

文章编号 1004-924X(2012)08-1854-08

## 全彩发光二极管交通诱导屏光纤传输系统

李爽<sup>1,2</sup>, 王瑞光<sup>1\*</sup>, 严飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 130039)

**摘要:** 设计了光纤传输系统以实现交通诱导屏图像数据的远距离实时传输。针对原光端机的诸多缺点, 提出了传输系统的设计方案, 构建了完整的系统结构。依据以太网相关传输协议对物理层和数据链路层的设计思想进行了分析, 给出了系统中重要模块的设计方法, 并对内存寻址和带宽估计进行了精确计算。测试结果表明: 利用单芯光纤可完成最大分辨率为 1 024 pixel×768 pixel, 刷新频率为 60 Hz 的图像源的实时传输, 最大传输速率达 1.5 Gbps, 距离为 5~10 km。与原传输方案相比, 该方案减少了额外光端机设备, 光纤利用率提高了 80%, 并利用接收端级联减少了光纤铺设成本。系统能够满足城市交通指挥中心对诱导屏实时信号的传输要求, 传输性能可靠, 已应用于现行交通诱导系统中。

**关键词:** 光纤通信; LED 诱导屏; 图像传输; 现场可编程门阵列

**中图分类号:** TN919.8; TN312.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122008.1854

## Full-color LED display of traffic guidance fiber transmission system

LI Shuang<sup>1,2</sup>, WANG Rui-guang<sup>1\*</sup>, YAN Fei<sup>1,2</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 130039, China)

\* Corresponding author, E-mail: wangruiguang 1957 @126. com

**Abstract:** An optical fiber transmission system was designed to implement the long-distance and real-time transmission of traffic guidance image data. To overcome the defects of traditional optical terminal machines, a complete system architecture was built according to the needs of the transmission system. The design ideas of a physical layer and a data link layer were analyzed based on Ethernet relative protocol, some design principles of the important modules were also given, then the memory addressing and bandwidth estimation were calculated in details. The test results show that the image data with a maximum resolution of 1 024 pixel×768 pixel, and refresh rate of 60 Hz can be transferred in a single optical fiber in real-time with a maximum transmission rate of 1.5 Gbps and the distance of 5—10 km. Compared to the original system, the proposed system reduces additional optical equipment and the fiber utilization rate is increased by 80%. Moreover, the cascade function of the receiver end has reduced the laying costs. With reliable performance, the system can implement the transmission

收稿日期: 2012-01-27; 修订日期: 2012-03-01.

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (No. 2009BAE73B01)

task of real-time image data from a traffic command center to the guidance LED display in most of the cities.

**Key words:** optical fiber communication; LED guidance display; image transmission; Field Programming Gate Array(FPGA)

## 1 引 言

随着智能交通的发展,发光二极管(LED)显示屏作为一种信息传输的载体,已经出现于各大城市的交通要道。这种显示屏能够提供给车辆驾驶人良好的道路信息服务和及时交通信息,诱导车辆选择省时路线,在交通系统中起到了至关重要的作用。截止目前,郑州、沈阳、长春、宁波、泉州等城市的 LED 交通诱导屏应用计划正在展开。LED 显示屏一般由红、绿、蓝三基色 LED 管混合发光产生彩色效果,真彩显示屏每基色具有 8 位灰度级,即每个像素点的色彩信息需要用 24 位二进制数表示,屏幕显示区域越大,其对实时传输系统的要求越高,当传输线路带宽有限时,单位时间内传输数据量少,使 LED 显示屏不能获得足够多的色彩数据,显示效果较差。

光纤通信是以光波为载频,以光导纤维为传输媒介的一种传输方式,具有带宽高、传输距离远、体积小、重量轻等优点。作为信息传输的理想载体,光纤传输已不仅应用于电信行业的语音、数据通信系统,其在高品质图像信号的传输<sup>[1-2]</sup>领域也应用得越来越广泛,如国内利用光纤设计实现的 CCD 图像传输系统<sup>[3]</sup>、光电跟踪设备数字视频图像信息传输系统<sup>[4]</sup>,均已取得了良好的效果。

