

一种喷绘机控制系统的设计

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: 针对喷绘机数据处理和传输的瓶颈问题, 设计了一种基于 FPGA 和 DSP 的喷绘机控制系统, 该控制系统采用 USB2.0 接口芯片 CY7C68013A, 实现高速数据传送。选用 FPGA 和 DSP 为核心控制部件, FPGA 完成对 CY7C68013A 端口同步读写和对 SDRAM 的数据存取及动态刷新控制, DSP2812 完成打印控制和 X、Y 向运动控制的功能。小车板 FPGA 实现了数据的接收和喷头数据的控制。论述了 USB 设备固件、驱动程序和应用程序的实现方法。研究表明, 系统的模块化设计具有高度的集成度和灵活性, 便于维护和功能扩充。

关键词: USB2.0; FPGA; DSP; SDRAM

中图分类号: TH39; TN871

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)08-0023-04

Design of a kind of inkjet printer control system

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: Aiming at the bottleneck problems of Inkjet printer data processing and transmission, a printer control system based on FPGA and DSP was designed, which used the USB2.0 interface chip CY7C68013A to realize the high-speed data transmission. FPGA and DSP were used as the core control components. The synchronous read and write to CY7C68013A endpoints was implemented by FPGA; SDRAM data access and dynamic refresh control was completed. The print control and motion control on X and Y direction was completed by DSP. The data reception and the data control of the print head was completed by FPGA on carriage board. The design of USB firmware and device drivers and application software has been given. The results indicate that the highly modular designed system are integration and flexibility and easy for maintenance and functional expansion.

Key words: USB2.0; FPGA; DSP; SDRAM

0 引 言

随着国民经济的快速增长, 户外广告业获得迅猛的发展。从灯箱、招牌、门面到高速公路的户外广告牌等无处不在。大幅面喷绘机作为重要的户外广告打印设备受到广告商和设备供应商的青睐。户外喷绘图像以精美的品质、艳丽的色彩给人们带来了极强的视觉冲击力, 提升了产品的知名度和美誉度。随着打印精度和速度的提高, 数据通信带宽和数据处理速度成为

制约喷绘机发展的瓶颈。国内外较常用的喷绘机控制系统有 PCI 打印控制卡和嵌入式主控板(如工控主板、PowerPC 等)两种。PCI 打印控制卡存在与部分 PC 机主板的兼容性问题 and 插拔不便的缺点, 嵌入式主控板则存在成本高、开发周期长的不足。

笔者介绍一种采用 USB2.0 接口、FPGA 和 DSP 芯片的喷绘机设计。USB2.0 通讯接口的应用解决了数据通讯的带宽问题, 同时具备了支持热插拔、传输速度快、接口体积小、方便灵活的特点^[1]。FPGA 和 DSP 的

采用解决了喷绘机打印时高速度、大容量数据通信和系统控制的问题。通过 FPGA 及 SDRAM 构造了一个大容量的高速缓存,完成了实时数据通讯和对喷头时序的控制。DSP 负责喷绘机打印过程的控制和运动功能的实现。

本研究提出了一个低成本、高集成度、高可靠性的喷绘机控制系统方案,满足了喷绘机高精度快速打印的要求。

1 系统结构设计

喷绘机打印控制系统结构示意图如图 1 所示。整个系统由 USB2.0 接口芯片 CY7C68013A、可编程逻辑阵列 FPGA、DSP 控制器、动态存储器 SDRAM 和光纤收发模块组成。系统分为主控板和小车板两个部分。主控板主要完成数据接收、存储和按帧发送功能,DSP 则实现打印和运动控制的功能。小车板主要完成光纤数据接收和喷头时序控制的功能。反馈打印位置的光栅信号经 FPGA 传送到主控板 DSP,由 DSP 进行位置计数和喷墨控制。

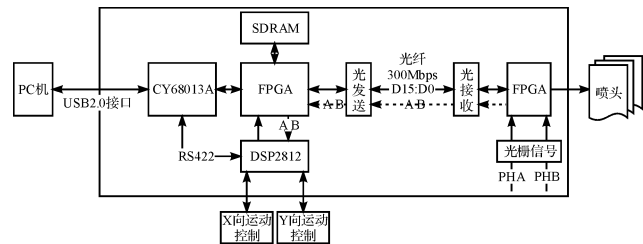


图 1 喷绘机打印控制系统结构框图

系统工作过程如下:PC 机处理好打印数据和控制命令后经 USB2.0 接口输出至喷绘机。主控板 FPGA 采用同步模式从 68013 端口读取打印数据存储至 SDRAM。68013 将控制命令通过串口转发到 DSP,DSP 根据命令控制水平方向的电机运行,然后根据光栅位置启动数据发送和打印命令。主控板 FPGA 接到打印命令从 SDRAM 按帧读取数据,将数据打包后同命令一起经光模块发出。小车板 FPGA 将接收数据暂存于内部 FIFO,根据喷头控制时序装载数据,收到打印命令后启动点火信号,控制墨水喷射到介质上。打印完一个行程主控 DSP 控制垂直方向电机移动一个打印宽度,完成一个 PASS 的打印。如此循环往复直至文件打印结束^[2]。

