

基于 USB 总线的低成本舵偏角采集系统设计与应用*

陶小亮

(中国空空导弹研究院 洛阳 471000)

摘要: 舵机测试过程中,需要采集舵机实际舵偏角用于产品标定和性能评估,传统的舵偏角采集系统是通过基于 PCI 接口的专用工控机和采集卡来实现的,成本高且对计算机有特殊要求。针对舵机测试中对低成本、通用化舵偏角采集系统的需要,开发基于 STM32F103 的下位机代替传统的 PCI 板卡实现数据采集,并通过 USB 总线与上位机进行通信。基于 LabWindows/CVI 的上位机软件用于数据通信和界面交互。该采集系统具有成本低、可靠性高、使用方便等优点,已成功用于舵机测试中,并达到了良好的效果。

关键词: 低成本;USB 总线;STM32F103;LabWindows/CVI;舵偏角采集系统

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Design and application of low-cost servo-angle acquisition system based on USB

Tao Xiaoliang

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471000, China)

Abstract: In the progress of servo testing, the actual servo-angle signal is needed to be acquired for the calibration and performance evaluation of the servo system. The traditional servo-angle acquisition system is composed of PCI-based acquisition board and IPC, which has high-cost and needs special computer. For the requirement of a low-cost and universal servo-angle acquisition system in servo testing, a lower computer based on STM32F103 is designed to instead of traditional PCI-based acquisition board. The lower computer communicates with PC via USB interface. The PC software based on LabWindows/CVI is designed for communication and human-computer interaction. This system features low-cost, high reliability, high flexibility, and it has been successfully applied in servo testing. The experiment results demonstrate the outstanding achievement of the system.

Keywords: low-cost; USB; STM32F103; LabWindows/CVI; servo-angle acquisition system

0 引言

舵机是典型的位置伺服控制系统,其在控制指令的驱动下带动舵面快速偏转到指定位置。舵机测试时,将舵机安装在加载台上,并将加载台上的光电编码器和舵轴相连,舵轴偏转时带动编码器旋转,采集编码器输出的角度信号即得到实际舵偏角。舵偏角采集的实时性和精度直接影响系统的精度和性能评价。

传统的舵偏角采集方式是借助具有 PCI 接口的专用工控机和采集卡来实现,系统成本高且通用性差,使用不方便。

USB 总线具有成本低、速率高、即插即用等显著优点,已被广泛应用于数字通信、工业现场测试、仪器仪表等领

域^[1]。STM32F103 是一款低成本、硬件资源丰富、性能优异的微处理器,其片内集成了 USB2.0 全速接口和正交编码单元,正适合用于采集光电编码器的角度信号并通过 USB 接口进行数据上传。因此将 USB 通信技术与 STM32 相结合,开发基于 STM32 的下位机代替传统的 PCI 板卡,实现数据采集、处理与传输是一套理想的解决方案^[2],该方案具有对计算机硬件要求低、通用性强、成本低、使用方便等优点。

1 系统组成与工作原理

采集系统由上位机和下位机两部分组成。本文系统中,以 STM32F103 微处理器为核心的采集和通信电路作为下位机(USB 从设备),通过 USB 接口与主机相连,用于

收稿日期:2020-07-05

* 基金项目:航空科学基金(2018ZD12010)项目资助

采集光电编码器角度信号,并通过 USB 接口传送至上位机;上位机为普通 PC(USB 主机),通过 USB 接口实现采集流程控制、接收采集数据并实时绘制编码器角度曲线等功能。系统组成如图 1 所示。

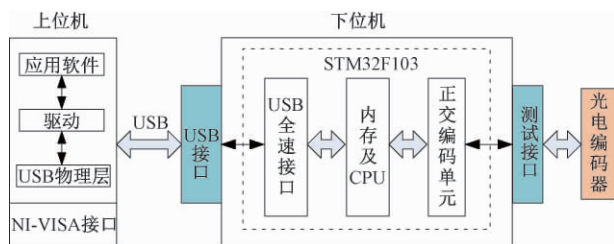


图 1 系统组成原理

系统工作原理为下位机通过 USB 线缆与主机连接后,主机能够正确识别设备并将设备初始化(枚举过程)^[3]。设备初始化完毕后,主机向下位机发送采集命令,下位机正确接收命令后完成任务解析并执行,之后通过 USB 接口将采集到的数据回传到主机。

