

# 基于 USB 总线的紫外分光光度计 数据采集及传输系统设计

胡天林<sup>1</sup>, 王磊<sup>1</sup>, 贺珊<sup>2</sup>, 林春<sup>1</sup>, 黄元庆<sup>1</sup>

(1. 厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005;

2. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

**[摘要]** 为解决传统分光光度计采集速率低、体积大、成本高、信噪比差等问题, 本文设计了一种基于 USB 总线的新型紫外分光光度计的数据采集及传输系统. 该系统采用 2048 线阵 CCD 与 12 位 AD 转换器, 实现了对 190~780 nm 波长范围的光谱信号的采样; 采用了带 USB 内核的芯片, 实现对传输数据的 USB 协议打包与解析; 设计了动态链接库, 开发了软硬件接口; 编写了测试程序. 以 MATLAB 为工具通过数理统计方法对采集卡进行了信噪比测试. 结果表明该数据采集及传输系统稳定性好, 具有较高的信噪比.

**[关键词]** 分光光度计; USB; 动态链接库; MATLAB

**[中图分类号]** TP274 TP212 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-3804(2009)02-0064-05

## 0 引言

紫外分光光度计是一种常用的理化实验室分析仪器, 原理是基于物质溶液组分对不同波长的光具有选择性吸收的特性, 通过测定其光谱组成与强度等来分析物质的化学成分或物质结构. 分光光度计广泛应用于医疗、食品检测、教育科研等部门.

本文在充分考虑稳定性、便携性与成本控制的基础上, 设计了一种面向光度计的数据采集及传输系统, 具有兼容性好、尺寸小、功耗小、噪声低、动态范围大、光谱响应范围宽、可实时采集与传输的特点, 并对紫外分光光度计数据采集卡作了实验测试.

## 1 系统硬件设计

本系统结构如图 1 所示, 与传统分光光度计不同的是, 本系统采用全光谱光学通道. 光源发出的光经过样品室及全光谱光学通道, 色散后到达 CCD 图像传感器<sup>[1-2]</sup>, 经过 A/D 转换, 将结果写入 FIFO 缓存 (First In First Out, 先进先出) 缓存, 由 USB 数据传输模块对数据进行 USB 协议打包, 经过 USB 总线传送到主机. 复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 作为时序发生器, 其主要功能是: 驱动 CCD 图像传感器完成曝

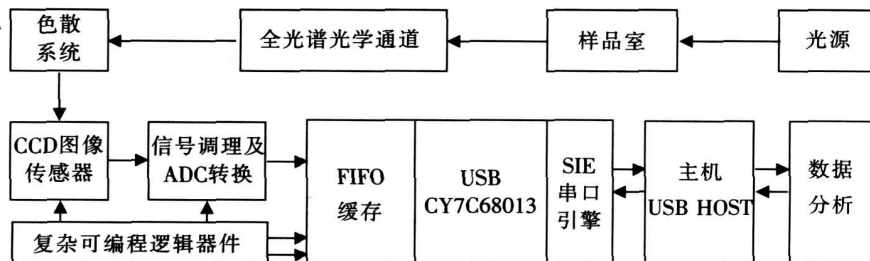


图 1 硬件系统框图

Fig.1 Schematic diagram of hardware architecture

光, 随后串行移出光谱信号; 驱动 ADC 进行模数转换; 提供 FIFO 的异步写入时钟, 响应主机的数据发送请求, FIFO 中的数据以块传输方式被写入主机. 主机负责对信号进行分析与处理.

### 1.1 信号采集

经过样品室后的光经全光谱光学通道并色散后落到线阵 CCD 上成像, CCD 图像传感器上不同位置的像元对应于不同波长. CCD 的输出即为被测的串行格式的视频信号. 通过采样模块对视频信号进行按位采样, 根据采样的位置可以定位相应的波长, 而信号的幅值则定义了该波长的光谱能量. 这样, 经过每一帧数据的完整采样, 便可以得到一定波长范围内的光谱曲线<sup>[3]</sup>.