系统的控制功能由 TI 公司的 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812 实现。该芯片最高处理速度可达 150 MIPS,集成了丰富的片内外设资源,是一款专用的电机控制芯片^[3]。DSP 软件开发采用 Code Composer Studio3.3

开发环境。系统功能模块主要分为:

(1) Motor 运动控制模块: DSP 通过 SCI 串行通讯模块接收 68013 的控制参数,如运行方向、长度、速度等信息。TMS320F2812 读取旋转编码器的反馈量 (Fk),与设定的给定量做 PID 运算^[4],由 PID 运算的结果来改变 PWM 单元的比较寄存器,从而改变 PWM 的占空比,使实时调节电机的反馈位置量和给定位置量相一致。DSP 程序采用查速度表的方式获取定时常数调整驱动电机的脉冲频率,实现位置环、速度环双闭环控制算法^[5]。

(2) Print 打印控制模块: TMS320F2812 内部 QEP 电路完成对光栅解码器硬件鉴相、4 倍频、计数功能^[6],只需配置相应的寄存器即可实现。DSP 在定时中断中读取光栅计数值与给定的打印位置相比较,到达位置就发出数据装载命令和喷头点火信号。

2 主要功能模块设计

2.1 FPGA 内部控制逻辑设计

FPGA 选用 Xilinx 的 Spartan-3 系列 XC3S200,运用 Verilog 硬件描述语言编程,采用 Xilinx ISE 8.2i 和 ModelSim6.0 仿真软件及 Synplify v8.2 综合工具。

2.1.1 主控板 FPGA 内部功能设计

主控部分 FPGA 的顶层设计架构图如图 2 所示。利用 IP 核在 FPGA 内部开出了 1 K × 16 bit 先入先出队列 UFIFO 和同步 SFIFO^[7]。FPGA 以同步方式读取 68013 端口数据并缓存至 UFIFO,然后将数据存储至 SDRAM。在接收到发送数据的命令后,首先读取 SDRAM 数据存放至 SFIFO,将数据通过 CRC 校验、8 B/10 B 编码后经外部电路进行并/串转换,由光模块发送至小车板^[8]。Sdram Ctrl 模块实现对 SDRAM 的初始化、访问和动态刷新等功能。

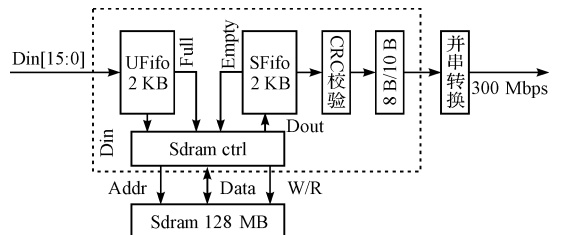


图 2 主控部分 FPGA 顶层设计架构图

2.1.2 小车板 FPGA 内部功能设计

接收部分 FPGA 内部设计框图如图 3 所示。光模块接收的数据进行串/并转换,在 FPGA 内部经 CRC 校验、10 B/8 B 解码,存储至 1 K × 16 bit 先入先出队列 ASFIFO。然后根据喷头的控制要求,读取数据发送

至喷头,同时产生喷头控制的时序。复位模块提供 FPGA 内部的复位信号,DCM 模块产生系统工作的 25 M时钟和喷头数据装载的 10 M时钟。DeSer_Ctrl 模块负责将光栅信号回送到主控板 DSP。

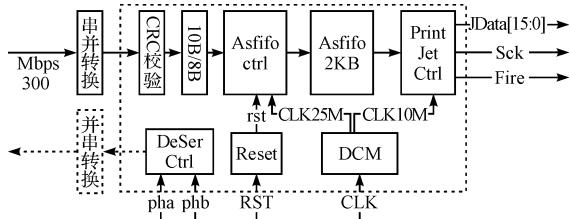


图3 接收部分FPGA顶层设计架构图

2.2 CY7C68013A 固件设计

CY7C68013A (EZ-USB FX2)是Cyress 半导体公司的新一代高速USB系列。内置1个增强型8051处理器,1个USB2.0收发器,1个串行接口引擎SIE、8.5 KB片上RAM,4 KB的FIFO存储器和通用可编程接口(GPIF),支持USB2.0高速通讯,是一种完全集成的USB2.0方案。设计中68013工作于SLAVE FIFO模式,数据通过片内FIFO直接与FPGA相连,实现PC机与喷绘机的数据通讯。

