

文章编号:1002-2082(2018)02-0284-06

# 高速 Cameralink 视频信号的光纤传输系统设计

吴 琦<sup>1</sup>,薛海东<sup>1</sup>,刘召庆<sup>1</sup>,殷洪波<sup>1</sup>,尹海林<sup>1</sup>,杨 栋<sup>2</sup>

(1. 西安应用光学研究所,陕西 西安 710065;2. 北方电子研究院有限公司,陕西 西安 710100)

**摘要:**针对目前常用的 Cameralink 视频信号的光纤传输方案系统结构过于复杂的问题,提出一种基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 视频信号的光纤传输方案。在发送端利用 MAX9249 实现 Cameralink 视频信号解串行化、编码、串行化,得到光模块驱动信号 CML;在接收端利用 MAX9268 实现 CML 信号解串行化、解码、串行化,得到 Cameralink 视频信号,并对光收发模块的设计与选型作了详细阐述。用示波器抓取发送端和接收端高速串行信号的眼图,结果比较清晰,眼睛张开度大,发送端的 Q 因子为 24.46,满足发送端大于 12 的要求,接收端 Q 因子为 8.13,满足接收端大于 6 的要求。计算机采集的实时画面,经过 10 min 传输无明显可视的像素噪点,验证了该传输方案的可行性和有效性。

**关键词:**Cameralink 信号;光纤传输;MAX9249/MAX9268;光收发模块;Q 因子

中图分类号:TN206

文献标志码:A

DOI:10.5768/JAO201839.0208001

## Design of optical fiber transmission system for high speed Cameralink video signal

Wu Qi<sup>1</sup>, Xue Haidong<sup>1</sup>, Liu Zhaoqing<sup>1</sup>, Yin Hongbo<sup>1</sup>, Yin Hailin<sup>1</sup>, Yang Dong<sup>2</sup>

(1. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China; 2. North Electronic Research  
Institute Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the system structure of optical fiber transmission scheme of commonly used Cameralink video signal is too complicated, an optical fiber transmission scheme of the Cameralink video signal based on MAX9249 / MAX9268 was proposed. At the transmitting end, the Cameralink video signal was deserialized, encoded and serialized by using MAX9249 to obtain the optical module driving signal CML. At the receiving end, the CML signal was deserialized, decoded and serialized by using MAX9268 to obtain the Cameralink video signal, and the design and selection of optical transceiver module were detailed described. Finally, the oscilloscope was used to capture the eye diagrams of high-speed serial signals at transmitting end and receiving end. The eye diagrams of high-speed serial signals at transmitting end and receiving end are relatively clear and the eye opening degree is large. The Q factor at the transmitting end is 24.46, meeting the requirement of greater than 12 at transmitting end, while it is 8.13 at the receiving end, meeting the requirement of greater than 6. In addition, the real-time pictures acquired by the computer acquisition end has no obvious visible pixel noises after 10 minutes transmission, which proves the feasibility and effectiveness of the transmission scheme.

**Key words:** Cameralink signal; optical fiber transmission; MAX9249/MAX9268; light transceiver module; Q factor

收稿日期:2017-09-11; 修回日期:2017-12-18

作者简介:吴琦(1969—),男,陕西礼泉人,研究员,主要从事光纤通信领域的研究工作。

E-mail:leehomhaidong@163.com

## 引言

数字化视频摄像机等输出设备,一般都以 Cameralink 的数据格式提供数字视频信号。Cameralink 技术是美国国家半导体公司提出的一种新型数字相机接口技术,具有数据传输速度快,通信和控制功能强,接口方便等特点,该技术在视频信号传输设计中得到广泛应用。

光纤技术是 20 世纪 70 年代迅速发展起来的新兴技术,主要涉及光纤传感和光纤传输两个方面<sup>[1]</sup>。光纤通信因其损耗低、传输频带宽、容量大、抗电磁干扰能力强,以及质量轻、尺寸小等优点,不仅在民用领域取得飞速的发展,在军用方面也受到各发达国家政府和军方的重视和青睐<sup>[2]</sup>。

