USB接口完全解决方案系列二

MCU

8051单片机
USB接口程序设计(下)

许永和 编著

CD-ROM INCLUDED

北京航空航天大学出版社

USB 接口完全解决方案系列二

8051 单片机 USB 接口程序设计(下)

许永和　编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书以8051单片机为基础来设计USB接口的外围设备，深入浅出，易于学习。本书利用Cypress EZ-USB FX芯片组系列，让读者Easy地切入USB外围设备设计。全书精简地介绍USB架构与协议，并提供相对应的8051程序来加以实现，让读者能快速地整合理论与实践，达到事半功倍的效果。本书分为上、下两册，上册介绍基本的固件程序代码的设计，下册介绍如何通过实验来实现USB通信协议。本书配光盘1张，内含范例程序以及相关资料。

本书可作为工科院校的单片机与接口设计等相关课程的参考用书，也可作为一般计算机专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

8051单片机USB接口程序设计. 下 / 许永和编著.
北京 : 北京航空航天大学出版社, 2004.8
(USB接口完全解决方案系列;2)
ISBN 7-81077-371-2

Ⅰ. 8… Ⅱ. 许… Ⅲ. 单片微型计算机,8051—接口 Ⅳ. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第059505号

8051单片机USB接口程序设计(下)

许永和 编著
责任编辑 胡晓柏

*

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:bhpress@263.net
涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本：787 mm×960 mm 1/16 印张：22.75 字数：510千字
2004年08月第1版 2004年08月第1次印刷 印数：5 000册
ISBN 7-81077-371-2 定价：38.50元(含光盘1张)

序　言

随着电子科技的发展与应用，几乎每隔一段时间就有新的产品与技术规范被推出。这对该领域的工程师和学生而言，实在是不小的负担与压力。而在各种计算机外围接口不断推陈出新的今天，USB 接口已渐渐成为现今个人计算机上最重要的接口之一，其发展与应用也越来越广泛，甚至成为一般消费性电子产品上，不可或缺的接口。因此，USB I/O 外围设备的设计，已成为电机/电子领域的工程师和学生必须学习的主要技术之一。

有鉴于 USB 的规范与技术仍以原文资料居多，对于一般初学者较不易轻松学习，且国内也尚无该领域相关的完整且实用的中文书籍与资料；因此，国内 USB 相关技术的顶尖专家许永和博士编著了《USB 接口完全解决方案系列——8051 单片机 USB 接口程序设计》，以弥补这方面的缺憾。本书的内容深入浅出，且作者将其丰富的教学经验与实践经验凝聚并安排在若干章节中。除了可让读者快速了解 USB 的基本概念外，也可以将其中基本的 USB I/O 外围设备的设计充分且灵活地应用到 I/O 控制与数据采集的相关领域中。

本系列图书的出版，将使得原来技术瓶颈甚高且难学易用的 USB 接口设计，成为一个易学易用的接口设计。在电子产业技术不断发展的今天，相信这本技术书籍的出版，必能嘉惠相关领域的工程师与工程技术院校的学生，并为 USB 接口的初学者提供一个实用的参考工具。

国立成功大学电机系教授　杨明兴　谨识

自　序

在USB已逐渐成为PC必需的接口之一时，各种PC的电子消费产品也逐渐配置这种标准的接口。虽说USB接口具备了即插即用与热插拔的特性，是相当容易使用与安装的；但由于牵涉的技术层面甚广，相对的学习瓶颈也甚高。这对于一般的工程师和学生来说，是极不容易跨入的设计与学习的领域。因此，如何将USB I/O接口的相关设计变得易学易用，是《USB接口完全解决方案系列》编写与推出的主要目标之一。

