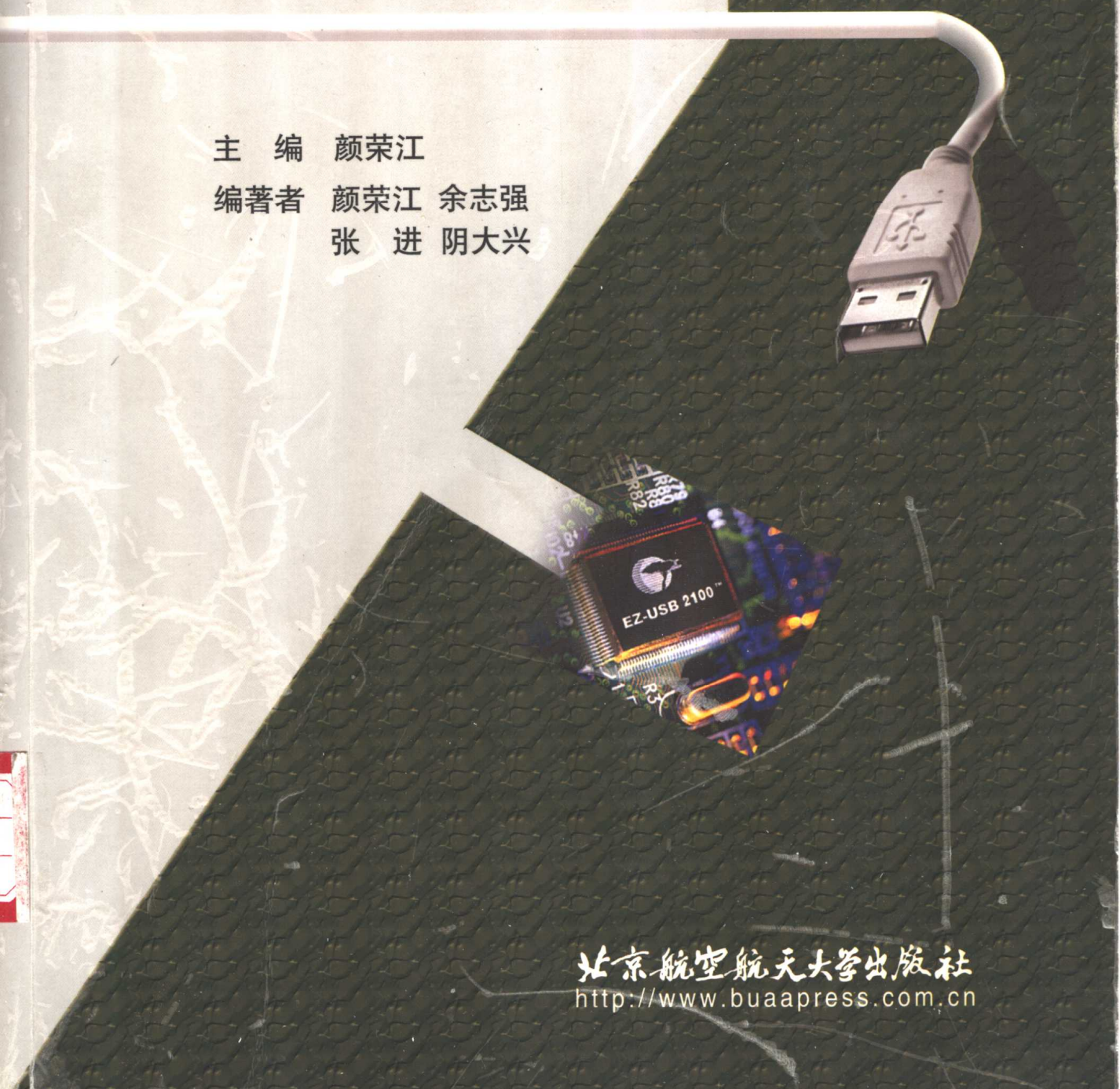
EZ-USB 2100系列单片机原理、编程及应用

主　编　颜荣江

编著者　颜荣江　余志强
　　张　进　阴大兴



北京航空航天大学出版社
http://www.buaapress.com.cn

EZ－USB 2100 系列单片机原理、编程及应用

主编　颜荣江
编著者　颜荣江　俞志强　张　进　阴大兴

北京航空航天大学出版社
http://www.buaapress.com.cn

内容简介

本书全面、系统地介绍了 Cypress 公司推出的带智能 USB 控制内核的 51 系列单片机 EZ-USB 2100 系列芯片的内部结构、性能和技术参数、工作原理、编程方法和应用技术，以及相应软件设计问题。EZ-USB 在单一芯片上集成了 USB 和 8051 两个内核。该内核可帮助 USB 外设开发者完成 USB 协议中规定的 80%～90%的通信工作，是 USB 设备研制者的理想选择。基于 EZ-USB 强大的串行接口引擎，增强的 8051 内核，良好的软件支持，极大地降低了 USB 外设的开发难度。从事过 USB 设备研发的人员都知道，需要花费大量的精力熟悉 USB 协议，使用 EZ-USB 芯片省去这种烦恼。如果对 C 语言和 8051 单片机比较熟悉的话，通过本书的介绍，读者会发现 USB 设备的开发是如此的简单。本书可供从事 USB 设备开发和各类微控制器应用系统的设计人员阅读。为方便读者，附例程光盘一张。

图书在版编目(CIP)数据

EZ-USB 2100 系列单片机原理、编程及应用/颜荣江主编. —北京：北京航空航天大学出版社，2002.9

ISBN 7-81077-211-2

Ⅰ. E… Ⅱ. 颜… Ⅲ. 单片微型计算机，EZ-USB 2001 系列—基本知识 Ⅳ. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 041936 号

EZ-USB 2100 系列单片机原理、编程及应用

主编 颜荣江

编著者 颜荣江 俞志强 张 进 阴大兴

责任编辑 许传安

