

## 基于光纤的红外图像高速远距离传输研究

王 洋, 郑 宾

(中北大学, 山西 太原 030051)

**摘 要:**针对现有红外系统中电传输数据容量小、距离近的问题,提出了一种基于光纤通讯技术的高速、远距离红外图像传输方法。该方法结合现有红外传感器的数据输出方式,利用成熟的光电转换模块,设计了一种红外图像的光传输系统;对设计原则和核心模块进行了讨论。实际工程应用结果表明,该方法是稳定可靠的,不仅有效地解决了传统电传输中数据容量小和距离近的问题,并且在稳定性、误码率、线缆数量等方面,有了一定的提高和改善。

**关键词:**红外图像;光纤传输;光电转换

**中图分类号:**TN929.11

**文献标识码:**A

## Research on high-speed and far-distance transmission of infrared image based on fiber

WANG Yang, ZHENG Bin

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the small data capacity and the short transmission distance of the traditional infrared (IR) system, a new transmission method based on fiber is proposed. Using the fiber transmission technique, a kind of IR image transmission system is designed based on the data output format of the IR sensor. Meanwhile, the design principles and methods of the key modules are discussed. The application results show that the method is stable and reliable. Compared with the traditional electric transmission, the proposed method can solve the problem of the small data capability and short transmission distance. And the system performance such as the stability, error rate, cable quantity etc, can be improved effectively.

**Key words:** IR image; optical transmission; photoelectric conversion

### 1 引 言

随着光电技术和武器装备的升级,红外传感器朝着大面阵规模、高帧频等方面发展。目前,焦平面热像仪的像元个数已达到  $640 \times 512$  元,甚至达到  $1\text{ K} \times 1\text{ K}$ ,凝视红外图像的像素规模由 8 万跃升至准高清级(32 万像素以上)。传统的红外传感器的输出多是 8 位的模拟输出,随着数字技术的发展,8~16 位的数字图像输出越来越广泛,这意味着传输的图像数据量将会成倍的增加。在现有的红外系统中,一般采用电传输方式,无论是单端并行、差分并行,还是差分串行传输,发展到今天都已经达到了

其设计的物理极限;电传输的速率低、传输距离近、可靠性低等问题,已成为红外系统发展的瓶颈<sup>[1]</sup>;采用新的高性能的红外图像传输方式势在必行。光纤通信具有传输距离远、速度快、频带宽、抗电磁干扰等优点,在通信领域得到了广泛的应用。本文利用光纤通讯技术<sup>[2]</sup>,并结合现有红外传感器的数据输出格式,提出了一种高速、远距离的红外图像传输的方法,并在实际工程中进行了应用。

**作者简介:**王 洋(1983-),硕士,主要研究方向为红外图像处理。E-mail:wangyang092@163.com

**收稿日期:**2010-11-26; **修订日期:**2011-01-10

## 2 设计原理及实现

### 2.1 设计原理

红外图像传输系统包括发送和接收两个子系统,发送子系统将红外传感器输出的并行数字图像

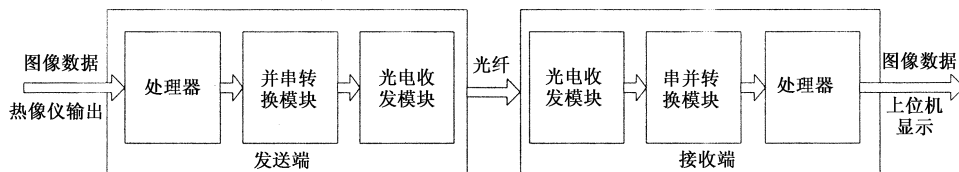


图1 数据流程

现有红外传感器输出的数字信号为并行的差分 LVDS<sup>[3]</sup> 信号,差分 LVDS 信号在线缆上的有效传输距离大约为 40 m;同时,并行差分 LVDS 信号需要的线缆数量较多;已不能满足实际工程应用的传输要求。在本方法中,发送子系统通过 LVDS 接口接收图像数据,处理器对接收到的数据进行电平转换和复用编码;传送给并串转换模块完成并串转换和直流均衡编码;最后,将高速串行差分 CML 信号传送给光电发送模块,完成光电转换,通过光纤传输通道,将数据传到远端接收子系统。接收子系统是发送子系统的逆过程。光电接收模块接收光信号后,把光信号转换成高速串行的差分 CML 信号;传送给串并转换模块完成串并转换和直流均衡解码;输出为 TTL 并行数据传送给上位机完成算法处理和显示等。在以上系统中,处理器为核心控制模块,完成多路信号的复用编解码和控制。串并转换模块完成高速信号的串并转换和直流均衡编解码。光电收发模块完成光电转换和光信号的发送接收。由于发送和接收的机制反向,处理器、串并转换模块、光电收发模块设计为收发双向接口,可以满足通用性要求。