本书分为上、下两册，为《USB接口完全解决方案系列》的前两本，即系列一和系列二，注重在固件程序的开发与设计上。因此，只要读者略具8051单片机的基础，即可快速地切入USB接口设计的领域。由于在学习USB I/O接口的过程中，首先都会学习一种USB专用芯片或接口芯片。但各个厂商所推出的USB芯片类型众多，功能也截然不同，因此谨慎地选择一种适合初学者所使用的USB芯片，将有助于学习USB I/O外围设备的设计，亦可达到事半功倍的效果。而综观各个厂商所设计的USB芯片组以及其所提供的整体资源，以Cypress半导体公司所推出的EZ－USB FX全速系列为最佳的选择。这是由于该系列的芯片组是以8051为核心结构，只要初学者具备有8051单片机的基础，就会很容易地切入与学习。再者，对于复杂与繁琐的USB通信，提供了EZ－USB固件函数库与固件结构，大幅度地降低了编写固件程序代码的困难。此外，在主机应用程序的开发上，亦提供了EZ－USB通用型的设备驱动程序与范例，快速地增加了应用程序的开发速度。

此外，为了配合初学者能快速地学习USB的设计，长高科技股份有限

公司设计了一系列的仿真器与实验教具来加以配合。其中，包含了基本的输入/输出实验，如LED、指拨开关、LCD、LCG、七段显示器、步进电机以及A/D与D/A转换器等范例练习。此外，本书为了适应各个领域与不同程度的需求，依据理论与应用实践上的考虑，编写了33章，分为上、下两册，第1至18章为基本的固件程序设计，第19至33章则实现了USB通信的协议。通过各种范例的介绍与说明，将可帮助读者达到事半功倍的学习效果。除了适用于一般工程技术院校的单片机或接口设计实验等相关课程外，也可供一般计算机专业工程技术人员参考。

本书承蒙国立成功大学电机所杨明兴教授、昆山科大工学院院长卫祖赏博士的鼓励与指导，电子系黄俊岳主任的支持，Cypress半导体台湾分公司谢明忠经理的鼎力协助，以及长高科技股份有限公司叶辅燦经理的技术支持，才得以顺利完成。此外，昆山科大电子系智能仪器系统实验室的USB研发团队（智祯、伟豪、裕成与家棋）的技术整合，若干实验才得以测试完成。

当然，家人不断地给予鼓励与包容才是完成这一系列编写的最大支柱与动力来源，在此深表感谢。

由于USB所涵盖的范围甚广，本书虽力求实用性、完整性和准确性，但笔者才疏学浅，谬误难免，尚求先进学者、专家不吝指正赐教。

许永和　于台南

目 录

第19章

EZ-USB FX 中断

在前面的章节中，已经介绍了如何以基本的程序代码来执行外围 I/O 的控制与实验，也应用了预设设备的端点资源来执行批量传输的测试。通过这两种程序代码的整合，读者已对 EZ－USB FX 芯片组有了初步的认识与了解。本章将介绍 EZ－USB FX 所使用到的各种中断的特性与功能，并逐步地构建出一个完整的 USB I/O 外围设备的设计与实现。由于 EZ－USB FX 系列芯片扩增了原来 8051 所提供的中断源，而限于篇幅，在此仅将重点放在扩增的中断功能上。

19.1 简 介

首先，如表 19.1 所列的各种中断源，可以发现各种类型的中断源加强了原先 8051 的架构与功能。最左的字段显示了在标准 8051 中所未包含的新型中断源；而其中，3 行黑体字部分显示了 USB 核心所使用到的部分中断源。

表 19.1 EZ－USB 中断

新型	8051 中断（中断请求名称）	来 源	向量（十六进制）	正常的优先级
	IE0	INT0# 脚位	03	1
	TF0	Timer0 溢出	0B	2
	IE1	INT1# 脚位	13	3

续表 19.1

新型	8051 中断 (中断请求名称)	来　源	向量(十六进制)	正常的 优先级
	TF1	Timer1 溢出	1B	4
	RI_0 & TI_0	UART0 Rx & Tx	23	5
√	TF2	Timer2 溢出	2B	6
√	**Resume,回复(PFI)**	**WAKEUP# 脚位或 USB 核心**	**33**	**0**
√	RI_1 & TI_1	UART1 Rx & Tx	3B	7
√	**USB(INT2)**	**USB 核心**	**43**	**8**
√	**I2C(INT3)**	**USB 核心**	**4B**	**9**
√	IE4(FIFO)	IN4 脚位/从 FIFO(FX 系列)	53	10
√	IE5	INT5# 脚位	5B	11
√	IE6	INT6 脚位	63	12