全彩 LED 光纤传输系统将光通信技术应用于 LED 屏幕数据传输,增加了传输带宽,在保证屏幕信息正常显示的前提下,提高了显示效果和传输距离。本文提出了基于以太网传输协议的 LED 屏幕传输系统光纤解决方案,与原 LED 远距离传输需采用光端机<sup>[5-6]</sup>的解决方法相比,节省了光端机资源,增加了接收端级联、点阵字符的异步显示功能,并提出了显示故障处理方案;利用单根光纤完成了高分辨率数据源的传输需求,实现了指挥中心对不同区域屏幕的统一管理,在实际应用中有重要意义。

## 2 设计需求

典型的 LED 传输系统<sup>[7-8]</sup>结构如图 1 所示,系统由视频源、控制信号、发送端与接收端组成。视频源为来自主机显卡的 DVI(Digital Visual Interface)接口视频信号,控制信号为来自主机串口的控制信息,发送端对最小化传输差分信号(Transition Minimized Differential Signaling, TMDS)进行解码,对数据进行适当分配处理,并加入串口控制信息后发送至接收端,传输介质为双绞线。DVI 是基于 TMDS 电子协议作为基本电气连接的数字视频接口。TMDS 是一种微分信号机制,可以将像素数据编码,并通过串行连接传递。TMDS 信道结构如图 2 所示,输入部分(Input streams)为显卡输出信号,输出部分(Recovered streams)为解码后的视频信号;其中 DE 为图像同步信号,Pixel Data(24 bit)为图像数据,Control Data(6 bits)为控制信息,Clk 为时钟信号,CH\_0-CH\_2 为图像 TMDS 信道,CH\_C 为时钟 TMDS 信道。

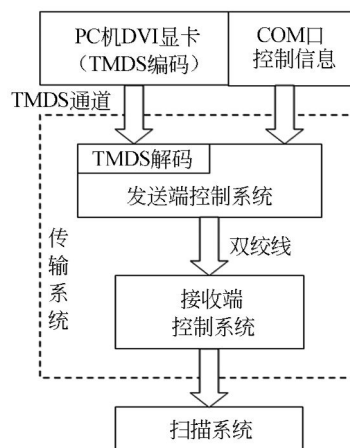


图 1 典型 LED 传输系统

Fig. 1 Typical LED transmission system

由于双绞线的传输距离有限,当 LED 显示屏应用于交通诱导等需要远距离传输实时信息的场

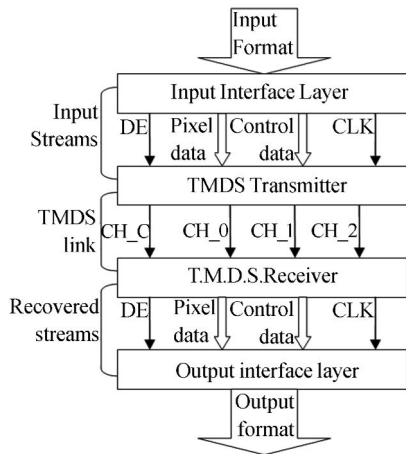


图 2 TMDS 信道结构

Fig. 2 Architecture of TMDS channel

合时,一般需要借助光端机来保证传输速率与传输距离,解决方案如图 3 所示,系统采用对 TMDS 差分信号直接进行光纤传输的方法,每一路 TMDS 信息对应一路光信号,串口控制信息对应一路光信号,共使用 5 路光收发系统完成图像与控制信息的传输。此方案等同于利用光传输延长了 TMDS 信道的传输距离,其传输上有以下 3 个缺点:

(1) 由于 TMDS 差分信号不具备远距离传输的信号特性,原系统的传输协议与网络结构没有应用于传输层,而是位于发送端到接收端,传输中难以避免视频信号质量下降;

(2) 原传输系统的发送部分与视频源和控制部分分离,对视频数据的实时显示具有一定的影响;

(3) 使用 5 芯光纤完成传输,并且运用了 2 套光端机设备,增加了额外设备成本和光纤铺设成本;当系统中有多多个 LED 屏幕级联显示时,光端机和发送控制系统的个数均成倍增加,造成较大浪费。

针对上述缺点,本文提出了一种新的图像数据远距离传输解决方案。对原双绞线传输系统进行了光纤改造,在保留原系统基本构架的前提下,将发送端置于数据源和控制信号端,并对原系统的 MAC 层与物理层控制进行了重新设计,整合了 4 路 TMDS 信号与 1 路控制信号;保证了传输的实时性;使用单芯光纤完成上述 5 芯光纤完成的功能;即使在有多多个显示屏的情况下,利用光纤级联的方式,可以只增加接收端的数量而不必加