#### 2.1.1 串并/并串转换模块

串并转换模块(SERDES)是光纤通讯以及所有高速串行通讯中的关键模块,不仅要完成并行数据到串行数据的转换和串行数据到并行数据的转换,而且还有一系列编码的要求,以保证在接收端准确还原时钟和并行数据。首先,输出的串行码流必须是直流均衡的,也就是输出数据中“0”和“1”的个数相同,这样可以保证传输的直流分量为 0,减少接收端的直流漂移引起的误码,并且提供足够多的信号跳变,有利于接收端恢复时钟信号;其次,加入必要的差错控制信息,以便接收端字节对齐。目前,可满足这种要求的编码方式主要有两种,CMT 编码和 mB/nB 编码,其性能各有优点。目前用于串行通讯的 SERDES 芯片较多,而且都集成了所有编解码和

数据,转换成串行数据,利用电光转换模块转成光信号,进行传输;接收子系统接收发送子系统发出的光信号,对其进行光电转换和串并转换等操作,送信号处理器进行处理,以及后端显示等,如图 1 所示。

时钟恢复、字节对齐功能,隐藏了所有串行操作和解串操作,对上层模块提供简单易用的高性能接口。

#### 2.1.2 电光/光电转换模块

采用光纤通信,必须选择一种光收发器件实现光电、电光信号转换。当前,光模块技术不断走向成熟,并向智能化、高速度和高密度互联发展。小型封装插拔式光纤收发模块(small form-factor pluggable optical transceiver,简称 SFP 光模块)<sup>[4]</sup>是新一代的光收发器件,具有小型化、可热插拔,且接口简单。根据光纤的传输类型,可分为单模传输和多模传输,选取光电收发模块要考虑发送功率、传输波长、传输距离等指标。

### 2.2 系统实现

系统采用模块化设计,各模块接口简单,而且可以完成发送和接收的双向功能,图 2 为系统的硬件模块组成图。

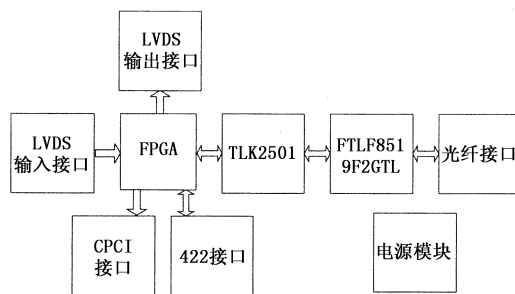


图2 硬件模块组成图

本系统设计,处理器选用 Altera Cyclone II 的 FPGA,主要完成对串并转换芯片的控制和各路数据的编解码打包处理<sup>[5]</sup>。功能的实现是用 Verilog 语言编程的,其对串并转换芯片的控制采用收发双向对称模式。主程序中发送模块设置了一个主计数器,对 GTX\_CLK 发射时钟进行计数,根据计数值控制 TX\_EN 发送使能信号,使串并转换模块输出一定格式的串行数据。在对端,串并转换模块收到串行数据后,实现串并转换,产生 RX\_CLK 接收时钟信

号和 RX\_DV 数据有效指示信号送入 FPGA,主程序中的接收模块根据 RX\_CLK、RX\_DV 信号将接收到的数据解码后,传给各个对应的模块。

串并/并串转换模块选用 TI 公司的 TLK2501<sup>[6]</sup>,其主要作用是实现“并串/串并”转换,并采用串行 8B/10B 编码方式实现直流均衡编码。8B/10B 编码是把 8 个数据位转换为不连续 5 个以上‘1’或‘0’的 10 位比特码,以谋取更好的直流(DC)平衡性。其编码过程是将 8 个比特分成 5B/6B 与 3B/4B 两部分分别编码。8B/10B 编码模式具有更好的直流(DC)平衡性,若直流(DC)平衡性差,发送‘1’的个数可能比发送‘0’的个数多,潜在使激光器件过热,从而导致更好的误码率。TLK2501 的特点如下:串行传输速率为 1.5 ~ 2.5 Gbps,支持背板、铜线和光纤转换器接口;采用 2.5 V 供电,具有 360 mW 的低处理功耗;支持片内 8B/10B 编解码和逗点对齐(Comma Alignment)和链接同步(Link Synchronization);串行输出摆动(swing)可调,接受差分输入门限最低可达 200 mV 输入低速参考时钟,片内 PLL 提供时钟综合;支持热插拔(hot-plug)保护,满足工业温度范围。

