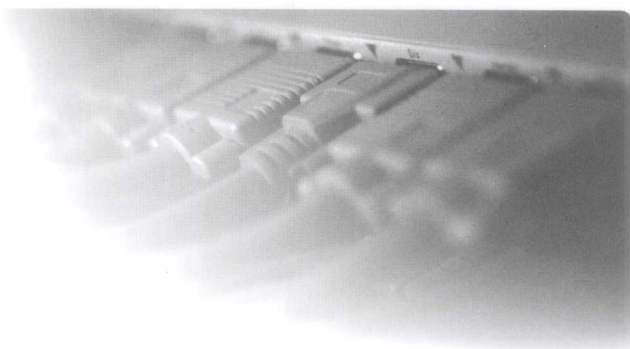
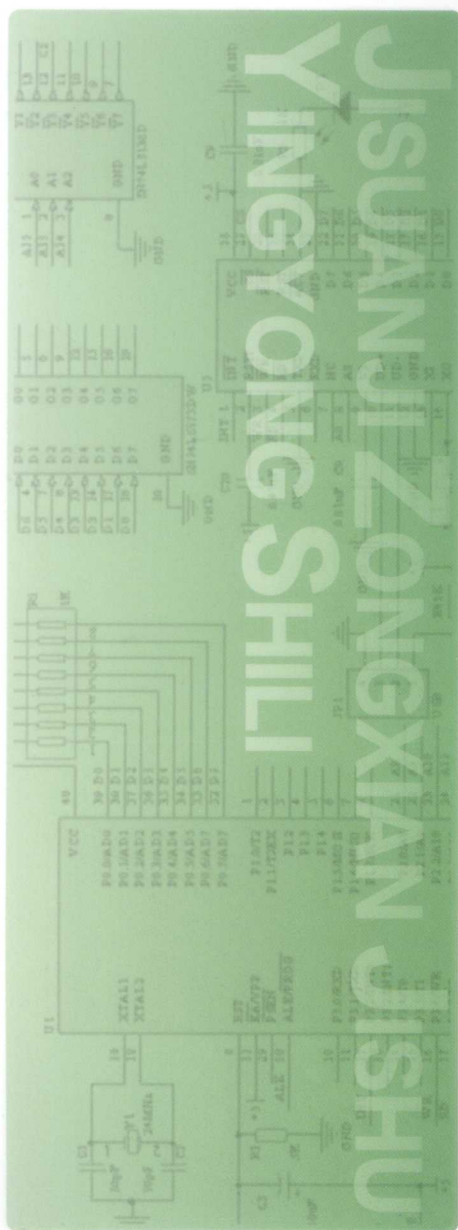
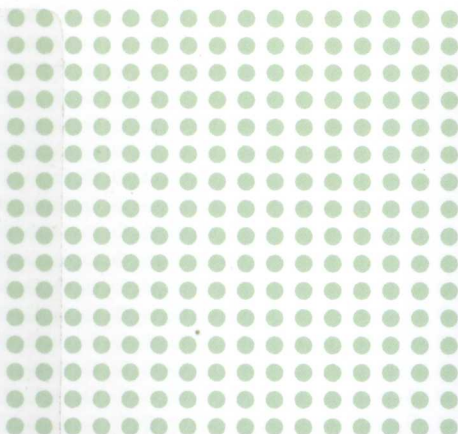


计算机 总线技术 应用实例



韩喜春 张鹏 秦杰 编著



化学工业出版社



计算机总线技术应用实例

韩喜春 张 鹏 秦 杰 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机总线技术应用实例/韩喜春, 张鹏, 秦杰编著.
北京: 化学工业出版社, 2009. 10
ISBN 978-7-122-06646-6

I. 计… II. ①韩…②张…③秦… III. 总线-技术
IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 157970 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 吴 静

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京白帆印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 618 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着计算机技术的迅猛发展,计算机已成为工业控制、数据采集、系统控制等领域不可缺少的重要工具。在每个具体应用中,外部设备都需要通过计算机总线接口同计算机进行连接,从而达到其相互之间进行数据传输的目的。目前通用计算机几乎都有四种接口,分别是 USB 接口、串口、并行打印机接口和 PCI 接口。因此对于广大工程技术人员来说,掌握这四种接口的应用是非常重要的。

本书从实践的角度详细介绍了目前计算机上常用的四种总线接口技术:USB 串行接口、串口、并行打印机接口以及 PCI 总线接口,并给出了很多实用的设计实例。在写作方法上,力求由浅入深,通俗易懂,集知识性、先进性、系统性于一体。书中除了介绍每种接口的功能以外,通过大量的设计实例,从应用的角度向读者展示各种计算机接口的软硬件解决方案,使读者在阅读完本书后,不但可以了解计算机各种接口的结构和原理,而且学会如何把外界系统与计算机连接起来。书中所有的编程实例源代码均经过实际测试,读者完全可以应用书中提供的代码来构建自己的计算机接口。

全书分为 3 篇,共 8 章内容。

第 1 篇 USB 串行接口,主要介绍 USB 串行接口的协议、工作原理和应用。结合 3 种常用的 USB 接口芯片,详细说明了 USB 接口的设计方法。限于篇幅,并未对 USB 驱动程序的编写进行介绍。

第 1 章 USB 基础,主要介绍 USB 接口的产生及特点,并对 USB 协议(包括 USB 电源管理、事务处理、数据传输类型、设备配置和设备请求等)进行了详细的分析。

