

# 高速 Cameralink 图像数据光纤传输系统设计

何家维<sup>1,2</sup>, 何 昕<sup>1</sup>, 魏仲慧<sup>1</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** Cameralink 接口是目前工业数字相机的主要图像输出接口。但受传输距离限制, 在远程视频网络中, 图像数据一般以光信号传输。针对 Cameralink 接口相机在光纤网络中应用的这一具体问题, 对 Cameralink 接口光纤传输系统进行了研究。设计的传输系统可兼容多种像素时钟的相机, 最高传输带宽达到 1.92Gb/s, 可满足 1024 × 1024 相机 100 帧/秒拍摄频率下的数据量要求。  
**关键词:** Cameralink 接口; 光纤; 光线传输

## Design of fiber transmission system for cameralink interface standard

HE Jia-wei<sup>1,2</sup>, HE Xin<sup>1</sup>, WEI Zhong-hui<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Cameralink interface is currently the main industrial digital camera image output interface. But subject to distance restrictions in the remote video network, the image data transmission generally uses fiber. Cameralink interface optical fiber transmission system was studied for camera application in the paper. The system design is compatible with a variety of camera pixel clock. The maximum transmission bandwidth is 1.92Gb/s, to meet the data recording frequency requirements of the 1024 × 1024 camera and 100 frames/s.

**Key words:** Cameralink; fiber; fiber transmission

## 0 引言

随着光电技术的发展, CCD 和 CMOS 工业数字相机已经应用在生产生活的各个领域。在实际应用中, 数字相机拍摄的数字图像需要传输到图像处理计算机或显示终端, 数字图像信号的数据量很大, 传输速率也很快。以常见的 1024 × 1024 大小的 16 位图像为例, 当拍摄帧频为 50 帧/秒时, 需要实时传输的数据量为 800Mb/s。这样的数据量给数字图像的传输提出了较高要求。

Cameralink 接口是目前工业数字相机的主要图像输出接口之一。该种接口具有实时性好、抗干扰的优点, 可满足大部分相机的数据流量要求。但是 Cameralink 数据传输格式对线路要求较高、布线困难, 且不能进行图像数据的长距离传输。光纤是新

兴通信技术, 适于远距离传输, 采用光介质传输数据已经是当前通信技术发展的潮流, 虽然目前 RS-232、RS-422、千兆网甚至千兆网的接口光纤收发器均已商业化, 但由于 Cameralink 接口出现相对较晚, 并且专门针对工业相机, 所以目前国内对 Cameralink 接口光纤传输系统的研究还较少。本文对 Cameralink 图像数据光纤传输系统进行了深入研究, 并已应用于实际工程中, 取得了良好的效果, 解决了 Cameralink 图像数据长距离光传输问题。

## 1 系统设计方案

图 1 是光纤传输系统的设计方案。相机输出的

收稿日期: 2011-04-22

基金项目: 国家 863 计划项目

作者简介: 何家维(1982-), 男, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事 CCD 成像技术、光纤通信技术等方面的研究。

数据流经过 Cameralink 接口转换、数据缓存、光纤编解码、图像重构等过程,最后仍以 Cameralink 图像的

形式输出,从而实现数据的无损远程传输。

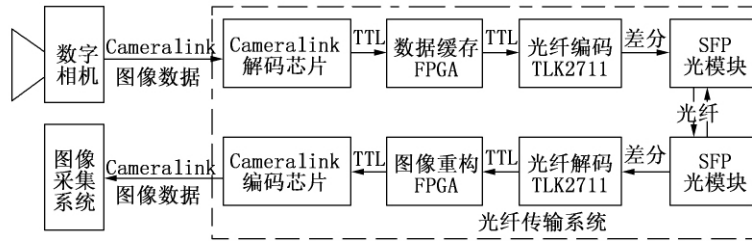


图1 Cameralink 光纤传输系统设计方案

在图1中,数据的缓存和重构的主要作用是实现时钟域匹配,光纤的编解码采用 8b/10b 编码,由硬件完成,光模块的功能是实现光信号和电信号的转换。数据的缓存、重构与编解码是光线传输系统设计需要考虑的主要问题。

