

基于 FPGA 的喷绘机高速光纤通信系统设计与实现

李 冲^{1,2}, 杨泽彬^{1,3}, 彭 虎^{3*}

(1. 安徽力宇电脑设备制造有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 中国科学技术大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230027; 3. 中国科学技术大学 电子科学与技术系, 安徽 合肥 230027)

摘要:为解决喷绘机打印数据实时传输问题,将以现场可编程门阵列(FPGA)和串行解串器为基础的高速光纤通信技术应用到打印数据的通讯中。系统中 FPGA 用于实现通讯数据的存取、8B/10B 编解码和 CRC 校验的功能;串行解串器实现了并/串和串/并转换及锁相功能;光收发一体模块实现了电光转换和光电转换。该光纤通信系统在喷绘机上进行了实际打印试验,应用结果表明系统在 300 Mbps 通信带宽下能够稳定传输,在 120 小时的连续测试过程中没有出现打图错误现象。实现了高可靠性、长距离、高速数据传输的功能。

关键词:光纤;现场可编程门阵列;低压差分信号传输;串行解串器

中图分类号:TH39;TN47

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)09-0049-04

Design and implementation of inkjet printer high-speed optical fiber communication system based on FPGA

LI Chong^{1,2}, YANG Ze-bin^{1,3}, PENG Hu³

(1. Anhui LIYU Computer Equipment Manufacturing Co., Ltd., Hefei 230088, China; 2. School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China; 3. Department of Electronic Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In order to solve the problems of real-time data transmission during printing, a high-speed optical fiber communication technology based on field programmable gate array(FPGA) and serial deserializer was presented. FPGA was used to implement the communication data access, 8B/10B encoder and decoder and CRC check. The serial deserializer was used to achieve parallel/serial and serial/parallel conversion and phase lock function. Optical transceiver module was used for electro-optical conversion and the photo-electric conversion. The optical fiber communication system was tested in the inkjet machine with 300 Mbps communications bandwidth to transmit the communication data stably and accurately during 120 hours of continuous working. The experient results show that the system can achieve the long distance and high speed data transmission.

Key words: optical fiber; field programmable gate array(FPGA); low voltage differential signal(LVDS); SerDes

0 引 言

随着信息技术与计算机技术的高速发展,高清数字图像传输、远程数据采集及实时控制技术对计算机与外部设备通讯速度的要求越来越高。喷墨打印机作为一种专业的广告打印设备,图像数据从计算机到打印终端的距离一般在 8 m ~ 10 m,随着打印精度和速度不断提高,其数据通讯带宽在 200 Mbps ~ 300 Mbps。

由于存在运动、加热、烘干等功率部件,系统对数据传输稳定性和抗干扰性提出了更高的要求。USB 接口传输速度快,然而受到信号频率在线路传输媒介衰减的限制,USB 的协议规定了 USB 设备最长的传输距离是 5 m^[1]。传输距离是限制 USB 在工业现场应用的一个障碍。LVDS 即低压差分信号传输(Low Voltage Differential Signal),是一种高速率低功耗的传输方式,产品数据速率可达 2 Gbps 以上,传输的距离可达上百米。

收稿日期:2010-07-06

作者简介:李 冲(1974-),男,安徽灵璧人,工程硕士,主要从事嵌入式系统应用方面的研究. E-mail: lichong6688@163.com

通信联系人:彭 虎,男,博士,副教授,硕士生导师. E-mail: hpeng@ustc.edu.cn

但传输电缆必须使用在串扰以及回波损耗方面性能比较好的超五类甚至六类双绞线。而数字光纤通讯以其频带宽、传输容量大、损耗小、传输距离远、抗电磁干扰性好、保密性好等一系列优点,在通讯、交通、工业、医疗、教育、航空航天和计算机等领域获得广泛的应用,并正在向更广更深的层次发展^[2]。

针对大型彩色喷墨打印机对拖链信号传输和抗干扰性能的特殊要求,本系统采取以光纤通讯的方式弥补 USB 接口和 LVDS 传输在长距离通讯的不足,采用以现场可编程门阵列 FPGA 及 TI 公司 LVDS 接口的 (SERDES) 串行解串器为基础的光纤通讯的方案,实现从计算机到大型彩色喷墨打印机点到点的高速度大容量数据传输,以满足现有喷墨打印机高分辨率图像打印的要求。

1 系统结构设计

整体结构示意图如图 1 所示,系统通过 PC 机的 USB2.0 接口实现与外部设备的数据通讯与命令传输,通过光纤收发模块实现对打印数据的二次传输,同时将打印头的位置采样、温度、电压等参数信息通过 USB 接口发送到 PC 机。

