

# USB 总线测量平台数据采集系统设计与实现

蔡国强<sup>1</sup>, 黄兴利<sup>2</sup>, 慕德俊<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学 网络环境下复杂系统控制实验室, 陕西 西安 710072;

2. 温州大学, 浙江 温州 325000)

**摘要:**采用 CY7C68013 芯片实现 USB 协议的处理, EP1C3T144C8 作为数据源, 实现了一种 USB 数字摄影测量平台数据采集系统, 用于数据的采集、处理与交互。在硬件上设计了该系统的整体构架、USB 电路及 FPGA 电路, 在软件上编写了固件程序、上位机用户界面程序及系统通用驱动程序, 设计并实现了专用的控制指令, 完成了板卡的 C2 加载, 方便用户进行使用。由于采用了控制传输的方式进行数据的采集, 该系统特别适用于数据采集量较小, 但对数据传输精度有特殊要求的情况。本系统已通过测试, 批量生产用于相关领域。

**关键词:**USB 总线; 数据采集; CY7C68013; 固件编程; 通用驱动程序

**中图分类号:**TP303

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)06-0161-04

## Design and Implementation of Measurement Platform and Data Collecting System Based on USB Bus

CAI Guo-qiang<sup>1</sup>, HUANG Xing-li<sup>2</sup>, MU De-jun<sup>1</sup>

(1. Network-Based Complex System Control Lab, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Wenzhou University, Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** In order to efficiently gather, dispose and exchange data, a USB digital photogrammetry data collecting platform using CY7C68013 to deal with USB 2.0 protocol and EP1C3T144C8 to be data source is introduced in this paper. In detail, hardware framework, USB circuit and FPGA circuit is designed, and firmware, application program and design idea about general purpose driver are included in software. Moreover, special control instruction is designed, and C2 load style which is convenient for customers to use is implemented. As control transfer is used when collecting data, this system is especially suitable for the situation that small amount of data acquisition is needed while high accuracy of data transfer process is required. This system has already passed the test, and is applicable to mass production in related field.

**Key words:** USB bus; data collection; CY7C68013; firmware; GPD

## 0 引言

在计算机应用日趋广泛的今天, 数据采集的重要性变得越来越显著, 传统的数据采集方式采用 PC 内部总线的数据采集卡(如 ISA 总线、PCI 总线<sup>[1]</sup>等), 这种数据采集形式采样频率较高, 但是可扩展性差, 易受环境因素影响, 安装繁琐, 对机器配置有特殊要求, 使用并不方便; 相比之下, 使用 USB 形式的数据采集系统<sup>[2]</sup>具有支持热插拔, 即插即用, 方便等特点, 并且目前 USB2.0 支持的最大传输速率达到 480Mbps, 完全可以满足工业级数据传输速率的需求。本系统正是在

USB2.0 协议基础上设计完成了一种测量平台数据采集系统, 通过控制传输方式高精度地实现了数据的采集与处理过程。

## 1 整体框架设计

基于 USB 总线的测量平台主要适用于数据量不大, 但是对数据传输精度必须予以特别强调的系统<sup>[3]</sup>, 系统从 FPGA 采集数据, 经由 USB 处理芯片传递给 PC, 并在上位机用户界面进行数据的处理, 所包含的硬件实现主要有 USB 处理芯片与 FPGA 芯片之间的数据交互, 而软件实现主要有上位机用户界面的实现、USB 固件程序的实现及 USB 系统驱动。

### 1.1 核心芯片选择

FPGA 芯片采用 Altera Cyclone 系列的 EP1C3T144C8, 采用 1.5V 内核电压, 0.33umSRAM 工艺。

收稿日期: 2010-11-04; 修回日期: 2011-02-04

基金项目: 温州市科技创新项目(G20090113)

作者简介: 蔡国强(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为网络信息安全与自动化; 慕德俊, 教授, 博士生导师, 研究方向为自动控制、网络信息安全。

EP1C3T144C8 共有 2910 个 LE, 近 6 万个 RAM bits, 逻辑资源丰富, 有效地满足用户对开发的需求; 1 个锁相环电路, 可以提供相对灵活的时钟管理; 最多具有 104 个通用 I/O, 可以根据具体应用进行资源的分配与控制, 最大限度地发挥该芯片的潜力; 并且其价格低廉, 属于 Cyclone 家族中性价比很高的一款芯片。