## 2 Cameralink 数字图像接口协议

目前大部分工业数字相机通过 Cameralink 接口输出图像数据,该接口是机器视觉领域中应用最广泛的一种接口协议。Cameralink 是基于 LVDS 技术的一种接口标准,这种标准特别适用于高速相机的数据传输。Cameralink 接口标准包含一对接收器和驱动器。驱动器最多接收 28 位单端数据信号和一路时钟信号。这 29 路信号以 7:1 的比例串行发送,使用 5 路 LVDS 通道传输 4 组 LVDS 数据流和一组 LVDS 时钟信号,因此采用该标准完成 28 位数据的同步传输只需要 5 对 LVDS 线即可。

图2是 Cameralink 接口 Base 模式的数字图像信号的时序关系图,Cameralink 接口芯片编码前和解码后的数字信号满足图2的时序关系。根据 Cameralink 接口协议,一帧数字图像由场同步信号、行同步信号、像元时钟和多位图像数据组成,各信号均在像元时钟的下降沿变化,在其上升沿是数据稳定时期。

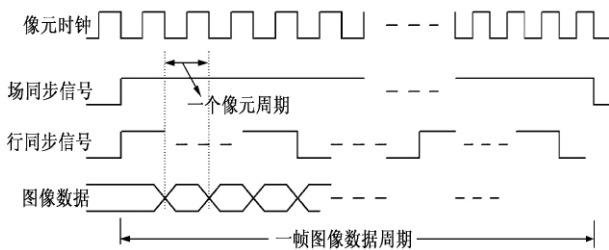


图2 Cameralink 图像数据帧格式时序关系

图2中的信号由专用编解码和驱动芯片进行图像数据、行、场、时钟的 TTL 和 LVDS 通道之间的转换。在本设计中使用了 DS90CR286 和 DS90CR285

芯片完成这一功能。

## 3 图像数据的时钟域匹配

图像数据时钟域匹配是 Cameralink 图像数据光纤传输系统时序设计要解决的主要问题。由于设计中采用固定本地时钟作为光纤通信同步时钟,受编解码芯片 TLK2711A 和传输速率的限制,光纤通信同步时钟固定设为 80MHz。但不同的相机输出的图像数据的像素时钟往往是不同的,大部分相机的像素时钟低于 80MHz,为了适应多种低于光纤同步时钟的像素的图像传输需要,系统使用双 FIFO 缓存方案进行时钟域匹配,通过使用该方案增加了系统的通用性。FIFO 是先进先出存储器的简称,通过使用 FPGA 内部存储器构成 FIFO 来实现不同时钟域上数据的转换。图3是双 FIFO 结构时钟域匹配的方案框图。

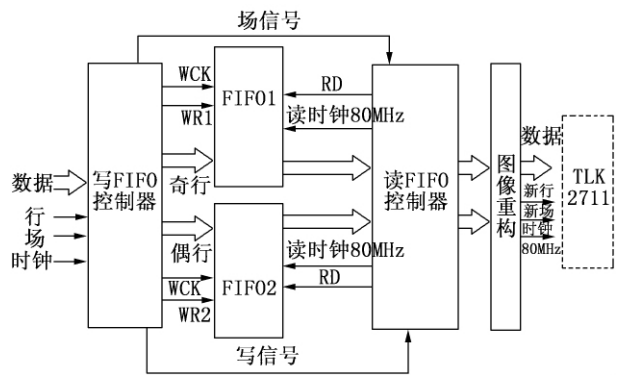


图3 双 FIFO 结构时钟域匹配

系统以相机输出的像素时钟作为 FIFO 写时钟,按奇偶行分时写入 FIFO1 和 FIFO2。再根据数据行场等同步信号生成读信号,以 80MHz 本地时钟为读时钟,写 FIFO1 的同时读 FIFO2,读出的数据进行图像重构然后送芯片 TLK2711 编码,直接以 80MHz 的时钟作为光纤通信同步时钟,从而完成时钟域匹配功能。

