

嵌入式 U SB 主机接口在温室环境监控中的应用研究

王 成, 乔晓军, 王纪华, 辛本胜

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘 要: 为了满足温室环境监控中大量信息存储的需要, 研究了基于嵌入式 U SB 主机接口的数据存储技术。该技术以 51 系列单片机为核心器件, 嵌入了主/从双工作模式 U SB 接口芯片 SL 811HS, 并根据 U SB 1.1 协议和 U 盘文件系统格式, 编制了 U SB 接口驱动程序和数据存储应用程序。把该技术集成到自主开发的温室环境监控系统中进行了应用, 实现了对目前市面上通用的 64M、128M 容量 U 盘的读写操作, 解决了海量数据的存储问题。如果对驱动程序和应用程序做适当的修改, 还可以通过 U SB 主机接口实现对 U SB 接口打印机、U SB 接口扫描仪等外设的控制。结果表明, 该数据存储方案具有成本低、通用性强、可扩展性强、可靠性高等特点, 可方便地集成到各种监控系统中, 从而满足用户的不同需要。

关键词: U SB 主机接口; 单片机; 驱动程序; U SB 读写操作; 温室

中图分类号: TP334.7; TN409

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)07-0103-04

王 成, 乔晓军, 王纪华, 等 嵌入式 U SB 主机接口在温室环境监控中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 103- 106
Wang Cheng, Qiao Xiaojun, Wang Jihua, et al. Embedded U SB host computer interface applied in the greenhouse environment monitoring and controlling system [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 103- 106 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

U SB (通用串行总线), 是近几年逐步在 PC 领域广为应用的新型接口技术, 具有通用性好、实时性强、成本低、支持即插即用、易于扩展且便于使用等特点, 各种类型的 U SB 设备产品大量涌入市场, 已被广泛地用在 PC 机及嵌入式系统上, 现在的 U SB 生产厂商很多, 几乎所有的硬件厂商都有 U SB 的产品^[1-4]。

U SB 的拓扑结构中居于核心地位的是 Host (主机), 任何一次 U SB 的数据传输都必须由主机来发起和控制, 所有的 U SB 外设 (从机) 都只能和主机建立连接, 任何两个外设之间或是两个主机之间无法直接通信。而目前, 大量的扮演主机角色的是个人电脑 PC, 因此, 目前所买到和使用的 U SB 移动设备, 大都是 U SB 的外设 (device), 比如 U 盘、U SB 的移动硬盘、U SB 接口的数码相机等等。这些设备只能通过 PC 来进行相互的数据交换, 没有了 PC, 这些设备就无法实现数据交换的功能^[5-7]。由于 U SB 自身结构的主从限制和使用目的不同, 目前的研究主要集中在 U SB 从机接口方面, 所开发的系统可以方便地接入计算机, 但无法实现对其它 U SB 外设的操作, 不能满足使用通用 U 盘、U SB 接口移动硬盘存储大量数据的要求^[9-17]。

数据采集是温室环境控制与智能生产管理系统的的重要组成部分, 科学合理的控制温室环境, 首先要对温室环境信息和植物信息进行采集, 经过分析决策后实施

控制, 为植物生长发育创造良好的条件^[8]。随着温室面积的迅速增加和栽培管理技术的发展, 对温室信息的监测指标及数据采样间隔等有了更多的需求, 尤其对于科研型温室和一些生产型温室, 需要采集大量的数据, 采集到的数据量越来越大。而传统的采用普通存储器件的温室环境监测控制系统难以满足海量数据的存储要求。

为了解决上述问题, 本文结合已有 U SB 技术, 采用 51 系列单片机 W 78E54 和 U SB 接口芯片 SL 811HS, 设计了 U SB 主机接口, 通过对 U SB 外设 U 盘的读写控制, 实现了以单片机为核心的温室环境监测控制系统的数据存储, 并集成在自主开发的温室环境监控系统中, 有效的解决了温室信息采集中海量数据的存储问题。