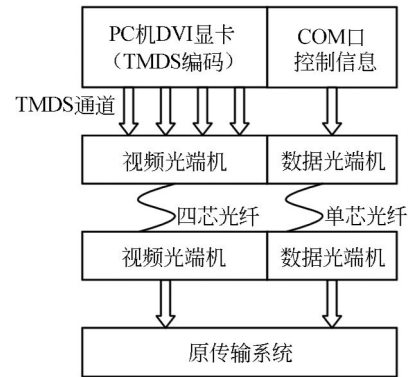


图 3 远距离传输光端机解决方案

Fig. 3 Solution of optical fiber transceiver for long-distance transmission

入发送端部分。此方案最大限度地减少了冗余设备,节约了构网成本。

### 3 设计原理

#### 3.1 硬件构成

LED 光纤传输系统硬件结构<sup>[9]</sup>框图如图 4,发送端由 TMDS 解码器、发送主控现场可编程门阵列(FPGA)、外部静态随机存储器(SRAM)、光纤网络驱动器和光收发设备组成;接收端由接收主控 FPGA、光纤网络驱动器和光收发设备组成。

发送端及接收端 FPGA 包括的模块及其实现的功能如下:

(1) 视频数据、控制信息采样。此模块是发送端的 TMDS 和 COM 接口,接收 TMDS 解码后的 24 位 RGB 视频数据、同步信号(行同步、场同步、像素时钟);同时实现与 PC 主机的串口通信,接收相关控制信号。

(2) 内存管理。此模块是片外 SRAM 的物理接口,用于控制数据流的读写过程。

(3) 传输控制与位数转换。对于原始图像数据,为了在接收端能够有效地按区域发送至扫描系统,发送端对数据进行了整理,并依据物理层传输特点实现了 24 位 RGB 数据到 16 位传输数据的转换。

(4) 数据成帧与协议构建。按照 IEEE 802.3 规范,以太网传输应具有一定的帧结构,设计中为了提高传输效率,在不影响传输效果的情况下去掉了标准帧结构中的冗余部分,该模块定义了点对点传输下图像帧的结构。

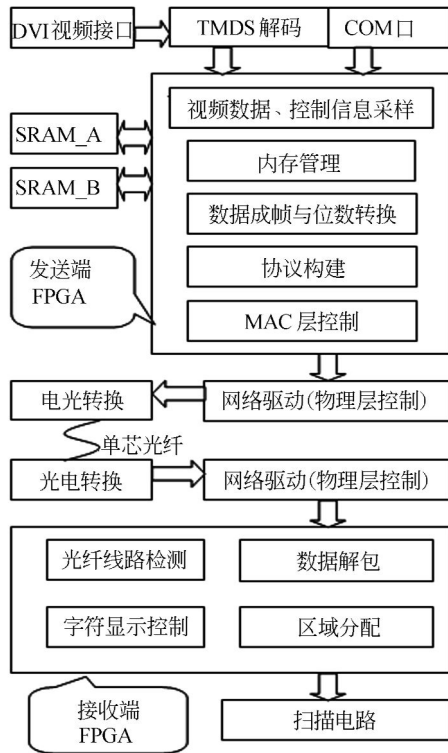


图 4 LED 光纤传输系统

Fig. 4 LED optical fiber transmission system

(5) MAC 层控制。此模块是与片外 MAC 控制芯片的接口,控制 MAC 层的收发使能,传输方向和传输速度。

(6) 数据解包与区域分配。接收部分的 MAC 层控制模块,实现时钟与数据的恢复,并按既定区域大小,将源端图像数据分端口送入扫描系统。

(7) 光纤线路检测与字符显示控制。完成对光通路的检测,及时发现故障,并保证在光纤断路的条件下仍有内容显示。

## 4 设计思想与关键算法

### 4.1 传输协议分析

按照 OSI 开放系统互联参考模型,一个完整的网络应包含 7 层,由于本系统为点对点传输,并且不涉及到传输层及其以上的协议控制,设计中重点讨论数据链路层和物理层的设计思想。

数据链路层(MAC)主要负责将内存中缓存的图像数据按照既定格式封装成帧,以保证接收端帧的正确性,并负责与物理层连接。数据帧格式设计如图 5 所示,数据帧由字符单位组成,每个