表 19.1 的最右“正常的优先级”字段,显示了 8051 中断优先级。而 8051 能够使用正常优先级来决定在群组内的优先级。

在 EZ-USB.H 包含文件内,设置了优先级的顺序:

```
#define    INT0_VECT   0
#define    TMR0_VECT   1
#define    INT1_VECT   2
#define    TMR1_VECT   3
#define    COM0_VECT   4
#define    TMR2_VECT   5
#define    WKUP_VECT   6
#define    COM1_VECT   7
#define    USB_VECT    8
#define    I2C_VECT    9
#define    INT4_VECT   10
#define    INT5_VECT   11
#define    INT6_VECT   12
```

19.2 USB 核心中断

下面介绍 USB 核心所提供的几种中断请求。

● 唤醒中断

若 EZ－USB FX 芯片检测到 USB 中止以及 8051 进入停滞模式后，USB 核心将会对 WAKEUP＃引脚的外部信号或 USB 动作的回复信号加以响应。这些可经过重新激活 EZ－USB FX 振荡器以及重新开始操作 8051 的方式来对 USB 总线产生回复信号。

● USB 信号

它包括 16 个批量端点的中断，特殊的端点(SOF、中止、USB 重置)所提供的 3 个中断以及 2 个针对控制传输所提供的中断(SUTOK、SUDAV)。这些中断分享了同一个 USB 中断源(INT2)。另外，也包含了用来说明批量封包是 NAK 的中断。

● I2C 传输

INT3。

● “从” FIFO 标志

INT4，仅存于 FX 系列。

19.3 唤醒中断

这一部分的内容，读者可参阅“电源管理”章节，它将详尽地描述中止和回复信号，并使用唤醒中断来作为程序代码的应用例。简单地说，USB 主机会暂停总线给设备的动作，使设备进入中止模式(suspend)中。当 USB 核心检测到总线上没有动作且超过 3 ms 时，它将使 USB 总线的中断请求开始动作。

如果被使能，8051 将会采用中止中断来执行电源管理的整理工作(对外部逻辑关闭电源)，并且设置 SFR 位(PCON.0)来加以实现。这样，就会通知 USB 核心，通过关闭 12 MHz 的振荡器进入至低功率模式。关于 SFR、PCON 字节的设置，请参阅表4.2。

当 8051 设置 PCON.0 时，它就会进入停滞状态。通过任何中断被使能的动作，8051 的执行就会被回复。在此，EZ－USB FX 芯片会使用 USB 回复所指定的中断。当外部的逻辑将 WAKEUP＃脚位拉至低电位(例如，当按键被按下或调制解调器接收到一个响铃声)或 USB 总线动作回复后，USB 核心会重新激活 12 MHz 的振荡器，以允许 8051 去辨识到这个中断，并且继续执行指令。

在图 19.1 中显示了与回复(resume)中断有关的 8051 SFR 位。当 USB 核心检测到 USB 整体回复(global resume)，或当 EZ－USB FX 的 WAKEUP＃引脚被拉至低电位时，USB 核心会发出回复信号。8051 可以设置 EICON.5 位来使能 RESUME 中断，如图 19.1 所示。(关于 EICON.4 与 EICON.5 的定义，请参阅 EZREGS.H 包含文件。)其语句为：

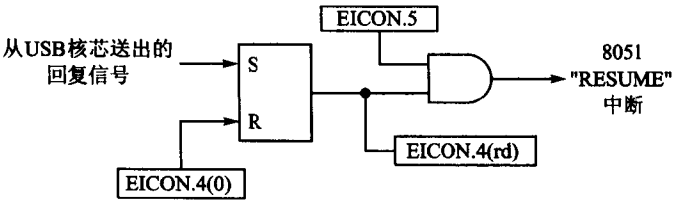

图 19.1 EZ-USB 唤醒中断

```
setb    EICON.5                ;使能 RESUME 中断
```

同样,在固件函数库中的 EZUSB.H 中,也定义了 RESUME 中断,如:

```
#define EZUSB_ENABLE_RSMIRQ()  (EICON |= 0x20)     使能 RSEUME 中断
#define EZUSB_DISABLE_RSMIRQ() (EICON &= ~0x20)    除能 RSEUME 中断
```

