延时。其分辨率可达到 1920 $\times$ 1080,可以提供更多的图像细节,提高对目标提取和识别的准确率^[4]。针对目标提取的准确率,提出了采用 SDI 红外图像在火炮光电跟踪系统中的设计,通过串行数字接口的传输控制协议,并利用高可靠的同轴电缆,实现了系统内部高清无损数据的传输。

2 系统组成

整个系统主要由主控模块、存储模块、Camera-link 转换模块、SDI 转换模块、配置模块和电源模块组成,系统框图如图 1 所示。

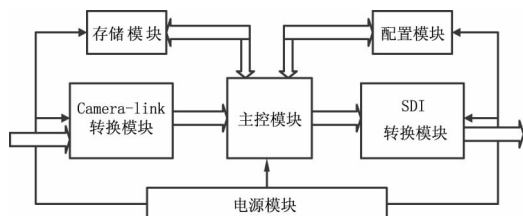


图 1 系统框图

Fig. 1 System block diagram

系统工作原理是数字图像首先通过 Camera-link 转换模块将 4 路 LVDS 数字信号进行解码,完成串并数据转换输入到主控模块。主控模块对图像进行数据格式转换后将并行数据发送给 SDI 数字转换模块。SDI 数字转换模块按照 SMPTE296M 标准进行编码并送出数字图像^[5]。另外配置模块完成对主控模块的工作模式选通和系统复位等操作,存储模块完成对主控模块数据处理的缓存和信息交互等。系统可通过连接外围显示设备实现图像实时显示。

3 系统硬件设计

硬件设计主要是针对图像数据传输的需要,搭建合理的硬件平台,实现数据传输所需的全部硬件功能^[6]。

3.1 主控模块

主控模块采用 Xilinx 公司生产的 XC5VLX110T 型 FPGA,作为 Virtex-5 系列产品中的一款,内核采用 1.0 V 供电,工作频率高达 550 MHz,I/O 端口供电电压为 3.3 V,可以承受 5 V 的输入高电平。可配置逻辑块中 ARRAY(行 $\times$ 列) 160 $\times$ 54, Virtex-5

Slices 为 17280,最大 RAM 为 1120 Kb,Block RAM Blocks 最大为 5328 Kb。

3.2 配置模块

配置模块主要完成对 XC5VLX110T 型 FPGA 的工作模式选通和系统复位等操作,辅助主控模块完成图像数据格式转换。其电路设计如图 2 所示。

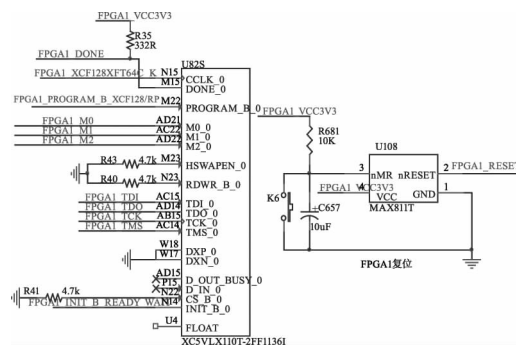


图 2 配置模块接口电路设计

Fig. 2 The interface circuit design of configuration module

3.3 Camera-link 转换模块

Camera-link 转换模块采用解码芯片 DS90CR288A,它是一款 +3.3V 上升沿数据选通 28 位频道链接接收器,完成的功能是在并行同步时钟作用下,将 4 对 LVDS 串行数据解码为 28 路的并行 LVTTTL 数据。输入时钟的频率范围为 20 ~ 85 MHz。其电路设计如图 3 所示。

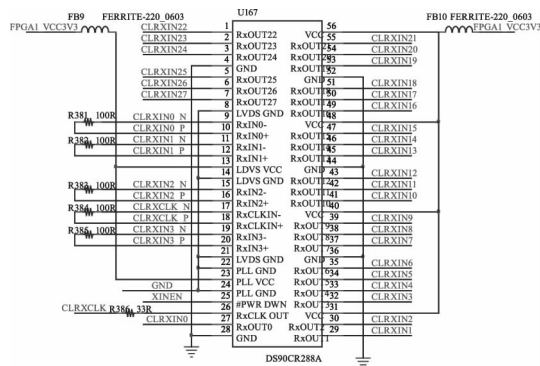


图 3 Camera-link 转换模块接口电路设计

Fig. 3 The interface circuit design of Camera-link conversion module

3.4 SDI 转换模块

SDI 转换模块采用 Gennum 公司生产的编码芯片 GV7600,它是一款以高清晰度视频构件为标准的串行数字视频发射器。支持 720P、1080I、1080P 等高清视频格式,另外也支持音频输入,通过放大、滤波和 ADC 等处理,可与高清视频信号一起被编码成 SDI 信号通过同轴电缆输出。其电路设计如图 4 所示。