方案中采用 SONY 公司生产的线性 ILX511 作图像传感器, 其具有 2 048 个像素采集单元, 灵敏度高, 满足了微弱信号检测的应用要求. 其工作原理简单, 在外部积分时间控制脉冲驱动下进行曝光, 随后由移位时钟驱动完成电荷的串行输出.

紫外分光光度计采用的 A/D 转换器, 对溶液吸光度测试的影响尤为明显. ADC 采用达 5 MHz 采样率的 ADS803 该芯片分辨率为 12 位, 并行通信方式. ADS803 的时序驱动由 CPLD 提供, 见图 2 所示, 仅需控制 2 个 I/O 口, 分别为转换时钟输入端与转换输出使能端.

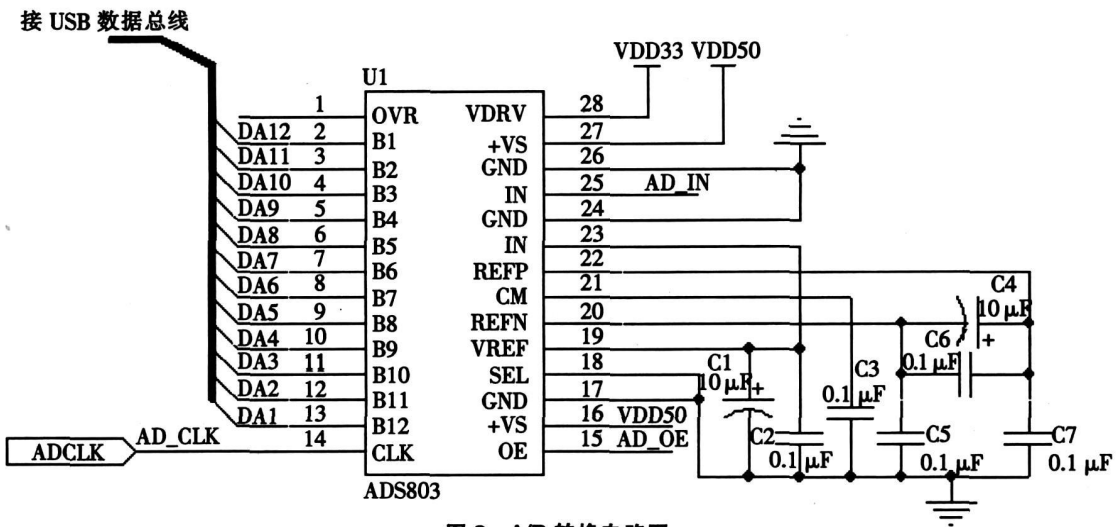


图 2 A/D 转换电路图

Fig.2 A/D circuit

### 1.2 USB 数据传输单元

在此单元中, 采用了带 USB 内核的功能芯片 CY7C68013 对待发送至主机的数据进行 USB 协议打包, 对收到的发自主机的数据进行 USB 协议解析. 该功能芯片拥有 4KB 的 FIFO 缓存; 其将 USB 外围接口设备所需的各种功能包装成一个简洁的集成电路, 集成的 USB 收发器连接到 USB 总线中的 D+ 和 D-<sup>[4]</sup>.

