

# 温室环境信息采集系统的 USB 接口设计

程 浩, 钱东平\*, 黄君冉, 张 凯

(河北农业大学机电工程学院, 保定 071001)

**摘 要:** 通用串行总线 USB(Universal Serial Bus) 具有支持热插拔、传输速度快、可靠性高、可扩展性强等优点, 作为一种通信接口规范, 它被广泛地应用于 PC 机和外围设备的通信系统中。设计了以 AT89C52 为 MCU, 基于 USB 芯片 PDIUSBD12 的温室环境信息采集系统, 实现了对温室环境的温度、湿度、光照和二氧化碳浓度等各项参数的测定, 并设计开发了该接口芯片的固件程序, 操作系统驱动程序和主机应用程序。驱动程序采用 WDM 驱动程序模型, 实现了 USB 设备的热插拔和访问操作。应用程序采用 VC++ 6.0 为开发环境, 把 USB 设备当作文件来操作, 实现了数据的批量传输, 大大提高了传输速度。

**关键词:** 温室环境信息; 通用串行总线; PDIUSBD12; 软件; 硬件

**中图分类号:** TP274.2; TP368

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2006)08-0253-03

程 浩, 钱东平, 黄君冉, 等. 温室环境信息采集系统的 USB 接口设计[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 253- 255.

Cheng Hao, Qian Dongping, Huang Junran, et al. USB interface design for greenhouse environment data acquisition system[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 253- 255. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

现代化温室的环境信息采集系统就是利用自动化、机械化和微电子智能化高新技术把温室内温度、湿度、光照、水分、营养和二氧化碳浓度等环境参数自动采集到计算机中, 对其各项参数进行分析, 以达到给予作物生长所需的最佳环境的目的<sup>[1,2]</sup>。在此类系统中, 单片机与 PC 机如何进行高效、快速、方便的数据传输是系统中需要着重考虑的问题<sup>[3-5]</sup>。单片机与 PC 机的数据交换, 目前通常采用 RS-232 串口通讯方式, 其存才传输速率较低、PC 端口资源有限, 可扩展性较差、不支持热插拔等方面的不足<sup>[6]</sup>。通用串行总线 USB(Universal Serial Bus) 是 1995 年 Compaq, Microsoft, IBM, DEC 等公司联合推出的一种新型的通信标准<sup>[7]</sup>。USB 接口具有较高的传输速率, USB1.1 中低速设备可达 1.5Mbit/s 高速设备为 12Mbit/s, 现在刚刚推出的 USB2.0 协议, 在理论上其传输速率可以达到 480 Mbps<sup>[8-10]</sup>。用 USB 连接的外围设备数目最多可达 127 个。并且具有可热插拔、无需外接电源等特点。

## 1 检测参数的确定与系统组成

温度、湿度、光照和 CO<sub>2</sub> 浓度是表征植物生长的近地面空气层的环境因子, 它们对植物的生长发育起着重要的作用。因此, 本系统对这 4 项环境因子分别采用相应的温敏、湿敏、光敏和气敏传感器同时进行监测。

在温室环境测控系统中, PC 机是上位机。其主要利用良好的图形用户界面, 显示从 MCU 接收的温室各项环境参数, 进而进行一些较复杂的数据运算。MCU 是该系统的下位机, 负责现场环境参数数据的高速采集, 并控制 USB 芯片向 PC 机传送采集数据。系统组成如图 1 所示。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 传感器设计

收稿日期: 2005-03-17 修订日期: 2006-03-20

基金项目: 河北省科技厅基金项目(012134100)

作者简介: 程 浩(1981-), 男, 硕士, 博士生, 主要从事计算机检测与自动控制方面的研究。保定 河北农业大学机电工程学院, 071001。Email: ctjh@sohu.com