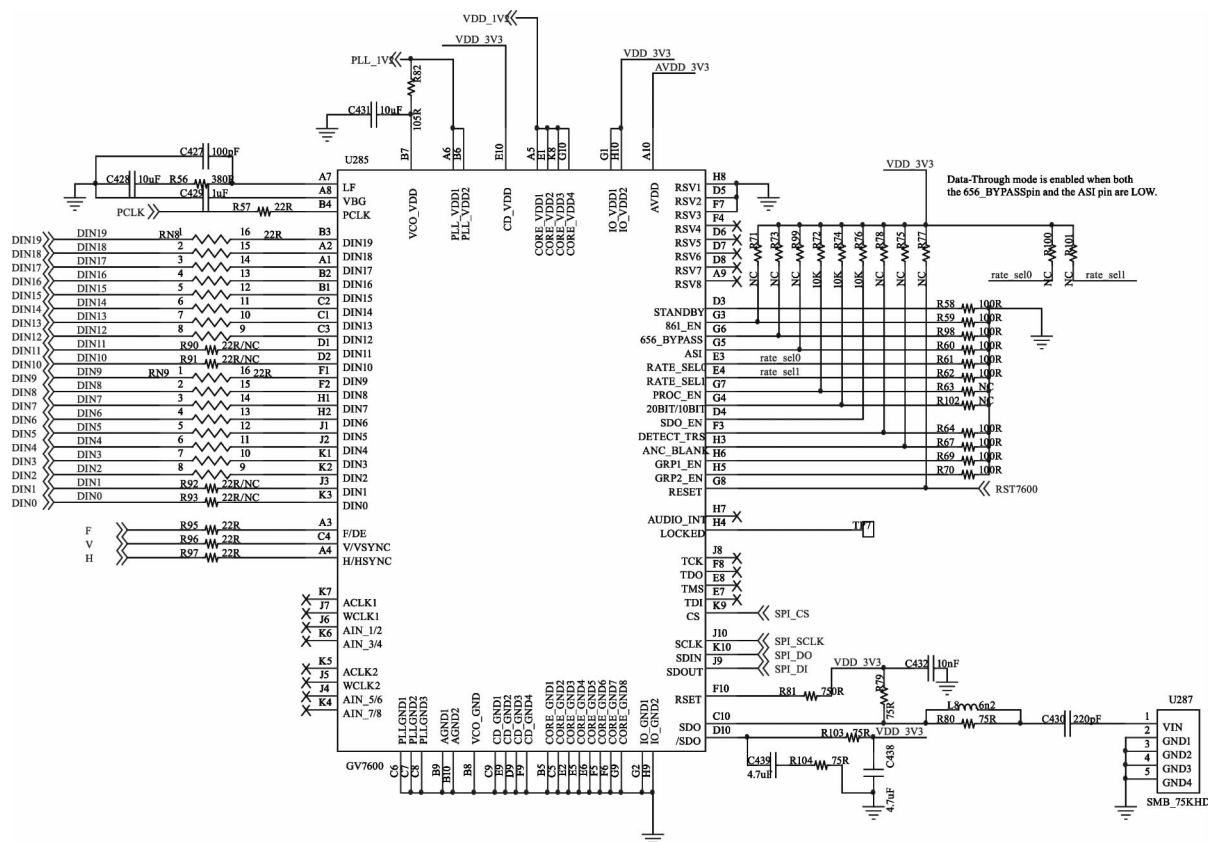


图4 SDI转换模块接口电路设计

Fig. 4The interface circuit design of SDI conversion module

3.5 存储模块

存储模块采用 XC5VLX110T 型 FPGA 内部 RAM,由于是并行数据且图像帧频未发生改变,因此可通过缓存一定的行数或整帧图像完成图像格式转换。当图像数据量或帧频变化较大时也可通过系统外部硬件连接的存储模块完成数据的交互。

4 系统软件设计

系统要实现对 SDI 红外图像的数据传输,其核心是对 XC5VLX110T 型 FPGA 的内部编程,主要包括 Camera-link 数据格式的解析、图像格式的转换和 SDI 数据格式的编码操作,系统工作流程如图 5 所示。

