

文章编号: 2095-4980(2023)06-0782-06

光电跟踪设备中光纤通信系统设计

张文心, 崔永强, 李 龙

(中国航天科工集团 北京遥感设备研究所, 北京 100039)

摘 要: 为实现高数据传输率、强抗干扰性和超低误码率的目标, 采用光纤通信技术传输高帧频、高分辨力的数字图像数据。本设计针对 Cameralink 接口红外图像数据源, 设计了一种基于现场可编程门阵列(FPGA)控制的自适应分辨率和帧频的光纤收发系统, 采用了低成本 SPARTAN6 器件 XC6SLX45、串并转换芯片组 DS90UB903/904、小型化单模小封装可插拔(SFP)单纤双向收发光模块, 实现了双路图像光纤收发功能。其中 FPGA 接收 Cameralink 接口图像数据, 进行图像转换处理, 再通过内部集成电路(I²C)总线控制串并转芯片组实现自适应图像串行化和解串功能, 并驱动光模块实现光电转换。本设计实现了分辨率 640×512、帧频 100 Hz 红外图像数据的发送和接收功能, 并通过了各项环境试验, 已应用于实际型号项目中。

关键词: 光纤通信; Cameralink 接口; 串并转换芯片组

中图分类号: TP391

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020525

Design and application of optical fiber communication system in photoelectric tracking equipment

ZHANG Wenxin, CUI Yongqiang, LI Long

(Beijing Institute of Remote Sensing Equipment, China Aerospace Science & Industry Corp., Beijing 100039, China)

Abstract: The optical fiber communication technology is adopted to transmit data image with high frame rate and high resolution in order to improve the anti-interference, transmission speed and bit error rate of the photoelectric tracking equipment. The long-distance transmission technology is mainly utilized in this design for Cameralink high-speed digital images, a full-mode Cameralink digital image optical transceiver end is studied based on Field-Programmable Gate Array(FPGA), including FPGA chip, Cameralink interface module, Small Form-factor Pluggables(SFP) optical module, Cameralink decoding module, mode control module. The functions of each module are mainly as follows: Cameralink interface module is utilized to receive Cameralink information and send the received information to Cameralink decoding module; Cameralink decoding module decodes the serial data and sends it to the serial-parallel signal conversion module; the signal conversion module performs serial-to-parallel conversion on the received digital image signal to form a serial data stream; the SFP optical module receives the serial data stream and converts it into an optical fiber signal; the mode control module controls the working mode of the transmitting end. This design can realize the data transmitting and receiving of infrared image in resolution of 640×512 and a frame rate of 100 Hz. It has finished several environment tests and is applied in engineering.

Keywords: optical fiber communication; Cameralink; serial-to-parallel conversion module

光纤通信技术在 20 世纪逐渐发展起来, 对国防事业、人民生活、航天领域等方面带来巨大的影响。采用光纤传输, 传输信号被电磁干扰的可能性低, 可成倍提升数据传输容量和传输距离, 提高传输可靠性。1996 年, 光纤通信技术有很大突破, 出现了密集型光波复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)技术。DWDM 技术与光纤通信系统相结合, 可以组建成比较实用的信息传输系统, 其传输容量、速度及距离都有很大提升。这个平台可以将需要传输的语音、数据、图像等通过接口整合到一起。2013 年, 全国范围内光纤已逐渐

收稿日期: 2020-10-14; 修回日期: 2020-11-12

进入各个家庭。

1966年, 英籍华人高锟提出以石英为原材料制作成光纤, 用来传输信息。美国康宁公司以此理论为基础, 在1970年研制出低损耗的光纤, 波长 $1.55\ \mu\text{m}$ 光纤的损失率大约只有 $0.2\ \text{dB/km}$, 在不同的环境下, 损耗甚至可达 $0.15\ \text{dB/km}$ ^[1]。1976年英国建造出了可以传输电视图像的光纤传输系统。2004年, 国外开发了一种高比特率光纤, 通过实验表明, 分布式放大器是 $40\ \text{Gb/s}$ 以上光纤通信技术的最佳选择。2015年, 开始研制不同的调制方案来改善光纤通信系统的误码率, 并开发了以非归零格式运行的光纤系统^[2]。目前, 光纤通信技术不断地被开发和