1 硬件设计

SL 811HS 是 CYPRESS 公司生产的支持全速数据传输的 U SB 控制芯片, 提供 28 脚 PLCC 和 48 脚 TQFP 两种封装形式。内含 U SB 主/从控制器, 支持全速 (full-speed) / 低速 (low-speed) 数据传输, 自动识别低速或全速设备。提供的接口可与微处理器、微控制器、DSPs 相连, 也可直接与 ISA、PCMCIA 及其它总线相连, 遵从 U SB 1.1 标准。SL 811HS 数据接口和微处理器接口提供 8 位数据 I/O 或双向 DMA 通道, 从机操作方式支持 DMA 数据传输。通过中断支持可以轻松与诸如 Motorola、Intel 及其它众多类型的标准微处理器或微控制器相连。SL 811HS 内部有一个 256 字节的 RAM, 可用做控制寄存器或数据缓冲区^[18]。图 1 所示是采用 51 系列微控制器 W 78E54 与 SL 811HS 连接的简图。

在硬件设计时需注意以下几个问题: 由于所选用的 51 系列单片机 W 78E54 及其周围元件的工作电压为 5 V, 而 SL 811HS 工作电压为 3.3 V, 所以系统需同时提

收稿日期: 2004-08-17 修订日期: 2005-04-14

基金项目: 国家 863 计划 (2001AA 247021); 国家 863 计划 (2003AA 209040); 北京市农业技术试验示范项目 (20012014)

作者简介: 王 成, 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事温室监控系统研究工作。北京 2449 信箱 26 分箱 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089。Email: wangc@nrcita.org.cn

供 5V 和 3.3V 电源; 虽然 SL811HS 可以使用 12MHz 晶振, 但在实际使用过程中发现, 如果晶振质量不太好, 电路稳定性就比较差, 建议使用 48MHz 的晶振; SL811HS 的中断请求输出是高电平, 需要用反向器转换成低电平来满足 W78E54 中断输入要求; SL811HS 是低电平复位; USB 插口的电源需作 500mA 限流处理以保护系统。

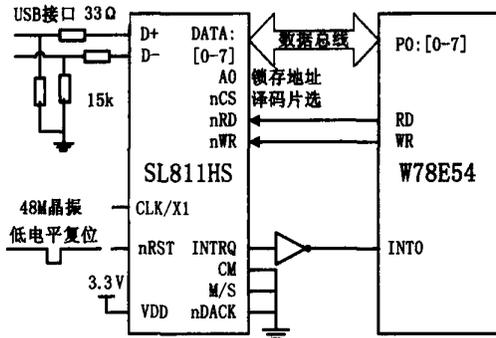


图 1 W78E54 与 SL811HS 连接简图

Fig 1 Schematic of the SL811HS connected with W78E54

2 软件设计

软件设计可分为两个部分: 根据 USB 协议, 针对 SL811HS 主机控制器芯片编写 USB 主机控制器驱动程序; 系统调用驱动程序, 根据 U 盘文件系统格式和 Bulk-only 传输命令格式来完成 U 盘数据读写的应用程序。

2.1 USB 协议和 U 盘文件系统简介

USB 总线属一种轮询方式的总线, 主机控制端口初始化所有的数据传输。在 USB 1.1 通信协议中, 控制权在主机方, 主机首先通过默认通道向 USB 外设发送复位信号, 当设备响应后主机给其分配地址, 读取其 USB 设备描述符, 然后根据设备描述符进行设备配置。完成配置后的外设与主机之间按照一定的数据格式进行通信。