在 USB 处理芯片上, 系统采用 Cypress 公司的 EZ-USB FX2 系列芯片 CY7C68013<sup>[4]</sup>。Cypress 的 EZ-USB FX2 是世界上第一款集成了 USB 2.0 接口的微控制器。通过集成 USB 2.0 收发器、SIE、增强的 8051 微控制器以及可编程成的外部接口于一个单片中, 该芯片数据传输速率可以达到 USB 2.0 允许的最大带宽——每秒 56Mbytes。GPIF、主从端点 FIFO (8 位或 16 位数据总线) 提供了一种容易而且是无缝地与流行的接口进行连接的方法, 如 ATA、UTOPIA、EPP、PCMCIA 以及大部分的 DSP 处理器<sup>[5]</sup>。

## 1.2 系统构成

系统在硬件上由三部分构成 (见图 1): FPGA 数据采集芯片、USB 处理芯片及上位机用户处理界面, EP1C3T144C8 负责数据的采集工作, CY7C68013 实现数据在 FPGA 芯片与 PC 机之间的交互传输<sup>[6]</sup>, 而上位机软件负责对数据进行相应处理, 实现与用户之间的交互。在程序设计上, 上位机通过系统驱动程序识别 USB 芯片, USB 芯片通过固件程序及数据采集处理程序实现设备的枚举过程及数据采集过程。整个系统采用控制传输方式, 设计专用的控制指令, 采用最强的 USB 错误校验机制, 保证传输精度。

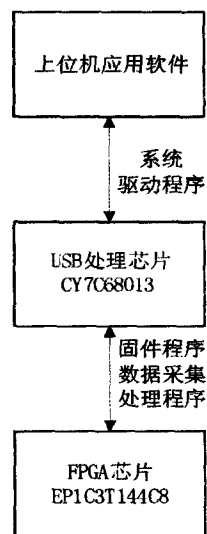


图 1 系统构成图

## 2 系统硬件设计

CY7C68013 提供三种传输模式<sup>[7]</sup>: 端口传输模式、从属 FIFO 模式及 GPIF 模式。采集数据较小, 对准确

性要求高的系统可以采用端口模式的控制传输, 例如医疗器械对病人体征数据的读取; 而采集数据较大, 对差错率有较大容忍度的系统应当采用后两种传输模式, 如视频音频数据的传输。考虑到本系统对于数据传输量并没有很高需求, 而对数据传输的准确性要求较高的特点, 采用端口模式下的控制传输方式, 芯片主要引脚的硬件连接及总线模式如图 2 所示:

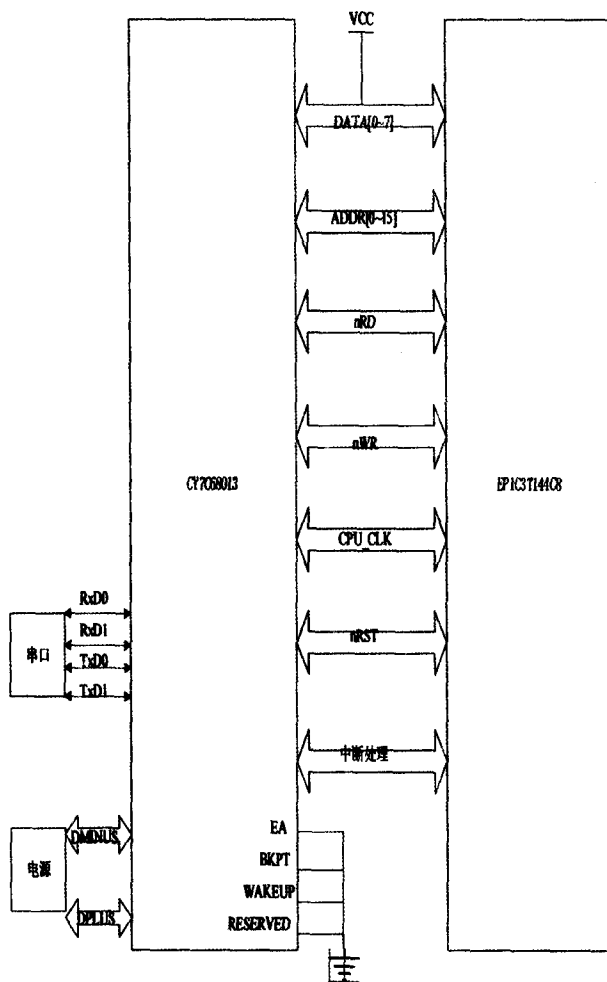


图 2 总线接口模型

USB 芯片与 FPGA 芯片之间通过 8 位数据线、16 位地址线进行数据的传输, 通过读写命令线及复位命令线进行相应的控制, 通过 CPU\_CLK 进行时钟的同步操作。

## 3 系统程序设计

USB 系统的软件程序设计主要包含三部分内容: 用于响应系统各种标准要求的 USB 固件程序设计, 用于识别 USB 设备的驱动程序设计以及用于数据显示及交互处理的上位机界面程序设计。

### 3.1 上位机界面的设计与实现

上位机用户界面采用 MFC 模块化编程, 主要应用于对采集的数据进行处理, 并方便用户对数据采集过

程进行相应的控制,主要包括的模块有:设备打开模块、数据读模块、数据写模块及设备关闭模块。上位机识别出设备之后会进行枚举及重枚举过程,在程序加载到 RAM 中之后,可以正常的打开设备,此时用户即可通过读写函数对数据进行处理,固件程序担负起整个处理过程的细节内容。程序框架如图 3 所示:

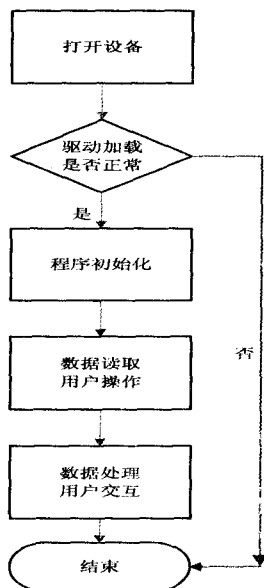


图3 上位机编程框架

在系统驱动程序支持下,上层应用程序只需要设计 API 函数,将 API 函数转换为 IRP 即可实现与驱动程序的通信。为了方便用户对源程序进行修改,在程序编写过程中采用封装好的接口函数<sup>[8]</sup>实现相关功能,具体接口函数列表如表 1 所示:

表1 封装接口函数

接口函数	IRP	描述
pOpenDevice	IRP_MJ_CREATE	打开设备
WriteLong	IRP_MJ_WRITE	写入数据
ReadLong	IRP_MJ_READ	读出数据
CloseFile	IRP_MJ_CLOSE	关闭设备
DeviceIoControl	IRP_MJ_DEVICE_CONTROL	控制操作

在程序运行期间,设置一个定时器循环采集数据,不断发送控制命令从 USB 缓冲区中读取数据并在上位机界面显示,这样用户可以不间断地获取实时数据,便于用户快速进行决断,发现问题。

### 3.2 固件程序的设计与实现

固件程序<sup>[9]</sup>是 USB 功能设备开发的重中之重,是 USB 设备实现其功能的软件基础。具体而言,固件程序是指运行在 CY7C68013 芯片 CPU 中的程序,其主要功能为:初始化各硬件单元、重配置功能设备、定义寄存器、控制通信及中断处理。固件程序流程图描述如下:

上述框架完成了一个任务循环,首先初始化内部状态变量,然后运行用户初始化函数 TD\_Init()。之后进行重枚举,调用用户任务函数 TD\_Poll(),并查询标准设备请求及挂起信号。

