

# 基于 LM3S316 的微控制器仿真 USB 设备

胡晓宏

(北华大学 计算机科学技术学院, 吉林 吉林 132021)

**摘要:** 提出了基于 LM3S316 实现与 PC 机通讯的方法。给出了硬件实现及软件设计思想。该方法使用微控制器仿真 USB 设备, 降低了功耗、成本。

**关键词:** LM3S316; USB; PC 机

**中图分类号:** TP368.12

**文献标识码:** B

## Design of USB equipment based on LM3S316

HU Xiao Hong

(College of Computer Science and Technology, Beihua University, Jilin 132021, China)

**Abstract:** In this paper, we propose a method using a LM3S316 chip to achieve its communication with PC machine, and give out the hardware and software realization. This method emulates USB equipment by microcontrollers, which reduces power consumption and cost.

**Key words:** LM3S316; USB; PC

USB(Universal Serial Bus)即通用串行总线, 为计算机和外设间的数据通信提供了一个很好的解决方案, 具有传输速度快、连接灵活、使用方便等特点。作为一种高速的新型总线接口, USB 支持即插即用设备, 并能为外设提供电源且易于扩展。因此, 可广泛应用于打印机、扫描仪、大容量外部数据存储设备、数码相机和高速数据采集等多种设备中。现在市场上 USB 设备多是由专门的 USB 控制芯片来实现其应用控制, 芯片内集成了 USB 协议, 成本较高。本文提出用 LM3S316 微处理器来实现其与 PC 机通讯的方法, 以实现仿真 USB, 从而降低成本。

### 1 通用串行总线 USB 的底层结构

#### 1.1 USB 设备

USB 设备可以接在 PC 上任意的 USB 接口, 其物理接口的结构如图 1(a)所示。使用 HUB 还可以实现 USB 的扩展, 使更多的 USB 设备连接到系统中。USB 的 HUB 上有一个上行的端口(连到 Host), 有多个下行端口用来连接到其他设备。Host 和 USB 设备之间的关系如图 1(b)所示。

#### 1.2 USB 的物理信号

USB 的电缆共有 4 根线, 两边突出的为 +5 V 的电源线, 另外 2 根是数据线。如图 2 所示, VBUS 是设备供电接线, 电压 +5 V, 最大供电电流 500 mA, 向设备提供电

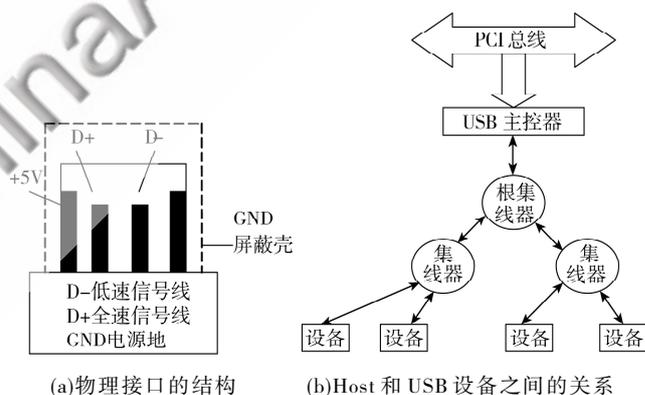


图 1 USB 物理结构及其与主机的关系

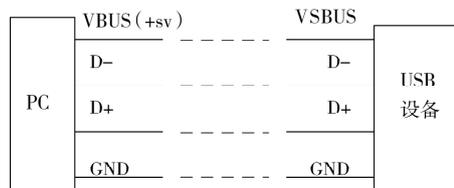


图 2 USB 物理信号

源。具有过流保护、供电控制等功能。

当 USB 设备插入接口时电源线先接通然后再接通

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60672156)

数据线，拔出时先断开数据线再断开电源线，这正是USB设备可热拔插的原因之一。USB总线可以在不使用时挂起，节约能源。

### 1.3 USB 版本

常规USB通讯协议有USB1.1、USB2.0。USB1.1版本的USB设备，支持全速12 Mb/s 低速通讯(1.5 Mb/s)；USB2.0版本的USB设备，支持高速通讯(480 Mb/s)。由于USB2.0的通讯速率太高，必须由单独芯片控制，所以芯片仿真无法实现。