U 盘文件系统大致可分为 5 部分: 主引导记录区 (MBR)、系统引导记录区 (DBR)、文件分配表区 (FAT)、文件目录表区 (FDT) 和数据区 (DATA)。其中主引导记录中包含了 U 盘的一系列参数和一段引导程序; 系统引导记录包括一个引导程序和一个被称为 BPB (BIOS Parameter Block: 基本输入输出系统参数块) 的本分区参数记录表; 文件分配表反映 U 盘上所有簇的使用情况, 它记录了文件在 U 盘中具体位置 (簇); 文件目录表是记录所有文件、子目录名、扩展名属性、建立或删除最后修改日期、文件开始簇号及文件长度的一张登记表; 数据区用于存放文件的数据内容。

2.2 驱动程序设计

USB 设备驱动程序是开发 USB 外设的关键, 由于 USB 协议的复杂性导致 USB 驱动程序内容很多, 本文只介绍笔者已经开发的基于嵌入式 USB 主机完成 U 盘数据读写功能所需的主要模块, 包括初始化模块、读

字节模块、写字节模块、读缓冲区模块、写缓冲区模块、枚举模块等。

1) 初始化模块

初始化模块用来设置 SL811HS 的主/从机工作模式、全速或低速工作方式、内部数据缓冲区结构等。

2) 读写字节模块

在本文中, 各器件地址经地址译码器译码后, SL811HS 占用地址空间为 0xA000-0xBFFF。函数中采用了“自动地址增加模式”以降低 SL811HS 读写设备时占用的系统资源。

```
# define SL811_ADDR XBYTE[0xA000]
```

```
# define SL811_DATA XBYTE[0xA001]
```

```
//USB 主机控制寄存器地址和数据基址
```

```
void wr811(unsigned char address, unsigned char value) //写字节函数
```

```
{ SL811_ADDR = address;
  SL811_DATA = value; }
```

```
unsigned char rd811(unsigned char address)
```

```
//读字节函数
```

```
{ SL811_ADDR = address;
  return SL811_DATA; }
```

3) 读写缓冲区模块

```
//addr = 缓冲区起始偏移地址
```

```
//s = 进行缓冲区读写操作时的数据指针
```

```
//c = 进行缓冲区读写操作时的数据数量
```

```
void SL811BufWrite(unsigned char addr, unsigned char *s, unsigned char c) //读缓冲区函数
```

```
{ SL811_ADDR = addr;
  while(c--){
    SL811_DATA = *s++;
  }
```

```
void SL811BufRead(unsigned char addr, unsigned char *s, unsigned char c) //写缓冲区函数
```

```
{ SL811_ADDR = addr;
  while(c--){
    *s++ = SL811_DATA;
  }
```

4) 枚举模块

当主机监测到 U 盘插入时, 主机和 U 盘之间产生一个枚举过程: 自动发出查询请求, U 盘回应这个请求, 送出设备的类型、子类型、协议、供应商 ID、产品 ID、容许的配置数等代码, 主机根据这些装载相应的设备驱动程序, 完成枚举过程。通过枚举不但为 U 盘设定设备地址, 而且得到了 U 盘端点描述表及 U 盘支持的协议, 之后就可以根据 U 盘所属的子类及协议对 U 盘进行操作。枚举过程见图 2。

2.3 应用程序设计

USB 总线包含 4 种基本数据传输类型: 控制传输、中断传输、批传输以及同步传输, 本文中用到的是控制传输和批传输。现以爱国者迷你王 U 盘为例, 介绍在该盘上建立目录及写文件的方法。



图 2 枚举过程

Fig. 2 Flow chart of enumerative process

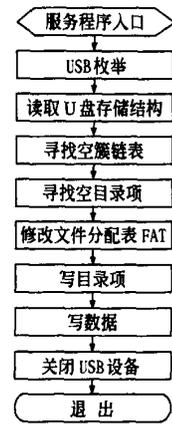


图 3 写文件流程图

Fig. 3 Flow chart of writing file

爱国者迷你王(64M), 属 Mass storage class, 支持 Bulk-only 传输, 命令集为 SCSI 传输命令集, 它有三个端点, 端点 0 为缺省控制通道, 端点 1 为 Bulk out 端点, 端点 2 为 Bulk in 端点。Bulk-Only 传输时, 命令、数据及状态都是通过 Bulk 端点传送。