目前,常用的 Cameralink 视频信号的光纤传输技术中,在光发射端,先要通过解串行的芯片将视频信号转化为并行信号,再对此信号进行编码,最后通过串行化电路转化为光发射模块可以识别的串行信号,在光接收端再做一次与发射端逆向的信号处理,整个过程相对来说比较复杂<sup>[3-4]</sup>。为此,本文提出了基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 视频信号的光纤传输方案,采用单端单片集成的方式实现了 Cameralink 视频信号的光纤传输,并予以实现和验证。

## 1 Cameralink 视频信号光纤传输技术研究

### 1.1 Cameralink 视频信号光纤传输原理

Cameralink 接口采用美国 National Semiconductor 公司的 Channel link 技术作为基础,Channel link 技术是低电压差分信号(LVDS)技术在数字领域的一种应用,数据传输率大于 1.6 Gbit/s。它采用数据线复用的方法,这样能够减少传输电缆的导线数目,从而降低屏蔽要求、减小接插件体积、增加强度,使电缆加工变得容易。Cameralink 的信号包括视频、控制、串行通信 3 个部分,视频部分是 Cameralink 的核心,由 5 对差分信号组成,其中包括 4 对差分数据信号和 1 对差分锁相时钟信号,差分数据的传输速率一般在 1.6 Gbit/s ~ 2.7 Gbit/s 之间<sup>[5-6]</sup>。

Cameralink 视频信号在光纤传输过程中,在发送端先通过串并转换器转换成并行数据,进行数据的复用,成为一组并行数据信号,通过并串转换电路转换成串行数据流,驱动光模块发光。在

接收端光接收模块将接收光纤中的光信号转换成差分电信号送入串并转换电路,输出的并行数据通过解码、解复用,输出并行视频数据,再经过并串电路转换成串行数据,输出到 Cameralink 视频信号接收端。如图 1 所示。

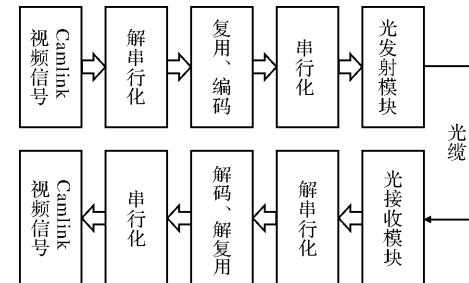


图 1 Cameralink 视频信号光纤传输流程

Fig. 1 Flow chart of Cameralink video signal optical fiber transmission

### 1.2 常见 Cameralink 视频信号光纤传输系统

目前常见的 Cameralink 光纤传输方案有 2 种:基于 TLK2711 的 Cameralink 光纤传输方案和基于 MAX9259/MAX9260 的 Cameralink 光纤传输方案。

#### 1.2.1 基于 TLK2711 的 Cameralink 光纤传输系统

文献[7-8]对目前常见的基于 TLK2711 的 Cameralink 光纤传输系统进行了介绍,其原理框图如图 2 所示。CameraLink 采用 LVDS 信号传输数据,根据 CameraLink 标准及硬件接口电路要实现的功能:LVDS 信号至 CMOS/TTL 信号的转换,相机的控制以及图像采集卡与相机间的异步串行通信。采用 NI 公司的 DS90CR286 来实现 CameraLink 硬件接口电路。FPGA 实现 CameraLink 接口芯片和高速收发器芯片 TLK2711 之间的数据通信。光模块实现电信号和光信号之间的转换,再通过光纤进行数据传输。

#### 1.2.2 基于 MAX9259/MAX9260 的 Cameralink 光纤传输系统

文献[9-11]为目前常见的基于 MAX9259/MAX9260 的 Cameralink 光纤传输系统,其传输原理框图如图 3 所示。该方案与 1.2.1 节中方案的最大区别是用 MAX9259/MAX9260 代替了 TLK2711。这种光纤传输方案的优势在于 MAX9259/MAX9260 拥有足够的位数的并行总线,避免了复杂的复用/解复用,对 FPGA 性能要求不高。