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话：010-82317024 传真：010-82328026

http://www.buaapress.com.cn

E-mail:pressell@publica.bj.cninfo.net

北京宏文印刷厂印装 各地书店经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：22 字数：563 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷 印数：5000 册

ISBN 7-81077-211-2/TP·117 定价：39.00 元

光盘号 ISBN 7-900640-43-6

前言

在目前PC的I/O模式中，外围设备通常被映射为CPU的I/O地址空间，并且被分配一个指定的IRQ(中断请求)，在某些情况下也可以是一个DMA通道。这些系统资源被分配给指定的外围设备。这种地址分配的方法已经成为一种标准，软件开发者要根据指定的设备进行访问。这给编程者带来了不便，同时外设消耗了PC的许多系统资源，使许多系统资源不可使用，并且产生了很多冲突，由此造成了许多问题。

随着PC的广泛应用，其外设也越来越多，如打印机、鼠标、扫描仪、游戏杆、音箱等等。每个外设都需要通过一个接口与PC相连。外设多了，PC的I/O插口自然也就不够用了。在很多特定的应用场合，如工业数据采集等领域，常常用采集板卡来完成工作，而每一个板卡自然会占用一个PC插槽。PC插槽就那么几个，要是采集点多了怎么办呢？除此之外，在个人电脑的领域中，外围设备存在很多的问题。这些问题大致可以归结到成本、配置以及个人电脑的连接等几个方面。而USB正是为了克服这些困难，出现的一种解决方案。简而言之，USB的出现不仅解决了I/O插口不够的问题，而且建立了一条连接和访问外设的方法。这些方法可以有效地减少总体成本。而且从终端用户的角度来看，它可以增加可连接的外设数目，简化设备的连接和配置。通用串行总线USB是由Intel等厂商制定的，连接计算机与具有USB接口的多种外设之间的串行总线。