创新, 许多行业都需要光纤通信技术的支持, 光纤通信的发展前景和应用前景广阔。
为实现高数据传输率、强抗干扰性和超低误码率的目标, 本设计采用了光纤通信技术来传输高帧频、高分辨率的数字图像数据。本设计中采用Cameralink接口传输视频信号。Cameralink接口协议是一种串行通信协议, 用于机器视觉应用领域。Cameralink是用低压差分信号(Low Voltage Differential Signaling, LVDS)传输, Cameralink标准中, 相机信号分为4种: 电源信号、相机控制信号、串行通信信号、视频数据信号。本设计针对Cameralink接口红外图像数据源, 设计了一种基于FPGA控制的自适应分辨率和帧频的光纤收发系统。

1 光纤通信系统硬件设计

光纤通信是利用光纤的通道传输信息的一种通信方式, 信息通过激光源产生的光波承载^[3]。光纤传输还可以保证信号在传输过程中抗干扰性强和传输距离远等需求, 因此, 系统采用光纤来传输图像。硬件设计的系统主要有2个PCB板, 电路板的工作模式为全双工, 其中电路板设计为一个作为发送装置, 一个作为接收装置, 它们主要包含的模块有: Cameralink数据发送/接收模块、FPGA控制模块、数据串并和并串转换模块、光模块。硬件结构设计的总体方案如图1所示。

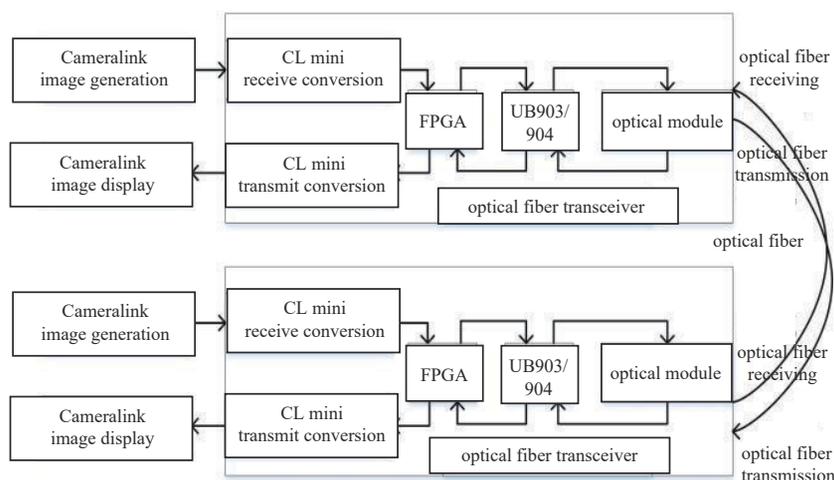


Fig.1 System design scheme

图1 系统设计方案图

1.1 Cameralink 数据发送/接收模块

Cameralink数据接收模块的主要功能有两个方面, 一方面是接收具有行、场同步信息, 另外一方面是接收关于图像数据的LVDS数据(5路), 然后将其转换为28位数据加一路时钟信号, 最后进入FPGA控制模块。CameraLink数据发送模块要实现的目标是将其所接收的数据根据Cameralink协议进行合适的转换^[4]。Cameralink数据发送模块利用Cameralink接口连接Cameralink数据传输线来达到传输信息的目的。Cameralink包含两个部分, 即驱动器与接收器各一个。其中, 驱动器接收的内容为两个特殊信号, 一个为28路单路的数据信号, 另外一个为1路单路的CLK时钟信号。数据信号可以分为4组数据流, 以7:1的方式进行划分, 除上述4对信号之外还必须加上时钟流, 最后共有5对信号。此外, 接收端接收的内容分别是4对数据流与1对LVDS时钟。转换原理如图2所示。

