

基于 USB2.0 的多通道数据采集系统设计与实现

王 崇 潘明海

(燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

摘 要: 针对振动信号检测中信号采集的需要,介绍了一种基于 USB2.0 的多通道、带程控放大、可变采样率和采样时间的数据采集系统。该系统能够多通道高速连续采样,单通道最高采样率可达 400 k,并具有结构简单、成本低、可靠性高等优点。从固件程序、驱动程序、动态链接库和应用软件 4 个方面阐述了该系统软件编程思想,并对 USB2.0 接口芯片 CY7C68013 的 GPIF 可编程逻辑接口与 AD7899 互连的控制时序及硬件电路设计原理做了深入分析。最后通过已知信号对整个系统进行测试,验证了该系统能完成多通道连续采样的可行性和准确性。

关键词: USB2.0; 数据采集; GPIF

中图分类号: TP216 **文献标识码:** A

Design and implementation of multi-channel data acquisition system based on USB2.0

Wang Chong Pan Minghai

(The college of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract: According to the requirement of vibrating signal detection, this paper introduces a multi-channel data acquisition system, which has a programmable signal amplifier, variable sample rate and sample time. This system can sample signal on different channels simultaneously and the highest sample rate of one channel is 400k. The thoughts of the software program, including firmware, driver, DLL, application software, are briefly explained. This paper also deeply analyzes the control time sequence between the USB2.0 interface chip GPIF and analog to digital converter AD7899. In order to validate this system can sample signal veraciously and feasibly, the system is tested by the already known signal.

Keywords: USB2.0; data acquisition; GPIF

0 引 言

本数据采集系统主要是应用于振动信号检测中,作为动态电阻应变仪的输出端。由于被检测信号的最大频率在 100 kHz 左右,为了使信号无失真采样,根据采样定理,最好使采样频率大于被测信号 3~5 倍,因此本文设计了一种基于 USB2.0 的多通道、带程控放大、可变采样率和采样时间的数据采集系统。该系统最多可 16 通道同时采样,单通道最高采样率可以达到 400 k,16 通道任意 2、4、8、16 组同时采样,每通道采样率为 400 k 除以具体采样通道总数,各通道的放大倍数可以任意选择 2 倍、4 倍、8 倍、16 倍。USB 接口芯片采用 CYPRESS 公司的 CY7C68013,通过对其可编程逻辑接口(GPIF)和内部 FIFO 存储器的合理设计,配合外围逻辑器件以及 A/D 转换器的有效运用,实现了数据的连续采集和传输。

1 硬件电路设计原理

1.1 AD 采样芯片 AD7899 简介

在本设计中采用了 AD 公司的 14 b 400 k A/D 转换器 AD7899-1,输入电压范围可以选择 5 V 和 10 V。AD7899 可以选择外部时钟或是内部时钟作为 A/D 转换的基准时钟,如果使用内部时钟,转换时间为 2.2 μ s,因此最高转换速率 400 k;如果使用外部时钟,最高只能加 6.5 MHz 晶振,因此转换速率达不到 400 k,但是在一些场合,例如同时使用两块 AD7899,就可以使用同一个外部时钟来避免因为内部时钟的不一致而导致的外部逻辑信号的反应时间。此外,AD7899 有两种不同的运行模式,EOC 模式 BUSY 模式,模式的选择取决于转换结束后启动信号 CONVST# 的状态。内部时钟 BUSY 模式下转换时序图如图 1 所示。 t_1 为转换启动信号最小时间 35 ns, t_2 为读信号最小时间 35 ns, t_3 为读信号下降沿后数据获取最大时间 35 ns。