USB的特性有：

(1) 低成本。为了把外设连接到PC机上，USB提供了一种低成本的解决方案。

(2) 热拔插。设备连接后由USB自动检测，并由软件自动配置，完成后可立即使用，无须用户干涉。

(3) 一的连接器类型。USB定义了一种简单的连接器，它可以用来连接任何一个USB设备，多个连接器可以通过USB集线器连接。

(4) 1 个 USB 总线支持 127 个 USB 设备的连接。

(5) USB 支持两种设备传输速率：1.5 Mb/s (低速设备)和 12 Mb/s(高速设备)。

(6) 设备能够直接由 USB 总线进行供电。

(7) 需要系统资源(如内存、I/O 地址空间和中断请求线路)。

(8) USB 事务处理包括错误检测机制，用以确保数据无错误发送。

(9) 电源保护。如果连续 3 ms 没有总线活动的话，USB 自动进入挂起状态。

(10) 支持 4 种类型的传输方式：块传输、控制传输、中断传输和同步传输。

由 Cypress 推出的带智能 USB 接口的单片机 EZ－USB，将 USB 接口的控制核心整合到单片机集成电路中。集成的 USB 收发模块与 USB 总线的 D＋和 D－引脚相连。功能强大的串行接口引擎(SIE)进行串行数据译码和错误更正，以及其它 USB 所要求的信号级操作等，最后再与 USB 收发模块接口进行数据字节的传输。这个具有强大功能的 USB 内核可以自动完成 USB 协议的转换，大大地简化 8051 的代码。EZ－USB 芯片在 3.3 V 电压下就可以运行，同时也简化了 USB 设备总线电压的设计。

内部的微处理器在标准 8051 上缩短了执行时间并增加了新的特性。它用内部 RAM 存储数据和程序，使 EZ－USB 系统具有软配置的特性。USB 主机经 USB 总线将 8051 的程序代码和描述符表装入 RAM 中，然后 EZ－USB 芯片用已下载程序中定义的外设特性进行重连接，使其成为新的 USB 设备。

EZ－USB 的特性如下。

(1) 改进的 8051 内核——8051 的运行速度为 24 MHz，性能可达到标准 8051 的 5～10 倍，与标准 8051 的指令完全兼容。空闲(wasted)的总线周期被消去，一个总线周期仅包含 4 个时钟周期，而标准 8051 则为 12 个时钟周期。

(2) 高度集成——传统的 USB 外设的硬件设计通常包括非易失性存储器(如 EPROM、EEPROM、FLASH ROM)、微处理器、RAM、SIE(串行接口引擎)、DMA,EZ-USB 将上述多个模块集成在一块芯片中,从而减少了各芯片接口部分时序配合的麻烦。

(3) USB 内核——EZ-USB 可以代替 USB 外设开发者完成 USB 协议中规定的 80%～90%的通信工作,这使得开发者不需要深入了解 USB 的低级协议即可顺利地开发出所需要的 USB 外设。

(4) 软配置——外设未通过 USB 接口连接到 PC 机之前,外设上的固件存储在 PC 机上。一旦外设接到 PC 机上,PC 机先询问该外设是"谁"(即读设备描述符),然后将该外设的固件下载到 EZ-USB 的 RAM 中并执行,这个过程叫做再枚举。这个特性给 USB 外设开发者带来许多方便,比如开发过程中,当固件需要修改时,可以在 PC 机上修改好以后,下载到 EZ-USB,从而省去了烧片子的麻烦。

(5) 易用的软件开发工具——固件可独立于驱动程序被测试。驱动程序和固件的开发和调试相互独立,可加快开发的速度。

(6) 快速外部数据块传输(指针自动增量、快速传输模式)。

(7) 自动 USB 中断向量。

(8) CONTROL 传输的 SETUP 和 DATA 部分有各自的缓冲器。

除了速度的提高,改进的 8051 内核还有以下几处结构上的改进:

(1) 第 2 个数据指针,可用于存储器块之间的传输;

(2) 第 2 个 UART;

(3) 第 3 个 16 位计数器/定时器(TIMER2);

(4) 与非多路复用 16 位地址总线的高速存储器直接接口;

(5) 增加了 8 个中断源(INT2～INT6,PFI,T2 和 UART1);

(6) 可变的 MOVX 执行时间可适应高低速的 RAM 外设;

(7) 256 字节的内部寄存器 RAM,8 KB 的程序/数据复合 SRAM;

(8) 3.3 V 工作电压。

选择何种芯片来设计 USB 控制系统,一般是基于任务的需求、编程的难易程度、性能价格比、可重编程及提供范例代码等几个因素来考虑。EZ－USB 使得开发过程更简单和廉价,同时也大大提高了开发效率,缩短了产品的研发周期。

全书共分 16 章。第 1 章主要介绍 EZ－USB 组成、结构和基本概念;第 2 章重点介绍增强的 8051 内核的组成及其特点;第 3,4 章分别介绍 EZ－USB 存储器的组织和 EZ－USB 输入/输出端口的特性;第 5,6,7,8,9 章则详细介绍 EZ－USB 枚举与重枚举、EZ－USB 的块传输、EZ－USB 的控制端点 0、EZ－USB 的同步传输和 EZ－USB 的中断结构;第 10,11 章介绍了 EZ－USB 的复位和电源管理特性;第 12 章给出了全部的 EZ－USB 寄存器及其定义;第 13 章给出了 EZ－USB 的交直流参数特性;第 14 章详细介绍 EZ－USB 开发软件使用指南及其开发过程;第 15 章讲述了 EZ－USB 2100 系列实验板的相关资料;第 16 章列举了一些使用 EZ－USB 芯片进行编程的实例。

本书由空军雷达学院颜荣江、俞志强、张　进、阴大兴等同志编写,颜荣江同志为本书主编,并详细审编了全部书稿。在编写过程中得到了许多同志的大力支持。特别要感谢刘庆华、饶　丹、余玲莉在前期资料整理中所做的工作,郭　嘉同志在录入、校稿方面做了大量的工作,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,错误和不妥之处难免,敬请读者批评指正。

编　者

2002 年 5 月

于空军雷达学院

目录

目录

目录

目 录

第 1 章
EZ－USB 简介

1.1 介 绍

目前个人电脑(PC)上所使用的大多数外围设备仍然是基于接口实现的，如键盘、鼠标、显示卡、串行口、并行口、网卡等。这些外围设备通常被映射为 CPU 的 I/O 地址空间，并且被分配一个指定的 IRQ(中断请求)，在某些情况下也可以是一个 DMA 通道。系统资源被分配给指定的外围设备，这种地址分配的方法已经成为一种标准。软件开发者要根据已分配的资源对指定的设备进行访问。这给编程者带来了不便，同时外设消耗了 PC 的许多系统资源，对于不同的设备还要安装该设备所用的软件，使许多系统资源不可使用，并且很容易产生冲突，由此造成了许多问题。

熟悉 PC 机的人都明白目前 PC 机的外围设备大多都不能进行热插拔。举例来说，当在计算机上电之前忘记插入鼠标，一旦启动完成，即使插上鼠标也不能工作，必须重新启动机器。此外，随着 PC 机的广泛应用，其外设也越来越多，如打印机、鼠标、扫描仪、游戏杆、音箱等等。每个外设都需要通过一个接口与 PC 机相连，有些外设还需要大块的 I/O 地址单元。外设多了，PC 的 I/O 插口自然也就不够用了。在很多特定的应用场合，如工业数据采集等领域，常常用采集板卡来完成工作，而每一个板卡自然会占用一个 PC 机插槽。PC 机插槽就那么几个，要是采集点多了怎么办呢？除此之外，在个人电脑的领域中，外围设备存在很多的问题。这些问题大致可以归结到成本、配置以及个人电脑的连接等几个方面。而 USB 正是为了克服这些困难的一种解决方案而出现的。简而言之，USB 的出现不仅解决了 I/O 插口不够的问题，而且建立了一条连接和访问外设的方法。这些方法可以有效地减少总体成本。而且从终端用户的角度来看，它可以增加可连接的外设数目，简化设备的连接和配置。