在Keil uVision2软件环境下,运用Cypress公司提供的开发框架,可以简化固件程序的设计过程。固件程序在系统上电或连接时自动下载到芯片的RAM中,并由8051执行,实现了初始化、协议通讯、电源管理等功能。所构造基本的固件程序框架函数包括Fw.c和PERIPH.c等函数:

Fw.c:包含程序框架的main函数,管理整个51核的运行。

PERIPH.c:必须由用户实例化,它负责与周边器件的互联。主要包括以下两个关键函数:

(1) void TD_Init(void)负责对USB端点进行初始化设置。为了在高速打印时有效地改善带宽,平滑带宽抖动,设计中配置了2 KB的数据FIFO。相应的程序配置如下:

```

.....
//接口配置
IFCONFIG = 0x13;
SYNCDELAY;
//配置EP2为BULK传输,IN方式,2 KB
EP2CFG = 0xA0;
SYNCDELAY;
//配置EP6为BULK传输,IN方式,1 KB
EP6CFG = 0xE2;
SYNCDELAY;
//配置EP8为BULK传输,OUT方式,1 KB
EP8CFG = 0xA2;
SYNCDELAY;

```

```

EP2FIFOCFG = 0x11;
EP8FIFOCFG = 0x00;
SYNCDELAY;
OUTPKTEND = 0x82;
.....
}

```

(2) void TD_Poll(void)。

USB设备运行时,通过不断的重复调用该函数,实现FX2状态检测和数据传输。主程序根据PC机与喷绘机内部DSP之间的通讯协议完成控制命令分发和上传。

固件调试使用了Cypress公司提供的EZ-USB Control panel及bushound5.0软件进行各种命令和数据的监测。

2.3 上位机软件设计

喷绘机打印控制软件结构框图如图4所示。软件由上位机软件和设备固件构成。上位机软件包括应用程序和设备驱动程序。根据喷绘机打印控制系统的实际需求,应用程序实现了人机交互界面、图形文件解读、打印数据重组、以及驱动程序的数据交互功能。通过USB设备驱动程序,应用程序将打印数据和控制命令发送到喷绘机,查询喷绘机的工作状态。固件程序实现打印数据传输、命令分发、状态反馈等通讯功能。

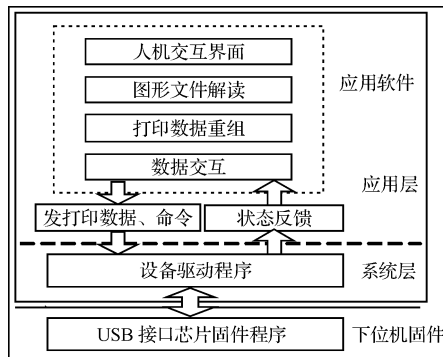


图4 喷绘机软件结构框图

2.3.1 USB驱动程序设计

USB驱动程序是标准的WDM(Windows Driver Model)驱动程序。主要包括USB总线驱动程序(USBDD)和USB设备驱动程序(USBDD),其中总线驱动程序由操作系统提供,USB设备驱动程序由开发者编写。主要作用是使操作系统能够识别USB设备,并建立起主机和设备之间的通信^[9]。

USB设备驱动程序采用Cypress公司提供的通用驱动程序CyUSB.sys。计算机通过CyUSB.inf安装CyUSB.sys驱动程序,根据设定的PID/VID对驱动程序进行客户化设计,采用Windows设备管理程序的做法实现喷绘机与CyUSB.sys驱动程序的匹配。

分析,使分析变的简单化、数字化且有较高精度,为交流电机特性的分析和计算提供了一种新的思路。

参考文献 (References):

- [1] PETER V. Vector Control of AC Machine[M]. New York: Oxford Science Publication, 1990:5-45.
- [2] KRAUSE P C. Analysis of Electric Machine [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1986:133-161.
- [3] 汤宗武. 单相异步电动机[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 1985:18-28.
- [4] 李华德. 交流调速控制系统[M]. 北京:电子工业出版社, 2003:92-112.