对于一些相机的数字图像输出是 Cameralink 双

通道格式,12 位的该格式数据对于传输信道来说等效于一个像素时钟传输的图像位数是 24 位,而利用 TLK2711 芯片编码的光纤信道单路最多只能传输

16 位数据。为解决这一问题,本文采用了双路光纤位数扩展的方法,图 4-5 为双路光纤扩展位数传输方案的发送和接收端数据缓存和重构方案。

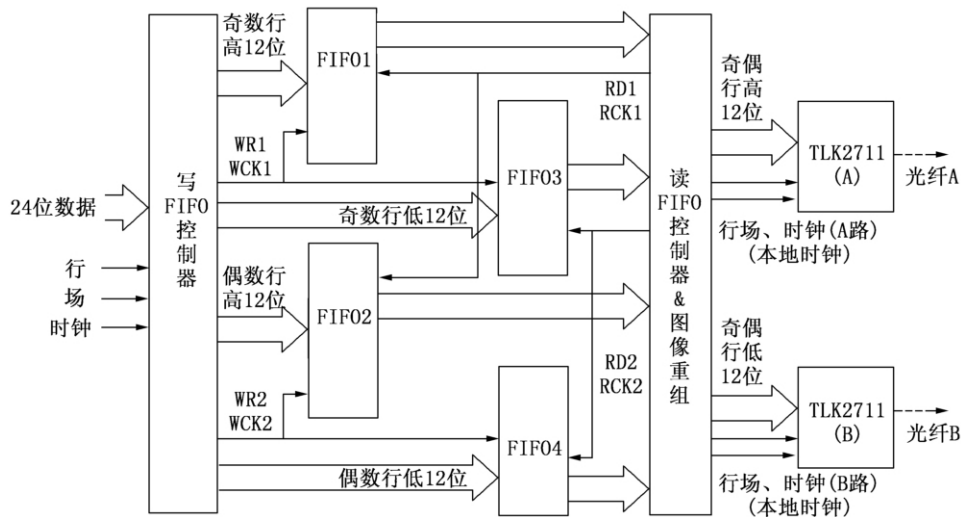


图 4 发送端的数据缓存(双路光纤位数扩展)

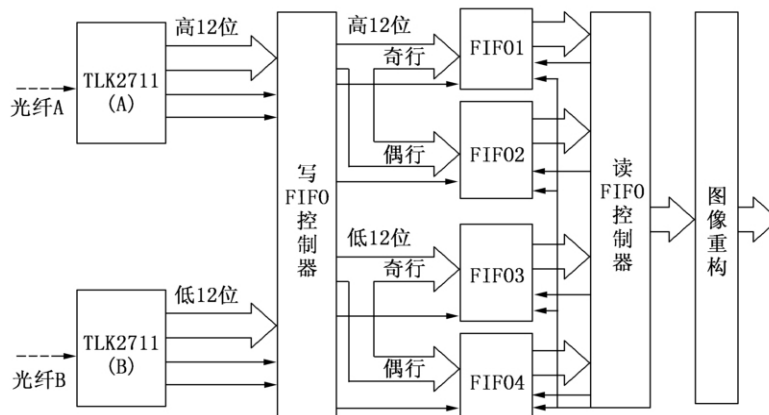


图 5 接收端的图像重构(双路光纤位数扩展)

由图 3-4 可见,该方案使用 A 路和 B 路光纤同时传输 24 位数据。在发送端,主要作用是将图像分为高低 12 位和奇偶行进行分时传输,并进行时钟域匹配;而在接收端,主要是对两路光纤分别传输的数据进行同步恢复和图像重构。采用双路光纤扩展传输时,本文设计的系统的带宽最高可达 1.92 Gb/s。

#### 4 光纤信道 8b/10b 编码

在光纤通信应用中,并行数据一般被编码成串行同步数据流,从而实现高速传输目的。本设计选用 8b/10b 编码方法进行高速串行编码方法。8b/10b 编码可以解决以下几个通信方面问题。

(1) 通过使数据流中的连续“1”或连续“0”不超过 5 个 8b/10b 编码保证了信号转换密度,这样可以降低接收端时钟漂移或同步丢失发生的概率。

(2) 8b/10b 编码可以平衡位流中“0”和“1”的数量,实现直流平衡,有利于高速差分传输。

(3) 采用冗余方式 8 位数据加入特殊字符按特定规则编码成 10 位数据,解码时根据规则可监测误码。

(4) 规定了一些特殊字符作为帧同步或控制字。

本文选用串并转换芯片 TLK2711 实现 8b/10b 编解码功能。TLK2711 是一款主要用于光纤通信的 8b/10b 编解码双向收发器。可并行传输 16 位数据,串行差分传输速率可达 1.6Gb/s 至 2.7Gb/s。本系统每路图像数据的发送和接收各使用一片 TLK2711。