通用串行总线 USB 是由 Intel 等厂商制定的连接计算机与具有 USB 接口的多种外设之间的串行总线。其拓扑结构如图 1－1 所示，一台 PC 主机通过 USB 电缆连接 9 个 USB 设备和一个 USB 集线器。

如同一辆设计良好的汽车或机械装置，USB 设备对外部的简化掩盖了其内部的复杂性。在一块 USB 芯片的封装下隐藏着许多强大的功能。这些功能为用户提供了更新层次的便利，举例如下。

- 即使是 PC 运行时，USB 设备可随时插上。
- 当 PC 机检测到 USB 设备已经插上后，它会自动地询问设备，获知该设备的能力和需求。从这些信息中，PC 机可自动地将设备的驱动程序装入操作系统。当拔下该设备后，操作系统会自动地卸载它的驱动程序。

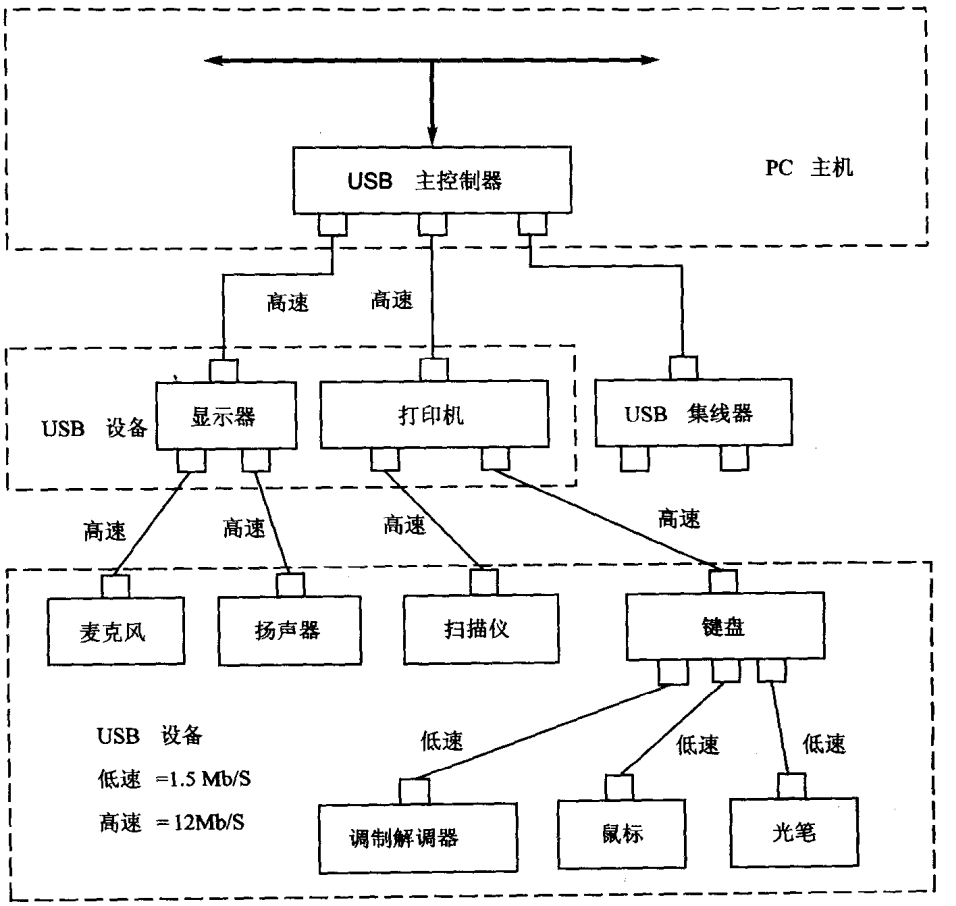


图 1－1 USB 设备的连接方式

- USB 设备不使用 DIP 开关、跳线器或配置程序，也不会发生 IRQ，DMA，MEMORY 或 I/O 冲突。
- USB 扩展 hub(网络集线器)可以使多个设备共享总线。
- USB 的速度完全可以满足打印机、CD 音频及扫描仪的使用。

USB 是在《通用串行总线规格说明》(版本 1.1)中定义的(http://usb.org)。这是一本 268 页的说明。它从各个方面详细地描述了 USB 设备。该书描述了 EZ－USB 芯片以及 USB 的相关知识，以便帮助理解规格说明。

Cypress 公司推出的带智能 USB 接口的 EZ－USB 单片机，是一块紧凑的集成电路。它为 USB 外设提供了一种高度集成的解决方案，极大地降低了 USB 设备的开发难度，为 PC 机外设的制造商提供了一个性能优良、价格较低的设计方案。EZ－USB 有以下三个主要特征。