Bulk-only 传输命令格式见表 1。其中 dCBW Signature 的值为 43425355(LSB), 表示当前发送的是一个 CBW; dCBW Tag 的内容在状态阶段原样发送给 HOST, 可以以此来验证命令执行的是否正确; dCBW Data Transfer Length 为数据阶段要传送的字节数; BmCBW Flags 表明数据阶段传送的方向; Reserved 保留位置零, bCBW LUN 指明该命令传送给哪个逻辑单元; BCBW CLength 为后续字符串中命令字节的长度, CBW CB 为真正要传送的命令。CBW 命令发出后, U 盘从 CBW 中解析出 CBW CB 然后执行相应的操作, 之后返回一个 CSW 命令块, 表明命令执行情况。爱国者迷你王(64M) 每次至少读取或写入 512 字节, 因此在改写某些字节时必须把整个逻辑块一次读出, 修改后再一次性写入。

表 1 Bulk-only 传输命令格式

Table 1 Format of Bulk-only transmission command

字节	位							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0- 3	dCBW Signation							
4- 7	DCBW Tag							
8- 11	DCBW Data Transfer Length							
12	BmCBW Flags							
13	Reserved (0)				BCBW LUN			
14	Reserved (0)				BCBW CLength			
15- 30	CBW CB							

W 78E54 控制 SL 811HS 读写 U 盘工作过程可以概括为: 当 SL 811HS 从 USB 总线检测 U 盘插入后, 通过中断方式将此信息通知系统, 系统通过调用枚举模块获得与此次传输有关的各种参数, 根据具体的传输参数和 U 盘文件系统格式, 遵循 USB 1.1 协议和 Bulk-only 传输命令格式, 调用数据读写模块对 SL 811HS 的控制寄存器和数据寄存器进行相应的操作, 最终完成对 U 盘的读写。写文件流程图见图 3。

2.4 实际应用

将该接口的硬件、配套的软件模块集成到自主研发的温室环境信息采集控制系统中, 在 2004 年 4 月至 7 月间, 使用爱国者迷你王 64M、128M 和三星 128M 容量的 3 种 U 盘进行数据存储试验。系统采集的参数包括空气温湿度、光照强度、光合有效辐射、CO₂ 浓度、土壤温度、土壤湿度、叶面湿度等 16 路信息, 采用系统内部时钟作为时间基准, 数据存储间隔设定为 1 min, 存储数据的文件采用纯文本格式, 每个参数占用 6 字节 ASCII 码, 每 1~2 d 使用计算机检验存储文件大小和数据的正确性。试验结果表明, 使用不同容量的 3 种 U 盘进行数据存储, 均可正确识别 U 盘格式信息和存储容量并建立子目录及文件名, 所存数据文件均可在计算机上正确读取并转换为数据库格式, 未发生数据存储错误现象; 3 种 U 盘 80 d 的数据所占存储空间均约为 11M, 依次推算, 64M 容量 U 盘可存储约 460 d 数据, 128M 容量 U 盘可存储约 920 d 数据, 完全满足实际需求。如果数据存储间隔加大, 则存储时间还会相应增加。

3 结 语

使用 USB 主机接口控制器 SL 811HS 实现对 U 盘的读写, 为温室环境监测控制系统中海量数据存储提供了一种通用、方便和可靠的解决方案。笔者已将该接口集成到自主研发的温室环境信息采集控制系统中, 并在国家农业信息化工程技术研究中心的试验温室应用。结果表明, 基于嵌入式 USB 主机具有成本低、通用性强、操作简单、实用性强、可靠性高等特点。

使用 USB 主机接口不但能实现对 U 盘的读写, 对驱动程序和应用程序作适当的修改后, 还可实现对 USB 接口打印机、USB 接口扫描仪等外设进行控制。同时由于 SL 811HS 同时具有从机工作模式, 可在此方案经简单修改后, 把本系统作为 USB 接口从设备(外设)使用, 从而满足不同应用的需要。