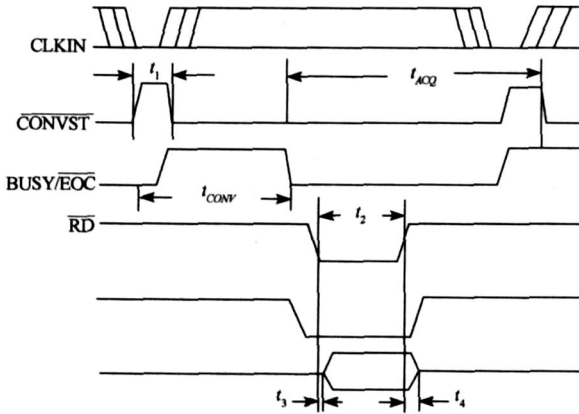


图 1 AD7899 BUSY 模式转换时序图

1.2 硬件电路

整个采集系统的简化电路示意图如图 2 所示。

82c54 是可编程定时器,内部含有 3 个 16 位定时计数器,在本数据采集系统中,把计数器 1、2 接成分频器,输出接在计数器 0 的 GATE 端,在外接 6 MHz 晶振的情况下,

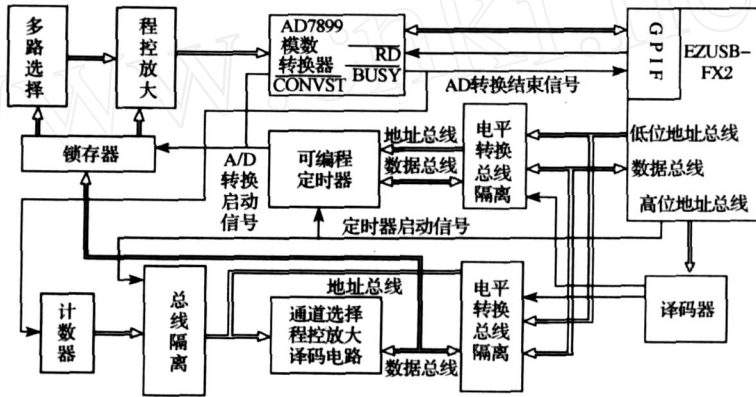


图 2 系统简化电路示意图

本数据采集系统只用到了 CTL0 和 RDY0 两个输出输入引脚,它们分别连接 AD7899 的 RD# 和 BUSY#,通过 GPIF 波形编辑器,结合 AD7899 转换时序,即可绘制 GPIF 波形图。GPIF 波形示意图如图 3 所示。此时需注意 AD7899 的数据是在 RD 信号变为低电平一段时间后,才将转换后的数据放到数据总线上,因此在 RD 为低电平后,不能马上读数据,而应该延迟一段时间,否则读到的数据将是数据总线为高阻态时的值。

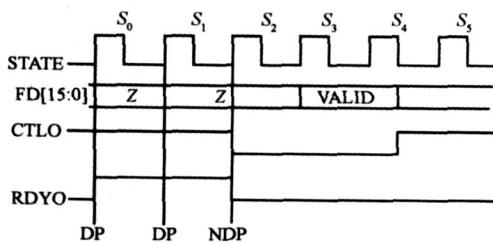


图 3 GPIF 波形示意图

最高可定时 $2^{32}/6$ Ms,定时器 0 工作在方式 2,输出接转换器的启动信号。当计数器减为 0 时,输出一个周期的低电平,因此通过设置不同的计数初值,可以完成不同采样率的转换。通用可编程接口 (GPIF) 是一个对于 FX2 端点 FIFO 的内部主控制器,它代替了外部胶合的逻辑电路,GPIF 共有 4 个波形描述符控制各个状态,但每次只能激发一个波形描述符,而且每个波形描述符最高只有 7 个有效状态,无法满足复杂的逻辑电路设计,通过 GPIF 连接外围电路可以摆脱 CPU 的参与,极大地提高了数据传输速率。GPIF 的 4 个波形描述中,单向读写描述符一次只能向 FIFO 读写一个字节(字),速度较慢,应用范围小,FIFO 读写波形通常传输一个长数据流,通过设置事务处理器,用要求的事务值加载 GPIFTCB3:0。当 FIFO 读写波形在该 FIFO 触发后,GPIF 将自动传输规定数量字节,注意 GPIF 是在每次经过闲置状态 IDLE 时将事务计数器减 1,直到它计满后,才将波形中止,如果想提前结束波形,可以向 GPIFABORT 写 0xFF。