字符由 4 位 16 进制数组成。前导码(Preamble)为 5 个 557C(16 进制)字符,用来表示一帧的开始,并给予接收端足够的时间准备接收;数据开始标志(SDF)为 5 575,表示有效的视频和控制数据的开始;数据段包括控制数据(Control Unit)1 个字符和图像数据(Data)1 536 个字符;帧结束标志(IPG)为 10 个字符。

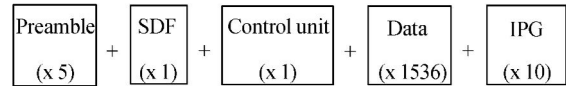


图 5 数据帧格式

Fig. 5 Architecture of frame

物理层由物理编码子层(PCS)、物理介质接入子层(PMA)、物理介质相关子层(PMD)组成<sup>[10]</sup>。PCS 子层负责与 MAC 层交互的数据进行信道编解码(8B/10B 编码),使数据具有一定的抗干扰能力,避免码流传送中误码的发生。PMA 子层提供了 PCS 和 PMD 层之间的串行化服务接口,实现了串化、解串(SERDES)的功能。此二子层构成了图 4 中的网络控制部分;PMD 子层完成光电、电光转换功能,即图 4 中物理光纤的链接部分。

### 4.2 内存需求分析和缓存算法

为防止同一场视频数据由于传输延时造成的显示不同步问题,扫描系统采用分块扫描的方式,将视频源按块分成几个部分,同时进行扫描,以 XGA 标准的 1 024 × 768 分辨率视频源为例,取 1 024 × 512 作为传输区域,扫描时可按 256 × 256 点阵区域作为一个单位,分成 4 列 2 行共 8 个端口同时扫描。各个端口及显示区域分配如图 6 所示,其中 ADD 为各区域在内存中的起始地址。

ADD:0 ADD:256 ADD:512 ADD:768 ADD:1023

PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
256行	256行	256行	256行
256列	256列	256列	256列
PORT4	PORT5	PORT6	PORT7
256行	256行	256行	256行
256列	256列	256列	256列

ADD:262144 ADD:262400 ADD:262656 ADD:262912

图 6 端口区域分配

Fig. 6 Port regional distribution

为满足上述需求,传输系统中将至少缓存 1 场图像数据,保证不同端口相同位置的图像数据能够同时输入扫描系统,缓存部分可根据具体需求在发送系统或者接收系统中设计,本文将缓存部分置于发送系统。系统中采用两组 SRAM,按乒乓操作<sup>[11]</sup>的方式对图像数据进行缓存。每组 SRAM 有 19 根地址线,并将地址总线分为 9 根行地址线和 10 根列地址线,故存储空间将划分为 1 024 列×512 行,当图像数据经 TMD5 解码准备写入内存时,以图像行起始信号 DE 为存储使能,使图像数据行与内存行相对应,顺序写入内存;当 512 行图像数据全部解码后,对应一组 SRAM 的 512 行全部存满。在一组 SRAM 被写入图像数据的同时,另一组 SRAM 正被读出。为了实现读写速度匹配,系统在每写入一行 SRAM 的时间内,读出相同个数(1 024 个)的图像数据;由于系统需要按照 8 个端口相同位置为一个单位的顺序读出数据,读地址不能按照简单计数的方式产生,需要对计数地址做相应的变换。当地址计数器计数 0~7 时,相应读地址应为 0、256、512、768、262 144、262 400、262 656、262 912;如图 6,当计数为 8~15 时,相应读地址为上述地址加 1,计数值与目标地址的映射关系如表 1。其中

C 代表计数器数值,A 代表实际内存地址,均为 19 位([18]-[0])。从表中可得 A 与 C 的对应关系为:

$$A[18] = C[2], \quad (1)$$

$$A[17:10] = C[18:11], \quad (2)$$

$$A[9:8] = C[1:0], \quad (3)$$

$$A[7:0] = C[10:3]. \quad (4)$$

#### 4.3 传输带宽分析

对于  $M \times N$  分辨率,刷新频率为  $H$  的图像源,若要实现实时传输,传输带宽  $BW$  值应设计为:

$$BW \geq M \times N \times H \times 24 / 0.8, \quad (5)$$

其中:24 为 RGB 图像数据,0.8 为 8B/10B 信道编码的编码效率。

如前所述,本设计选择区域设计为 1 024 × 512,所以带宽应为:

$$BW \geq 1\,024 \times 512 \times 60 \times 24 / 0.8 = 0.95 \text{ Gbps}, \quad (6)$$