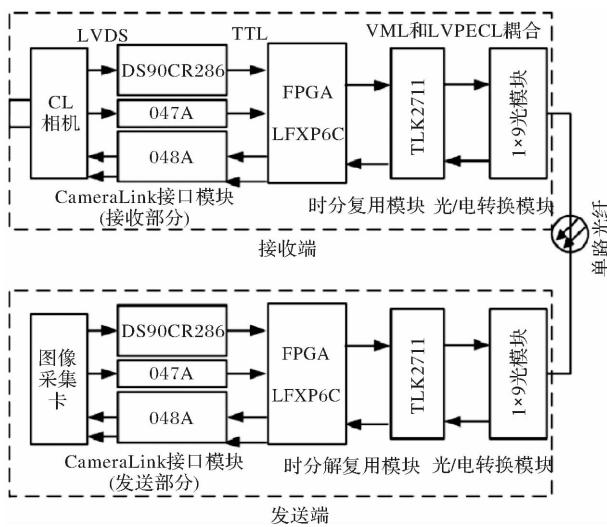


图 2 基于 TLK2711 的 Cameralink 光纤传输原理

Fig. 2 Cameralink optical fiber transmission principle based on TLK2711

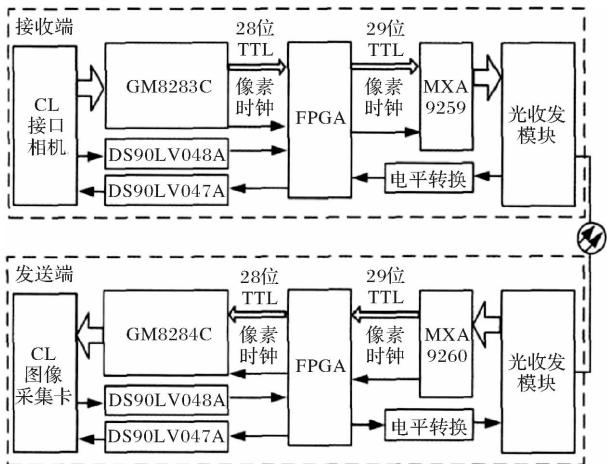


图 3 基于 MAX9259/MAX9260 的 Cameralink 光纤传输原理

Fig. 3 Cameralink optical fiber transmission principle based on MAX9259/MAX9260

## 2 基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 视频信号光纤传输方案

从图 1 可以看出 Cameralink 视频信号光纤传输过程中,最关键的步骤有两部分:第一,在发送端从 Cameralink 视频信号到光发射模块之间的信号转换过程;第二,在接收端从光接收模块到 Cameralink 视频信号之间的信号转换过程。由 1.2 节可以看出,目前常用的传输方案中,这两部分信号转换过程每一个模块都需要相应的电路完成,导致整个传输系统硬件电路比较复杂。因此,本文设计了一种基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 视频信号光纤

传输方案,传输原理如图 4 所示,发送端由 MAX9249 和光发射模块构成,由 MAX9249 对 Cameralink 信号进行解串行化、编码、串行化得到 CML 信号驱动光模块,接收端由光接收模块和 MAX9268 构成,由光接收模块将光信号转换成 CML 信号,再通过 MAX9268 对信号进行解串行化、解码、串行化得到 Cameralink 信号。

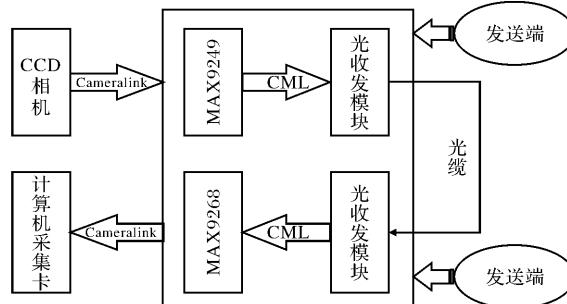


图 4 基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 光纤传输原理

Fig. 4 Cameralink optical fiber transmission principle based on MAX9249/MAX9268

从图 4 可以看出,该传输方案比图 2、图 3 所示方案结构相对简洁,文中将分别从发送端硬件电路、接收端硬件电路和光收发模块选型 3 个关键方面详细介绍该传输方案。