固件程序采用 Keil C51 C 编写,使用了许多 Keil

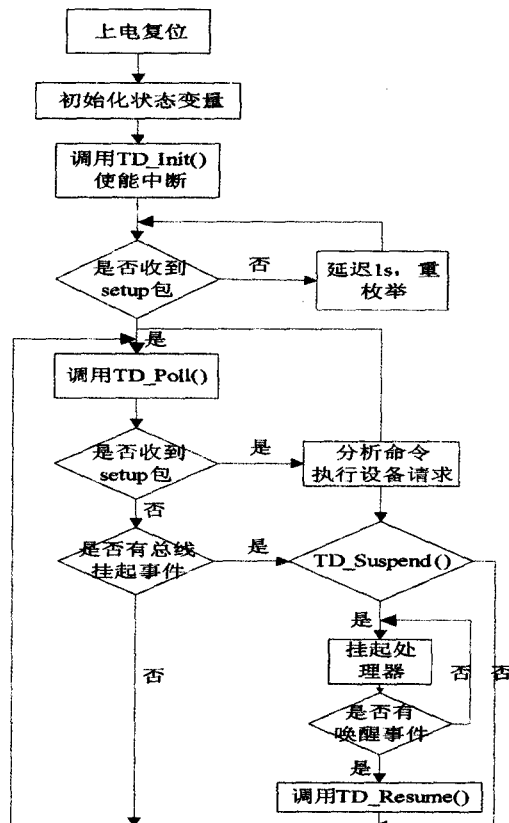


图4 固件程序框架

C 对标准 C 的扩展<sup>[10]</sup>,考虑到上位机程序与驱动程序进行通信传递给 USB 的控制指令为标准的设备/用户请求模式,本系统在开发过程中自定义了部分用户请求,用户请求的控制指令包格式如表 2 所示。

表2 控制指令包格式要求

字节	域	含义
0	bmRequestType	请求类型、方向
1	bRequest	实际请求
2	wValueLow	16 位字值大小 (根据 bRequest 变化)
3	wValueHigh	
4	wIndexLow	16 位字域大小 (根据 bRequest 变化)
5	wIndexHigh	
6	WLENGTHLOW	传输字节数 (若有 DATA 字段)
7	WLENGTHHIGH	

控制指令中的 bmRequestType 为 0xA3,具体传输方向视上传或下载的具体情况而定,bRequest 设置为 IOCTL\_EZUSB\_VENDOR\_OR\_CLASS\_REQUEST,即用户请求,value 域定位为数据上传或下载的地址,length

域为数据长度。在控制传输过程中用户函数着重对自定义用户请求进行处理,实现数据的传输过程。

在数据采集端,采用定时中断取数方式。当 FPGA 缓冲区有数据需要传输时,产生一个定时中断, CY7C68013 激活读指令从 FPGA 处读取数据到相应的缓冲区。

### 3.3 系统驱动

Cypress 公司提供给用户一个可用于基于 EZ-USB 的计算机外围设备接口的通用设备驱动程序 (GPD)<sup>[11]</sup>,为用户编写 USB 驱动提供一个极好的范例,用户可在此基础上进行驱动的开发。采用 Microsoft Windows DDK 及 Visual C++6.0,编辑 GPD 中 sources 文件及固件程序中 firmware 函数,对描述符表进行修改,在 DDK 编译环境下进行重编译,并重新编写安装信息文件,即可方便快捷地实现 USB 通用驱动的编写。

EZ-USB FX2 芯片是一个以软件为主的架构,程序代码和数据被储存在内部的 RAM 中,它有两个独立的缺省的 USB 设备,一个用于全速设备 (12M/s) 的枚举,一个用于告诉设备 (480M/s) 的枚举,芯片本身的 SIE 可以自动地实现速度的侦测、确定协议及选择合适的缺省 USB 设备,一旦枚举过程开始,就从程序来源处向片内 RAM 下载固件程序和描述符表,EZ-USB FX2 则开始执行下载的程序代码,用电路模拟物理的断开和连接过程。此时第二次枚举过程发生,FX2 采用新获得的描述符表进行重新定义,这个过程是 FX2 特有的“重枚举”过程。在调试过程中,采用上位机作为程序来源进行重枚举程序的加载是很方便的,但在实际的应用中,固件程序不可能也不必要每次都通过上位机调试程序下载到 CY7C68013 的 RAM 中,所以必须采用一个合适的加载方式实现固件程序的自我加载与驱动。68013 芯片本身提供有三种可行的加载模式:无 EEPROM 加载、C0 加载及 C2 加载。产品发布后一般采用的都是 C2 加载<sup>[12]</sup>,这种加载方式是先将固件程序下载到 EEPROM 中,上电复位后 FX2 会检测到该 EEPROM 连接到 IIC 总线上,通过对地址 0 处的值进行识别处理,FX2 将 EEPROM 中的数据加载到内部 RAM 中,同时设置 RENUM 位为 1,通过固件程序处理设备请求,代替缺省的 USB 设备,用户可以对描述符表进行个性化修改,定制 C2 加载后显示在用户管理器中设备的名称。