在本文涉及中,处理器(FPGA)与串并/并串转换模块(TLK2501)的连接,如图3所示,其中,一些

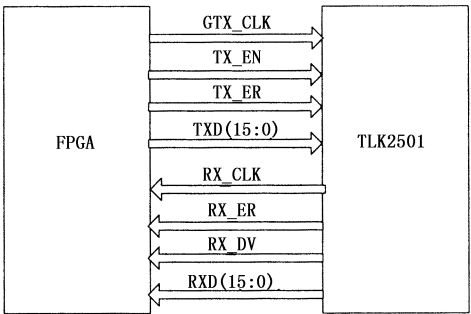


图3 FPGA 与 TLK2501 连接图

对 TLK2501 进行初始化设置的信号线并未标出。发送总线接口连接到 FPGA 上,在 TXD[15:0]端口接收 16 位单端 TTL 并行数据,数据在 GTX\_CLK 上升沿有效,同时要求 TX\_EN 为高,TX\_ER 为低。

在本文设计中,考虑系统发送功率、传输波长、传输距离等指标,选用的是 Finisar 公司的 FTLF8519F2GTL 光模块。该光模块双向高达 2.125 Gbps 的数据通路;封装形式为 SFP,支持热插拔;金属外壳,低 EMI;内部集成 850 nm 的 VCSEL 激光器。且接口简单,输入为两路高速串行差分信号,输出为 LC 接口的光信号。

3 实验结果

3.1 硬件实现及仿真

根据图 2 所示的硬件模块组成图,硬件设计的电路如图 4 所示。电路中包含 FPGA 控制,串并转换模块,光电收发模块,电源模块,2 个 422 通信串口,2 个 LVDS 接口和 CPCI 接口等。在系统工作过程中,串行信号速率高达 2 Gb/s,并行总线单根速率达 13.5 Mb/s,电路板采用了四层印制板设计,高速的差分信号进行了特殊的走线处理。

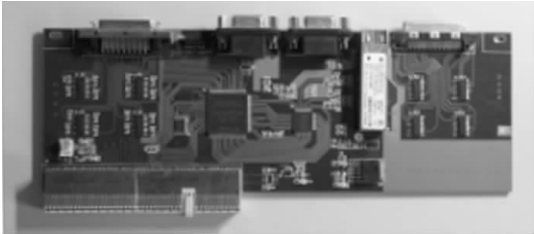


图4 硬件设计的电路实现

图 5 为 FPGA 的信号仿真波形,从仿真波形可以看出,当信号 RX\_DV、RX\_ER 分别为高、低电平时,红外数据可以稳定接收;当信号 TX\_EN、TX\_ER 分别为高、低电平时,红外数据可以稳定发送。