对 TLK2711 的控制由 FPGA 内部构建的控制

器进行,控制器完成的主要功能有上电同步、传输同步和数据链路恢复。

上电同步是指无论系统接收方还是发送方先上电,系统均应建立有效数据链路。信号 ENABLE 是上电同步控制的关键信号,该信号为低时 TLK2711 发送同步码。通过实验发现对于双向工作模式时可正常同步,但当 TLK2711 单向工作时如果接收端后上电则无法正常通信,这是由于接收端上电时,发送端的同步码已经发出,在这种情况下接收端没有收到同步码,所以系统无法建立数据链路。可采用的解决方法是利用上行光纤链路中的某一位构建双向链路,用 FPGA 检测该路信号的同步状态,当其为同步状态时,FPGA 强制发送端的 TLK2711 再发一次同步码(ENABLE 再置低),从而完成同步。

传输同步则是指利用图像信号在场逆程不传有效信息的特点,在图像数据的场逆程强行使能 RKLSB 和 RKMSB 信号来控制 TLK2711 发送同步码,通过这种方法可以使通信系统在每帧图像结束后都同步一次,提高了系统的抗干扰性和链路自动恢复的速度。

数据链路恢复是指导致系统数据传输终止的错误解决后,系统自动恢复数据链路的能力。TLK2711 具有信号丢失检测电路,一旦接收端检测到串行差分信号的幅度过低,则会使能接收端的 LOS 信号为高电平对于来自光纤传输链路的错误的恢复主要靠 TLK2711 的信号丢失检测电路进行。实验过程中,拔掉传输光纤,可以立即看到接收端的 LOS 端变高,发出错误信息。针对此项功能专门设计了 LOS 信号检测电路,以便实时监控光纤链路通断情况,并采取相应的同步措施。

## 5 光电转换

数据经缓存和编码后,使用光模块进行光电转换,变成光信号进行传输。本文选用单模 SFP 光模块来完成转换功能,SFP 模块体积较小,并且可以随时插拔,便于系统的升级与维护,上面的 LC 光纤接口通用性也比较好的,可以不用转接头接入很多现有光纤网。图 6 是 SFP 模块照片,通过使用单模(1310nm)模块,进一步增加了系统的传输距离,在

无中继的情况下,可传输 20km。



图 6 SFP 光电转换模块

光模块与 TLK2711 之间是 PECL 接口,对传输线阻抗匹配特性要求较高,这部分电路板在设计过程中对分布参数进行了仿真和计算,使传输阻抗满足 50Ω 的设计要求。

## 6 结束语

本文设计的光线传输系统目前已在多个实际工程项目中应用。其中,对某型号拍摄频率为 100 帧/秒的高速 CMOS 相机成功实现传输,系统传输带宽已达 1.6Gb/s,传输的图像稳定,效果较好。本系统的创新在于通过对原始图像数据进行双 FIFO 分奇偶行的缓存和图像重构,实现了相机时钟域和光纤传输时钟域的时域匹配,从而实现了不同像素时钟下的稳定传输。

### 参考文献:

- [1] 许海东,王剑,李超. 基于 FPGA 的数字视频光纤传输系统的研究[J]. 科学技术与工程, 2007(19): 5069-5073.
- [2] 李岩,司玉美,耿爱辉,等. 基于同步时分复用技术的数字 CCD 图像数据的光纤传输设计[J]. 微计算机信息, 2006(1): 211-212.
- [3] 徐孟祥,张尔扬. LVDS 与高速 PCB 设计[J]. 电子工程师, 2005(5): 38-40.
- [4] 王文华,何斌,韩双丽,等. 星上 CCD 成像非均匀性的实时校正[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1420-1428.
- [5] 于海,樊晓桢. 基于 FPGA 异步 FIFO 的研究与实现[J]. 微电子学与计算机, 2007(3): 210-216.
- [6] 方文森,许大舟. 基于 AT89C52 的多处理器嵌入式系统[J]. 信息技术, 2007(11): 118-120.

责任编辑:肖滨