2 硬件设计

系统的硬件设计主要指下位机设计。下位机以 STM32F103 微处理器为核心,主要完成光电编码器信号采集和 USB 数据通信功能。STM32F103 片内集成了 USB2.0 全速接口,可通过片内正交编码单元采集加载台光电编码器信号,并将数据通过 USB 接口上传至上位机。

2.1 电源电路设计

下位机采用 +5 V 供电,为简化设计,+5 V 电源由 USB 总线提供,经过 AMS1117-3.3 高性能稳压芯片将 +5 V 转为 +3.3 V,为电路提供稳定可靠的主电源 V_{cc}。系统的供电原理如图 2 所示。

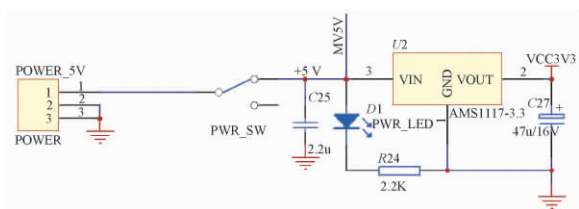


图 2 系统的供电原理

2.2 采集电路设计

STM32 内部定时器自带硬件编码器接口,可对编码器脉冲信号实现计数并自动判断正反转,只需简单的程序设置即可使用,非常方便。光电编码器输出的 A 相、B 相信号为差分信号,需经过差分接收器 AM26LS32 将信号进行差分转单端处理,之后输入到 STM32F103 定时器 5 的通道 1 和通道 2 进行采集。编码器采集电路原理如图 3 所示。

2.3 USB 接口电路设计

由于 STM32F103 片内集成了 USB2.0 全速接口,因

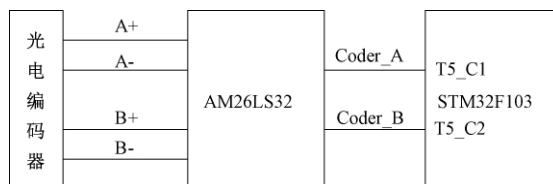


图 3 编码器采集电路原理

此不需要单独外挂 USB 接口芯片,直接将处理器上 USB 相关的两个引脚引至电路板的 USB 插座即可,大大简化了电路设计。

由于片内 USB 电路工作的时钟频率为 48 MHz,所以选用 8 MHz 外部晶振经过 9 倍频为 72 MHz 作为系统主频,再通过软件二分频后得到 48 MHz 时钟供 USB 电路工作^[4]。

3 软件设计

软件设计包括基于 LabWindows/CVI 的上位机软件设计和基于 STM32 的下位机软件设计。

3.1 下位机软件设计

下位机软件主要指下位机 USB 固件驱动程序和数据采集程序,采用 keil C 编写。

USB 固件驱动程序开发采用 STM32 提供的 USB 固件库来完成^[5],主要实现下位机的上电枚举(确保 PC 能够正确识别设备并完成设备初始化)、与上位机的命令和数据交互等,这些工作都是通过 USB 中断服务程序完成的,是固件驱动程序设计的核心。

STM32 的 USB 接口作为 USB 从设备,通过两个端点与主机通信^[6]。其中端点 0 作为 USB 设备默认的控制传输端点,供设备枚举(初始化)时使用;端点 1 设置为双向 BULK 传输,其中 IN 通道用于接收上位机控制指令,控制采集的开始和结束;OUT 通道用于向上位机发送采样数据包。