1.2 数据串并和并串转换模块

本设计中数据串并和并串转换模块用DS90UB903Q/904Q芯片组来实现, 此芯片组用于视频显示, 其工作频率为 $10\sim 43\ \text{M}$ 的像素时钟频率。DS90UB903Q芯片可以将一个21位宽的LVCMOS数据总线和

转换成单独的高速差分器，而且高速串行比特流包含嵌入式时钟和直流平衡信息，支持交流耦合，提高了信号质量。DS90UB904Q 还可接收单个串行数据流，并将其转换回一个 21 位宽的并行数据总线。

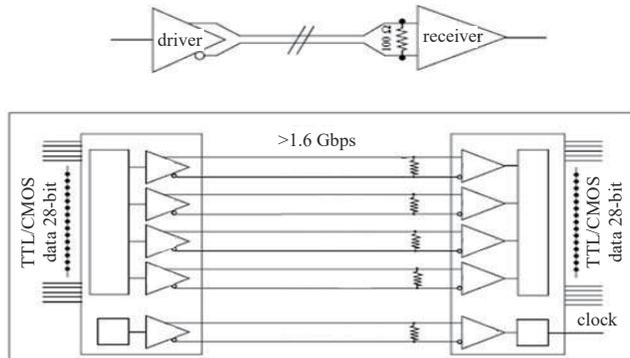


Fig.2 Schematic diagram of LVDS conversion
图 2 LVDS 转换原理图

1.3 FPGA 控制模块

1) 接收 Cameralink 数据发送/接收模块传递过来的信号，经过分析处理后，把图像数据和行场信号传递给数据串并和并串转换模块；

2) 将程序写入 FPGA 中，通过烧写程序来使 Cameralink 数据发送/接收模块、光模块、串并转换模块实现其主要功能，同时 FPGA 通过其内部程序写入，还可以控制 I²C 总线等；

3) 为了满足系统对时钟的要求，设计使用 40 MHz 晶振或者更高频率的晶振，使系统全局时钟电路达到预期目标，使用了 LTM4622 芯片，3.3 V 供电。该芯片内部具有逻辑控制功能单元，可以通过外部晶振输入到锁相环，再由锁相环单元处理 LVDS 差分时钟信号。

1.4 光模块

该模块经过严格实验条件进行筛选，如温度实验、抗振动实验、湿度实验等，所以该模块的可靠性和环境适应性非常强，可以运用到机载、舰载、高海拔、高湿度等环境。模块体积小，质量轻，且为全金属结构，高度仅 12 mm，可以很容易安装在小的板上或机箱内^[5]，其原理框图如图 3 所示。

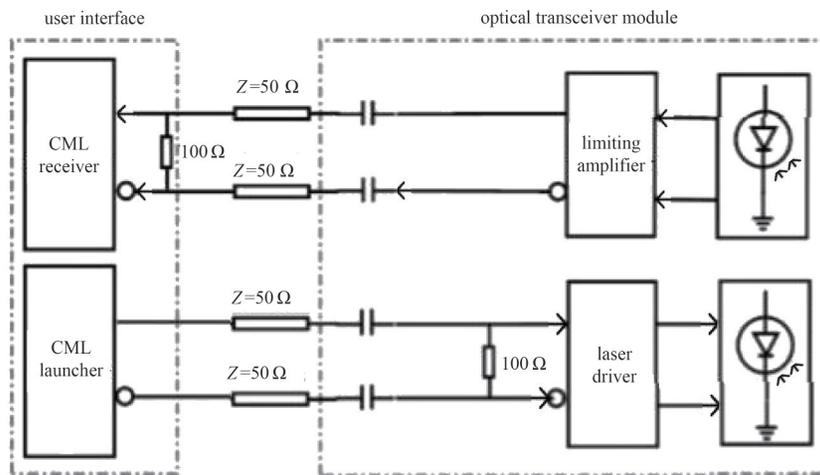


Fig.3 Block diagram
图 3 模块原理框图

1.5 PCB 电路板的设计

设计主要用到的芯片有 DS90SR285TMD、DS90SR286TMD、DS90UB90、DS90UB904、LTMEV4622#PBF 等，设计的 PCB 板图如图 4 所示。