### 2.1 发送端硬件电路设计

Cameralink 是一种通信应用的视频接口,采用 4 组 LVDS 差分数据和 1 组 LVDS 差分时钟信号,而光发射模块需要 1 组串行数据信号驱动。因此,首先需要将 4 组串行数据转换成多路并行数据;然后对并行数据进行复用,将 4 路数据的时分合成,使其成为 1 路信号;再对这路信号进行编码,从而解决串行数据流中逻辑 1 和逻辑 0 的平衡,防止串行信号中直流电平的偏移,使其满足光纤信号传输数据的要求,有利于串行信号数据的数据接收与辨识,降低数据的误码率;最后,再将这组信号进行串行化,以驱动光发射模块。

为实现上述一系列功能,选用 MAX9249 芯片,低电压差分信号系统接口 MAX9249 串行器利用 Maxim 公司的多媒体串行连接(GMSL)技术,和 GMSL 解串器一起为高速视频信号的连接传输构成一个完整的数字信号串行连接。MAX9249 支持 3 通道和 4 通道数据传输,4 通道模式同时处理 4 路 LVDS 数据信号,可以处理速度高达 2.5 Gb/s 的差分信号,因此可以用来处理 Cameralink 视频信号。

首先需要对 MAX9249 进行配置: SSEN = low

表示为无频偏扩展,DRS=low 表示为 RXCLKIN 输入范围为 12.5 MHz 到 78 MHz(4-channel mode),BWS= high 表示为总线宽度为 4-channel mode,MS=low 表示模式选择为 base mode。在设置了 4 通道数据传输模式的情况下,芯片内部对 4 路 LVDS 数据信号和 1 路 LVDS 时钟信号进行解串行化、编码、串行化。MAX9249 内部信号流程如图 5 所示,其中 RXIN0<sub>-</sub>、RXIN0<sub>+</sub>、RXIN1<sub>-</sub>、RXIN1<sub>+</sub>、RXIN2<sub>-</sub>、RXIN2<sub>+</sub>、RXIN3<sub>-</sub>、RXIN3<sub>+</sub> 为 4 组 LVDS 数据输入信号,RXCLKIN<sub>-</sub>、RXCLKIN<sub>+</sub> 为 1 组 LVDS 时钟输入信号,由 CCD 相机接入。OUT<sub>-</sub>、OUT<sub>+</sub> 为差分 CML 输出信号,送给光模块。

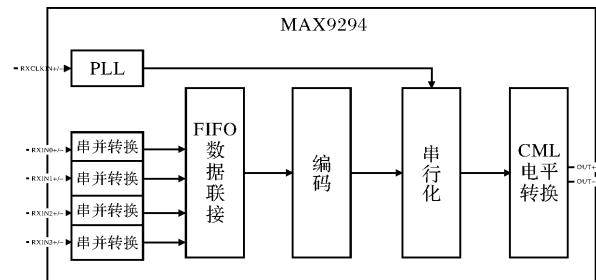


图 5 MAX9249 四通道数据传输模式工作流程

Fig. 5 Flow chart of MAX9249 4-channel data transmitting mode

## 2.2 接收端硬件电路设计

在接收端需要做的是,将光接收模块输出的 1 组串行数据转换为 4 组 LVDS 差分数据和 1 组 LVDS 差分时钟信号。因此,首先需要将光接收模块输出的 1 组串行数据解串成并行信号,再对信号进行解码、解复用得到 4 路数据和时钟信号,最后将信号串行化为 4 组串行差分数据和 1 组时钟信号。

