

文章编号:1007-2780(2009)04-0571-05

基于光纤的 LED 显示屏实时数字视频传输系统的设计

丁铁夫¹, 于洪涛^{1,2}, 郑喜凤¹, 刘 超^{1,2}, 苑 振^{1,2}

(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 100039)

摘 要: 给出了一种应用于 LED 显示屏远程实时数字视频传输系统的设计方案。将 PC 端 DVI 接口输出的视频信号, 转换为适合远距离传输的以太网帧格式, 在接收端进行帧解码和信号还原, 并将接收模块与控制模块集成在一块电路板上, 实现了输入端分辨率和刷新率的灵活设置。使用千兆以太网集线器并通过 RJ45 接口实现了接收控制板的板级级联, 免去了数据接收转发的功能模块, 减少了设计复杂度。为满足实际远距离传输的需求, 打破了千兆以太网 5 类非屏蔽双绞线最长 100 m 传输距离的限制, 设计了一种以太网光纤转换模块, 用单模光纤取代 5 类非屏蔽双绞线传输信号, 最远传输距离达到 10 km。

关 键 词: FPGA; 光纤; 集线器; 千兆以太网光纤转换
中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

1 引 言

自从 1995 年, IEEE 发布 802.3u 标准, 即 100 Mbit 快速以太网标准以后, 这一局域网技术得到了广泛的应用。1999 年, IEEE 802.3ab 标准(即 1000BASE-T)得到正式批准, 可以把双绞线应用于千兆以太网中, 信号的最远传输距离扩展到了 100 m^[1]。现在, 以太网技术已经发展到 10 Gbit/s 甚至更高的速度。

以太网实质上是一种高效串行数据传输技术, 在任何适当的数据传输场合都可以考虑使用廉价高效的以太网数据传输方案。近年来, 数字平板显示技术风靡全球, 随着数字显示质量的提高和应用领域的拓展, 人们对数据传输技术也提出了更高的要求, 不仅要求传输速度快, 而且要做到远距离传输。

在当前的各种平板显示技术中, LED 点阵显示是室外大屏幕显示的最佳方案。现在的 LED 大屏幕室外广告牌, 往往是多个显示屏由一个控制中心控制, 且彼此之间距离较远。为了满足远距离高速实时数字视频传输的要求, 本文设计了一种基于光纤的 LED 显示屏远程实时数字视频传输方案, 最远传输距离达到 10 km, 带宽高达

2 Gbit, 可以实现当前大部分实时数字视频的无损显示。

2 实时数字视频传输的总体设计方案

图 1 为实时数字视频传输方案总体设计框图, 该设计主要包括 4 部分: 发送系统、千兆以太网光纤转换器、Hub 和接收控制系统。

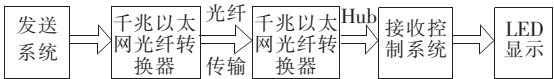


图 1 实时数字视频传输方案

Fig. 1 Real-time digital video transmitting proposal

发送系统主要由 DVI 接口、DVI 解码芯片、SRAM、FPGA、千兆以太网物理层传输芯片、网络变压器和 RJ45 接口组成, 其工作原理如下:

发送板上的 DVI 解码芯片, 将通过 DVI 接口传输的连续 24 bit 并行像素数据和 3 个同步控制信号 Vsy(场同步信号)、DE(数据使能信号)以及 Pclk(像素时钟信号)恢复出来传给发送系统上的核心控制芯片 FPGA^[2], FPGA 负责将 DVI 视频数据按照其同步控制信号恢复成原始的一场一场的数字视频图像并存储在发送系统上的

SRAM 中,待发送时再由 FPGA 读取 SRAM 中已存好的视频数据,按照千兆以太网物理层芯片的数据接收格式将视频数据发出,物理层芯片实时地将接收到的视频数据转化为高速串行数据流传给 RJ45 接口,通过 5 类非屏蔽双绞线将高速串行数据流发出,完成整个发送系统的全部工作。