上述设置均在 USB 库文件 usb_desc.c 的设备描述符结构体 DeviceDescriptor 和配置描述符结构体 ConfigDescriptor 中定义。另外一个至关重要的信息是 USB 设备的供应商识别码(Vendor ID,VID)和产品识别码(Product ID,PID),开发驱动程序时由用户指定,主机通过 VID 和 PID 来识别不同的设备,根据它们可以给设备加载或安装相应的驱动程序^[7]。本系统将 VID 设置为 0x1483, PID 设置为 0x5715。

USB 中断程序工作流程如图 4 所示。

下位机 USB 程序主要代码部分如下:

```
int main(void)
{
    .....//系统初始化
    USB_Interrupts_Config();//USB 中断使能
    Set_USBClock();//设置 USB 时钟频率
```

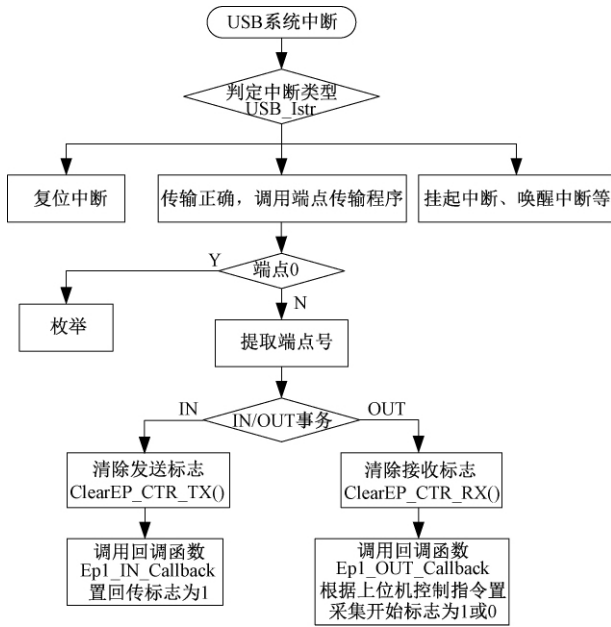


图 4 USB 中断程序工作流程

```

USB_Init();//初始化 USB 外设
while(1)
{
    if(USB_Received_Flag)
    {
        USB_Received_Flag=0;
        DataSample();//采集编码器
        if(USB_Sended_Flag==1)
        {
            USB_SendData(data, sizeof(data));
            USB_Sended_Flag=0;
        }
    }
}

void EP1_IN_Callback(void)
{
    USB_Sended_Flag=1;
}

void EP1_OUT_Callback(void)
{
    PMAToUserBufferCopy ( USB __Receive __Buffer,
    ENDP1_RXADDR, REPORT_COUNT);
    SetEPRxStatus(ENDP1, EP_RX_VALID);
    ret=USB_GetData(data, sizeof(data));
    if (data[0]==0x75 && data[1]==0x55)//采集
    指令
    {

```

```

USB_Received_Flag=1;
}
}

```

下位机软件运行后,在主循环中查询 USB 采集标志 USB_Received_Flag 是否为 1,如果为 1 则采集编码器信号并发送至上位机;USB 接收中断函数 EP1_OUT_Callback 接收上位机发送的指令,并判断指令类型,置标志 USB_Received_Flag 为 1;USB 发送中断函数 EP1_IN_Callback 记录下位机向 PC 发送数据是否完毕。

数据采集程序完成对加载台上光电编码器信号的采集和处理,按协议封装后在 USB 中断函数中等待上传。当收到上位机发送的数据上传命令后,程序将采集到的编码器数据打包经由 USB 总线回传到 PC 主机,由上位机应用程序进行数据显示和处理。程序设计时,首先初始化正交编码相关的 GPIO 管脚,之后配置定时器工作在编码器模式^[8],最后在程序需要回传数据时读取定时器的计数值再经过简单换算即可得到舵机角度信息。