[参 考 文 献]

[1] 李志辉, 查建中. 嵌入式 Linux 开发平台的 USB 主机接口设计[J]. 电子产品世界, 2002, (12) (A 版): 43- 45
 [2] 邵贝贝, 马 伟. 开发“嵌入式 USB 主机”扩展移动数据存

- 储和交换的应用领域[J]. 今日电子, 2003, (2): 33- 34
- [3] 晁建刚, 魏安阳, 邱淑范. 通用串行总线(U SB)设备的驱动[J]. 电子技术应用, 2001, 27(5): 14- 16
- [4] 张 弘. U SB 接口设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003
- [5] Universal Serial Bus Specification Revision 1. 1[S]. 1998
- [6] Open Host Controller Interface Specification for U SB[S]. 1999
- [7] Enhanced Host Controller Interface Specification for U SB[S]. 2001
- [8] 孙忠富, 陈青云, 吴毅明. 计算机在现代温室中的应用现状及前景[J]. 农业工程学报, 1998, 14(增): 22- 27
- [9] 王 朔, 李 刚. U SB 接口器件 PD 11 SBD12 的接口应用设计[J]. 单片机与嵌入式系统, 2002, (4): 56- 59
- [10] 桑 波, 赵 宏, 谭玉山. 基于 U SB 的 LDT 实时数据采集系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2003, 1(3): 35- 37
- [11] 魏廷库, 刘晓胜, 王锡仲. 带 U SB 接口的电子巡更系统的设计[J]. 单片机与嵌入式系统, 2003, (9): 54- 56
- [12] 王云飞. 用 MC68HC05JB4 开发 U SB 外设[J]. 电子技术应用, 2000, (5): 9- 11
- [13] 孔凡超, 言勇华. 基于 U SB 总线的机器人上下位机通信[J]. 电子技术应用, 2003, (5): 22- 24
- [14] 周云锋, 孙书鹰, 王 宏. 基于 U SB 2. 0 的高速同步数据采集系统设计[J]. 电子技术应用, 2004, (2): 16- 18
- [15] 周 涛, 张 辉. 采用 PD 11 SBD12 的 U SB 系统固件程序设计[J]. 电子技术应用, 2003, 29(5): 70- 72
- [16] 徐发荣, 张 涛. 全速 U SB 控制芯片 SL 11 的应用[J]. 国外电子元器件, 2002, (4): 11- 13
- [17] 马 伟, 邵贝贝. On-The-Go 开辟 U SB 应用的新篇章[J]. 电子产品世界, 2002, (6) (A).
- [18] Cypress. SL 811HS Embedded U SB Host/Slave Controller Datasheet[Z]. Cypress. 2001.

Embedded USB host computer interface applied in the greenhouse environment monitoring and controlling system

Wang Cheng, Qiao Xiaojun, Wang Jihua, Xin Bensheng

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract: In this paper, the data memory technology of embedded U SB host computer interface was described, which can meet the demand that a large amount of information stores in the greenhouse environment monitoring and controlling system. This technology regarded 51 serial single chip computers as the key device embedded with U SB interface chip SL 811HS with master and slave work patterns. According to U SB 1. 1 protocol and systematical file of U SB flash disk, U SB driver and data store application program was worked out. Then the storage of large capacity information in the U SB flash disk and read/write operation of the flash disks with capacity of 64M or 128M were realized by the data memory technology integrated in the greenhouse environmental monitoring and controlling system developed independently. This technology can also be used to control the U SB printer and U SB scanner by little modification of driver and data storage application program. With characteristics such as low costs, strong universal ability, good reliability, easy to operate and high dependability, this technology can be easily integrated into different monitoring and controlling systems to meet the need of different users.

Key words: U SB host computer interface; single chip computer; driver; read/write operation of U SB flash disk; greenhouse