为实现以上一系列功能,选用 GMSL 解串器 MAX9268 芯片。首先需要对 MAX9249 进行配置:SSEN=low 表示为无频偏扩展,DRS=low 表示为 TXCLKOUT 输出范围为 12.5 MHz 到 78 MHz(4-channel mode),BWS= high 表示为总线宽度为 4-channel mode,MS=low 表示模式选择为 base mode。在设置了 4 通道数据传输模式的情况下,芯片内部对光模块输出的 CML 信号进行解串行化、解码、串行化,如图 6 所示,其中 IN<sub>-</sub>、IN<sub>+</sub> 为从光模块得到的 CML 输入信号,TOUT0<sub>-</sub>、TOUT0<sub>+</sub>、TOUT1<sub>-</sub>、TOUT1<sub>+</sub>、TOUT2<sub>-</sub>、TOUT2<sub>+</sub>、TOUT3<sub>-</sub>、TOUT3<sub>+</sub> 为 4 组差分数据输出信号,TXCLKOUT<sub>-</sub>、TXCLKOUT<sub>+</sub> 为 1 组时钟输出信号,输出到计算机采集卡。

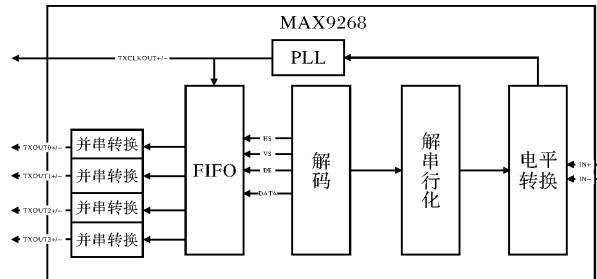


图 6 MAX9268 四通道数据传输模式工作流程

Fig. 6 Flow chart of MAX9268 4-channel data transmitting mode

## 2.3 光收发模块的选型

光模块选用国产收发一体模块,供电 +3.3 V,最大传输速率为 2.5 Gb/s,通过波长 1 310 nm 实现光纤传输。光纤收发模块实现光信号与电信号之间的双向转换功能,转换过程中不改变数据流的编码,不对数据做其他处理,只用于点对点的连接。在信号的发送端,将由 MAX9249 电路输出的光模块所需要的 PECL,通过电流耦合的方式,连接到光模块的数据发送管脚上,驱动光模块发光。在光信号的接收端,将光模块输出的差分电信号,通过电平匹配电路将模块输出的 PECL 电平,转换成 LVDS 电平的电信号,送入到 MAX9268 电路芯片里,进行数据的处理。

光模块的另一个重要的作用是实现双向光信号的复用。即光模块内部不仅包含光信号的收发功能,还集成了一个波分复用器,根据双向传输所采用的光波长,它能够完成双向光信号的融合和分离,即将发送端的光波长融入到通道光缆中,同时分离出相向而来的光波长,用于光信号的接收。波分复用器的选择要满足双向光波长的要求。

目前为满足高速率传输的需要,一般采用光模块作为光信号的收发电路,光模块本身的电路集成度很高,并封装于一个小的空间里,能够满足系统高频率数据的传输需要。模块内部在光发送端和光接收端具有自动光功率调整电路,适应光信号在大动态范围内的光功率波动,抑制大的光信号幅度,放大小信号的光信号幅度,使发送端输出的光信号和接收端输出的电信号保持在一个比较稳定的范围内。另外,光模块封装在一个密闭的小金属壳体内,可以有效地屏蔽外部电磁信号的干扰。光收发模块在使用时,尽量缩短其输入、输出引脚在 PCB 板上的走线长度,提高输入、输出信号的稳定性和信号完整性。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 试验系统搭建

按图 7 结构搭建的高速 Cameralink 视频信号的光纤传输系统,主要由高速视频产生端 CCD 相机、光发送端、光接收端、光纤跳线和计算机采集端构成。CCD 为标准 Cameralink 数据输出,base 模式,1TAP,分辨率 8 bit,时钟频率 60 MHZ,帧率为 120 帧/s,计算机采集端安装数据采集卡与光接收端相连,通过图像采集软件进行实时采集测试。

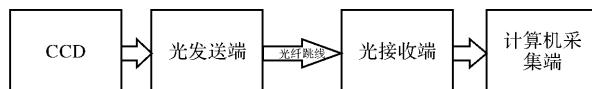


图 7 高速 Cameralink 视频信号的光纤传输系统结构图

Fig. 7 Structural diagram of high-speed Cameralink video signal optical fiber transmission system