### 1.4 通讯建立

串口通讯另一个标准RS232的通讯发起方可以从两端发起，而USB通讯发起方总是在主机端(HOST)，设备端总是响应主机端的通讯请求。主机端如果是PC机，每隔1ms发起一次对一个设备的通讯建立请求，设备接收到访问己方请求后，立即与主机建议起通讯连接。

### 1.5 电气特性

“D-是低速信号总线，D+是高速信号总线”的说法是不准确的，因为USB信号总线是平衡差分式的，这点类似于485总线。所谓“D-是低速信号总线”是指对于低速设备(如鼠标、键盘)时，D-这条线在USB设备端加1.5 kΩ上拉电阻。反之对于全速设备(如U盘、打印机、扫描仪)，D+信号线加1.5 kΩ上拉电阻。

### 1.6 NRZI 编码及位填充

由于USB总线没有同步时钟信号线，想要主机与设备建立良好通讯同步效果，只有从数据序列中提取同步时钟。类似RS232串口通讯，USB通讯的建立也有起始信息，RS232是一个起始位，而USB起始位有8位，称之为同步域(或段)格式为01010100。由于RS232的通讯速率较低，所以两端同步时钟不大于5%即可实现良好通讯。然而USB通讯最低速率也大于1 Mb/s，对于时钟的同步要求严格得多，况且USB的数据包中的每个字节不象RS232每个字节都有起始位(仅在包头有同步域)。鉴此，USB通讯时必须在数据包的位序列中提取同步信息。想象一下，如果数据包序列中数据位全是逻辑“1”或者全是逻辑“0”，芯片是无法提取同步信息的，为此需要一个高效的编码方案，于是就有了NRZI和位填充概念。何谓NRZI，如图3所示，NRZI是非“1”跳变。

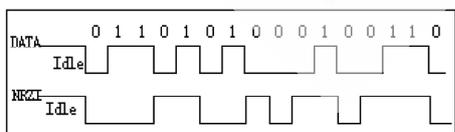


图3 NRZI 编码方式

对于NRZI编码方式会遇到一个严重的问题，即若一长串连续的“1”将会导致无电平跳变，逐渐地累积，以致引起机收起，最终丢失同步信号，使得读取的时序发生严重的错误。因此，在NRZI编码之间，还需执行所谓的位填充(bit-stuffing)工作。连续地传输6个“1”位，强制在

NRZI编码的数据流中加入跳变。这就确保接收器至少可以在每7 bit的时间间隔内检测到一次跳变，使接收器和传送的数据保持同步。图4说明了位填充的工作方式。

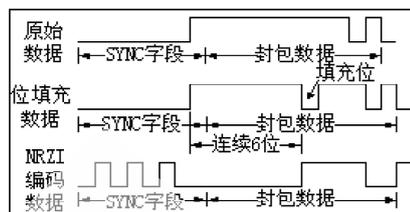


图4 位填充工作方式

### 1.7 USB 通讯模式

4种传输方式:控制(control)、同步(isochronous)、中断(interrupt)、大量(bulk)。

其中中断方式传输主要用于定时查询设备是否有中断数据要传送。设备的端点模式器的结构决定了它的查询频率，这种传输方式的典型应用在少量的、分散的、不可预测数据的传输。键盘、操纵杆和鼠标就属于这一类型。中断方式传送是单向的，并且对于host来说只有输入的方式。

### 1.8 包的概念

一个最小的USB数据块叫做包(packet)，它包括同步信号、包标识(packet ID)、CRC和传送的数据。

### 1.9 端点

端点也可称为设备终端，每个USB设备(USB芯片)内可以有1~16个端点。相对USB芯片而言，各端点在通讯中功能传输的数据包的大小和传输模式有所不同，在芯片内数据缓冲区的地址也有所变化。

## 2 LM3S316 控制器

Luminary Micro Stellaris™系列的微控制器是首款基于ARM® Cortex™-M3的控制器，它将高性能的32位计算引入到对价格敏感的嵌入式微控制器应用中。这些堪称先锋的器件拥有与8位和16位器件相同的价格，却能为用户提供32位器件的性能，而且所有器件都以小型封装形式提供。

Stellaris系列的LM3S316微控制器拥有ARM微控制器所具有的众多优点，如拥有广泛使用的开发工具、片上系统(SoC)的底层结构IP的应用，以及众多的用户群体。此外，控制器还采用了ARM可兼容Thumb®的Thumb-2指令集来降低内存需求量，进而降低成本。与早期的ARM7相比较，功耗更低、中断延时更小、代码执行速度更快、价格更低。