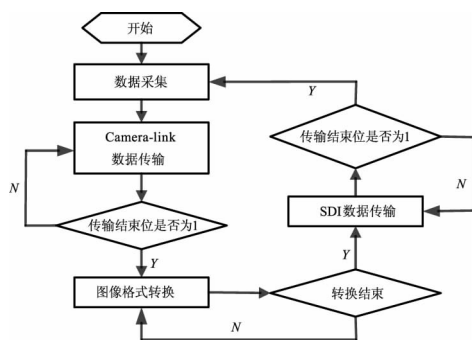


图5 系统软件编程流程图

Fig. 5 The flow chart of System programming

系统初始化主要完成对 FPGA 的启动配置、清空数据缓存和初始化参数,然后等待图像数据的到来。当接收到 4 对 LVDS 串行数据后,通过专用解码芯片将其解码为 28 路的并行 LVTTTL 数据,在主机模块 FPGA 内部完成对图像数据位、行同步信号、场同步信号和时钟信号的解析操作。

转换过程中,首先在 FPGA 内部根据 SMPTE296M 标准进行逻辑编程,搭建 HD - SDI 720P 图像格式。参考格式如表 1 所示。实现过程为在 FPGA 内部分别对行、场同步信号计数。当行计数 dot_count:0 ~ 1979 = 1980, Hs = 1280 ~ 1979 时,表明行同步信号计数完成。根据行数再进行场计数,当场计数 line_count:0 ~ 749 = 750, Vs = 25 ~ 744 时,表明场同步信号计数完成。其中有两个嵌入式控制字 EAV 和 SAV,分别代表有效视频的终点和起点,EAV 和 SAV 均为 4 个字节构成,前 3 个字节 3FF、300、300 为固定头,第 4 个字包含定义第二场标识、场消隐状态和行消隐状态的信息。在软件设计中,EAV 的行计数 dot_count:1280 ~ 1283 = 3ff 300 300 39d,SAV 的行计数 dot_count:1976 ~ 1979 = 3ff 300300 380。当 dot_count = 1280 ~ 1283 时,图像有效数据结束,当 dot_

count = 1976 ~ 1979 时,图像有效数据开始。

表1 SMPTE296M 图像采集标准

Tab. 1 The standard Image collection of SMPTE296M

系统命名	1280 × 720/50
每有效行亮度或 RGB 的采样	1280
每帧有效行	720
帧频/Hz	50
亮度或 RGB 采样频率/MHz	74.25
总行亮度采样周期	1980
每帧总行数	750

由于 FPGA 内部是并行处理,当一帧图像转换完成同时输入给 GV7600 的并行视频数据处理端口。在其内部按照 SMPTE296M 标准进行数据的编码,将并行数据转变为串行数据通过 SDI 端口输出。

5 实验结果

高频数字信号在传输过程中容易受到干扰和产生信号衰减,需要选择合适的仪器帮助分析系统设计中存在的缺陷并提出指导性意见。通过 PHABRIX 公司生产的便携式视频测试信号发生器/监视器/分析器 SxE 型号来验证 SDI 高频数据传输的信号完整性,通过观察其眼图并与标准 SDI 视频信号的眼图进行比较判断设计的合理性,两者眼图对比如图 6、7 所示。

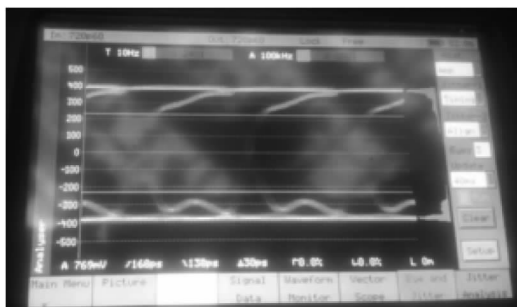


图6 标准 SDI 眼图

Fig. 6 The standardeye of SDI



图7 系统 SDI 测量眼图

Fig. 7 The measuring eye of system SDI

SDI 红外图像在光电跟踪系统中眼图的振幅、过冲、上升/下降时间、定时抖动和校时抖动分别与 SDI 眼图标准对比如表 2 所示。通过观察眼图可以得知信号传输系统的优劣,眼图的“眼睛”张的越大,且眼图越端正,表示码间串扰越小;反之表示码间串扰越大。当存在噪声时,噪声将叠加在信号上,噪声越大,线迹越宽,越模糊。通过对比可知系统设计眼图满足指标要求,很好的降低了串扰和噪声的干扰,并在实际应用中取得良好的预期效果。