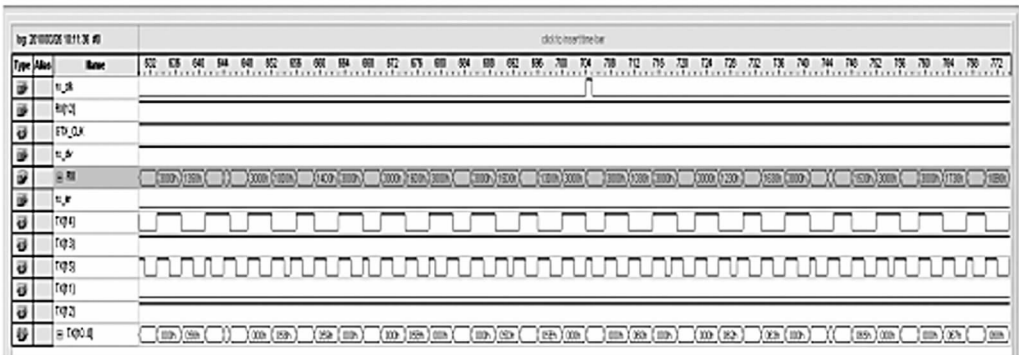


图5 信号仿真波形图

3.2 测试图像对比

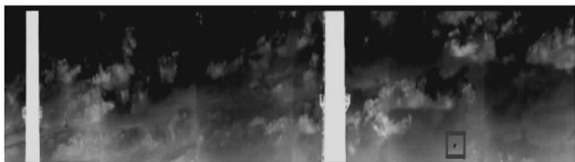
基于本文设计的红外图像传输系统,只需一根

光纤即可传输红外图像数据,数据宽度为 16 位。图 6 为同一传感器,采用不同传输方式得到的红外图

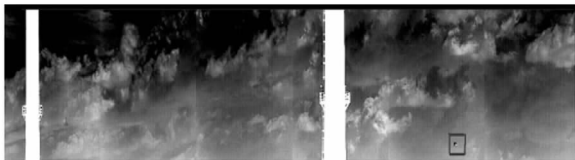
像。图 6(a)是 LVDS 信号经过 16 m 的传输距离后的红外数据图像,图 6(b)是光纤传输 16 m 后得到的红外图像。从中可以看出,图 6(b)所示的红外图像亮度要比图 6(a)的高,图像更加清晰。图 6(a)和图 6(b)中方框标出是同一目标,经过计算,两种传输方式下得到的目标信噪比是不一样的,如表 1 所示。从图像和计算结果看,本文提出的光传输方式,不仅解决了传统电传输距离近、容量小的问题,满足了系统设计要求,并且图像的质量也有一定程度的提高。

表 1 实验结果性能对比

传输方式	图像亮度	目标信噪比
LVDS 差分信号	较低	3.5
光纤	较高	3.9



(a) LVDS 差分信号传输



(b) 光纤传输

图 6 带目标的红外图像

在实际应用中,我们还对系统传输速率、误码率、抗干扰能力、实时性、传输距离几项重要参数进行测试,结果如表 2 所示。

表 2 测试项目

序号	测试项目	测试方法
1	传输速率	当系统提供给编解码芯片的参考时钟为 100 MHz 时,通过光纤传输的数据量达到 2 Gb/s
2	误码率	在发送端传输变化率为 13.5 MHz 的递增并行数据,传输时间为 10 h,在接收端按照递增规律检验,错误码为 0 个,误码低于 $10^{-12}$
3	干扰能力	在系统检测误码的同时,进行震动试验,并在电路板周围走通有 220 V 的电源线
4	实时性	通过示波器测量发送端以及接收端信号,信号延迟低于 300 ns
5	传输距离	实验中选用的光纤为波长为 850 nm 的多模光纤,在没有中继以及放大的情况下,传输距离达 500 m

以上实验和测试结果显示:本文设计的数据传输系统可以远距离、低误码、高实时地传输红外图像数据,同时拥有较高的抗干扰能力,完全满足实际工程的要求。

4 结 论

利用光纤通讯技术,结合现有红外传感器的数据特点,给出了一种高速、远距离的红外图像传输系统设计方案。在此方案基础上,实现了红外数字图像的高速远距离传输。目前该方法已在相关项目得到了实际工程应用。基于光纤的红外图像传输系统是红外传感器的应用发展方向,在今后的工作中将在扩大数据容量、长寿化等方面进行进一步的研究。

致 谢:感谢华北光电技术研究所邢刚、李丽亚、祁蒙、李星等同志的共同研究。

参考文献:

[1] Wang Xianjun, Yuan Xianghui. Study on image dynamic display of infrared system[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(3): 285 – 287. (in Chinese)  
王贤均,袁祥辉. 实时红外系统图像动态显示的研究[J]. 激光与红外, 2007, 37(3): 285 – 287.

[2] Xu Dongliang. Application of technology of single fiber and double direction transimission to TV tracking system[J]. Control & Automation, 2005, 11(1): 164 – 165. (in Chinese)  
徐东亮. 单纤双向传输技术在电视跟踪系统中的应用[J]. 微计算机信息, 2005, 11(1): 164 – 165.

[3] Introduction to LVDS, PECL, and CML[M]. USA: Maxim Inc, 2000.

[4] Shao Hongzhou, Xie Xianzhong. Application of intelligent SFP optical modules[J]. Optical Communication Technology, 2006, (6): 14 – 16. (in Chinese)  
邵红洲,谢显中. 智能 SFP 光模块应用[J]. 光通信技术, 2006, (6): 14 – 16.

[5] Wang Wei, Feng Yongmao. Controller of high-speed transmitter design based on FPGA[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2008, 31(3): 845 – 848. (in Chinese)  
王玮,冯永茂. 基于 FPGA 的高速数据传输芯片控制设计[J]. 电子器件, 2008, 31(3): 845 – 848.

[6] TLK2501 Datasheet[M]. USA: Texas Instruments inc. July, 2003.