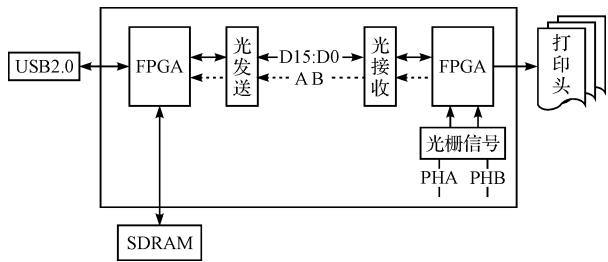


图 1 系统结构示意图

系统工作过程如下:PC 机将处理好的打印数据通过 USB2.0 接口发送到 68013A,主控 FPGA 采用同步模式^[3]从 68013A 读取数据并存储于 SDRAM,主控 FPGA 根据光栅反馈的位置信息从 SDRAM 读取数据通过光发送模块按帧发送到接收 FPGA,接收 FPGA 接收数据并存储于内部 FIFO,接收 FPGA 按照喷头的打印时序将内部 FIFO 的数据装载到喷墨打印头。主控 FPGA 同时负责实现对 SDRAM 的地址访问和动态刷新的功能。

2 系统硬件模块设计

2.1 系统硬件框图

本光纤数据通讯硬件结构如图 2 所示,USB 系统作为主从系统而非对等 (peer-to-peer) 系统,满足了数

据打印中高速实时流数据的应用要求,有效地改善带宽,平滑带宽抖动。系统中通过 FPGA 及 SDRAM 构造一个大容量的 FIFO,来充当 USB 控制器与外围电路之间数据的缓存区,提供一个低成本并能满足高速实时流数据传输的解决方案,电路由 FPGA 及 128 MB 动态存储器 SDRAM 和低电压差分信号串行器与解串器 (SerDes) 组成。光纤通讯采用 600 Mb/s 单模 PECL 电平光收发一体光模块 (OCM3721) 和两根光纤。系统设计最高通讯带宽为 400 Mbps,可以满足实际的打印需求。数据传输的具体过程如下:发送端的 FPGA 采用同步以 16 bit 位宽方式读取 68013A 内部 FIFO 的数据,转换成 32 位宽方式存储于 SDRAM。当发送端 FPGA 检测到发送命令后读取数据一帧 1 KB 进行 CRC 校验^[4],把要发送的数据和校验码进行 8B/10B 编码后输出到 SN65LV1023A 串行器,在串行器经信号锁存和并/串转换后以一对低压差分信号输出, LVDS 信号经变换电路转换成 PECL 信号后送光模块由光纤发出。在接收端则由光模块接收后转换成 LVDS 信号送 SN65LV1224B 解串器,由解串器把数据进行串/并转换后输出到接收端 FPGA,接收端 FPGA 进行 10B/8B 解码后再进行 CRC 校验,然后将正确的数据存储在内部 FIFO,校验错误则启动重发机制。最后把接收的数据按照需求送给喷墨打印头。

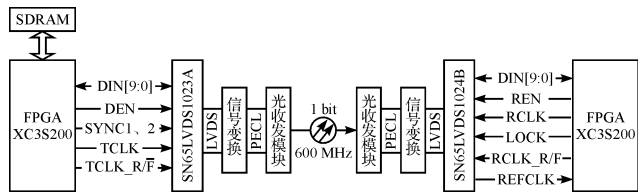


图 2 单路光纤通讯硬件结构图

2.2 主要元器件介绍

2.2.1 FPGA 选用

考虑 FPGA 在数据接收、缓存、发送的实际需求, FPGA 采用 Xilinx 的 Spartan-3 系列 XC3S200,该芯片工作于 50 MHz 时钟,高达 20 万个系统门, I/O 接口能力强^[5]。FPGA 外围接一个标准的 PROM,以用于固化 FPGA 程序(选用 XCF01)。

2.2.2 串行与解串器 (SerDes)

本研究采用德州仪器 (TI) 出 5 mm × 5 mm QFN 封装的 LVDS SerDes。SN65LV1023A 串行器与 SN65LV1224B 解串器内部结构框图如图 3 所示,采用 10 位 SerDes 芯片组,其关键特性如下:①以 10 MHz ~ 66 MHz 的系统时钟速率实现 100 Mbps ~ 660 Mbps 的串行 LVDS 数据有效负载带宽;②时钟速率为 66 MHz