相对地,8051 在 EICON.4 位中,用户可以读取 RESUME 中断请求的状态,并且通过将 0 写入到 EICON.4 位来清除此中断请求,如:

```
Resume_isr:  clr  EICON.4          ;清除 8051 的 W/U 中断请求
reti
```

同样,在固件函数库中的 EZUSB.H 中,也定义了清除 RESUME 中断请求,如:

```
#define EZUSB_CLEAR_RSMIRQ()        (EICON &=~0x10)
```

19.4 USB 中断信号源

如图 19.2 所示,21 个 USB 的中断请求同时分享了 8051 USB(INT2)中断源。其中,以底部的 IRQ,EP7-OUT 为例,将其展开来,显示出每一个 USB 中断请求的详细逻辑架构。在图 19.2 中,向量 05 并不显示在图上的,其仅存于 AN2122/26 与 FX 系列的编号中,本书将于本章稍后的部分加以描述。

参考虚线内的逻辑电路,每一个 USB 中断源都有一个中断请求锁存。USB 核心设置了 IRQ 位,并且 8051 可以通过写入"1"来清除 IRQ 位。每一个锁存输出是与 IEN(中断使能)位作 AND 运算,以及与其他全部的 USB 中断请求来源作 OR 运算。

USB 核心分配 USB 中断优先级,并且构建出在 AVEC 寄存器中所出现的自动向量(autovector)。这个中断向量值 IV[4..0]显示在中断源(虚线框中)的左边。00 具有最高的优先级,15 则是最低的优先级。