LM3S316微控制器具有如下特性：

- (1) 32位RISC性能；
- (2) 内部16KB单周期Flash存储器，4KB单周期SRAM；
- (3) 3个通用定时器；

- (4) 同步串行接口(SCI);
- (5) 串行 UART 接口;
- (6) 3 个独立的模拟比较器;
- (7) PWM;
- (8) 3~36 个可配置的 GPIO, 每个 GPIO 都可配置边沿或电平触发中断;
- (9) 48 脚 LQFP 封装。

### 3 实现原理

由于 LM3S316 控制器每个 GPIO 都可配置为中断引脚, 所以在这个应用中只需要用 2 个同 Port 的相邻引脚仿真 USB 的 D+ 和 D-, 如图 5 所示。

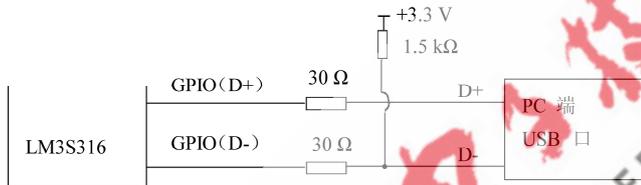


图 5 LM3S316 控制器与 PC 机通讯原理图

注意: PCB 布线两根信号线长度尽量相等且须平行布线。

### 4 软件设计

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。

每一总线执行动作最多传送 3 个数据包。按照传输前制定好的原则, 在每次传送开始时, 主机控制器发送一个描述传输运作的种类、方向、USB 设备地址和终端号的 USB 数据包, 这个数据包通常称为标志包(token packet)。USB 设备从解码后的数据包的适当位置取出属于自己的数据。数据传输方向不是从主机到设备就是从设备到主机。在传输开始时, 由标志包来标志数据的传输方向, 然后发送端开始发送包含信息的数据包或表明没有数据传送。接收端也要相应发送一个握手的数据包表明是否传送成功。发送端和接收端之间的 USB 数据传输, 在主机和设备的端口之间, 可视为一个通道。事务预处理

允许对一些数据流的通道进行控制, 从而在硬件级上防止了对缓冲区的高估或低估, 通过发送不确认握手信号从而阻塞了数据的传输速度。当不确认信号发过后, 若总线有空闲, 数据传输将再做一次。这种流控制机制允许灵活的任务安排, 可使不同性质的流通道同时正常工作, 这样多种流通常可在不同间隔进行工作, 传送不同大小的数据包。

LM3S316 芯片利用 2 个 GPIO 的中断监控 USB 总线, 当 USB 总线从空闲状态变为传输状态, 也就是总线由主机发起与同步域(SYN), LM3S316 进入 USB 接收程序。略过同步阶段, 收到的第一个字节是 PID 字段(包标识类型)。这字段的低 4 位描述此包类型方向(IN 或 OUT), 接下来 7 位表示设备的地址, 然后是 4 位端点号索引。LM3S316 根据设备地址判定主机向本设备发起的请求, 如果是则根据包的类型决定继续接收数据或向主机发送数据。对 OUT 类型数据的后 5~16 位是 CRC 校验(根据配置决定 CRC 的位数)。对 IN 类型, LM3S316 将准备好数据连同 CRC 校验数据一同发往主机。数据传输阶段完成后, 主机或设备要发回 ACK 响应, 确认传输成功。

使用 LM3S316 控制器仿真 USB 设备的方法, 极大地方便了用户的开发, 同时降低了功耗、成本。本方法在 USB 读卡器、USB 编程器、USB 接口转 RS232 等方面具有良好的应用前景。

### 参考文献

- [1] Micro 2005. LM3S316 数据手册. [http://www.zlgmcu.com/luminary/stellaris/lm3S316\\_ds\\_cn.pdf](http://www.zlgmcu.com/luminary/stellaris/lm3S316_ds_cn.pdf). 2008.
- [2] USB 技术大全(电子教程). <http://d.download.esdm.net/download/374639/deepblueseana>. 2007.
- [3] 郭佑民, 王杰, 孙启国. 基于嵌入式微处理器 S3C44B0X 的 USB 通信[J]. 微计算机信息, 2008(1-2): 21-23.
- [4] 肖踞雄. USB 系统结构与应用设计[OL]. 论文天下论文网, <http://www.lunwentuanxia.am/product.free.6096001>. 2007. 11.