第 2 章 PDIUSBD12 应用,主要介绍 USB 接口芯片 PDIUSBD12 的原理、接口技术、编程思想以及固件编程的子程序源代码。

第 3 章 USB 数据采集实例,主要介绍高性能混合信号系统级芯片 C8051F320 内部 USB 接口的使用及固件编程方法,并应用该芯片实现对电压和温度的采集。

第 4 章 USB 打印机控制实例。主要介绍 USB 接口芯片 CH375 的结构指令和接口方式,并应用该芯片实现了对 USB 接口打印机的控制。

第 2 篇计算机串口及并行打印口应用,通过设计实例,详细地介绍了串口和并行打印口的使用方法。

第5章计算机串行接口及应用，主要介绍计算机串口的特性，应用新华龙公司生产的C8051F350TBC演示板实现了单片机和计算机之间的RS232和RS485通讯。

第6章计算机并行接口及应用，主要介绍计算机并行口的特性以及使用方法，用TTL电路实现了计算机并行接口的串行输入并行输出和并行输入串行输出功能，利用计算机的并行接口进行IIC总线和SPI总线的通信。

第3篇PCI总线技术及驱动程序开发。

第7章PCI总线技术，主要介绍PCI总线的应用开发，分别采用集成芯片和FPGA实现，并简略介绍了PCI Express总线。

第8章PCI驱动程序开发，详细介绍了PCI总线的Windows驱动开发过程并给出了一个开发范例。

书中所有程序可从<http://www.hljeu.net>网站免费下载使用（点击“计算机总线应用”后，选择“目标另存”即可）。

本书由韩喜春、张鹏、秦杰编写，韩喜春负责全书的组织、整理和统稿，并编写了第5、6章。张鹏编写了第1、2、3、4章。秦杰编写了第7、8章。

如果您在学习中遇到什么困难，请及时给我们来信交流，通过这样的途径解决学习中遇到的困难会比自己一个人琢磨要快得多（E-mail地址：ymx-zp@163.com）。限于编者水平，书中的不妥之处在所难免，敬请读者不吝指正。

编著者

目 录

第 1 篇 USB 串行接口 / 1

第 1 章 USB 基础	2
1.1 USB 概述	2
1.2 USB 事务处理	7
1.3 USB 数据传输类型	15
1.4 USB 设备配置	22
1.5 USB 设备请求	27
第 2 章 PDIUSB12 应用	34
2.1 PDIUSB12 接口芯片	34
2.2 PDIUSB12 应用实例	40
第 3 章 USB 数据采集实例	71
3.1 C8051F320 简介	71
3.2 C8051F320 USB 接口	72
3.3 C8051F320 USB 固件编程	89
3.4 USB 数据采集实例	96
3.5 测试软件的使用	116
第 4 章 USB 打印机控制实例	117
4.1 CH375A 接口芯片	117
4.2 CH375A 基本指令	119
4.3 USB 存储设备类指令	122
4.4 接口方式	127
4.5 USB 打印机控制实例	128

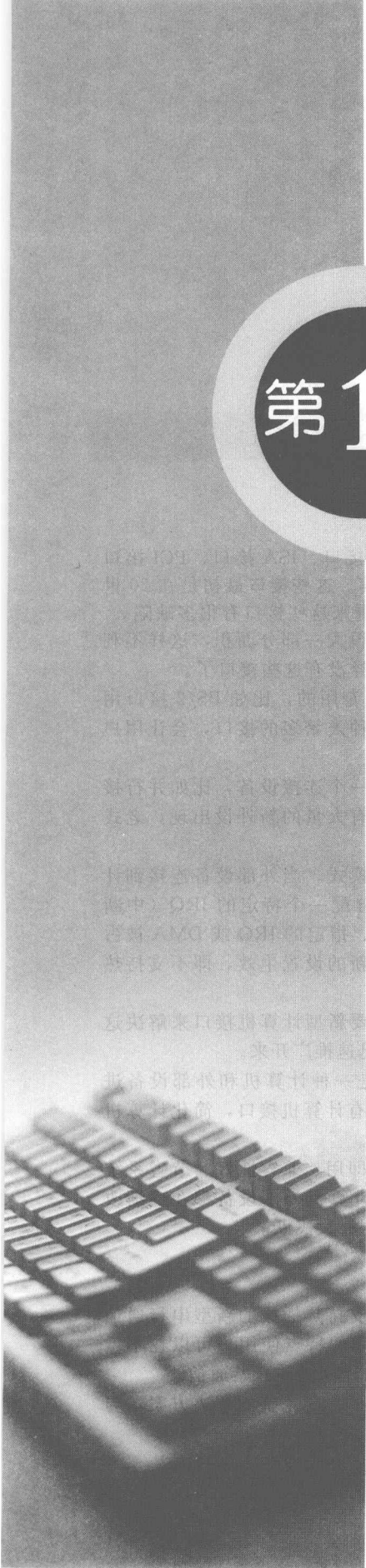
第 2 篇 PC 机串口及并行打印口应用 / 145

第 5 章 PC 机串行接口及应用	146
5.1 PC 机串行接口概述	146
5.2 PC 机串行接口的输入输出应用	147
5.3 PC 机与单片机的 RS232 串行通信	149
5.4 PC 机与单片机的 RS485 串行通信	154
第 6 章 PC 机并行接口及其应用	162
6.1 PC 机并行接口概述	162
6.2 PC 机并行接口的输入输出应用	166
6.3 PC 机并行接口在测量和控制中的应用	169