为解决 USB 高速模式下的带宽问题, 设计方案中的 CCD 帧数据传输使用了管道连接方法, 即 USB 自身的接口与外围电路可以共享其 FIFO. 采用块传输工作方式, 功能芯片的 CPU 不参与数据传输, 外部设备将写入数据至 FIFO, FIFO 满后由设备的串口引擎 (SIE) 对数据进行编解码、差错控制、位填充等 USB 协议操作, 然后通过差分电路将打包好的数据发送至主机<sup>[5-6]</sup>. USB 数字传输单元设计电路见图 3 所示. CY7C68013 为 CPLD 提供 48MHz 的时钟源. 在外围接口电

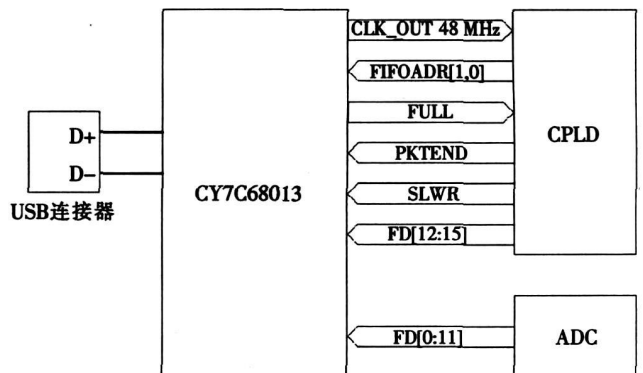


图 3 数据传输单元接线图

Fig.3 Schematic diagram of data communication

路硬件上, 选择使用 CY7C68013的 16位数据带宽, 其中 12位与 A/D转换器相连. 为保证数据完整, 约定简单的协议机制以实现数据发送与接收校验, 即“0xF”表示数据发送开始、“0xA”表示数据接收结束, 因此校验数据包共 4位, 由 CPLD 配置进行插入. 数据的写入由 CPLD的异步写时钟 SLWR 来完成.

方案采用 Lattice ispMACH 4064 CPLD<sup>[7]</sup>, 为整个系统提供时序发生器, 包括: 驱动 CCD, 提供曝光控制与移位脉冲; 为 A/D转换器提供时钟; 为 FIFO 提供异步写脉冲以完成 A/D转换后数据的写入.

## 2 动态链接库

如图 4 系统软件由应用程序、动态链接库、通用驱动和设备固件组成.

动态链接库主要用于提供库文件, 暴露相关功能函数的接口. 在应用程序中调用接口函数即完成由底层到上层的数据获取. 通过底层与应用层的工作分工, 提高开发效率.

动态链接库开发前须对系统功能进行需求分析, 从而规划出接口函数. 芯片供应商已提供了与通用驱动进行通信的最底层的函数开发包. 编译动态链接库文件中时, 须包含开发包.

### 2.1 接口函数的规划

在动态链接库中, 对接口函数的规划功能定义如下:

BOOL Device\_Open\_CPP( void)

功能: 打开设备

BOOL Device\_Cbse\_CPP( void)

功能: 关闭设备

BOOL Device\_Write\_CPP(unsigned int\* para unsigned intWR\_num);

功能: 数据采集卡的参数设定. Para为参数数据指针, WR\_num, 要写的参数个数

BOOL Device\_Read\_CPP(unsigned char\* pRec long num\_read);

功能: 读取数据. pRec为数据存放的指针, num\_read为返回的数据长度

BOOL Io\_Open\_cpp( unsigned char Io\_num)

功能: 打开数字开关量端口. Io\_num 为端口号

BOOL Io\_Close\_cpp( unsigned char Io\_num)

功能: 关闭数字开关量端口. Io\_num 为端口号

### 2.2 接口函数的实现

Cypress提供的 CyAPI库提供了基本 USB控制与操作的接口. 在动态链接库程序的开头只需要添加对应的头文件与库文件就可以使用. 然后在规划好的函数中加入 CyAPI库文件提供的接口即可实现目标功能.