时,芯片组(串行器/解串器)功耗不足450 mW(标准值);③同步模式实现快速锁定,锁相环无需外部组件;④锁指示器,时钟具有可编程边缘触发器^[6]。

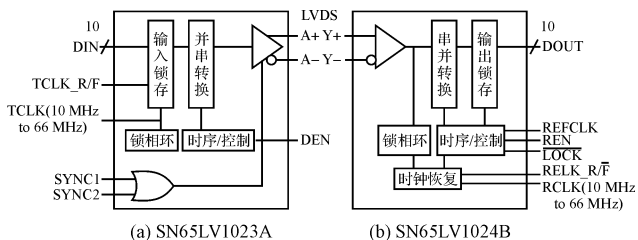


图3 串行器与解串器内部结构框图

2.2.3 8B/10B 编码技术

8B/10B 是应用最广泛的编码技术。它被用于串行连接 SCSI、串行 ATA、光纤链路、吉比特以太网、AUI (10 吉比特接口)、PCI Express 总线、InfiniBand、Serial RapidIO、HyperTransport 总线以及 IEEE1394b 接口(火线)技术中,8B/10B 将 8 bit 代码组合编码成 10 bit 代码,代码组合包括 256 个数据字符编码和 12 个控制字符编码。通过仔细选择编码方法可以获得不同的优化特性。这些特性包括满足串行/解串行器功能所必须的变换;确保“0”码元与“1”码元个数一致,又称为直流均衡;确保字节同步,易于实现(在一个比特流中找到字节的起始位);以及对误码率有足够的容忍能力以降低设计复杂度^[7]。

3 系统软件设计

Xilinx FPGA 的设计工具采用的是 Xilinx ISE 8.2i 和 ModelSim6.0 仿真软件及 Synplify v8.2 综合工具。同时还结合了 Debussy5.3v9 等开发软件实现辅助的设计调试^[8]。

3.1 设计结构和主要数据组成

主控部分 FPGA 的顶层设计架构图如图 4 所示:内部利用 IP 核在 FPGA 开出了 1K × 16bit 先入先出队列的 UFIFO 和同步 SFIFO^[9],其中 UFIFO 用来存储从 68013A 的 FIFO 读出的 PC 机数据,SFIFO 则用来存放从 SDRAM 读入的待发送的数据包,ufifo_wr_ctrl 模块负责实现对 68013A 数据的同步读/写,Sdram_addr_ctrl 模块用来实现对 sdram 的读/写寻址变化,sfiford_ctrl 则用来实现对要发送数据的校验和编码处理工作。Sdram_ctrl 控制模块实现了对动态存储器的初始化、读写访问和动态刷新的功能。

3.2 FPGA 控制逻辑的具体实现

发送端 SFIFO 控制的原理图如图 5 所示,编程后

的 CRC16_ENC 模块负责实现对发送数据的校验编码,ENCODER_8B/10B 负责对要发送的光纤数据进行转换,转换后的数据送到串行器经并/串转换和电平转换后由光模块和光纤发出^[10]。

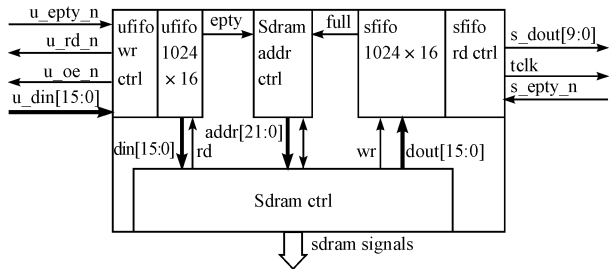


图4 主控部分顶层设计架构图

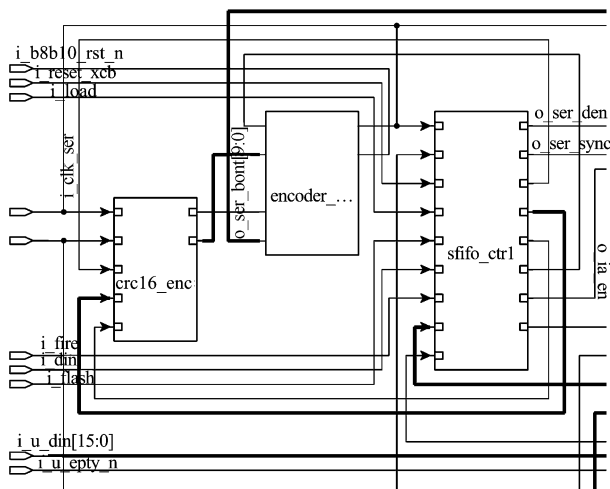


图5 系统发送原理图

接收端 FPGA 编程实现数据接收的原理图如图 6 所示,接收端接收到的数据首先由 DECODE10B/8B 进行数据译码,转换成接收的数据包后再经 CRC16_DEC 模块对接收到的数据进行校验后送异步 FIFO,最后校验正确的数据按照外设的时序送到喷墨打印头。仿真验证了发送端在发送 0-255 循环递增数据时接收端数据的正确性,以及校验和解码的工作时序,经过仿真和验证,本系统接收和发送的数据一致,具有极低的误码率,满足了光纤通讯信号的要求,同时该设计已经在大型户外彩色喷墨打印机上投入使用并得到了实际的验证。