6.4 PC 机并行接口在 IIC 总线通信中的应用	172
6.5 PC 机并行接口在 SPI 总线通信中的应用	184

第3篇 PCI 总线技术及驱动程序开发 / 195

第7章 PCI 总线技术	196
7.1 PCI 简介	196
7.2 PCI9052	209
7.3 CH365 的应用技术	215
7.4 用 FPGA 实现 PCI 总线	232
7.5 PCI-Express 总线介绍	258
第8章 PCI 驱动程序开发	266
8.1 WDM 驱动程序开发环境的建立	266
8.2 建立一个 PCI 处理的基本程序框架	266
8.3 PCI 资源配置的获取	271
8.4 中断处理	300
8.5 中断服务例程范例	303
8.6 驱动开发的要点	315
参考文献	320



第1篇

USB串行接口

第1章

USB基础

1.1 USB 概述

1.1.1 USB 总线的产生

以前的外部设备是通过 RS232、RS485、并行接口、ISA 接口、PCI 接口和 PS/2 接口等老式专用接口来实现与计算机的通信。这些接口最初是在 20 世纪 80 年代由美国的 IBM 公司设计并推广的,现在看来这些接口有很多缺陷。

(1) 接口体积庞大 它们占据了机箱和主板的很大一部分面积,这样不利于计算机的小型化。现在的便携式计算机基本上已经没有这些接口了。

(2) 接口规范不统一 这些老式接口大部分是专用的,比如 PS/2 接口用来接鼠标和键盘,并行接口用来接打印机等。这些种类繁多的接口,会让用户使用很不方便。

(3) 非共享式接口 这些老式接口一般只支持一个连接设备,比如并行接口只能连接一台打印机,而不能连接多台。目前,有大量的新外设出现,老式接口无法扩展,因此系统资源非常紧张。

(4) 不支持热插拔 老式接口采用传统的 I/O 模式。当外部设备连接到计算机时,外设被映射为 CPU 的 I/O 地址空间,并分配一个特定的 IRQ(中断请求)或 DMA 通道。这种模式存在 I/O 地址冲突、指定的 IRQ 或 DMA 被占用等问题。这时,往往需要重新启动计算机,来使新的设置生效,即不支持热插拔,这使得设备的连接十分麻烦。

随着技术的发展和工作的需要,越来越需要新型计算机接口来解决这些问题。USB 的出现正好满足了这些要求,使得其迅速推广开来。

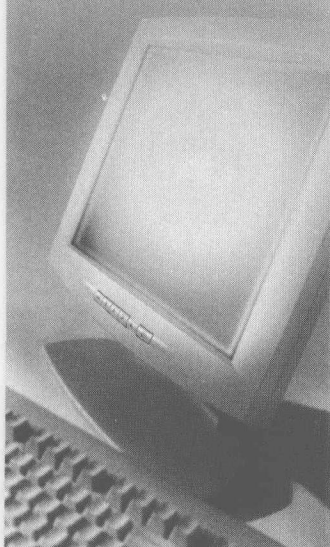
USB(Universal Serial Bus,通用串行总线)是一种计算机和外部设备进行通信连接的新型接口。USB 出现的目的是取代现有计算机接口,简化计算机与外部设备的连接过程,使计算机的扩展更加方便。

目前,USB 以接口体积小、支持热插拔、即插即用、兼容性好、节省系统资源和成本低等优点,得到广泛应用。目前,各种计算机外部设备都在逐渐改为 USB 接口,USB 技术的出现是计算机接口技术的一大飞跃。

1.1.2 USB 总线特点

USB 是一种高效、快速、价格低廉、体积小和支持热插拔的新型串行通信接口。其支持多个外部设备的连接和通信,即插即用的特点使用户可以在不重新启动计算机的情况下直接将 USB 外部设备连接到计算机并开始通信。

USB 规范对计算机和外部设备之间的通信提供了一套完整的解决方案,与老式的计算机接口相比,USB 总线具有以下优点。



(1) 接口小巧 和老式的计算机接口相比，USB 接口有明显的体积优势，顺应了计算机和外部设备小型化的发展趋势。

(2) 共享接口 USB 接口采用了“菊花链”式的连接方式，支持多个外设的连接。通过 USB 集线器，一个 USB 主控制器可以连接 126 个外设，大大拓展了计算机的外部功能。

(3) 支持即插即用和热插拔 当 USB 设备连接到计算机的时候，系统会自动监测这个设备并加载相应的驱动程序。这样，USB 实现了自动配置，用户无需任何手动配置，连接设备不需要重新启动计算机；用户也可以随时断开 USB 设备与计算机的连接，而不会损害计算机和外部设备。

(4) 节省系统资源 在计算机中，系统为 USB 控制器分配一根 IRQ 线和一个 I/O 地址，USB 再为外部设备分配唯一地址。

(5) 支持多种操作 目前 USB 支持 3 种传输速率：低速 1.5Mbit/s、全速 12Mbit/s 和高速 480Mbit/s。同时，USB 还支持 4 种类型的传输模式：块传输、中断传输、同步传输和控制传输。这可以满足不同的外设需要。

(6) 成本低 目前，市场上 USB 的主控和从控芯片的价格都已十分低廉，其他组件，如 USB 电缆等也很便宜，加上 USB 的高性能，使其成为性价比很高的计算机接口。