在紫外分光光度计中需要通过挡板遮住光源以测定暗电流, 因此涉及到数字量开关的控制. 下面以此为例来对接口实现做解释:

```
# include "CyAPI.h"
.....
_declspec( dllexport) boolW NAPI Io_Open_cpp( unsigned char Io_num)
{
.....
    ept->ReqCode = 0xAD,           / 打开数字量开关的设备请求码
```

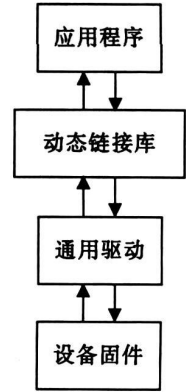


图 4 软件组成  
Fig.4 Software architecture

```

switch( Io_num)
{
case 0 //0号端口应于 PC7 I/O接口, 需要给底层发送数据 0x80
    buf[ 1] = 0x80
    break
    .....
default
    break
}
ept->XferData( buf, buflen); //调用 CyAPI库基本的 USB控制与操作接口
return true;
}

```

### 3 测试

实验过程中, 以汞灯作为标准光源, 采用光纤作为光路传输通道. 以 VC++ 为开发环境, 编写 PC 机上的测试程序, 调用动态链接库提供的接口函数. 通过应用程序一方面驱动 CCD 以设定的时间进行曝光, 并串行移出视频模拟信号; 另一方面, 将采集回来的数据进行输出保存至一指定的文件. 采用 MATLAB 工具, 导入该数据文件进行信噪比的数据分析.

为比较真实值与测量值, 通过示波器对 CCD 的模拟输出进行测量, 见图 5 所示.

采集回的数据保存为\*.txt 格式. 通过 MATLAB 作图. 光学平台安装时已将 CCD 方向颠倒, 所以需要采集回来的数据进行反向, MATLAB 分析方法如下:

```

>> figure a= dumpfile47
>> b= flipud( a); plot( b)

```

“dumpfile47” 是 CCD 的单帧文件, 共 2 048 个像素, 单帧的结果如图 6 所示.

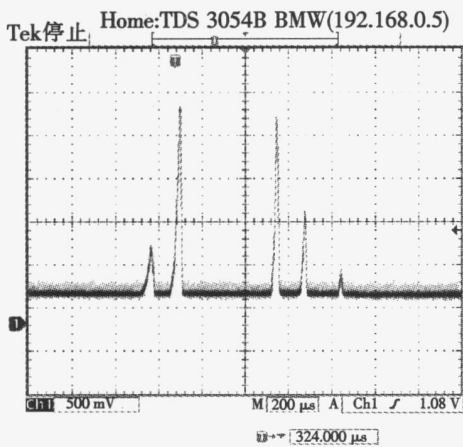


图 5 光谱信号示波器测量结果

Fig.5 Spectrum signal tested on oscilloscope

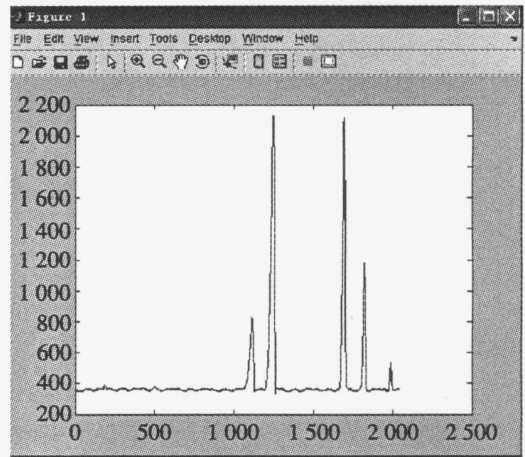


图 6 光谱信号 MATLAB 分析结果图

Fig.6 Spectrum signal analyzed with MATLAB

对于采集卡来说, 信噪比是一个重要的参数, 测试方法是连续采集 50 帧数据, 求其标准差, 公式如下:

$$s = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{1/2} \tag{1}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{2}$$

借助于 MATLAB 数学工具包，50 帧数据的标准差分析结果如图 7。横轴表示像元位置 (0 ~ 2 047)，纵轴表示标准差分析结果，可见对应于 2 048 个像元位置的视频信号的标准差大多低于 8。结果表明采集及传输系统本身具有良好的信噪比。