2 软件仿真

开发采用 Xilinx ISE14.7 软件，其集成软件环境(Integrated Software Environment, ISE)，在硬件和软件设计方面非常实用。ISE 包含各种先进技术，运用灵活，操作容易，是目前比较常用的软件工具。ISE 能够实现多种功能，譬如能完成设计输入、设计综合、编译、行为仿真、功能仿真、设计的实现以及下载等一系列操作^[6]。

如图 5 所示，ISE 软件自带仿真功能，可以直接对编程内容进行仿真。系统的仿真主要对 I²C 总线的 SDA,SCL,CLK,RST 信号进行时序仿真，SDA 是数据信号线，SCL 是时钟信号线，RST 是复位信号，CLK 的频率为 40 MHz 的晶振，设置程序数据源 b4 01 03 作为输入数据。最终的仿真结果如图 6 所示。从仿真图中可以看出 I²C 总线仿真结果正确，在软件程序中编写数据，通过仿真图可以看出测试数据为 10110100, 0001,0011。

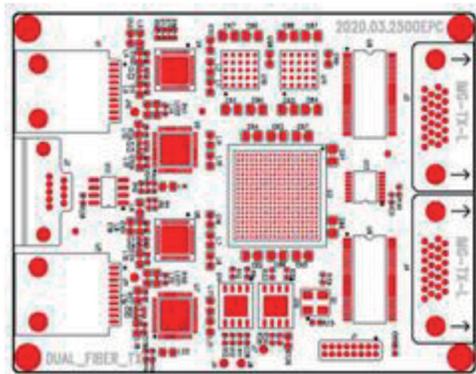


Fig.4 Diagram of PCB
图4 PCB图

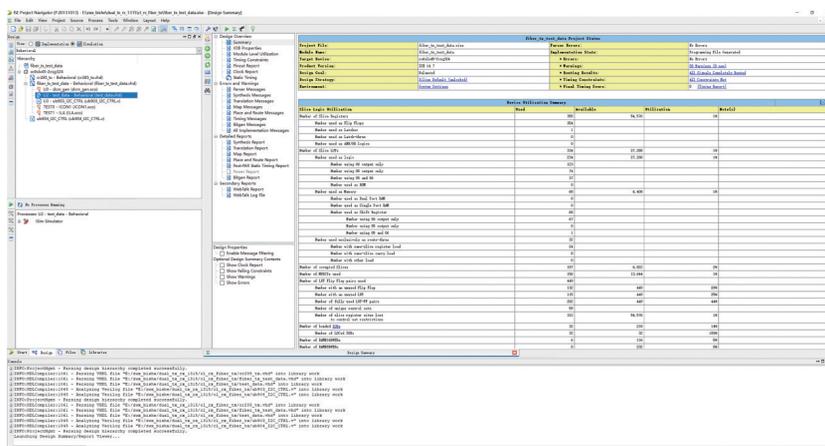


Fig.5 Software interface
图5 软件界面图

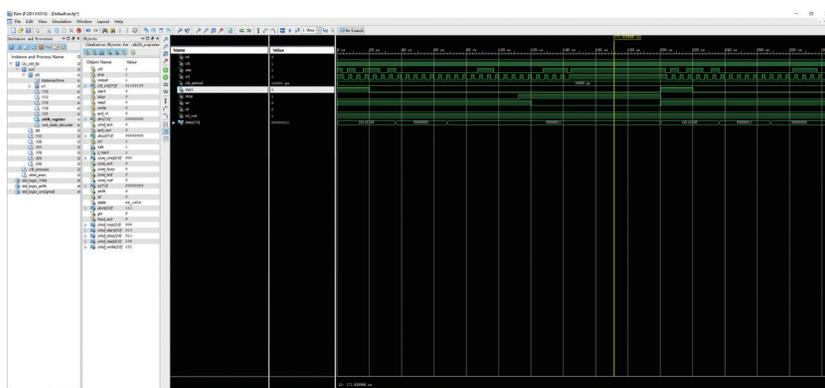


Fig.6 Timing simulation diagram
图6 时序仿真图

3 测试结果

本系统主要完成光发送装置与光接收装置的数据传输。首先用连接线把图像源与光发送板的输入端口连接起来，再用光纤把光收发模块连接起来，接着用视频线连接光收发模块的模拟输出接口和计算机，打开采集图像的软件，然后运用 ISE 软件把编写好的程序下载到 FPGA 中，再通过 flash 的烧写配置，最后在采集卡的电脑设备中采集图像，采集的图像的格式有 1-8 位和 7-14 位两种，图像分辨率是 640×512，采集的 1-8 位的图像如图 7 所示，7-14 位的图像如图 8 所示。