(7) 可以提供电源 计算机上的 USB 接口可以向外提供一定功率的电源，其输出电流的最小值为 100mA，最大为 500mA，输出电压为 5V，适合很多单片机系统。并且 USB 协议中规定了完备的电源管理方式，如果外部设备耗电不大，可以考虑使用 USB 接口直接供电。

(8) 良好的兼容性 USB 规范发展至今已有 USB1.0、USB1.1、USB2.0、无线 USB 和 USB OTG 等多个版本协议，这些协议都有良好的向下兼容性。

目前使用较多的计算机接口主要性能的比较见表 1.1。

表 1.1 常用计算机接口比较

接口类型	数据格式	传输速率	最大设备数	电缆长度	是否支持热插拔
并行口	并行	8Mbit/s	2 个或 8 个	小于 10m	否
RS232	串行	20kbit/s	2	小于 30m	否
RS485	串行	10Mbit/s	32	小于 1200m	否
ISA	并行	128Mbit/s			否
EISA	并行	266Mbit/s			否
PCI	并行	1056Mbit/s、2112Mbit/s			否
AGP	并行	高于 2112Mbit/s			否
以太网	串行	10Mbit/s、100Mbit/s、1Gbit/s	1024	500m	否
USB	串行	1.5Mbit/s、12Mbit/s、480Mbit/s	126	无要求	是
IEEE 1394	串行	400Mbit/s、3.2Gbit/s	63	4.5m	是

其中，USB1.1 和 USB2.0 协议对电缆长度没有要求，只是 USB1.0 要求低速设备的电缆长度小于 3m，全速设备的电缆长度小于 5m。

1.1.3 USB 总线结构

USB 设备的种类十分丰富，如 MP3、MP4、U 盘、移动硬盘、USB 鼠标等。从用户角度看，简单的 USB 系统由 USB 设备、计算机（USB 主机）和 USB 电缆组成，如图 1.1 所示。

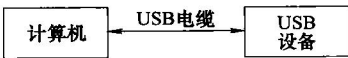


图 1.1 USB 设备的连接

在 USB 连接系统中，外部设备称为 USB 设备，USB 设备所连接的计算机称为 USB 主机。在 USB 数据传输过程中，指向 USB 主机的数据传输称为上行通信，指向 USB 设备的数据传输称为下行通信。下面详细介绍 USB 系统的各个组成部分。

1.1.3.1 USB 主机

USB 主机指包括主控制器并且能够控制完成主机和 USB 设备之间数据传输的设备。广义上来说，USB 主机包括计算机和具有 USB 主控芯片的设备。

USB 系统的数据和命令的传输都是由 USB 主机来启动的，所以 USB 主机在整个数据传输过程中占据着主导地位。USB 协议规定，在同一时刻 USB 系统中只允许存在一个 USB 主机，否则会引起控制和数据传输的混乱。

1.1.3.2 USB 设备

USB 设备按照功能可分为两类：USB 集线器和 USB 功能设备。其中，USB 集线器主要用于为 USB 系统提供额外连接点，它使一个 USB 端口可以扩展连接多个设备。USB 功能设备用于一些特定功能的设备，例如 MP3、USB 键盘和移动硬盘等。

(1) USB 集线器 USB 集线器 (USB HUB) 是 USB 系统中的重要组件，主要用于扩展 USB 主机的 USB 端口。USB 设备可以通过 USB 集线器的下行端口与 USB 主机连接。USB 集线器的示意图如图 1.2 所示，USB 集线器在 USB 系统中的连接如图 1.3 所示。

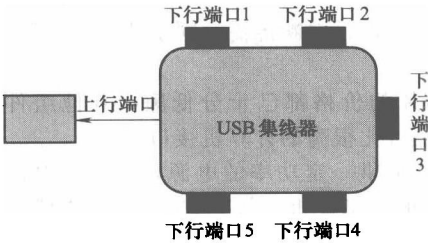


图 1.2 USB 集线器示意图

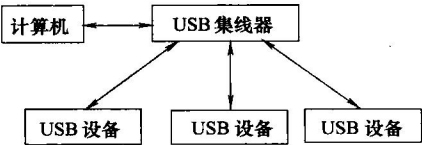


图 1.3 USB 集线器的连接

USB 协议中规定 USB 集线器可以连接 5 个 USB 设备。USB 集线器简化了 USB 的连接，扩展了 USB 接口数目，具有很好的稳定性，并且价格便宜。

(2) USB 功能设备 USB 功能设备通常是一个独立的外部设备，具有特定的功能。USB 功能设备用于扩展 USB 主机的功能，如计算机的 USB 键盘等；也可以用来进行数据传输，如 MP3 和 USB 数据采集系统等。

每个 USB 功能设备内部都包含有描述其功能和资源要求的配置信息，如 USB 带宽、接口种类等。USB 主机必须在使用前对其进行配置。

1.1.3.3 USB 的连接

USB 设备和 USB 主机、USB 主机和 USB 集线器以及 USB 设备和 USB 集线器之间需要通过 USB 电缆进行连接。USB 协议中规定，USB 高速传输 (480Mbit/s) 和全速 (12Mbit/s) 传输需要使用外壳屏蔽、数据线双绞的 USB 电缆；而低速 USB 电缆 (1.5 Mbit/s) 不需要使用外壳屏蔽、数据线双绞的 USB 电缆。