#### 4 结语

本文设计了基于 USB 总线的紫外分光光度计数据采集及传输系统，包括了软硬件接口。在硬件上基本具备了应有的功能模块；在软件上，设计了动态链接库，提供了接口控制函数。通过自编程序与 MATLAB 工具对系统进行了信噪比评价，结果表明系统具有良好的稳定性。目前编写的应用程序只是简易的测试软件，并不具备客户

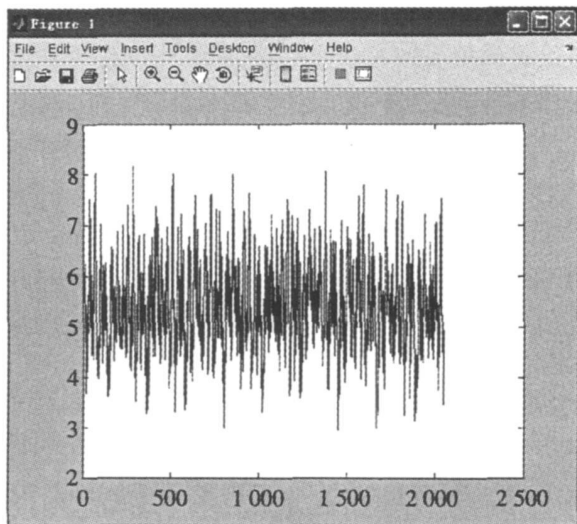


图 7 标准差分析结果

Fig.7 Standard deviation of 50 frames

使用的所有功能，因此完善系统软件是今后的重要工作，同时对于波长的标定方法也限于理论探讨，需要通过标准光谱信号进行准确的标定。

#### [参考文献]

[1] 刘震宇, 周艳明, 谢中, 等. 基于 CCD 和小型单色仪的微型光纤光栅光谱仪 [J]. 物理实验, 2008 28(1): 14-18  
 [2] 王晗, 李水峰, 刘秀英. 微型光谱仪光学结构研究 [J]. 应用光学, 2008 29(2): 230-233.  
 [3] 王增林. 基于 ARM 7TDM I\_S 的便携式光谱仪的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006  
 [4] 傅得立, 马忠松. 基于 EZ\_USBFX 2LP 的高速数据传输系统设计 [J]. 嵌入式系统应用, 2008 24(2): 11-12  
 [5] 余修武, 刘岚. USB 接口技术在嵌入式系统中的应用研究 [J]. 计算机技术与应用, 2008(10): 151-154  
 [6] 肖燕娟, 杨俊峰. 基于 USB2\_0 的高速数据通信接口设计 [J]. 电子设计, 2008 24(22): 310-312  
 [7] 郑永, 彭东林, 郑方燕, 等. 基于 CPLD 和 USB2\_0 的机械传动误差测试系统 [J]. 机械传动, 2008 32(2): 64-66

## Data Acquisition and Communication System of Spectrophotometer Based on USB Bus

HU TIAN-lin<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, HE Shan<sup>2</sup>, LN Chun<sup>1</sup>, HUANG Yuan-qing<sup>1</sup>

(1. School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering Xiamen University, Xiamen 361005, China

2. School of Information and Technology Engineering Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** A novel data acquisition and communication system based on USB bus is proposed to resolve the disadvantages of traditional spectrometer for low efficiency, poor portability and bad SNR (Signal/noise ratio). In this system, A 2048-Pixel CCD is selected as photo-electronic detector and ads803 as A/D converter which sample spectrum signal between 190~780 nm wavelength range. The chip embed with USB core is utilized which includes Serial Interface Engine and Slave FIFO, and data can be coded or decoded under USB protocol. The software mainly includes dynamic link library (DLL). On the base of interface of software and tool MATLAB, some experiments are completed, and the performance of acquisition card is tested. The result shows that the system is reliable.

**Key words** Spectrometer; USB; dynamic link library; MATLAB