若全屏显示 1 024 × 768 区域,带宽应设定为:

$$BW \geq 1\,024 \times 768 \times 60 \times 24 / 0.8 = 1.42 \text{ Gbps}. \quad (7)$$

设计中,选择了 TI 公司的 TLK1501 作为网络物理层传输芯片,该芯片传输速率为 0.6~1.5 Gbps,对以上论述的部分区域显示和全区域显示,均可满足带宽需求。

#### 4.4 数据位数转换

从图像源得到的数据为 24 位 RGB 像素数据,而物理层接口的数据为 16 位,因此需要做相应的位数转换。设计中采用将 2 个 RGB 图像数据组成 3 个传输字符的解决方案。首先在发送端例化 3 个 8 位入 16 位出的 FIFO,分别为 FIFO\_R、FIFO\_G、FIFO\_B,当从片外内存读入像素点(24 位图像数据)时,可将其拆成 3 个 8 位数据,R、G、B 分别缓存至 3 个 FIFO 中,当 FIFO 中数据大于 2 时,可对 FIFO\_R、FIFO\_G、FIFO\_B 进行按顺序 16 位读出,即读出的数据为相邻两个像素的混合数据 RRGGBB,以每两个像素为一个单位,即可按物理层要求 16 位发送;接收端只需例化 3 个 16 位进 8 位出的 FIFO,并进行相反操作,即可恢复原始图像数据,从而解决了图像源位数与物理层接口不匹配的问题。

表 1 内存地址映射

Tab.1 Memory address mapping

计数 十进制 表示	目标地址 十进制 表示	计数二进制表示		目标地址二进制表示	
		C[3:0] 其余为零	A18 A9 A8 A0 其余为零	C3 C2 C1 C0	A18 A9 A8 A0
0	0	00 00	0 00 0	00 00	0 00 0
1	256	00 01	0 01 0	00 01	0 01 0
2	512	00 10	0 10 0	00 10	0 10 0
3	768	00 11	0 11 0	00 11	0 11 0
4	262144	01 00	1 00 0	01 00	1 00 0
5	262400	01 01	1 01 0	01 01	1 01 0
6	262656	01 10	1 10 0	01 10	1 10 0
7	262912	01 11	1 11 0	01 11	1 11 0
8	1	10 00	0 00 1	10 00	0 00 1
9	257	10 01	0 01 1	10 01	0 01 1
10	513	10 10	0 10 1	10 10	0 10 1
11	769	10 11	0 11 1	10 11	0 11 1
12	262145	11 00	1 00 1	11 00	1 00 1
13	262401	11 01	1 01 1	11 01	1 01 1
14	262657	11 10	1 10 1	11 10	1 10 1
15	262913	11 11	1 11 1	11 11	1 11 1

#### 4.5 接收端级联

由于诱导屏分布于城市各个交通要道,并且单个屏显示面积不需要很大,因此,从指挥中心输出的高分辨率图像源可以被分为多个小分辨率图像来进行显示。本设计中单个诱导屏显示面积为  $256 \times 256$ ,即对应图 6 中的一个端口。考虑到光纤线路的架设问题,相邻诱导屏的距离可能要小于指挥中心分别到诱导屏的距离。为尽可能地节约建网成本,设计了接收端级联功能。发送端采用广播的形式传输视频源,每个接收端可以根据需要取得显示内容,并同时作为中继器转发视频源数据,从而可以设计最短的线路对诱导屏进行连接。所选的网络物理层芯片能按照全双工的方式进行工作,系统中对收到的图像数据进行等速率转发,并利用异步 FIFO 解决了接收时钟与发送时钟可能出现的相位不匹配的问题。

#### 4.6 字符点阵显示

交通诱导屏需要铺设专用传输线路来完成源端到目标屏的数据传送。铺设与使用过程中难免遇到很多问题,当传输线路不畅通时,为保证诱导屏端仍有特定内容可以显示,系统在接收端设计了光纤检测与字符显示控制模块。