USB 连接器有 A 型和 B 型两种。USB 连接器的插座和插头互相匹配。一般来说，A 型插座总是作为 USB 主机或 USB 集线器的下行端口，所以 A 型插头总是指向上行的 USB 主机；B 型插座总是作为 USB 设备或 USB 集线器的上行端口，所以 B 型插头总是指向下行 USB 设备或集线器。

USB 接头共有 4 根引线：Vbus、GND、D₊、D₋。其中，Vbus 向外提供 +5V 电源，GND 是地线，D₊ 和 D₋ 是差分数据线对。USB 连接器同样有 4 个引脚，分别对应 USB 电缆的 4 根导线。一般来说，红色的线表示 Vbus，白色的线表示 D₋，绿色的线表示 D₊，黑色的线表示 GND。

USB 协议对 USB 低速电缆和高速/全速电缆做了不同的规定，见表 1.2。

表 1.2 USB 低速电缆和高速/全速电缆的对比

要 求	低 速 电 缆	高 速 / 全 速 电 缆
电缆是否需要屏蔽	否	是
是否需要双绞数据线	否	是
是否可作为分离电缆	否	是
是否可作为束缚电缆	是	是
差分特征阻抗		90Ω

1.1.3.4 USB 系统的分层结构

USB 总线接口协议十分完善,可以实现对各种设备类型的支持,如此强大的功能,需要系统的总线结构支持。USB 设备和主机应用程序之间通过特定 USB 端点进行通信,整个 USB 系统可以分为功能层、USB 设备层和 USB 总线接口层。

(1) 功能层 USB 系统的功能层主要负责数据传输操作,由 USB 设备的功能单元和对应的 USB 主机程序组成。特定的 USB 主机程序段用于和特定的 USB 设备功能单元进行通信。按照双方通信的类型,数据传输可分为如下 4 种。

- 控制传输:主要用于传输少量对时间和速率都没有要求的数据,一般用于 USB 主机读取或设置 USB 设备的配置信息。
- 中断传输:主要用于传输少量对传输时间有周期性要求的数据,在鼠标和键盘等 HID 人机接口设备中经常使用。
- 块传输:主要用于传输大量对时间和速率没有严格要求的数据。
- 同步传输:主要用于传输大量的,传输时间具有周期性且速率恒定的数据。

(2) USB 设备层 USB 设备层主要用于管理 USB 设备、分配 USB 地址、读取设备描述符。在这一层中,可以使 USB 主机获得该 USB 设备的能力。这部分功能一方面需要 USB 主机自动完成,另一方面也需要用户编写相应的固件程序进行支持。

(3) USB 总线接口层 USB 总线接口层主要用于实现 USB 主机和 USB 设备之间的设备传输。在 USB 协议中,USB 总线接口使用 NRZI 编码(反向非归零编码)传输数据,USB 主控制器和 USB 集线器将数据接收或发送,并自动进行解码或编码,这部分一般是由 USB 系统硬件自动完成。

1.1.4 USB 的电源管理

USB 总线接口具有向外提供电源的能力,在一定程度上可以满足 USB 设备的电源需求。USB 接口的鼠标和键盘以及 U 盘和移动硬盘等,都可以使用 USB 接口来供电,这样可以简化 USB 设备的功率需求。

1.1.4.1 USB 的供电

USB 接口可以向外提供电源,并且是 5V 的电压,非常适合 TTL 信号系统,特别是单片机系统。可以使用这个电源为 USB 设备供电,这样减少了电源设计,简化了 USB 系统结构。

(1) USB 接口的电源指标 在 USB 总线系统中,USB 主机和 USB 集线器可以通过 Vbus 和 GND 两根电源线向外提供电源,电源电压一般为 4.75~5.25V。USB 协议规定,每个 USB 端口的最大数据电流为 500mA。

在实际使用中,USB 主机和 USB 集线器的端口可以分为高输出功率端口和低输出功率端口,其区别在于最大输出电流不同。

- 高输出功率 USB 端口,最大的输出电流为 500mA。
- 低输出功率 USB 端口,最大的输出电流为 100mA。

大部分计算机的 USB 接口都是高输出功率 USB 接口,低输出功率 USB 接口比较少见,这里主要介绍高输出功率 USB 接口。

如果 USB 设备需要使用 USB 总线电源,则需要保证整个系统的功率消耗在 USB 协议规定的范围内。对于功率消耗比较大的 USB 设备,可以采用自供电的方式。

(2) 电源分配 USB 设备可以按照电源的消耗分为高功率消耗设备和低功率消耗设备。

- 高功率消耗设备,需要 100~500mA 的电流。
- 低功率消耗设备,需要 0~100mA 的电流。

典型的 USB 设备包括 USB 集线器和 USB 功能设备两种。下面分别介绍 USB 集线器和 USB 功能设备的电源分配。

① USB 集线器 USB 集线器可以采用总线供电,也可以采用自供电的方式,这两种方式对

USB 集线器下行端口的电流有不同的影响。

- 总线供电的 USB 集线器 由于 USB 集线器输出的最大电流为 500mA，USB 集线器电路本身有一定的消耗，因此可以向外提供的电流为 400mA 左右。如果需要将下行端口配置为低输出功率 USB 端口，最多可扩展 4 个 USB 下行端口。
- 自供电的 USB 集线器 如果采用自供电方式，则电源可以提供更大的功率，完全可以满足每个 USB 下行端口配置为高输出功率端口的要求，即自供电的 USB 集线器的下行端口可以输出 500mA 的电流，且对下行端口数量没有限制。