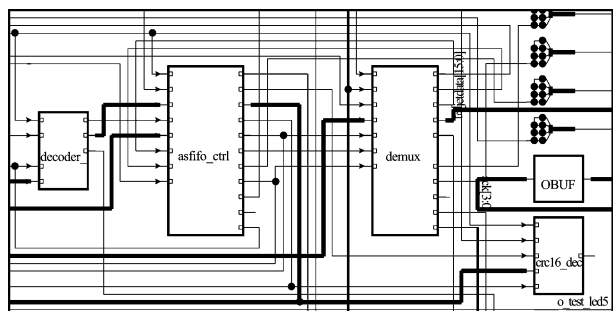


图6 系统接收原理图

4 结束语

本研究设计了一种基于 FPGA 和串行解串器及光纤通讯模块组成的高速光纤通讯系统,利用串行解串器内部的锁相环和并串/串并转换功能,降低了系统的成本,提高了产品的稳定性。实际测试光纤的传送速率达到 300 Mbps。喷绘机在连续 120 小时可靠性测试中没有出现打图错误。本方案已成功运用在大型彩色喷墨打印机点到点的高速度大容量数据传输,可满足现有喷绘机高速打印时 200 Mbps ~ 300 Mbps 通讯带宽的要求,完全达到了预期的设计目标。

参考文献 (References):

- [1] USB.org. Universal Serial Bus Specification Rev. 2.0 [EB/OL]. [2006-01-01]. <http://www.usb.org/developers/docs/>.
- [2] 李履信,沈建华. 光纤通信系统[M]. 北京:机械工业出版社,2007:5-7.

- [3] 钱峰. EZ-USB FX2 单片机原理、编程及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006:279-282.
- [4] 赵鸿,彭碧玉,王宏卓. 基于 VHDL 的 CRC 校验及其在测控通信中的应用[J]. 通信技术,2010,43(2):64-66.
- [5] Xilinx Inc.. Spartan-3 FPGA Family: complete DataSheet [EB/OL]. [2006-01-05]. <http://www.xilinx.com/legal.htm>.
- [6] Texas Instruments Inc.. SN65LV1023A Datasheet [EB/OL]. [2006-01-03]. <http://www.ti.com>.
- [7] BELHADJ M, SYSTEMS C. 高速串行接口的编码技术[J]. 光波通信,2007,6(2):20-23.
- [8] 薛小刚,葛毅敏. Xilinx ISE 9. x FPGA/CPLD 设计指南[M]. 北京:人民邮电出版社,2007:34-35.
- [9] Cypress Inc.. CY7C68013 DataSheet [EB/OL]. [2003-01-01]. <http://www.cypress.com>.
- [10] 卢敏,张子墨. 基于 FPGA 的 LVDS 光纤通讯系统的实现[J]. 信息技术,2007,12(12):164-166.

[编辑:柴福莉]

(上接第 5 页)

能够极大提高田间工作效率,对于南方地区的板结土壤的破除有相当重要的意义。该作业机具的设计成功将为实现我省乃至全国的茶园管理机械化作业提供关键装备,为茶园管理全程机械化打下一个坚实的基础。在从根本上解决目前茶园管理作业劳动力紧张的同时,可以改善茶园的土壤结构,促进我省乃至全国茶叶行业的可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] MOUAZEN A M, NEMENYI M. Tillage tool design by the finite element method: part 1. finite element modelling of soil plastic behaviour[J]. **J. A gric. Engng. Res.**, 1999, 72(1):37-51.
- [2] BENSON D J. Computational methods in Lagrangian and Eulerian hydrocodes[J]. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, 1992, 99(2-3):235-394.
- [3] LEWIS B A. Manual for LS-DYNA Soil Material Model 147, Mclean, VA [R]. USA: Federal Highway Administration Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center, 2004.
- [4] LEWIS B A. Manual for LS-DYNA Soil Material Model 147

- [R]. Department of Transportation: Federal Highway Administration, U. S. A, 2004.
- [5] 张学言. 岩土塑性力学[M]. 北京:人民交通出版社, 1993.
- [6] 况惠孙,蒋伯诚,张树发,等. 计算物理引论[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1987.
- [7] 高建民,周鹏,张兵,等. 基于光滑粒子流体动力学的土壤高速切削仿真系统开发及试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8):20-26.
- [8] MONAGHAN J J. Shock simulation by the particle method SPH[J]. **JCP**, 1983, 52(2):374.
- [9] GINGOLD R A, MONAGHAN J J. Smoothed particle hydrodynamics theory and application to non-spherical stars[J]. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 1977, 1(4):375-389.
- [10] MONAGHAN J J, GINGOLD R A. Shock simulation by the particle method SPH [J]. **Comput. Phys.**, 1983 (52):374-389.
- [11] 丁为民,王耀华,彭嵩植. 正、反转旋耕刀性能分析及切土扭矩比较试验[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(1): 113-117.

[编辑:张翔]