\*通讯作者: 钱东平(1951-), 男, 教授, 博士生导师。保定 河北农业大学机电工程学院, 071001。Email: qdp@hebau.edu.cn

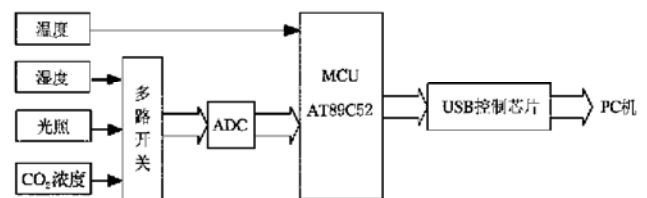


图 1 USB 数据采集系统组成

Fig. 1 Data acquisition system through USB interface

温度传感器采用美国 DALLAS 半导体公司生产的单总线高集成度数字化测温电路 DS18B20, 其可将被测温度直接转换成数字信号输出, 无需 A/D 转换, 接口简单, 转化精度高, 抗干扰能力强。湿度传感器采用 JWSL 型高分子湿敏电容式湿度传感器, 可连续高湿使用, 常温下无需温度补偿。光照传感器选择了北京昆仑海岸传感技术中心生产的 ZD-VB 型照度变送器, 其工作原理是采用光电二极管将光照强度转换为电流信号, 再经运算放大器转换为电压信号输出。CO<sub>2</sub> 浓度传感器采用 GMW22 型红外 CO<sub>2</sub> 气敏传感器。

### 2.2 A/D 转换设计

A/D 转换部分采用 MAXIM 公司的 MAX118, 它包括 8 路模拟开关, 可采样 8 路信号, 每完成一次 A/D 转换的时间为 1 μs, 其 8 位数据总线与 MCU 直接相连。

### 2.3 USB 控制芯片设计

USB 控制芯片采用 PHILIPS 公司的 USB1.1 控制芯片 PDIUSBD12。其主要特性有: ①模块化的 USB 接口, 可以与众多的微控制器 (MCU) 实现并行接口; ②可完成独立的 DMA (Direct Memory Address) 操作; ③主端点有双缓存配置, 增加了吞吐量, 更容易实现实时数据传输; ④时钟频率输出可编程; ⑤多中断模式, 使块传输和同步传输更方便; ⑥该芯片的端点适用于不同类型的设备, 端点可通过“设置模式”命令配置为非同步传输、同步输出传输、同步输入传输和同步输入输出传输。其内部结构框图如图 2 所示。

### 2.4 微控制器及其连接电路设计

微控制器选用 AT89C52, 其与 PDIUSBD12 的连接电路如图 3 所示。ALE 始终为低电平, 表示采用单独地址和数据总线配置。其中 A0 脚接 89C52 的任何一个 I/O 引脚, 用于控制是命令还是数据输入到 PDIUSBD12, 也就是编程中的 outportcmd() 和 outportdata() 函数。此外 89C52 的多位地址/数据复用总线

P0可直接与PDIUSB12的数据总线相连,CLKOUT时钟输出为89C52提供时钟输入。

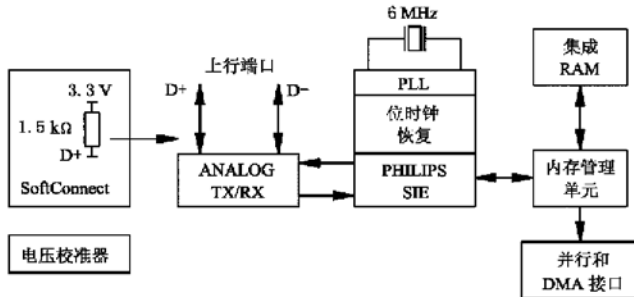


图2 PDIUSB12内部结构框图  
Fig. 2 Block diagram of PDIUSB12

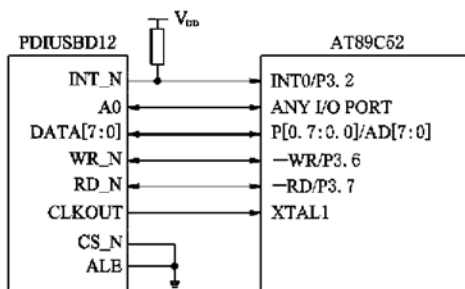


图3 PDIUSB12与单片机的接口电路  
Fig. 3 Parallel interface circuit to an AT89C52 microcontroller

### 3 软件设计

开发一个USB设备,软件设计是必不可少的。USB应用系统软件设计分为3部分:USB外设端的单片机固件程序、主机操作系统上的客户驱动程序以及主机应用软件。单片机固件程序响应各种来自系统的USB标准请求,完成各种数据的交换工作和时间处理;而客户驱动程序则让主机可以识别USB设备,并通过应用软件来读写USB设备,完成通信功能。主机应用软件通过客户驱动程序与系统USB1进行通信,由系统产生USB数据的传送动作。软件设计流程图如图4。