在使用 USB 集线器的时候，一定要注意 USB 集线器的供电方式及其下行端口的输出功率，这关系到下行 USB 设备是否能够正常工作。例如，如果将一个高功率消耗的 USB 总线供电设备连接到总线供电的 USB 集线器上，则可能造成该 USB 设备无法得到足够的电流，无法正常工作。

② USB 功能设备 USB 功能设备可以采用总线供电，也可以采用自供电的方式，这两种方式依赖于 USB 设备的功率消耗以及上行 USB 端口的输出功率。

- 总线供电的 USB 功能设备 USB 功能设备可以从 USB 总线上获得 0~500mA 的电流。但是，如果上行的 USB 集线器端口只能提供 100mA 的电流，USB 功能设备也就只能最大获得 100mA 的电流。因此，总线供电的 USB 的功能设备可以放心地使用 USB 总线供电。
- 自供电的 USB 功能设备 如果 USB 功能设备的功率消耗比较大，需要大于 500mA 的电流时，必须使用外部的电流进行供电。如果 USB 功能设备的电流消耗大于 100mA 而小于 500mA，为了保证该 USB 设备在任何上行 USB 端口下都可以正常使用，应该使用外部电源自供电。

对于 USB 功能设备，可以在其配置描述符中规定其电流需求。在 USB 功能设备上电的时候，首先作为低功率消耗设备来进行上电配置，配置完毕后，便可以按照配置描述符中规定的电流值，从 USB 总线获得相应的电流。

1.1.4.2 USB 电源管理

USB 系统中包含一个完善的电源管理子系统，该系统可以管理 USB 设备的挂起、恢复等，实现系统电源的有效使用和合理配给。

(1) 供电保持 供电保持是采用一种软件控制的方式，将 USB 设备进入挂起状态，从而实现 USB 设备的省电模式。在挂起状态的省电模式下 USB 设备的电流消耗最低。

在 USB 协议中，支持选择挂起和全部挂起两种方式。

- 选择挂起 适用于单个 USB 设备，用于将某个 USB 设备挂起，进入省电模式。
- 全部挂起 适用于 USB 集线器，可以将 USB 集线器上的所有 USB 设备挂起，实现最小 USB 系统功率消耗。

选择挂起和全部挂起分别适用于 USB 功能设备和 USB 集线器，下面分别介绍 USB 功能设备和 USB 集线器对挂起的响应。

(2) USB 设备的挂起 如果该 USB 设备在 3ms 内没有总线活动，该设备将进入挂起状态。在挂起状态下，USB 设备必须能够保持挂起前的状态。此时，USB 设备需要不超过 500 μ A 的电流来维持当前 USB 状态，包括寄存器信息、变量信息等。

USB 功能设备支持远程唤醒功能，可以通过外部触发信号使 USB 功能设备脱离挂起状态，恢复正常运行。

(3) USB 集线器的挂起 如果 USB 集线器在 3ms 内没有总线活动，该 USB 集线器设备将进入挂起状态。此时，连同其下行端口的 USB 功能设备将一同进入挂起状态，因此称为全部挂起。

全部挂起需要同时将 USB 集线器和 USB 功能设备置于挂起状态，其操作比较复杂，具有实现步骤如下：

- ① 使 USB 集线器内部中继器进入等待开始状态；
- ② 将所有连接的 USB 设备置于闲置状态；
- ③ 保存本地变量、寄存器值以及控制位和状态位的当前值；

- ④ 保存当前各个下行端口状态；
- ⑤ 停止 USB 集线器内部时钟。

USB 集线器进入挂起状态后，将获得大于 $500\mu\text{A}$ 的电流，这样可以为每个下行端口分配 $500\mu\text{A}$ 的供电保存电流。

当 USB 集线器有总线操作，或者任何一个 USB 功能设备被远程唤醒时，USB 集线器将脱离挂起状态，恢复正常运行。

1.1.5 USB 的开发类型和流程

根据 USB 系统的组成，USB 系统的开发可以分为 3 类：USB 主控制器的开发、USB 集线器的开发和 USB 功能设备的开发。USB 功能设备的开发最为广泛，这里仅介绍 USB 功能设备的开发。

USB 功能设备的开发流程如图 1.4 所示，整个开发过程分为如下 5 步。

- 分析 USB 设备的功能 首先要对所设计的产品功能进行全面了解，比如数据传输速率、传输类型、所需硬件等等。
- 选择 USB 接口芯片。
- USB 开发 选型结束后，便可以进行 USB 设备的软硬件开发。这里软件开发最为复杂，涉及 USB 芯片的固件程序、USB 主机的驱动程序和主机的用户界面操作程序等。这些软件的调试不是独立的而是相互联系的，有时在修改一个程序时，需要对其他几个程序进行相应的修改。
- 软硬件综合调试 USB 设备是一个软硬件的结合体，最后需要对整个软件系统进行综合调试，以确保功能的完整和完善。
- 完成 USB 设备设计 USB 设备完成设计，进行产品发布。