1.3 基本原理

整个采集系统的时序图如图 4 所示。

主要采集过程为:系统上电加载固件之后,由主机发出请求,设置采样率采样时间和具体的采样通道,放大倍数;然后主机启动采样,A/D 转换器接收到采样启动信号后,状态从采样转变为保持;转换完成后,给 GPIF 一个结束标志,GPIF 根据这个标志将采样后的数据写入内部

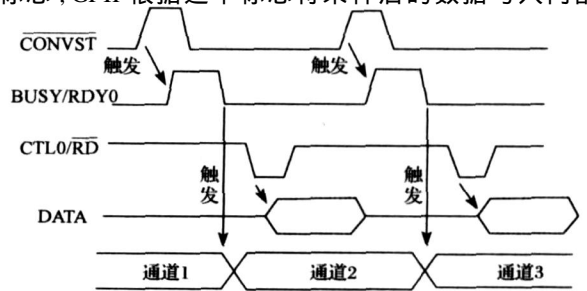


图 4 系统时序图

图 4 系统时序图

FIFO 存储器;当 FIFO 达到一定容量后,自动上传给主机,无需 CPU 的干预,同时配合内部 FIFO 的多缓冲技术,使得数据上传时仍然可以继续采样下一个信号,保证了数据采集的连续性。为了完成多通道同时采集,将 AD 转换结束标志接到计数器的时钟端,当启动采样后,在总线隔离器的配合下,通道选择和程控增益选择的译码电路完全依赖于计数器,这样在每次采样后就可更换通道与放大倍数,实现多通道同时连续采集。

2 软件编程思想

2.1 固件编程

固件程序是指运行在 CY7C68013CPU 中的程序,主要完成 68013 各个寄存器和 FIFO 的初始化,设置采样率、采样时间和通道程控放大倍数,启动 GPIF 波形。为了完成数据的连续采样,设置端点 2 为 1024B 4 倍缓冲块传输,自动提交,这种情况下可以将 FX2 的端点 FIFO 理解为一个环形的缓冲区;当 FIFO 缓冲区的读写指针相差 1024 时,上传计算机。CYPRESS 公司为了方便 FX2 的开发过程,提供了固件程序框架,用户只需要少量修改即可完成固件设计。固件程序流程图如图 5 所示。