(1) EZ－USB 系列提供一种基于 RAM 的软配置解决方案，允许无限的配置和升级。

(2) EZ－USB 系列芯片接收全速 USB 的吞吐量。采用 EZ－USB 的设计不受端点数目、缓冲区大小及传输速度的限制。

(3) 在 EZ－USB 内核中，EZ－USB 芯片可以完成许多 USB 设备的内部管理工作，如简化代码、加快 USB 认知进程等。

这一章将介绍一些主要的 USB 术语。这些术语可以帮助对该书的阅读。

1.2　EZ－USB 结构框图

CYPRESS 公司的 EZ－USB 芯片集成了一个 USB 外设接口所需的技术和电路。如图 1－2所示，集成的 USB 收发模块与 USB 总线的 D+和 D－引脚相连。串行接口引擎(SIE)对串行数据进行编码和译码，并执行错误更正、位填充以及其它一些 USB 需要的信号级操作，最后发送数据字节到 USB 端口或从 USB 端口接收数据字节。

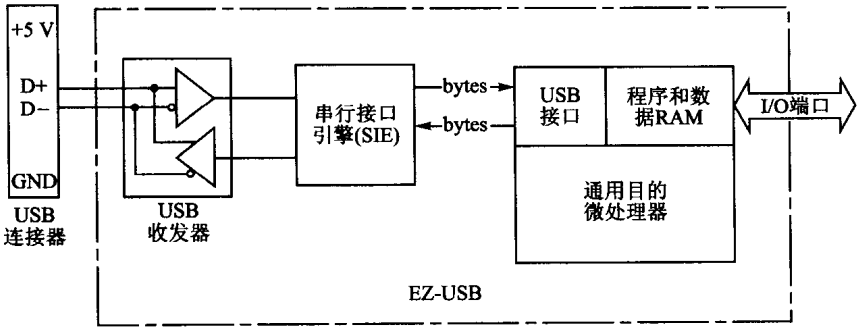


图 1－2　AN2131S(44 引脚)简化框图

内部的微处理器是一个增强的 8051，具有执行时间快，并增加了许多新的特性。内部 RAM 可用来存储程序和数据，使 EZ－USB 系列具有软特性。首先，USB 主机通过 USB 总线将 8051 程序代码和设备描述符下载到 RAM 中，然后 EZ－USB 芯片使用已下载程序中定义的外设特性进行重连接。

EZ－USB 系列使用增强的 SIE/USB 接口(称为“USB 内核”)，它甚至能在 8051 之前就具有智能的全部 USB 设备的功能。这个增强的内核能够自动完成 USB 协议的许多工作，简化了 8051 的程序。