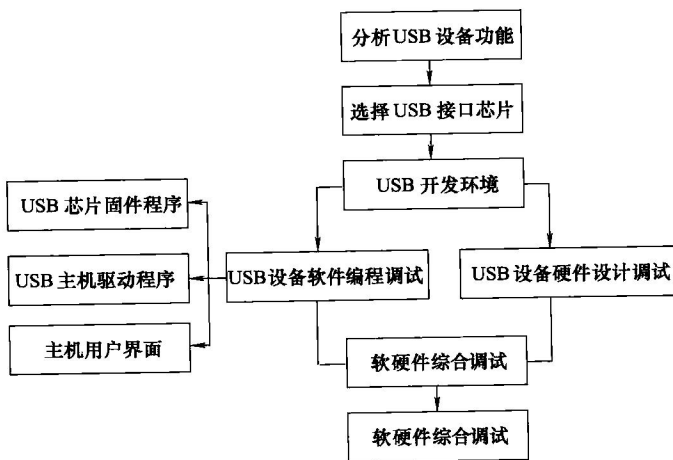


图 1.4 USB 设备开发流程

1.2 USB 事务处理

1.2.1 USB 事务概述

USB 事务处理是 USB 主机和设备数据通信的基础。一个完整的 USB 事务处理包含 3 个阶段，如图 1.5 所示，各个阶段功能如下。

- 令牌阶段 定义了本次传输的类型，用于表征事务处理的开始。令牌阶段由同步字段、令牌包和 EOP 组成，这是所有的 USB 事务处理必须包含的阶段。

- 数据阶段 包含了本次传输的数据。其数据大小取决于端点和传输类型，最大的数据量为 1024 字节。数据阶段由同步字段、数据包和 EOP 组成。
 - 握手阶段 数据的接收方向发送方报告本次数据传输的成功与否。握手阶段由同步字段、握手包和 EOP 构成。
- 不同的传输类型可能包含的事务处理阶段不同。

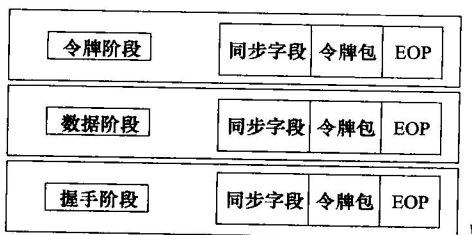


图 1.5 典型的 USB 事务处理过程

USB 数据传输中包括令牌包、数据包和握手包 3 种信息包。

1.2.2 USB 字段的格式

在 USB 协议中，USB 数据传输由一系列字段构成，这些不同的功能字段，按照特定的格式组合便构成不同的信息包。USB 总线通信以信息包为基本传输单元进行 USB 事务处理。这些字段主要包括如下几种。

- 同步字段 (SYNC) 用于数据通信的同步。
- 包标识字段 (PID) 指明信息包类型，可以用于差错控制。PID 类型见表 1.3。
- 地址字段 (ADDR) 指明 USB 总线上的一个 USB 设备。
- 端点字段 (ENDP) 指明 USB 的端点。
- 帧号字段 指明当前帧号。
- 数据字段 包含传输的数据。
- CRC 字段 循环冗余校验。

1.2.2.1 同步字段

USB 主机和设备之间通过 USB 总线进行通信。USB 总线是两线的串行信号线，因此，通信的双方没有共同的时钟，这样很容易造成数据错位，导致数据不同步。为此，在 USB 协议中，使用同步字段进行所有信息包的同步。

(1) 低速/全速同步字段 对于低速/全速的数据传输，同步字段长度为 8 位，数据为 10000000B。在数据总线上首先发送低位，然后发送高位。USB 总线数据采用 NRZI 编码，这样可以为发送方和接收方提供一个同步时钟，实现数据同步。

(2) 高速同步字段 高速数据传输的同步字段和低速/全速类似，但高速同步字段的长度为 32 位，数据为 80000000H，按照二进制位发送，低位在前。

1.2.2.2 包标识字段

包标识字段的定义格式如图 1.6 所示。包标识字段的长度为 8 位，由低 4 位的类型字段和高 4 位的校验字段组成。这里，只有类型字段真正包含了该信息包的类型和格式信息，校验字段是类型字段的补码，接收方可以根据类型字段和校验字段共同确定数据传输的正确性。

(LSB)				(MSB)			
PID0	PID1	PID2	PID3	/PID0	/PID1	/PID2	/PID3

图 1.6 包标识字段定义格式

表 1.3 PID 类型

PID 类型	PID 名称	PID3~0	说 明
令牌	OUT	0001B	数据从主机发送到设备
	IN	1001B	数据从设备发送到主机
	SOF	0101B	一个帧或小帧的开始信息
	SETUP	1101B	主机通过控制管道向 USB 设备发送配置信息
数据	DATA0	0011B	偶数据包
	DATA1	1011B	奇数据包
	DATA2	0111B	高速同步事务的专用数据包
	MDATA	1111B	SPLIT 事务的专用数据包

续表

PID 类型	PID 名称	PID3~0	说 明
握手	ACK	0010B	接收方已经正确接收到数据
	NAK	1010B	接收设备不能接收数据或者发送方不能发送数据
	STALL	1110B	端点被停止或者不支持控制管道的请求
	NYET	0110B	接收方没有响应
特殊	PRE	1100B	令牌信息,表示 USB 主机发送的先导包,用于低速数据传输
	ERR	1100B	握手信息,表示 SPILT 传输错误
	SPILT	1000B	令牌信息,高速 SPLIT 传输的令牌
	PING	0100B	令牌信息,批量和控制端点传输的高速流控制探测
	Reserved	0000B	保留

注:表中的 PID 位是高位在前,当向 USB 总线发送时,是低位 (PID0) 在前。PID 被分为 4 种,分别是令牌包、数据包、握手包和特殊包,信息包类型通过 PID1 和 PID0 来进行区分。