下位机软件主程序工作流程如图 5 所示。

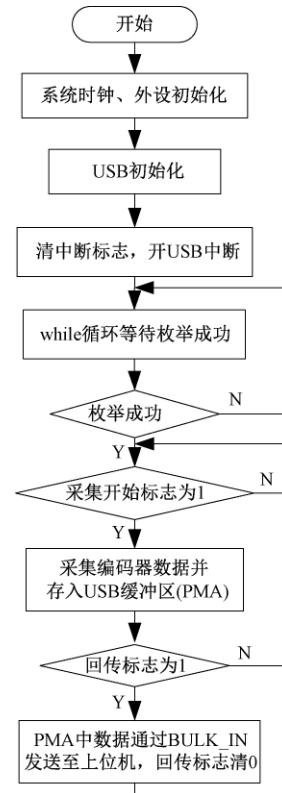


图 5 下位机软件主程序工作流程

3.2 上位机软件设计

本文系统的上位机采用普通 PC,只要有 USB 接口即可。上位机软件包括 PC 端的 USB 驱动程序和应用程序,在 LabWindows/CVI 平台下完成开发。LabWindows/CVI

作为一种面向仪器的交互式编程语言,它将 C 语言与用于数据采集分析和显示的专业测控工具有机结合起来^[9],为开发检测系统、数据采集系统和过程监控系统等应用软件提供了一个理想的软件开发环境。

上位机 USB 驱动程序实现对下位机的初始化(枚举)及数据通信,该程序通过 NI-VISA (virtual instrumentation software architecture,虚拟仪器软件结构)技术实现^[10]。NI-VISA 是一个用来与各种仪器总线进行通信的高级应用编程接口(API),它包含 VISA 驱动程序生成向导(the VISA driver development wizard),可以很方便的为 USB 设备创建 INF 文件(注意:驱动程序中设置的 VID 和 PID 要与下位机 USB 设备的 VID 和 PID 保持一致)^[11],将该文件安装后便可在 USB 设备接入 PC 时自动识别、连接该设备(实现对设备的枚举)。因此通过 NI-VISA 可以很方便的进行 USB 驱动程序开发,并通过调用相应的 VISA 库函数实现对 USB 设备的控制和数据读取^[12]。上位机 USB 通信步骤如下:

- 1) 得到 VISA 资源管理器句柄
`viOpenDefaultRM (&.usb_default_rm);`
- 2) 根据 PID 和 VID 查找匹配的 USB 设备
`viFindRsrc(usb_default_rm, " USB0:: 0x1483:: 0x5715::NI-VISA-0::RAW", VI_NULL, VI_NULL, desc);`
- 3) 打开 USB 设备,获得句柄
`viOpen(usb_default_rm, desc, VI_NULL, VI_NULL, &.usb_handle);`
- 4) 给下位机发送采集指令
`viWrite(usb_handle, strCmd, 2, &.retcount);`
 其中, strCmd 为指令数组,长度为 2 Byte。
- 5) 读取编码器采样数据
`viRead(usb_handle, coderData, 2, &.retcount);`
 其中, coderData 为接收到的编码器采样值,长度为 2 Byte。
- 6) 关闭设备,调用 viClose 关闭设备,释放句柄
`viClose(usb_handle);`
`viClose(usb_default_rm);`

上位机应用程序用于界面交互,主要实现设备初始化、采集流程控制、USB 通信、数据处理和角度曲线显示等功能^[13]。当下位机通过 USB 线缆连接到 PC 后,应用程序自动完成 USB 枚举过程并识别设备^[14];点击界面的开始采集、停止采集按钮,通过 USB 总线控制下位机完成数据采集和上传^[15];编码器采样值在 Graph 控件中通过曲线的形式实时显示。上位机程序工作流程如图 6 所示,应用程序界面如图 7 所示。