接收控制系统主要由 SDRAM、FPGA、千兆以太网物理层传输芯片、网络变压器、RJ45 接口与驱动部分接口等组成^[3]。

接收控制系统的主要功能是对以太网帧数据进行解码,提取出需要显示的有效视频数据帧传输到 SDRAM 中,将数据转换为 LED 显示屏所需要的数据格式,并生成消隐、锁存、时钟等一系列辅助信号,使用特定的扫描周期将所有数据传输给 LED 驱动 IC,完成 LED 屏幕的显示驱动并实现输入端分辨率和刷新率的灵活设置。

千兆以太网光纤转换器用来实现以太网中双绞线与光纤两种介质间的转换,以通过光纤实现远距离无损传输。千兆以太网 Hub 用来实现子接收控制系统的板级级联。下面将对这两部分的设计原理做详细介绍。

3 千兆以太网光纤转换器

在该转换器的设计中,光纤物理层传输芯片选用的是 TI 公司的 TLK1221 系列芯片,它支持 0.6 Gbit 至 1.3 Gbit 的传输带宽,内部可实现串并/并串转换、锁相环和时钟恢复等功能。使用的光纤是传输距离最长达 10 km 的单模光纤,可支持全双工的传输。与双绞线相比,光纤具有传输距离长和不受电磁干扰等优点。802.3z 与 802.3ab 协议相比,在数据链路层并没有变化,也是采用千兆以太网媒质无关接口作为介质访问控制(Media Access Control, MAC)层与物理层之间的连接^[4]。

基于光纤的千兆以太网物理层与标准的千兆



图 2 千兆以太网光纤转换器结构框图

Fig. 2 Structure diagram of optical fiber converter of gigabit Ethernet

以太网物理层一样,也分为 3 个子层:物理编码子层(PCS)、物理介质访问子层(PMA)和物理介质依赖子层(PMD)^[5]。

PCS 子层主要负责对数据进行编码。千兆以太网物理层芯片的数据位宽为 8 位,而光纤物理层传输芯片的数据位宽为 10 位,因此需要实现 8 位数据与 10 位数据之间的转换,即在 PCS 子层进行 8B/10B 编码^[6]。8B/10B 编码可使发送的“0”、“1”数量保持基本一致,从而没有直流电荷的积累,消除了任何形式的基线漂动。连续的“1”或“0”不超过 5 位,即每 5 个连续的“1”或“0”后必须插入一位“0”或“1”,从而保证了信号 DC 平衡,也就是说,在链路超时不至于发生 DC 失调,通过 8B/10B 编码可以保证传输的数据串在接收端能够被正确复原。8B/10B 编码是将一组连续的 8 位数据分解成两组数据,一组 3 位,一组 5 位,经过编码后分别成为一组 4 位的代码和一组 6 位的代码,从而组成一组 10 位的数据发送出去。相反,解码是将 1 组 10 位的输入数据经过变换得到 8 位数据位。数据值可以统一表示为 DX.Y 或 KX.Y,其中:D 为数据代码;K 为特殊的命令代码;X 表示输入的原始数据的低 5 位 EDCBA 的十进制值;Y 表示输入的原始数据的高 3 位 HGF 的十进制值。

通过设计,在 FPGA^[3,7-9] 内部模块中实现了千兆以太网数据的缓冲以及光纤模块中的 PCS 子层,数据从输入到输出只需要 3 个时钟周期的延时。图 3 给出了在 Quartus II 软件中 8B/10B 编码的仿真结果。