#### 3.1 单片机固件程序的开发

在单片机的固件程序中主要完成以下几部分的功能:1)初始化MCU和所有外围电路(包括PDIUSB12);2)主循环部分,主要完成对来自USB Host端的Setup包的处理,其任务是可以中断的;3)中断服务程序,其任务是对时间敏感的,必须马上执行。根据USB协议,任何传输都是由主机开始的,这样,单片机作为它的前台工作,等待中断。主机首先要发令牌包给USB设备,PDIUSB12接收到令牌包后就给单片机发中断,单片机进入中断服务程序,首先读PDIUSB12的中断寄存器,判断USB令牌包的类型,然后执行相应的操作。单片机与PDIUSB12的通信主要是靠单片机给PDIUSB12发命令和数据来实现的。PDIUSB12的命令分为3种:初始化命令字、数据流命令字和通用命令字。单片机先给PDIUSB12的命令地址发命令,根据不同命令的要求再发送或读出不同的数据。因此,可以将各种命令做成函数,用函数实现各个命令,以后直接调用函数即可。

固件编程中较难写的是USB枚举过程,而这对整个USB系统的实现至关重要<sup>[11]</sup>。下面就介绍一下USB设备的枚举过程。

主机的USB根集线器的两根信号线(D+和D-)的每根都有一个15K的下拉电阻,一个全速设备(12Mb/s)在D+上有一

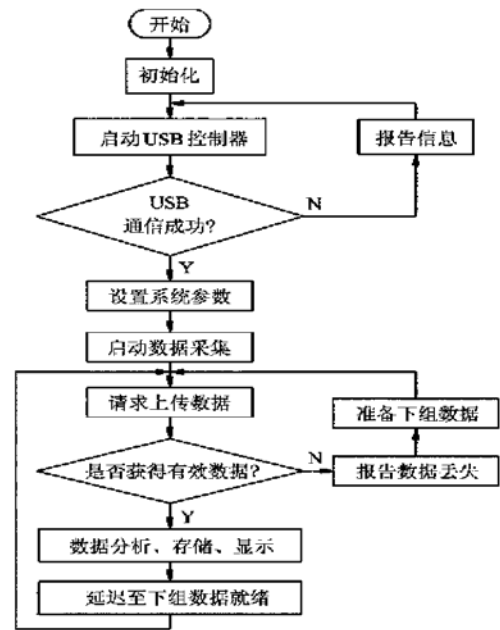


图4 软件流程图  
Fig. 4 Flowchart of the software program

个1.5K的上拉电阻。当全速设备连接上时,设备的上拉电阻使得信号线为高,这样主机就可以检测到有一个设备接入。在PDIUSB12芯片中使用SoftConnect技术,设备与主机根集线器的连接通过MCU向PDIUSB12发送连接命令来实现。这就允许MCU在PDIUSB12与主机建立连接前完成设备初始化,而且不必拔出电缆就可以断开USB设备。PDIUSB12与主机根集线器建立连接后,在主机与USB设备通信前,主机必须为该设备分配一个地址。主机需要知道设备支持哪些传输类型,有几个端点,电源要求,及安装何种驱动程序。主机通过一个被称为“枚举”的信息交换过程来完成这些工作。对一个成功的枚举而言,设备必须响应主机的每一个请求,返回请求的信息及完成请求的动作。设备把主机所需要的信息以描述符的数据形式传送给主机,包括设备描述符、配置描述符、接口描述符和端点描述符。有关各种描述符的格式及意义,可查阅USB1.1协议<sup>[8]</sup>。

USB的枚举过程分为以下几步:

- 1) 在设备初次接入时,主机从默认地址(0x00)和默认端点(端点0)读取设备描述符,以确认有设备接入。
- 2) 设备向主机发送端点描述符的前16个字节(PDIUSB12支持的端点0的缓冲区为16字节)。
- 3) 主机在确认有设备连接后,向设备分配新的地址。
- 4) 设备进行地址设置。
- 5) 主机通过新的地址向设备发出获取设备描述符请求。
- 6) 设备分两次向主机发送设备描述符。
- 7) 主机向设备发出获取配置描述符请求。
- 8) 设备向主机发送配置描述符。
- 9) 主机向设备发出获取配置描述符集合请求。
- 10) 设备分几次向主机发送描述符集合,包括配置描述符、接口描述符和端点描述符等。
- 11) 主机在获取完描述符集合后,向设备发送设置配置请求。
- 12) 设备设置配置。
- 13) 主机读取设备的配置状态和接口状态。

#### 3.2 PC机驱动程序设计

设备驱动程序的作用主要是提供操作系统与硬件设备的接口,支持用户及其应用程序要求的信息流<sup>[12]</sup>。对于该设备驱动程序的编写,采用WDM驱动程序模型,该模型主要有以下特点:①支持即插即用和电源管理。也就是说外部设备可以在系统运行时添加或删除,操作系统可以在任何时候分配设备需要的硬件资源;②提供系统总线驱动程序。设备驱动程序通过总线驱动

程序控制在 USB 总线上的设备,总线驱动程序提供了一个较高层次的接口,这个接口可以接收系统对 USB 设备的请求,驱动程序的功能设备对象不需要直接和 USB 控制器交互信息。WDM 驱动程序主要完成以下工作:初始化、创建和删除设备、处理 Win32 打开和关闭文件句柄的请求、串行化对设备的访问、访问硬件、调用其他驱动程序、取消 I/O 请求、超时 I/O 请求、处理一个可热插拔的设备加入或删除的情况和处理电源管理请求。在实际的编写过程中,使用 DriverStudio 进行开发。

### 3.3 应用程序设计

固件程序和 USB 设备驱动程序的设计是 USB 设备开发者的主要工作,对于广大用户而言,与系统的交互是通过应用程序实现的,而且整个采集系统的主要数据处理都是在这里完成的。因此,运行效率高、界面友好、具有强大数据分析和处理功能的应用程序的设计,也是系统设计上一个不容忽视的关键因素。应用程序的主要功能有:启动/关闭 USB 设备,检测 USB 设备,设置 USB 数据传输管道/端口,采集数据,显示/分析数据。采用 Visual C++ 6.0 作为程序的开发环境,把 USB 设备当成文件来操作,利用 CreateFile( ) 得到 USB 句柄,用 DeviceIOControl( ) 来进行控制传输,用 ReadFile( )、WriteFile( ) 来进行批量传输。

## 4 测试试验

2005 年 2 月 16 日 8:00 点至 20:00 点在河北农业大学温室进行了 12 h 的数据采集试验,植物材料为温室盆栽番茄,采集参数为温室的温度、湿度、光照强度和二氧化碳浓度 4 项指标。采集时间间隔为 1 min。采集数据如图 5。试验表明:在全速工作

日期	时间	温度值(℃)	湿度值(%)	光照强度(1x)	二氧化碳浓度(ppm)
2005-2-16	8:05	19.91	88.29	3792.34	543.82
2005-2-16	8:06	20.78	88.13	3809.64	575.17
2005-2-16	8:07	20.88	87.94	3811.67	574.16
2005-2-16	8:08	20.67	87.34	3807.51	576.24
2005-2-16	8:09	20.31	87.26	3808.34	579.82
2005-2-16	8:10	20.55	87.83	3805.08	577.45
2005-2-16	8:11	21.09	87.35	3815.89	572.05
2005-2-16	8:12	20.82	86.99	3810.47	574.76
2005-2-16	8:13	20.76	87.15	3809.25	575.31
2005-2-16	8:14	21.28	87.51	3810.11	574.94
2005-2-16	8:15	21.42	87.23	3822.55	568.72
2005-2-16	8:16	21.71	86.63	3828.20	565.04
2005-2-16	8:17	21.46	86.88	3828.20	568.30
2005-2-16	8:18	21.19	86.78	3816.09	571.95
2005-2-16	8:19	22.09	86.73	3805.96	562.01
2005-2-16	8:20	21.83	86.99	3809.71	564.64
2005-2-16	8:21	21.88	86.61	3820.04	568.97
2005-2-16	8:22	21.98	86.82	3822.60	563.60
2005-2-16	8:23	21.73	86.36	3828.60	565.69
2005-2-16	8:24	22.33	86.00	3840.78	559.68
2005-2-16	8:25	22.61	86.10	3846.27	556.86
2005-2-16	8:26	22.25	85.66	3839.17	568.41
2005-2-16	8:27	22.00	85.72	3805.99	562.00
2005-2-16	8:28	22.45	85.99	3843.07	558.46
2005-2-16	8:29	22.93	85.45	3852.79	559.63
2005-2-16	8:30	22.36	85.21	3841.28	559.38
2005-2-16	8:31	22.44	85.57	3842.08	558.55
2005-2-16	8:32	23.04	85.74	3854.89	552.55
2005-2-16	8:33	23.23	85.40	3858.76	550.61
2005-2-16	8:34	23.30	84.81	3861.97	549.01