- [5] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1999:233-255.
- [6] 陈 坚. 交流电机数学模型及调速系统[M]. 北京:国防工业出版社, 1989:51-60.
- [7] 田铭兴, 励庆孚, 王曙鸿. 交流电机坐标变换理论的研究[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(6):630-634.
- [8] 冯 浩, 金 阳, 钟德刚, 等. 异步电动机等效电路参数高精度计算方法探讨[J]. 中小型电机, 2001, 28(3):1-6.
- [9] 王正林, 刘 明. 精通 MATLAB7[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [10] 贺益康. 交流电机的计算机仿真[M]. 北京:科学出版社, 1990:1-229.

[编辑:柴福莉]

(上接第 25 页)

Cypress 公司提供的面对对象的类库 CyAPI. lib, 调用这些类的方法就可以和硬件打交道。在包含头文件 CyAPI. h 和 Cyioctl. h 并链接 CyAPI. lib 后, 应用程序通过驱动程序 CyUSB. sys 对 68013 进行操作。首先生成一个 USB 设备类对象, 然后打开设备并调用读写块端点的 API 函数实现与 68013 通讯^[10]。

2.3.2 应用程序设计

应用程序采用 Microsoft Visual Studio. NET 2003 集成开发环境, 利用 MFC 编程。主要实现的功能有: 打印作业调度、用户界面、数据处理、参数配置、机器的测试和维护等。应用程序通过调用 API 函数实现对喷绘机的打印控制, 为了简化编程工作, 本研究对该 CyAPI. lib 库函数进行了封装^[11], 形成了以下几个接口函数, 供应用程序调用:

- (1) OpenDevice() 打开并连接设备。
- (2) CancellO() 中断读/写操作。
- (3) ResetDevice() 复位设备。
- (4) CloseDevice() 关闭设备。
- (5) ReadPipe (BYTE * Buffer, LONG length, LONG WaitTime) 读管道。
- (6) WritePipe (BYTE * Buffer, LONG length, LONG WaitTime) 写管道。

3 结束语

本研究介绍一种基于 FPGA 和 DSP 喷绘机打印控制系统。以 PC 机为主控制平台, 采用 USB2.0 接口, 发挥 PC 机的运算速度和性能优势, 单 PASS 打印时机器在两端的停留时间由原来的 1.0 s 下降到 0.01 s, 解决了喷绘机大容量数据处理和通讯的瓶颈问题。基于 DSP 可实现的最高运动控制精度 0.001 mm。基于 FPGA 可实现带宽 300 Mbps, 具备对 12 只喷头的支持能

力。系统成功的运用在 Ellite3208-ps512 机型上。该款机器采用 8 只美国 Spectra 公司最新的北极星 (Polatis512/15pl) 喷头, 实际喷射频率 40 kHz, 机器打印精度最高 600 × 1 600 dpi, 最高打印速度 97 m²/h, 在 600 × 1 200 dpi 高精度工作模式下实际打印速度为 65 m²/h, 处理数据带宽为 240 Mbps。打印效率是同类产品的 1.8 倍。整个系统设计简洁、成本较低、操作界面友好, 系统具有高度的集成性和可靠性。产品上市后得到广大代理商和用户的认可, 完全达到了预期的设计目标。

参考文献 (References):

- [1] 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, 2006:2-5.
- [2] 刘 晋, 刘 卓. USB 接口在喷绘机中的应用[J]. 航空计算技术, 2010, 37(2):64-65.
- [3] 徐科军, 张 翰, 陈智渊. TMS320F28x 原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2006:1-3.
- [4] HO Seong Lee, Masayoshi Tomizuka. Robust motion controller design for high-accuracy positioning systems [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 1996, 43(1):48-55.
- [5] 代根学, 刘朝晖, 刘 军. 基于 DSP 与 FPGA 的跟踪伺服运动控制器设计[J]. 电子技术应用, 2010, 36(1):64-65.
- [6] Texas Instruments Inc.. TMS320F28x DSP Event Manager (EV) Reference Guide [EB/OL]. [2003-08-10]. <http://www.ti.com>.
- [7] NAVABI Z. Verilog 数字系统设计-RTL 综合、测试平台与验证[M]. 李广军, 陈亦欧, 李 林, 等译. 北京:电子工业出版社, 2007:121-124.
- [8] 卢 敏, 张子墨. 基于 FAPG 的 LVDS-光纤通讯系统的设计与实现[J]. 信息技术, 2007, 54(12):164-166.
- [9] ANDERSON D. USB 系统体系[M]. 精英科技译. 北京:中国电力出版社, 2001:178-179.
- [10] 武安河, 郇 铭, 于洪涛. Windows 2000/XP WDM 设备驱动程序开发[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [11] Cypress Semiconductor Corporation. EZ-USB FX2 Manual-Technical Reference, Version2.1 [EB/OL]. [2002-10-12]. <http://www.cypress.com>. [编辑:李 辉]