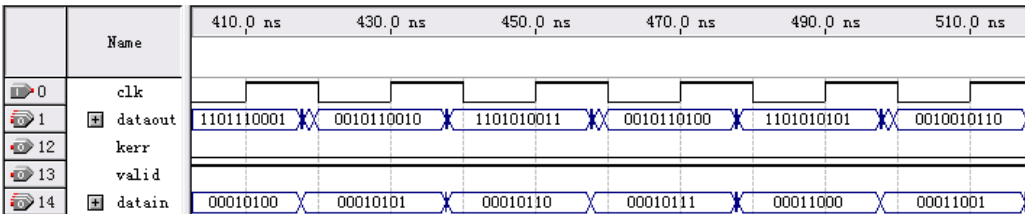


图 3 8B/10B 编码的仿真结果

Fig. 3 Simulation result of 8B/10B encoding

PMA 子层使用了 SERDES[Serializer(串行器)/Deserializer(解串器)]设备。它是一种时分多路复用、点对点的通信技术,即在发送端将多路低速并行信号转换成高速串行信号,经过传输媒质,最后在接收端将高速串行信号重新转换成低速并行信号。这种点对点的通信技术充分利用了传输媒体的信道容量,减少了所需的传输信道和器件引脚数目,降低了通信成本。

PMD 子层在此指的是光收发机,它采用 LVPECL 电平、SC 光纤接口,工作在 1 310 nm 波段,最大传输距离为 10 km。

4 千兆以太网集线器

发送系统标准传输分辨率能够达到 $1\,024 \times 768$,若每个接收控制子系统所控制的像素点为 256×64 ,则需要 48 个接收控制子系统。可以看出,这是典型的一对多传输方式。采用树型网络拓扑结构可以保证源端数据经过较少的中继就可

以到达任一终端设备。数据下行时采用的是泛洪算法,发送系统的数据经过网络设备时,会进行一级一级的复制,最终到达任意一个接收系统。数据上行时采用的是一种时分复用的方式,每个接收系统的以太网设备都有一个固化好的 MAC 地址,发送设备可以通过此 MAC 地址进行定向的发送命令。

针对以上实际情况,设计了千兆以太网 Hub 并通过树型网络拓扑结构实现了板级级联。图 4 是使用 Cisco 公司的 Packet Tracer 5.0 软件模拟出来的传输系统模型,并经过仿真验证完全可以达到需求的效果。通过 ping 操作,发送系统可以与任一接收设备建立联系^[10]。

图 4 中用到了两种网络设备:中继器(Repeater)和千兆以太网 Hub。由于采用了非标准以太网格式的帧结构,所以需要自定义传输方向,以防止网络发生拥塞。两种设备都是工作在网络协议的物理层,所以不涉及高层复杂协议的设计,

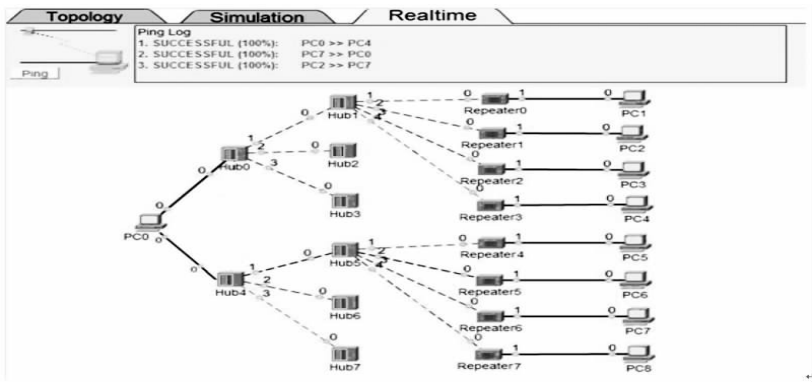


图 4 树型网络拓扑结构示意图
Fig. 4 Topology of tree network

有较强的可行性。

在接收控制系统中,千兆以太网物理层芯片选用的是台湾 Realtek 公司的 RTL8212 系列芯片,该双端口物理层芯片就可以实现中继功能。将双路千兆以太网媒质无关接口全部连接到 FPGA,可以实现双路千兆以太网独立收发,用于将接收控制设备级联在一起,既可实现双向中继,又不影响接收设备的正常工作,也就是图 4 中 Repeater 0~7 的功能,连接时一个端口用于和上级中继 Hub 相连,另一个端口用于和接收控制系统相连。接收控制系统只有一个以太网络接口与另外的接收控制系统相连,也就是前级 Repeater,不