在实现 C2 加载过程中,用户需要将之前生成的 hex 文件通过 hex2bix 转换为 iic 文件格式并下载到 EEPROM 中,转换的格式描述为:

```
hex2bix -i -o xx.iic xx.hex -f 0xC2 -v 0x0547 -p 0x1002
```

固件程序的重枚举过程主要是对 USB 控制与状态)寄存器的 DISCON 及 RENUM 两个控制位的控制重枚举过程,为了模拟一次 USB 断开,固件程序首先将 DISCON 设置为 1,之后为了重连接,固件程序将 DISCON 清 0;在重连接之前,固件设置或者清楚 RENUM 位表示端点 0 上进行设备请求处理的是固件程序还是缺省 USB 设备,如果 RENUM=0,则是缺省的 USB 设备将处理设备请求,如果 RENUM=1,则是固件程序将处理设备请求。只有实现了 C2 加载的设备才能作为真正意义上的具有产品发布功能的成品,才能最大限度地方便用户使用。

### 4 结束语

目前市面上通过的数据采集系统多采用 PCI 接口,由于 PCI 总线本身的物理特质,使得板卡的使用环境受到限制并且用户操作起来比较繁琐。本系统采用 USB 传输模式实现数据的采集与处理,安装方便,支持热插拔,易于扩展,并且对信号干扰抗性较强,采用处理功能强大的 CY7C68013 芯片处理 USB 协议可以有效地减少用户花费在系统驱动及固件编程上的时间,使得用户可将更多的时间用于优化系统的设计及上位机界面的开发。而采用性价比很高的 EP1C3T144C8 作为 FPGA 数据采集芯片,在保证实现系统功能的基础上最大程度地降低了成本,上位机界面采用 MFC 模块化开发,方便用户进行数据处理及软硬件的交互操作。

本系统下一步的研究主要放在实现通过 slave FIFO 传输及 GPIF 传输进行其他领域数据采集过程,而由于系统整体的软硬件结构采用模块化设计,具有很好的可扩展性,只需要引入适于该传输方式的数据采集芯片,在固件程序及上位机界面中修改相应的处理模块,驱动程序上对 C2 加载的一些细节性内容进行修改即可实现新的传输方式的转换。

#### 参考文献:

- [1] 刘建明,贺占庄. 硬盘加密和身份认证的硬件实现[J]. 计算机技术与发展,2006,16(6):139-141.
- [2] Cui Yundong, Jiang Jie, Zhang Guangjun, High speed COMS image acquisition and transmission system based on USB [C]//Seventh International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Sensors and Instruments. San Diego: SPIE, 2008.
- [3] 张波,常天庆,贾宇飞. 基于 USB 技术的数据采集卡设计[J]. 微计算机信息,2006,22(62):34-36.
- [4] 全瑞普. 基于 SlaveFIFO 模式 USB 数据传输系统的设计与实现[D]. 南京:南京理工大学,2008.