EZ－USB 芯片的工作电压为 3.3 V。这简化了 USB 设备总线电源的设计。因为 USB 连接器提供 5 V 电源(USB 规格说明中允许的最低电压为 4.4 V)，可驱动 3.3 V 调压器，为 EZ－USB 芯片提供单独的、稳定的电源。

图 1－3 介绍了 EZ－USB 系列中具有 80 引脚的 AN2131Q 芯片。除了 24 个 I/O 引脚外，它还包含一个 16 位地址总线和一个 8 位数据总线，以便进行外部存储器的扩展。

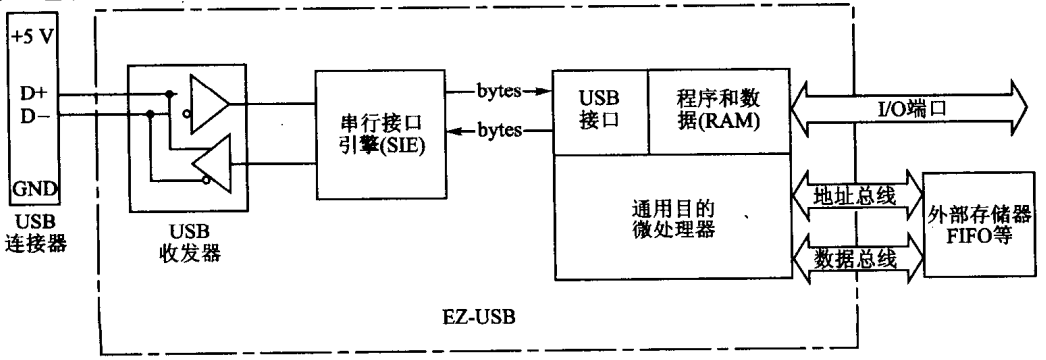


图 1－3　AN2131Q(80 引脚)简化框图

专用的快速传输模式能够在外部逻辑和内部 USB FIFO(先进先出缓冲器)之间直接进行数据传输。这种快速传输模式和许多端点资源一样,允许 EZ-USB 支持超出《通用串行总线规格说明》(版本 1.1)所要求的最大传输带宽。

1.3 USB 规格说明

《通用串行总线规格说明》(版本 1.1)在 Internet 上由 http://usb.org 网站上提供。该规格说明于 1998 年 1 月出版。它是 Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC 和 Northern Telecom 七大业内巨头共同制定的 USB 协议。

粗看 USB 规格说明,会发现 USB 并不像普通的串行接口或并行接口那样简单。该规格说明使用了一些新的术语,如"端点"、"同步"及"枚举",并对一些旧的术语如"配置"、"接口"和"中断"赋予了新的含义。USB 内部是一个软件提取模式,像"流水(pipes)"一样处理这类事务。规格说明中还包含连接器类型和导线颜色等详细信息。

1.4 令牌和 PID

在该手册中会读到这样的句子:"当主机发出一个 IN 令牌时…"或"设备以 ACK 进行响应"。这些术语是什么意思呢? USB 传输的数据包由被称为 Packet Ids(PID)的特定代码进行区分。PID 表示正在传送数据包的类型。表 1-1 给出了 4 种 PID 类型。

表 1-1 USB PID

PID 类型	PID 名称
令牌数据	IN,OUT,SOF,SETUP,DATA0,DATA1
握手信号	ACK,NAK,STALL
特殊信号	PRE

图 1-4 举例说明了一个 USB 传输。包①是一个由 OUT 令牌表示的 OUT PID。OUT 令牌表示主机发出的数据将要通过总线进行传送。包②由数据组成,由 DATA1 PID 表示。包③是一个由外设发送的握手信息包。外设使用 ACK(确认)PID 标志向主机报告外设已正确地接收数据。