再执行中继的功能,其与发送系统之间的级联次数,直接决定了系统的最大级联级数。

图 5 给出了千兆以太网的 Hub 结构框图。该 Hub 具有扩展接收设备数量,减少级联次数和防止上下行数据传输出现冲突等功能。例如,可以将 Hub 的 Port1 定义为上行接口,用于和发送系统的 P0 口进行通信,获取传输数据总量的 1/2;Port2 至 port6 定义为数据下行接口,用于和下级设备进行通信。其中,Port2 与下一个 Hub 的 Port1 级联,下一个 Hub 的 Port2 与第 3 个 Hub 的 Port1 级联,第 3 个 Hub 的 Port2 悬空;类似地,每个 Hub 的 Port3~Port6 可以分别与

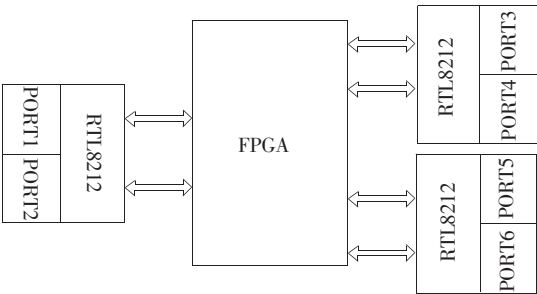


图 5 千兆以太网 Hub 结构框图

Fig.5 Structure diagram of gigabit Ethernet Hub

接收控制系统级联,并向下级联两级,即 Port3~Port6 共连接了 8 块 LED 显示屏。也就是说,通过使用 3 个 Hub 共级联 3 次就可以连接 24 块 LED 显示屏。再取 3 个 Hub,并将其中的一个 Hub 的 Port1 与发送系统的 P1 口进行通信,并获取传输数据总量的另外 1/2,以相同的方法级联 3 级,则又可以连接 24 块 LED 显示屏。于是,通过千兆以太网 Hub 级联 3 级的方式,可以实现接收控制端 48 个子接收控制系统的级联。

当 Hub 的某个端口有数据到来时,会将该端

口数据完全复制到其他端口上,这样操作虽然比较简单,但是会发生冲突,而且工作速度较慢,一般工作在 10 Mbit/s 以太网中。本设计对 Hub 功能进行了扩展,工作速率可以达到 1 Gbit/s,当 Port1 有数据到达时,采用泛洪算法,将此端口的数据完全复制到其他 5 个端口之上。数据上行采用的是一种竞争的方法,内部建立了一个状态机,使用扫描的方式对每个端口上的使能信号进行监视。若某个端口上的使能信号为高时,就会进入相应的状态执行向 Port1 的转发,而其他端口的信号则会被暂时屏蔽;如果发现两个或两个以上端口的使能信号同时为高电平,则说明出现冲突,暂时中止此次传输。图 6 给出了数据流上行时的仿真结果。

下行端口没有优先级的区分,而是按照数据帧到来的先后顺序进行转发,缺点是有可能出现帧的破碎。这是因为如果某个帧在传输的过程中出现了另外一帧的到来,而在该帧接收中止后,另外一帧并没有传输完毕,系统就会转向其他帧的传输。避免出现此问题的方法,就是接收时依