图 5 采集数据存储图

Fig. 5 Collected data

状态下,实际最高数据传输速度达到 1 MB/s,满足了温室环境参数采集的需要,且工作稳定,采集到的数据与实地手工采集数据一致。

## 5 结论

采用上述方法开发出来的基于 USB 控制芯片 PDIUSB12 的温室环境信息采集系统,综合运用了传感器技术、自动检测技术、通讯技术和微型计算机技术,实现对温室的温度、湿度、光照度和二氧化碳浓度参数的采集和传输。该系统针对传统 RS-232 串口不支持热插拔、可扩展能力差、传输速率慢、可靠性不高等不足,提出了一种新型的数据采集方案。本系统具有以下特点:

1) 对温室中 4 种环境参数的测量采用了适当的敏感元件,经合理设计,可以作到稳定性好、精度适宜、二次转换和放大方便、接口简单等特点。

2) 采用 USB 作为下位机与上位机的通讯方式,实现了设备的即插即用,并可连接多达 127 个外围设备,提高了系统的扩展能力。

3) 该系统的最高传输速率可达 1 MB/s,与传统的 RS-232 串口相比,具有更高的数据传输率和可靠性,为设计低成本、易安装、高可靠性的数据采集系统提供了理想的通讯接口。

### [参 考 文 献]

- [1] 白广存. 计算机在农业生物环境测控与管理中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 2: 5- 8.
- [2] 白驹野, 雷晓平. 单片计算机及其应用[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 1997. 12: 15- 26.
- [3] 萧世文. USB 硬件设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 66- 69.
- [4] 肖路雄. USB 技术及应用设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 87- 90.
- [5] 张念淮, 江浩. USB 总线接口开发指南[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 77- 79.
- [6] Don Anderson(美). USB 系统体系[M]. 精英科技译. 北京: 中国电力出版社, 2001: 55- 60.
- [7] JanAxelson(美). USB 大全[M]. 陈逸, 等译. 北京: 中国电力出版社, 2001: 128- 138.
- [8] Universal Serial Bus Specification Revision 1. 1[S]. <http://www.usb.org>, 1998.
- [9] Philips Corporation Ltd. PDIUSB12 interface device with parallel bus[M]. 2001.
- [10] 马伟. 计算机 USB 系统原理及其主/从机设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004, 1: 33- 35.
- [11] Firmware Programming Guide for PDIUSB12. Philips Semiconductors[M]. 1998, (11).
- [12] 坎特. WindowsWDM 设备驱动程序开发指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 78- 80.

## USB interface design for greenhouse environment data acquisition system

Cheng Hao, Qian Dongping\*, Huang Junran, Zhang Kai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Universal Serial Bus(USB), as a communication interface specification, is widely applied to communication system between the personal computer and external device. The advantages of USB are of hot inserting and pulling operation, high-speed data transfer, high reliability and high expansibility. A greenhouse environment data acquisition system, which applied the MCU (Micro Control Unit) AT89C52 and the specialized USB interface chip PDIUSB12 was expatiated in this paper. The designs of hardware, driver software and application software were also introduced. The driver software accepted Windows Driver Model (WDM), which achieved the USB device hot inserting and pulling operation. The Visual C++ 6.0 was used to design application software. In that procedure the USB device was handled as files and the high speed bulk transfer of data could be realized.

**Key words:** greenhouse environment information; USB; PDIUSB12; software; hardware