启动 GPIF 的主要程序如下:

```
if ( GPIFTRIG & 0x80 ) // 等待 GPIF 为 IDLE, 防止出现
```

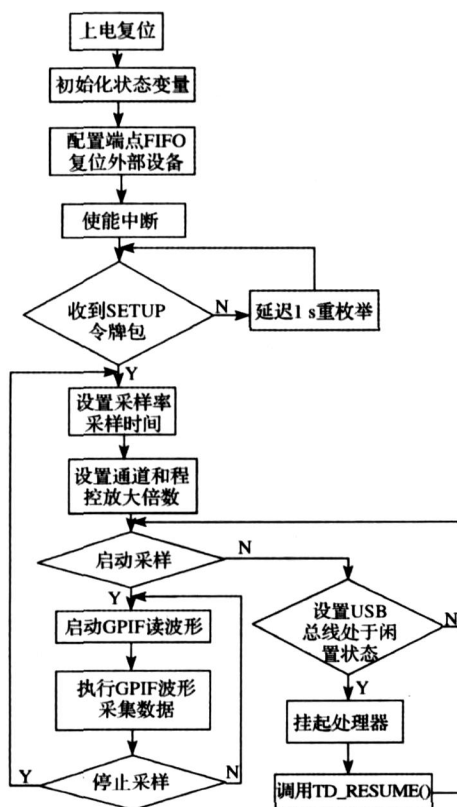


图 5 固件程序流程图

同时激发两个 GPIF 波形的错误。

```
{if (! ( EP2468STAT & bmEP2FULL )) // 如果端点 2 未滿, 则启动 GPIF 读传输, 此处不能判断端点是不是空; 然后再启动 GPIF 传输, 将导致数据上传的同时, 无法接收外部的采样信号的错误。
```

```
{ GPIFTCB1 = 0x02;
```

```
GPIFTCB0 = 0x00; // 因为采样是以字为单位, 内部 FIFO 为 1024 B, 所以设置一次启动 512 次。 GPIFTRIG = GPIFTRIGRD | GPIF_EP2; // 启动端点 2 的 FIFO 读传输
```

```
while ( ! ( GPIFTRIG & 0x80 ) ) // 等待 GPIF 为 IDLE
```

```
{if ( ! ( GPIFREADYSTAT & 0x10 ) )
```

```
GPIFABORT = 0xFF; } } // 保证定时采样时能退出 GPIF 波形, 如果定时采样在某次波形中结束, 根据图波形描述符的定义, 将永远等待下去, 因此必须加上此语句保证定时采样结束后跳出循环。
```

2.2 驱动程序

CY7C68013 的驱动程序主要分为固件下载驱动程序和系统驱动程序。系统驱动程序利用 cypress 提供的通用驱动程序, 固件下载驱动程序的编写操作过程参见文献 [2]。需要注意的是当利用 EEPROM 编程器或 EZUSB 控制面板往 EEPROM 写入 VIDPID 的时候, 不是写入 7 个字节^[2], 而是写入 8 个字节, 如果没有写入最后 00 将无法找到设备。在 inf 文件中定义 PID(04B4) VID(1102) 为固件下载驱动程序, PID(04B4) VID(1107) 为通用驱动程序。

2.3 应用程序

为了给用户提供一个更好使用采集卡的平台, 通过动态链接库封装了 2 组函数方便用户调用, 由于 FX2 通用驱动程序并没有定义 IMJ_MN_READ、IMJ_MN_WRITE, 所以不能调用 ReadFile() 和 WriteFile() 函数读写数据, 主要应用两个 API 函数即可完成打开设备, 读取采样数据。CreateFile 用于打开设备句柄, DeviceIoControl 用于完成全部的供应商请求和 FIFO 读写数据。

采集数据块传输函数调用:

```
bulkControl.pipeNum = 0; // 设置块传输端点号, 因为本系统仅端点 2 设置为块传输, 所以设为 0。
```

```
bResult = DeviceIoControl ( hDevice, IOCTL_EZUSB_BULK_READ, &bulkControl, sizeof ( BULK_TRANSFER_CONTROL ), InBuffer, length, &nBytes, NULL ); 启动采样函数调用:
```

```
myRequest.request = 0xB2;
```

```
myRequest.value = 0x00;
```

```
myRequest.index = 0xBEEF;
```

```
myRequest.direction = 0x01; // 此处选择方向,
```

DeviceIoControl 函数中无需改变输入输出位置

```

myRequest.requestType = 2;
myRequest.receipt = 0;
bResult = DeviceIoControl (hDevice,
IOCTL _ EZUSB _ VENDOR _ OR _ CLASS
_REQUEST &myRequest,
sizeof ( VENDOR _ OR _ CLASS _ REQUEST _
CONTROL ),buffer ,buffersize ,&nBytes ,NULL);
    
```