1.2.2.3 地址字段

地址字段的格式如图 1.7 所示。其长度为 7 位,共 128 个地址值。地址 0 为缺省地址,不能分配给 USB 设备,因此只有 127 个可分配地址值。

在 USB 设备上电的时候,USB 主机首先通过缺省地址 0 和 USB 设备进行通信,当 USB 上电配置完成后,USB 主机便重新为该 USB 设备分配一个 USB 地址。

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ADDR6	ADDR5	ADDR4	ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0

图 1.7 地址字段定义格式

1.2.2.4 端点字段

端点字段的定义格式如图 1.8 所示。端点字段的长度为 4 位,共可以表示 16 个端点。但是对于低速 USB 设备来说,USB 协议中只规定了 3 个端点;对于高速/全速 USB 设备,则可以包含全部 16 个端点。

在这些端点中,端点 0 是所有 USB 设备必需的。端点 0 主要用于 USB 设备上电的初期和 USB 主机进行通信,从而完成 USB 设备的配置。

D3	D2	D1	D0
ENDP3	ENDP2	ENDP1	ENDP0

图 1.8 端点字段定义格式

1.2.2.5 帧号字段

帧号字段的定义格式如图 1.9 所示。帧号字段的长度为 11 位,最大值为 07FFH,帧号字段里面的内容表征了当前帧或小帧的帧号。一般来说,在每个帧或小帧发送时,帧号字段的内容字段加 1。

D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

图 1.9 帧号字段定义格式

1.2.2.6 数据字段

数据字段的定义格式如图 1.10 所示。数据字段的最大长度为 1024 个字节。在数据传输的时候,首先传输低字节,然后传输高字节。对于每一个字节,先传输字节的低位,再传输字节的高位。实际的数据字段长度由传输类型和程序的需要决定。

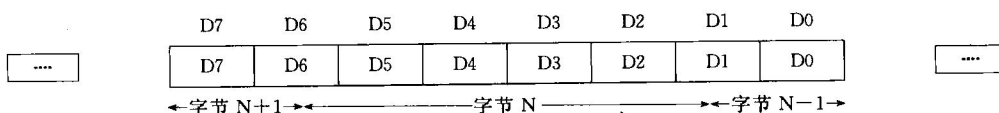


图 1.10 数据字段格式

1.2.2.7 CRC 字段

CRC 字段，即循环冗余校验字段。在 USB 协议中，CRC 一般在发送方的位填充操作之前进行，这样可以检验信息包的错误，保证传输的可靠性。CRC 字段主要在如下两种情况使用。

- 令牌包 在令牌包中一般采用 5 位 CRC 检验。
- 数据包 在数据包中一般采用 16 位 CRC 校验。

1.2.3 令牌包

在 USB 协议中，使用了 7 种令牌包，按照其定义的格式，分为如下几种。

- IN、OUT、SETUP 和 PING 令牌包，这些令牌包格式大致相同。
- SOF 令牌包。
- SPLIT 令牌包。
- PRE 令牌包。

一般说来，这些令牌包都是由 USB 主机发送的，下面分别介绍各个令牌包的定义格式。

1.2.3.1 IN 令牌包

IN 令牌包的格式定义如图 1.11 所示，图中包含 8 位的包标识字段 PID、7 位的地址字段 ADDR、4 位的端点字段 ENDP 和 5 位的 CRC 校验。

在 IN 令牌包中，各个字段的用途如下。

- PID 字段 定义数据传输方向为 USB 设备到 USB 主机。
- ADDR 字段 指明 USB 设备地址。
- ENDP 字段 指明发送数据的端点号。
- CRC 字段 用于对 ADDR 字段和 ENDP 字段进行循环冗余校验。

1.2.3.2 OUT 令牌包

OUT 令牌包的格式定义如图 1.12 所示，图中包含 8 位的包标识字段 PID、7 位的地址字段 ADDR、4 位的端点字段 ENDP 和 5 位的 CRC 校验。

在 OUT 令牌包中，各个字段的用途如下。

- PID 字段 定义数据传输方向为 USB 主机到 USB 设备。
- ADDR 字段 指明 USB 设备地址。

IN 令牌包字段	PID	ADDR	ENDP	CRC
位数	8	7	4	5

图 1.11 IN 令牌包的格式定义

OUT 令牌包字段	PID	ADDR	ENDP	CRC
位数	8	7	4	5

图 1.12 OUT 令牌包的格式定义

- ENDP 字段 指明接收数据的端点号。
- CRC 字段 用于对 ADDR 字段和 ENDP 字段进行循环冗余校验。

1.2.3.3 SETUP 令牌包

SETUP 令牌包的格式定义如图 1.13 所示，图中包含 8 位的包标识字段 PID、7 位的地址字段 ADDR、4 位的端点字段 ENDP 和 5 位的 CRC 校验。

在 SETUP 令牌包中，各个字段的用途如下。

- PID 字段 定义数据传输方向为 USB 主机到 USB 设备。
- ADDR 字段 指明 USB 设备地址。
- ENDP 字段 指明接收数据的端点号。
- CRC 字段 用于对 ADDR 字段和 ENDP 字段进行循环冗余校验。

1.2.4 数据包

数据包的定义格式如图 1.14 所示，图中包括 8 位的包标识字段 PID、数据字段和 16 位的 CRC 校验。