从实测曲线结合历史数据可知,该系统测试结果与传统的基于 PCI 采集卡的工控机测试结果完全一致,且配置、使用更加灵活方便。

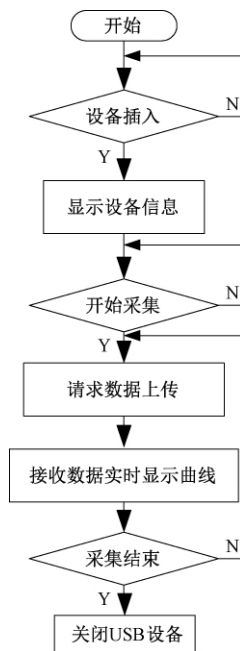


图 6 上位机程序工作流程

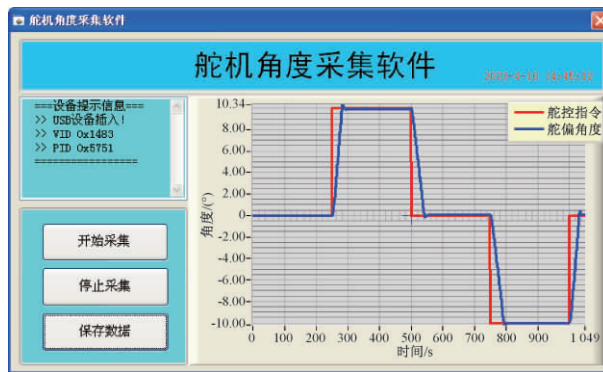


图 7 上位机应用程序界面

4 结 论

本文舵偏角采集系统以 STM32F103 微处理器为核心,具有成本低、体积小、可靠性高等特点;同时由于采用了 USB 总线,具有即插即用的优点,使用方便且通用性强,对计算机要求低,有利于快速搭建测试系统,提高测试效率。经过实测,系统稳定可靠、方便易用,上位机软件自动化程度高,已成功应用到舵机测试中。

参考文献

- [1] 王挺.基于 LabWindows/CVI 的虚拟数字信号分析仪设计与实现[J].自动化与仪表,2018,21(3):22-25.
- [2] 张旭.基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J].电子测量技术,2010(11):32-35.
- [3] 史胜伟,张锋.基于 STM32 的 USB HOST 实现[J].通讯世界,2016(20):7-9.

- [4] 戴学飞,待鸿彦,张晓宇.基于 STM32 降水现象仪检测装置设计[J].电子测量与仪器学报,2017,31(10):1596-1601.
- [5] 王铁流,李宗方.基于 STM32 的 USB 数据采集模块的设计与实现[J].测控技术,2011,28(8):37-40.
- [6] 钱勇,张金亮.基于 STM32F103 和 labwindows/cvi 的 USB 数据采集系统设计与实现[J].大众科技,2014,16(179):6-8.
- [7] 刘丁,王云飞.USB 在数据采集系统中的应用[J].电子技术应用,2010,26(4):37-39.
- [8] 赵建,吴树奎.利用 LabWindows/CVI 的 VISA 体系对仪器进行 I/O 的操作[J].电子科技,2014,8(179):52-54.
- [9] 赵宁社.远程数据采集的现场虚拟仪器控制系统设计与实现[J].国外电子测量技术,2018,12(6):30-34.
- [10] 苗用新,张堃.USB-HOST 技术在激光回波信息采集系统中的应用[J].航空兵器,2011(1):18-21.
- [11] 刘光普,梁营,任雍,等.虚拟仪器在天气雷达发射系统测试中的应用[J].国外电子测量技术,2018,37(10):71-75.
- [12] 李雪静.基于 STM32 的 USB 数据采集器的设计[J].汽车实用技术,2018(17):172-176.
- [13] 孟强,徐慧.基于 STM32 的数据采集及显示系统的设计[J].电脑知识与技术,2013(5):3183-3186.
- [14] 吕亮,孙尚民.便携式制动盘螺栓裂纹检测装置研制[J].电子测量与仪器学报,2018,32(1):48-56.
- [15] 李智,张少华,秦夷,等.基于 STM32F767 的 USB 主机开发设计研究[J].电子测量技术,2018,41(11):136-139.

作者简介

陶小亮,硕士,高级工程师,主要研究方向为智能检测与控制。

E-mail:liangzihum@163.com