系统工作时,物理层控制芯片根据传输数据是否有效返回状态信号 RXDV, RXDV 为高时,表示数据有效, RXDV 为低时,链路处于建立时钟同步状态,数据无效。当光通路断开时, RXDV 将保持断开时刻的状态,即“常高”或“常低”,因此,不能仅以 RXDV 的高低电平来判断线路是否通断。设计中采用定时计数的方式判定线路状态,即 RXDV 每变化一次,计数器清零;当计数器达到某个值时,即 RXDV 在相当长的时间内无变化,可以认为线路中断,或发送端故障,此时需要

接收端在无图像数据的情况下进行脱机(脱离 PC 机图像源)字符显示。脱机显示的内容可根据需求进行定制,由于显示内容需要存入配置 FLASH,即在断电情况下不能丢失,而 FLASH 的容量有限,因此显示内容不宜过复杂。本设计中以  $64 \times 64$  点阵“注意安全”为例。利用取字模软件可以得到字符在屏幕上对应点的亮暗状态,以此信号为片选,可以确定每个像素点显示背景颜色或字体颜色,即将背景与字体用不同颜色显示,观察者即可识别文字信息。

### 5 设计验证

#### 5.1 帧结构测试

为了检测发送帧结构和数据位数转换的正确性,利用 QUARTUSII 的在线逻辑分析仪对数据帧进行实时采样,并设计了专用测试模块。测试模块模拟真实的分辨率为  $1\ 024 \times 768$ ,刷新频率为 60 Hz 的 DVI 时序,将图像数据设置为递增模式,以每行开始为 0(十进制),结尾为 1023(十进制)进行计数;即像素点的数据为 000000H(十六进制表示 24 位 RGB 数据)、000001H、000002H……0003FDH、0003FEH、0003FFH;位数转换后前两个像素点合并为 3 个 16 位字符:0000H、0000H、0100H;后面依次为 0000H、0000H、0302H……0000H、0303H、FFFEH。试验结果如图 7,图中坐标 0-5 为帧头,557CH,坐标 5-6 为帧开始标志 5575H,坐标 6-7 为控制字符,此处为行计数 34H(第 52 行),坐标 7 及其后侧均为图像数据,坐标(-15)-(-8)为帧尾部图像数据,坐标(-8)-0 为帧结束标志 0。测试结果符合图 5 中所实际的帧结构。

Name	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	
tx	0000h	557Ch					5575h	0034h	0000h	0100h	0000h	0302h	00				
txen																	

Name	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0		
tx	FBFAh	0000h	0303h	FDFAh	0000h	0303h	FFFEh	0000h										
txen																		
dvi_vsy																		

图 7 帧结构逻辑分析仪测试图

Fig. 7 Frame architecture test result in signaltap logic analyzer

## 5.2 实测显示验证

实际的诱导系统显示端由多个独立的 LED 显示屏接入同一网路连接构成,交通指挥中心只需通过修改控制端 PC 机桌面不同位置的内容,即可及时更新对应位置诱导屏幕的显示。不同地域的屏幕在同一时间,显示内容可以相同或不同。



图 8 交通诱导屏现场显示效果图

Fig. 8 Practical performance of traffic guidance LED display

光纤传输系统与原传输系统性能对比如表 2。光纤传输系统除了利用单根光纤实现原系统 5 根光纤的远距离传输方案外,还增加了检测与脱机显示等功能,无论从系统性能或系统成本上,光纤传输系统均明显优于原传输系统。

表 2 系统性能比较

Tab. 2 Comparison of system performance

	原传输系统	光纤传输系统
传输介质	双绞线	光纤
传输距离	500 m	5~10 km
远距离解 决方案	光端机 5 芯光纤	无额外设备 单芯光纤
线路检测	无	有
脱机字符显示	无	有
级联	无	有

## 参考文献:

- [1] 韩红霞,郭劲,曹立华,等. 利用光纤进行多路数据与视频图像信息混合传输[J]. 光学精密工程, 2005,13(S1):30-33.  
HAN H X, GUO J, CAO L H, *et al.*. Design of mixed transmission of multi-channel low-speed digital signals and high-speed video signals using optical fiber[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005,13(S1): 30-33. (in Chinese)

基于前文所述不同端口区域的划分方法,本文设计的传输系统可接入 8 个 256 pixel×256 pixel 的 LED 显示屏。图 8 为分别位于 3 个不同路段的 LED 显示屏现场显示效果图,从图中可以看出,对一般的诱导文字信息,显示屏完全能够满足实际显示需求。