应用程序是系统与用户的接口,为了保证采集信号的连续性,单独设计一个新的线程接收采样数据,具体流程如图 6 所示。

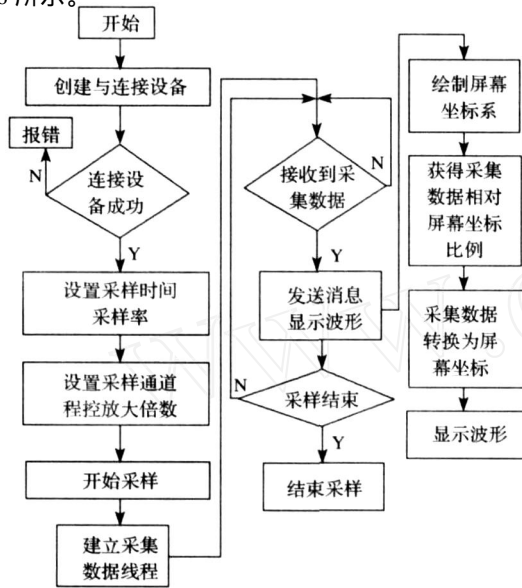


图 6 应用程序流程图

3 实验研究

为了验证本系统采样的准确性,利用信号源对整个系统进行验证,4 通道同时采集,设置采样率为 400 k,1 通道加 20 kHz 正弦信号、3 通道加 25 kHz 方波、2 通道和 4 通道分别加正电源和地,采集数据结果如表 1 所示。通过对采样数据分析,400 k 采样率同时采集 4 通道,每通道采样率为 100 k,采集 20 kHz 正弦信号应该为 5 点一个周期,采集 25 kHz 方波信号应为 4 点一个周期。通过表 1 可以看出,完全符合理论结果。

4 结 论

本文详细论述了一种基于 USB2.0 的多通道数据采集系统,通过对该系统的硬件电路设计与软件编程思想的分析,证明了该系统的可行性。事实证明,该系统能在 400k 采样率下,完成多通道同步数据采集。

表 1 测试结果验证数据

CH1	CH2	CH3	CH4
- 1. 309 9	4. 861 2	- 4. 630 5	0. 001 8
- 4. 999 8	4. 861 1	- 4. 631 7	0. 002 0
- 2. 816 4	4. 861 5	+ 4. 472 4	0. 002 0
+ 3. 401 4	4. 861 1	+ 4. 471 2	0. 002 4
+ 4. 275 2	4. 861 7	- 4. 630 4	0. 002 3
- 1. 383 2	4. 862 1	- 4. 632 7	0. 001 9
- 4. 999 8	4. 860 9	+ 4. 472 4	0. 002 4
- 2. 755 3	4. 861 8	+ 4. 471 2	0. 002 1
+ 3. 453 0	4. 861 1	- 4. 631 1	0. 002 2
+ 4. 236 8	4. 861 6	- 4. 631 7	0. 002 4

参 考 文 献

- [1] 李志文,周富大,朱洪兴. USB2.0 在高速数采系统中应用[J]. 电子测量技术,2002(2):4-7.
- [2] 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,2006:171-219.
- [3] 周云锋,孙书鹰,王宏. 基于 USB2.0 的高速同步数据采集系统设计[J]. 电子技术应用,2004,30(2):16-18.
- [4] CYPRESS. EZ-USB FX2 technical reference manual [Z]. Version 2.1, 2001.
- [5] 张捷,潘仲英,林萍实. 基于 EZ-USB 数据采集系统 USB 接口设计[J]. 电子测量技术,2002(4):49-50.
- [6] 乔鹏,葛宝臻. 基于 USB 总线高速数据采集系统[J]. 电子测量技术,2003(4):51-52.
- [7] 窦明涛. 基于 TMS320VC5402 数据采集系统的设计[J]. 2004(4):37-38.
- [8] 刘思久,汪秀丰,左长魁,等. 支持 USB 接口 50MHz 高速数据采集器[J]. 电子测量技术,2004(2):61-62.

作 者 简 介



王翀,男,硕士研究生,主要研究方向为高速数据采集和频谱分析系统。
地址:河北省秦皇岛市燕山大学西校区
1443 信箱,066004

潘明海,男,1962 年 9 月出生,博士,教授,主要研究方向为高速并行数字信号处理系统研究、基于超大规模可编程逻辑阵列的数字信号处理算法与系统集成研究、通信与雷达系统射频仿真技术研究。