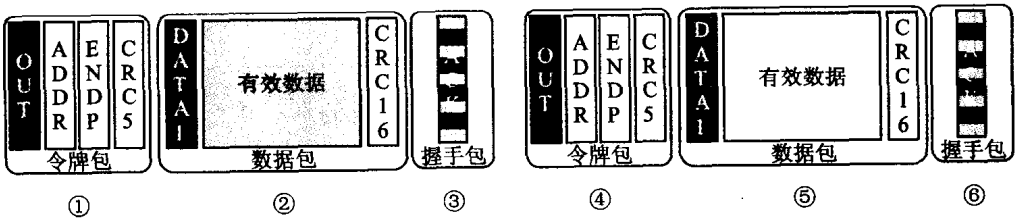


图 1-4 USB 包

接下来又发出了一个 OUT 令牌④,开始进行第二次传输。紧跟其后的是数据包⑤,这一次使用的是 DATA0 PID 标志。最后,设备通过传送握手信息包⑥中的 ACK PID 表示接

收成功。

为什么要采用 DATA0 和 DATA1 两种数据包呢？这是因为 USB 的设计者对错误的检测非常严格。如前面提到的，ACK 握手信号是一个向主机报告外设无差错接收数据的信号（包中的 CRC 部分用于检测错误）。但是如果在传输过程中，握手信号本身出了错，那又该怎么办呢？为了检测这种错误，在主机和外设双方都保留了一个数据轮换位，在数据包的传送过程中交替改变其状态。内部轮换位的状态与随数据到达的 PID 相比较，要么是 DATA0，要么是 DATA1。当传送数据时，主机或设备发出交替的 DATA0，DATA1 标志。通过比较 DATA PID 和内部轮换位的状态，主机或设备能够检测到一个出错的握手信息包。

SETUP 令牌只针对控制传输。它是数据包中的前 8 个字节。通过这几个字节外设对主机的设备请求进行解码。

SOF 令牌每毫秒发生一次，代表一个 USB 帧的开始。

三个握手 PID 信号：ACK，NAK 和 STALL。

(1) ACK 表示“成功”，即数据无误接收。

(2) NAK 表示“忙，重发”。NAK 看上去好像表示“出错”，但其实不是。USB 设备不响应才表示传输有错误。

(3) STALL 表示有意外事件发生错误（这也许是硬件工程师和软件工程师之间的交流有误或缺乏合作而造成的）。设备发出 STALL 握手信号，表明它不能接受某个设备请求，或是外部终端出错，或是主机企图访问一个并不存在的资源。该状态有些像“停止”，但要好一些，因为 USB 提供了从 STALL 状态中恢复的方法。

PRE(Preamble)PID(前导包)出现在一个 USB 低速(1.5 Mb/s)传输之前，这是一个特殊的信息包，专门用来通知集线器激活它们的低速端口。EZ－USB 系列仅支持 USB 高速(12 Mb/s)传输，因此可以忽略 PRE 信息包和接下来的低速传输。

1.5　主机是控制器

这是一个基本的 USB 概念。确切地说，在 USB 系统中只有一个控制器，即主机，USB 设备响应主机请求。看上去 USB 好像是一个同级的拓扑结构，可以在 USB 设备本身之间发送信息，但实际上，USB 设备是不能在它们自己之间发送信息的。

只有一种情况，USB 设备能够在没有主机的驱动下，初始化信号，即在被主机设置为低功耗挂起状态后，设备发出一个唤醒信号，这是“拉动主机链”唯一的方法。其它事件的发生是由于主机发出设备请求，而设备响应这些请求。

采用这种主机中枢模式有一个很重要的原因。USB 的设计者非常重视成本，而制造低成本外设的最好方法是将大部分性能集中在主机一方，也就是 PC 机上。如果 USB 被定义成同级的，那么每一个 USB 设备就需要有更多的处理功能，成本也就要相应地提高许多。

以下介绍关于“主机控制器”这一说法的两个重要的概念。