表2 眼图对比表

Tab. 2 The comparison table of eye

	标准 SDI 眼图	本设计 SDI 眼图
振幅	800 mV $\pm$ 10%	808 mV
过冲	小于 10% 的振幅	36 mV
上升/下降时间	不大于 270 ps, 时间差不大于 100 ps	229ps/229 ps, 时间差 0 ps
定时抖动	小于 1 UI(673.4 ps)	168.4 ps
校时抖动	小于 0.2 UI(135 ps), 100 KHz	40.4 ps

在实际应用中通过 SDI 传输的红外图像光电跟踪系统可以迅速快捷的完成对靶机的捕获、跟踪、锁定操作,其最远探测跟踪距离达到 10.064 km,其跟踪锁定目标如图 8 所示。

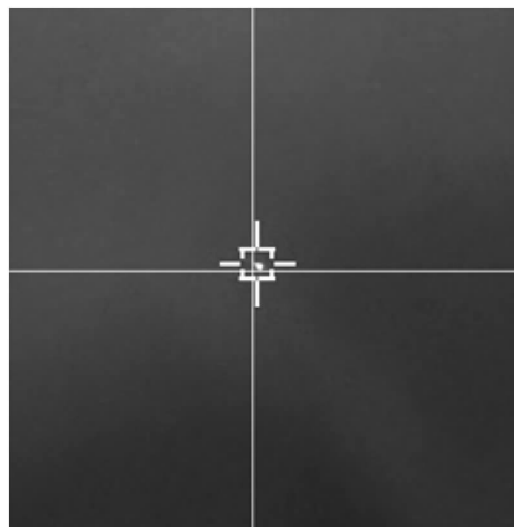


图8 跟踪锁定目标图像

Fig. 8 The image of tracking target

6 结论

本文基于 SDI 图像传输技术,利用 Virtex-5 系列产品的可编程逻辑器件实现了图像数据的实时显示,为火炮光电跟踪系统提供了一个高清、无损的视频传输平台。根据 SDI 图像传输的特点,可以将多

种格式的图像数据转换为高清、无损的数据,快速建立起火炮光电跟踪系统的数据通路,提高了火炮对目标的可视性,便于迅速提取和识别目标。SDI 图像的引入,使得火炮光电跟踪系统具备了更强的分析可疑目标的能力,为后续捕获、跟踪、锁定等功能奠定基础,可以实现更远距离打击目标。该技术在基地竞标试验中已经得到应用并取得佳绩,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] LU Jun, WANG Yantian, LU Fang. Application of laser tracking and ranging integration technology in fire control system[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(1): 51 - 53. (in Chinese)
陆君,王砚田,陆芳. 激光跟踪测距一体化技术在火控系统中的应用[J]. 激光与红外, 2011, 41(1): 51 - 53.
- [2] WANG Guohua, MAO Dapeng, LIU Xun, et al. Study of search strategy on airborne optical tracking system[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(9): 1014 - 1018. (in Chinese)
王国华,毛大鹏,刘洵,等. 机载光电跟踪系统搜索策略研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(9): 1014 - 1018
- [3] LI Yandi, JIN Weizheng, WANG Dan. Research and development of HD-SDI CODEC technology based on FPGA [J]. Application of Integrated Circuits, 2012, 38(12): 48 - 50. (in Chinese)
李彦迪,金伟正,王丹. 基于 FPGA 的 HD-SDI 编解码技术的研究与开发[J]. 集成电路应用, 2012, 38(12): 48 - 50.
- [4] CHEN Dongming, ZHU Ming, HAO Zhicheng, et al. Camera link to HD-SDI interface converting system using FPGA[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2014, 29(6): 1065 - 1070. (in Chinese)
陈东成,朱明,郝志成,等. 基于 FPGA 的 Camera Link 转 HD-SDI 接口转换系统[J]. 液晶与显示, 2014, 29(6): 1065 - 1070.
- [5] HUANG Biao. Research on HD-SDI signal real-time processing system based on FPGA[D]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2013. (in Chinese)
黄彪. 基于 FPGA 的高清视频信号实时处理系统的研究[D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2013.
- [6] LIU Mingxue. An equipment of HD-SDI HD video monitoring system[P]. Chinese patent, No. 201220533813. 3. (in Chinese)
刘明学. 一种 HD-SDI 高清视频图像监控系统装置[P]. 申请号: 201220533813. 3.