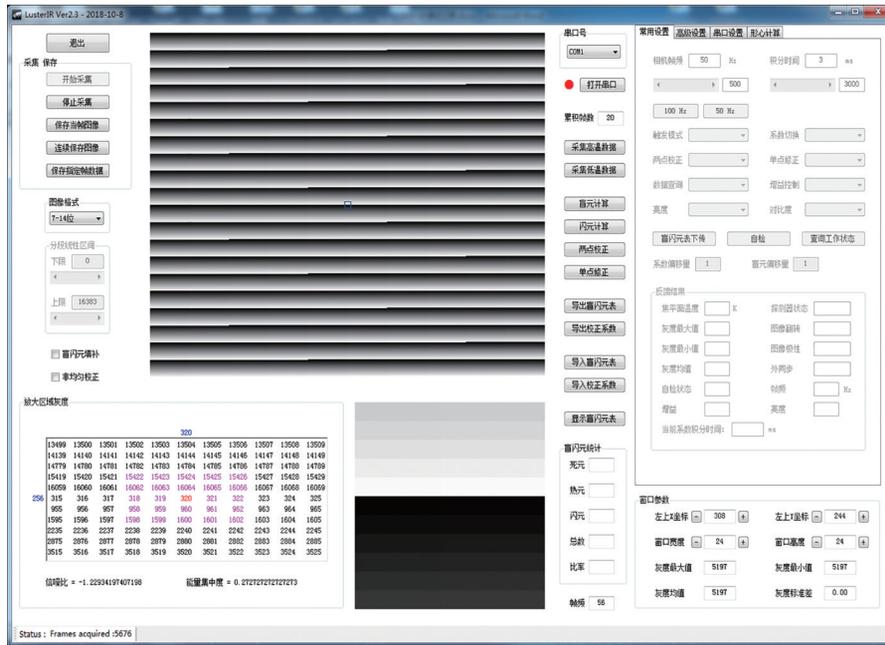


Fig.7 1-8 bit image acquisition
图 7 1-8 位采集图像

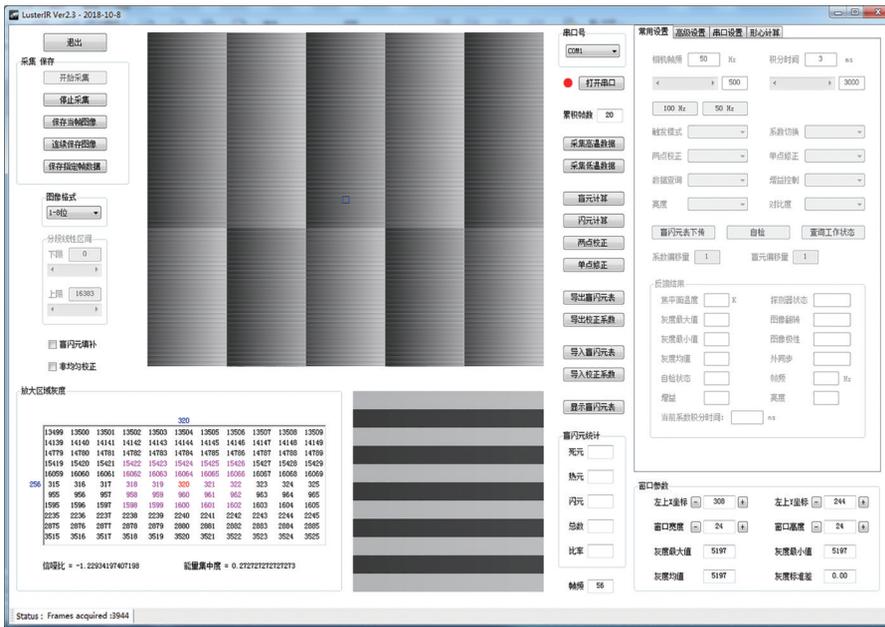


Fig.8 7-14 bit image acquisition
图 8 7-14 位采集图像

4 结论

本文设计了光电跟踪设备中光纤图像信息光传输系统。光纤传输数字图像信息可以综合光纤传输带宽高、抗干扰性强、装配简便等很多优势。此外，运用光纤来传输信息可以提高信息的传输质量，增大数据传输的容量，因此，运用光纤来传输图像比使用传统的导线好处更多。从长远来看光纤通信技术还有巨大的发展空间，主要是对全波光纤和非零色散的研究。从光纤通信技术的开发到现在，其在利用固有优势的基础上一直在不断进行创新和改变，现在的各行各业几乎都离不开光纤通信技术的支持。本文阐述了光纤通信技术的优势和应用，详细介绍了光纤通信在光电跟踪设备中的研究，完成了系统原理图设计，学习和研究了高速电路板的设计方法，最后设计的光纤传输系统可以正确地传输图像信号，符合光纤传输图像信号的预期要求。

参考文献：

- [1] 林旺. 数控网络中光纤通信技术的实践探究[J]. 数字化用户, 2019,25(7):12. (LIN Wang. Research on the practice of optical fiber communication technology in numerical control network[J]. Digital Users, 2019,25(7):12)
- [2] SAI SWAGATH K A, JABEE A. Bit error rate optimization in fiber optic communication[J]. International Journal of Machine Learning and Computing, 2011,1(5):435-440.
- [3] 兴旺. 现代光纤通信传输技术的应用[J]. 数字通信世界, 2018,158(2):212. (XING Wang. Application of modern optical fiber communication transmission technology[J]. Digital Communication World, 2018,158(2):212.)
- [4] 白金成. 基于FPGA的多路Cameralink数字图像光纤传输系统[J]. 液晶与显示, 2019,34(8):787-792. (BAI Jincheng. Optical fiber transmission for multi-channel Cameralink digital image based on FPGA[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2019,34(8):787-792.)
- [5] 张风军, 唐晓, 陈坚. 基于Ansys热仿真的航天光模块的热设计[J]. 光通信技术, 2018,42(3):36-38. (ZHANG Fengjun, TANG Xiao, CHEN Jian. Thermal design of aerospace optical module based on Ansys thermal simulation[J]. Optical Communication Technology, 2018,42(3):36-38.)
- [6] 陈欣, 邱少华. 基于现场可编程门阵列的单载波频域均衡系统[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2012,10(4):416-420. (CHEN Xin, QIU Shaohua. Single carrier-frequency domain equalization system based on FPGA[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2012,10(4):416-420.)

作者简介：

张文心(1996-), 女, 学士, 工程师, 主要研究方向为红外成像 .email:2337037179@qq.com.

崔永强(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为红外电路设计.

李 龙(1993-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事红外相关研究.