#### 3.2 试验结果

按照图 7 搭建好的系统,通过示波器抓取发送端和接收端高速串行信号的眼图,速率为 1.25 Gbit/s,如图 8 所示。

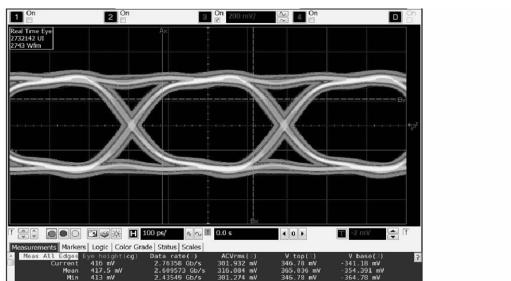


图 8 发送端高速串行信号眼图

Fig. 8 Eye diagram of high speed serial signal at transmitting end

从图 8 可看出,发送端高速串行信号最大占空比失真 11.17 ps,眼高 639 mV,眼睛总抖动 37.38 ps,平均速率 2.609 5 Gbit/s,即  $1\text{UI} = 383.21 \text{ ps}$ ,输出总抖动 = 0.098 UI,满足芯片组 0.15 UI 输出要求,Q 因子 24.46,发送端工程设计中 Q 因子值应大于 12,因此满足发送端的要求。

从图 9 可以看出,接收端高速串行信号的眼图也比较清晰,眼睛张开度大,眼宽 246.67 ps、眼高 500 mV,眼睛总抖动 101.52 ps,1UI = 383.21 ps,输入总抖动 = 0.265 UI 满足芯片组保证的 0.45 UI 抖动容限要求,Q 因子 8.13,接收端工程设计中 Q 因子值应大于 6,因此满足接收端的要求。

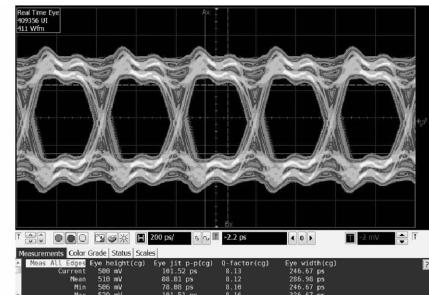


图 9 接收端高速串行信号眼图

Fig. 9 Eye diagram of high speed serial signal at receiving end

眼图模板测试是衡量高速串行信号传输的重要方法,然而目前还没有一种能够被广泛接受的眼图测试方法,主要困难在于眼图的外形取决于多种因素:传输速率、信号摆幅、摆幅加重去加重、介质特性、抖动、温度特性等。因此,本文选定与该传输方案相近的 SAS 3Gb IR,CR,XR 模板进行,如图 10 所示。传输速率修正为 2.609 Gbit/s 后进行 3 min 模板合格性测试,在 1、2、3 区均无不合格 UI 出现,测试结果合格,满足系统要求。在计算机采集端用软件实时采集 CCD 经过所设计的传输系统传来的画面,如图 11 所示,分辨率为  $1024 \times 1024$ 。

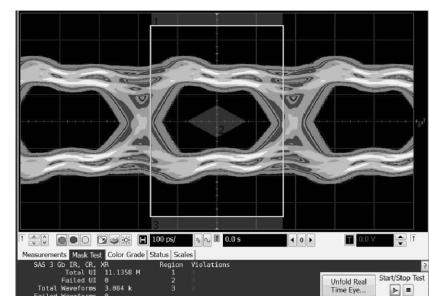


图 10 接收端高速串行信号眼图模板测试

Fig. 10 Template test of eye diagram of high speed serial signal at receiving end