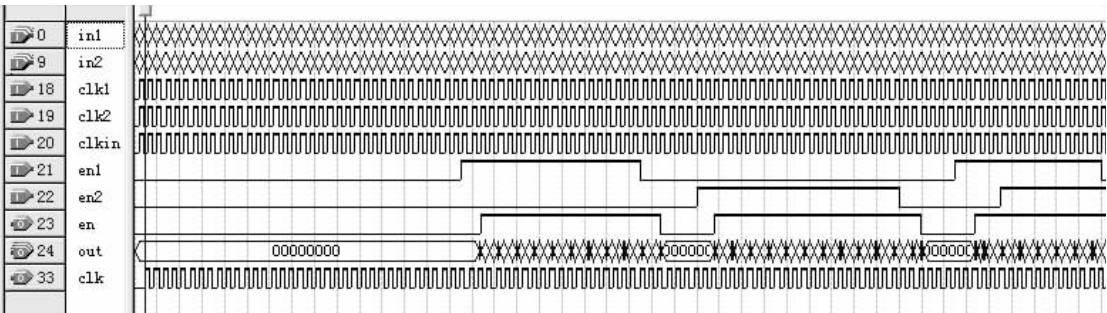


图 6 数据流上行时的仿真结果

Fig.6 Simulation result of data stream uplink

据以太网帧格式进行判断。

5 结 论

根据 LED 显示屏远程实时显示的需求,设计了一种新的实时数字视频传输系统。在该系统中,可以实现输入端分辨率和刷新率的灵活设置,

通过千兆以太网光纤转换器的设计,完成千兆以太网中双绞线和光纤两种媒质的转换,运用单模光纤可以实现高达 10 km 的远距离传输,并运用千兆以太网 Hub 三级级联的方式实现子接收控制系统的板级级联。本系统带宽高达 2 Gbit,可以实现当前大部分实时数字视频的无损显示。

参 考 文 献:

[1] 陈应旭, 吴盛芬. 千兆以太网技术浅析 [J]. 计算机与通信, 2001,10(10):42-45.
[2] 郝亚茹, 王瑞光, 郑喜凤. TFP410 在数字视频接口中的应用 [J]. 电子器件, 2007,30(1):303-306.
[3] 赵才荣, 丁铁夫, 郑喜凤, 等. 大屏幕 LED 显示控制系统的设计 [J]. 液晶与显示, 2005,20(6):564-568.

- [4] 龚坚,彭晖,乔庐峰,等. 标准 802.3 以太网 MAC 控制器的 FPGA 设计与实现 [J]. 军事通信技术, 2005,(12):21-24.
- [5] 冯永茂,徐秀知,陈宇,等. 基于快速以太网物理层的实时高速数字视频传输 [J]. 电子器件, 2007,30(1):144-151.
- [6] Altera Corp. 8B10B Encoder/Decoder MegaCore User Guide Version 8. 0. 2008[EB/OL]. [2008-05-19]. <http://www.altera.com/products/ip/communications/codec/m-alt-ed8b10b.html>.
- [7] 王飞,靳桅,邬芝权. LED 大屏幕输出电路的优化设计 [J]. 液晶与显示, 2008,23(1):102-105.
- [8] 张颀,徐和飞,牛秦洲. LVDS 接口 LED 显示屏数据处理系统设计 [J]. 液晶与显示, 2008,23(6):736-743.
- [9] 刘全,靳桅. 超长 LED 显示屏控制系统的实现 [J]. 液晶与显示, 2008,23(6):744-755.
- [10] Rich Seifer. *The Switch Book: The Complete Guide to LAN Switching Technology* [M]. New York: Weily Computer Publishing, 2002.

Design of Real-Time Digital Video Transmitting System Applied in LED Screen Based on Optical Fiber

DING Tie-fu¹, YU Hong-tao^{1,2}, ZHENG Xi-feng¹, LIU Chao^{1,2}, YUAN Zhen^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optic, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

A design of real-time digital video transmitting system applied in LED screen remote display was presented, which converts the video signal from the DVI interface of PC to the Ethernet frame format for long distance transmission. The digital signal would be decoded and recovered from the frames, and would be suitable for remote display. Receiving module and control module was integrated in a circuit board, which can set the resolution and refresh rate flexibly. The cascade of receive-control modules was realized by RJ45 interfaces of gigabit Ethernet Hub, which removed the module used for receiving and transmitting data and reduced the complexity of the design. On the basis of actual demand for long-distance transmission, breaking the restriction that the longest transmission of 1000BASE-T is 100 m, a design of optical fiber converter of Ethernet was presented. Using single-mode optical fiber instead of 1000BASE-T, the transmission distance is up to 10 km. This design proposal has implemented real-time digital video transmission with reasonable display effects, providing reference to the various real-time digital video transmission systems.

Key words: FPGA; optical fiber; Hub; optical fiber converter of gigabit Ethernet

作者简介:丁铁夫(1946—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,研究方向为数字图像处理。