## 6 结 论

为解决 LED 交通诱导屏图像数据源远距离实时传输的问题,本文提出了光纤传输的解决方案。按照以太网的构建原理对数据链路层和物理层进行了设计,利用单芯光纤完成了最大分辨率为 1 024×768,刷新频率为 60 Hz 图像源的实时传输,传输速率达 1.5 Gbps,传输距离可达 5~10 km。对比原光端机 5 芯光纤解决方案,减少了冗余设备的使用,充分利用了光纤资源;光纤线路中断时,能够脱机显示字符信息;在系统中有多个诱导屏连接需求的情况下,可以实现共用发送端,接收端级联的方案。该系统已实际应用于某市交通诱导,并取得了良好效果。

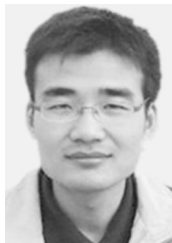
- [2] 郭玉彬,霍佳雨,靳江涛,等. LiNbO<sub>3</sub> 外调制器的 10 Gbit/s 光纤传输系统[J]. 光学精密工程,2007, 15(1):22-26.  
GUO Y B, HUO J Y, JIN J T, *et al.*. 10Gbit/s fiber-optic transmission system using a LiNbO<sub>3</sub> external modulator[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15 (1):22-26. (in Chinese)
- [3] 张达,徐抒岩. 高速 CCD 图像数据光纤传输系统[J]. 光学精密工程,2009,17(3):669-675.  
ZHANG D, XU SH Y. High speed CCD image data

- fiber transmission system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3):669-675. (in Chinese)
- [4] 韩红霞,司国良,曹立华,等. 光电跟踪设备数字视频图像信息光纤传输系统设计[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(5):1219-1225.  
HAN H X, SI G L, CAO L H, *et al.*. Design of digital video signal fiber transmission system in optic-electronic tracker [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(5):1219-1225. (in Chinese)
- [5] 任安虎,张燕. 一种实用光端机的设计与实现[J]. *电子设计工程*, 2010, 18(9):55-62.  
REN A H, ZHANG Y. Design and realization of a practical optical transmitter[J]. *Electronic Design Engineering*, 2010, 18(9):55-62. (in Chinese)
- [6] 聂岩峰,戴健,徐先超. 基于光端机的指挥调度通信系统的设计与实现[J]. *微型机与应用*, 2010(7):30-33.  
NIE Y F, DAI J, XU X CH. The design and implementation of command and dispatch communication system based on optical[J]. *Microcomputer & Its Applications*, 2010(7):30-33. (in Chinese)
- [7] 冯永茂. 高清晰度数字视频无损实时传输技术的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2006.  
FENG Y M. *The research of lossless and real-time transmission technology for the high-definition digital video*[D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2006. (in Chinese)
- [8] 郭宝增,邓淳苗. 基于FPGA的LED显示屏控制系统设计[J]. *液晶与显示*, 2010, 25(3):424-428.  
GUO B Z, DENG CH M. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays[J]. 2010, 25(3):424-428. (in Chinese)
- [9] AVIGDOR BRILLANT. *Digital and Analog Fiber Optic Communications for CATV and FTTx Applications*[M]. SPIE Press Book, 2008.
- [10] 刘超. 基于千兆以太网技术的实时视频传输系统设计[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2008.  
LIU C. *The Design of Real-time video transmitting system based on the Gigabit Ethernet technology*[D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2008. (in Chinese)
- [11] 郝亚茹,丁铁夫,王瑞光. 基于FPGA和SDR SDRAM的LED显示[J]. *电子器件*, 2008, 31(2):403-409.  
HAO Y R, DING T F, WANG R G. LED display based on FPGA and SDR SDRAM[J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(2):403-409. (in Chinese)

#### 作者简介:



李爽(1983—),男,辽宁本溪人,博士研究生,2006年于吉林大学获得学士学位,主要从事LED传输系统设计方面的研究。E-mail: lishuang\_190210@163.com



严飞(1983—),男,江苏南京人,博士研究生,2007年于天津大学获得学士学位,现主要从事LED显示屏控制系统方面的研发。E-mail: vicy831208@126.com

#### 导师简介:



王瑞光(1957—),男,吉林松原人,研究员,博士生导师,1984年于长春光机学院获得学士学位,主要从事LED大屏幕平板显示技术、计算机应用等方面的研究。E-mail: wangruiguang1957@126.com