图 11 计算机采集端采集的实时画面

Fig. 11 Real-Time picture acquired by computer acquisition end

可以看出,经过光纤传输后捕获卡采集、计算机显示的图像清晰稳定,能够满足实验室环境下

高清视频的清晰稳定传输,经过 10 min 传输无明显可视的像素噪点,达到了预期设计目标。

## 4 结论

本文针对目前常用的基于 TLK2711 和基于 MAX9259/MAX9260 的 Cameralink 视频信号光纤传输方案系统过于复杂的问题,设计出一种基于 MAX9249/MAX9268 的 Cameralink 视频信号光纤传输方案。用示波器抓取发送端和接收端高速串行信号的眼图可以看出,其眼图都比较清晰,眼睛张开度大,发送端的 Q 因子为 24.46,满足发送端大于 12 的要求,接收端 Q 因子为 8.13,满足接收端大于 6 的要求。计算机采集端采集的实时画面可以看出,经过 10 min 传输无明显可视的像素噪点,满足实验室环境下高清视频的清晰稳定传输。该方案不仅结构简洁、集成度高,而且能够满足高清视频的清晰、稳定传输,信号传输质量满足眼图模板要求。

## 参考文献:

- [1] WANG Huichuan, CAO Zhanmin, WANG Hengyun. Bidirectional optical fiber transmission system[J]. Journal of Applied Optics, 2001, 22(5): 19-24.  
王会川,曹战民,王恒运.光纤制导双向传输系统[J].应用光学,2001,22(5):19-24.
- [2] WU Jing, SHANG Haiying, WEI Zhengshi. Development of fiber optic guidance technologies and Devices [J]. Optical Fiber & Electric Cable, 2006(4): 7-11.  
吴静,商海英,韦正世.光纤制导技术及器件的发展研究[J].光纤光缆传输技术,2006(4):7-11.
- [3] GU Wanyi, LI Guorui. Fiber communication system [M]. Beijing: Post and Telecommunication University Press, 2006.  
顾婉仪,李国瑞.光纤通信系统[M].北京:邮电大学出版社,2006.
- [4] GUO Yubin. Fiber communication system [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2008  
郭玉斌.光纤通信系统[M].西安:西安电子科技大学出版社,2008.
- [5] XU Haidong, WANG Jian, LI Chao. The design of fiber transmission of camera link based on FPGA[J]. Technology and Engineering, 2007(19): 5069-5073.  
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.
- [6] LI Ning, WANG Junfa. The design of high speed data acquisition based on camera link[J]. Infrared, 2005 (7): 31-37.  
李宁,汪骏发.基于 Camera Link 的高速数据采集系统[J].红外,2005 (7):31-37.
- [7] QIAN Yingqing, PEI Yusen, SUN Sisheng. Fiber optical transmission of Cameralink high-speed video based on TDM[J]. Fiber Communication Technology, 2010, 34(10): 54-56.  
千应庆,裴宇森,孙偲晟.基于时分复用的 Camera-link 高清视频光纤传输技术[J].光通信技术,2010, 34(10):54-56.
- [8] ZHANG Da, XU Shuyan. High speed CCD picture data optical transmission system[J]. Optic Precise Engineering, 2009, 17(3): 669-674.  
张达,徐抒岩.高速 CCD 图像数据光纤传输系统[J].光学精密工程,2009,17(3):669-674.
- [9] CAO Weijun, YUAN Quan. Optical fiber transmission technology of Cameralink image data[J]. Fiber Communication Technology, 2014, 7(2): 44-45.  
曹伟军,袁泉. Cameralink 图像数据光纤传输技术[J].光通信技术,2014,7(2):44-45.
- [10] HE Jiawei, HE Xin, WEI Zhonghui. Design of fiber transmission system for Cameralink interface standard [J]. Information Technology, 2011, 10(04): 9-12.  
何家维,何昕,魏仲慧.高速 CameraLink 图像数据光纤传输系统设计[J].信息技术,2011,10(04):9-12.
- [11] SUN Kelin, ZHOU Weichao, WU Xinzhang. Realization of high speed real time optical picture transmission system[J]. Optic Precise Engineering, 2011, 19 (9): 2228-2234.  
孙科林,周维超,吴钦章.高速实时光纤图像传输系统的实现[J].光学精密工程,2011,19(9):2228-2234.