测试所花费的时间。

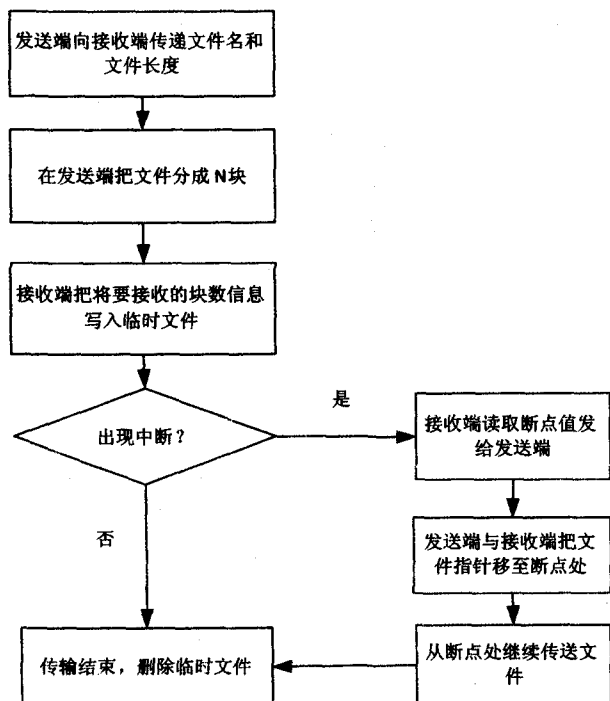


图 4 断点续传流程图

表 1 实验环境

	CPU	内存	剩余磁盘	操作系统	数据库
服务器端	2.0GHz	2.0G	300G	Windows Server 2003 sp2	mysql
客户端 1	1.6GHz	1.0G	50G	Windows xp sp3	--
客户端 2	1.6GHz	1.0G	60G	Windows xp sp3	--

测试结果: 备份速度为 200 ~ 300kB/s, 恢复速度快, 1MB/s 左右, 且备份和恢复时, 网络利用率很好, 备份和恢复的数据一致。

## 6 结束语

文中设计并实现了一种基于 Internet 的文件在线备份系统, 实现了数据备份和灾难恢复, 对于用户而言

界面友好, 使用方便; 该系统无需专用的硬件支持, 为企业提供了一种性价比较高的异地容灾解决方案。

## 参考文献:

- [1] 刘迎风, 祁明. 容灾技术及其应用[J]. 计算机应用研究, 2002(6): 7-10.
- [2] 厉剑, 廉国斌, 黄栋. 数据容灾系统与 CDP 技术[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1): 168-171.
- [3] 高志刚, 边小凡, 张志强. 提高 C/S 模式系统可维护性研究[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2004, 14(3): 134-136.
- [4] King R P, Halim N. Management of a Remote Backup Copy for Disaster Recovery[J]. ACM Trans on Database System, 1991, 16(2): 338-368.
- [5] 李涛. 网络安全概论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 117-189.
- [6] 陈绘绡. 浅析数据备份技术的实现方法[J]. 科技论坛, 2005(18): 80-81.
- [7] 胡天翔. 网络存储技术在企业发展中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(7): 218-220.
- [8] 王树鹏, 云晓春, 余翔湛, 等. 容灾技术的理论与关键技术分析[J]. 计算机工程与应用, 2004(28): 54-58.
- [9] 李顺新, 丁胜, 陈建勋. 数据备份系统中多线程传输和断点续传的设计[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2004, 14(10): 110-113.
- [10] Mohan C, Treiber K, Obermark R. Algorithms for the Management of Remote Backup Data Bases for Disaster Recovery[C] // IEEE 9th International Conference on Data Engineering. [s.l.]: [s.n.], 1993: 511-518.
- [11] 孙洁, 刘晓洁, 李涛. 一种基于 Internet 的异地容灾系统的设计和实现[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(7): 171-172.
- [12] Lyer R K, Sarkis J. Disaster recovery planning in an automated manufacturing environment[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1998, 45(2): 163-175.
- [13] 向坤, 刘晓洁, 赵奎, 等. 基于数据容灾系统的服务漂移实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(7): 152-155.

(上接第 164 页)

- [5] 张冠英. 基于 USB2.0 的 DSP 与 PC 通信接口的设计与实现[D]. 内蒙古: 内蒙古大学, 2010.
- [6] 沈高强. 基于 USB 的数据采集系统的设计与实现[D]. 浙江: 浙江工业大学, 2009.
- [7] 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.
- [8] Zhang Guangjun, Zhao Huijie, Wang Zhongyu. Device USB interface and software development for electric parameter measuring instrument[C] // Fifth International Symposium on Instrumentation and Control Technology. San Diego: SPIE, 2003.

- [9] Timothy E. Smith, Georgia Tech Research Institute, Atlanta. Integration of USB and firewire cameras in machine vision applications[C] // Machine Vision Systems for Inspection and Metrology VIII. Bellingham: SPIE, 1999.
- [10] 廖坚. USB 设备控制器 IP 软核设计研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [11] 邓玖根, 张正荣, 胡松, 等. 基于 DDK 的 USB 接口 WDM 驱动开发[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 13-16.
- [12] 王伟. 基于 USB2.0 的高速数据采集与传输系统的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2005.