如果两个 USB 中断源同时产生了,则在 AVEC 寄存器中,会指出登记第一个优先

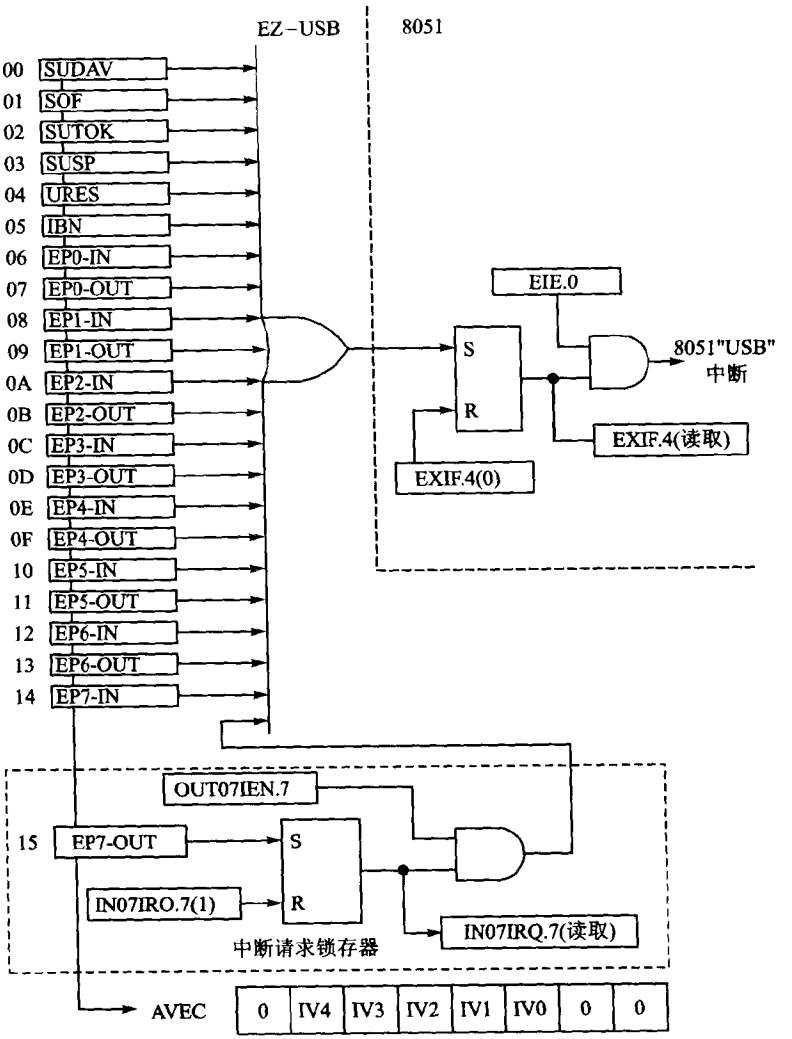

图 19.2　EZ－USB 中断信号源

级的中断源。如果 8051 使能了自动向量，这个 AVEC 字节将会取代在 8051 程序内存中的 0x45 字节。这是因为每一个 USB 中断会自动地将每一个 USB 中断源引导至不同的地址上。在本章的“USB 自动向量”的章节部分，将会详尽地解释这个结构。

而在 EZ－USB. H 包含文件内，定义了这 21 个 USB 中断顺序，以及 AVEC 寄存器 IV[4..0]，并将其左移 2 位。

```
#define    SUDAV_USBVECT    (0 << 2)
```

```
#define    SOF_USBVECT          (1 << 2)
#define    SUTOK_USBVECT        (2 << 2)
#define    SUSP_USBVECT         (3 << 2)
#define    URES_USBVECT         (4 << 2)
#define    SPARE_USBVECT        (5 << 2)
#define    IN0BUF_USBVECT       (6 << 2)
#define    OUT0BUF_USBVECT      (7 << 2)
#define    IN1BUF_USBVECT       (8 << 2)
#define    OUT1BUF_USBVECT      (9 << 2)
#define    IN2BUF_USBVECT       (10 << 2)
#define    OUT2BUF_USBVECT      (11 << 2)
#define    IN3BUF_USBVECT       (12 << 2)
#define    OUT3BUF_USBVECT      (13 << 2)
#define    IN4BUF_USBVECT       (14 << 2)
#define    OUT4BUF_USBVECT      (15 << 2)
#define    IN5BUF_USBVECT       (16 << 2)
#define    OUT5BUF_USBVECT      (17 << 2)
#define    IN6BUF_USBVECT       (18 << 2)
#define    OUT6BUF_USBVECT      (19 << 2)
#define    IN7BUF_USBVECT       (20 << 2)
#define    OUT7BUF_USBVECT      (21 << 2)
```

由于有在图 19.2 中的 OR 门,任何 USB 中断源会设置 8051 USB 中断请求锁存器,其状态是显示在 8051 SFR 的 EXIF.4 位的中断请求中。而 8051 可以通过设置 SFR 的 EIE.0 位,来使能 USB 中断。相对地,为了清除 USB 中断请求,8051 将"0"写入到EXIF.4位。注意到,清除任何个别 USB 中断源相对的方法,就是 8051 将"1"写入到 IRQ 位。

当 USB 资源需要服务(例如,SOF 令牌到达或 OUT 令牌到达于批量端点)时,会发生以下的两件事:首先,设置了相对应的中断请求锁存;其次,产生了一个脉冲,并与其他的 USB 中断逻辑作 OR 运算,然后再拉到 8051 INT2 的输入端。因为 INT2 是边缘触发的,所以需要这个脉冲。

当 8051 完成 USB 中断服务时,它会通过写"1"来清除这个特定的 IRQ 位。如果任何其他 USB 中断是未决定的,这个清除 IRQ 的动作,会导致 USB 核心逻辑针对最高优先级的未决定中断产生另一个脉冲。如果更多的中断是未决定的,那么将会以图 19.2 所示的中断优先级来加以服务,其中,以 SUDAV(优先级 00)为开始作为最高的优先级以及以 EP7-OUT 为结尾(优先级 15)作为最低的优先级。

在任何 USB 中断服务例程(ISR)中,非常重要的就是在清除特定 USB 中断请求锁

存之前，需先清除 8051 INT2 中断。这是因为一旦 USB 中断被清除后，任何未决定 USB 中断将会输入一脉冲至 8051 INT2 中，而且如果 INT2 中断请求锁存在之前仍未清除掉，则未决定 USB 中断将会失去。

图 19.3 显示 USB 中断与相关寄存器的内容。每一个中断来源都有一个使能位(IEN)以及中断请求(IRQ)位。8051 设置了 IEN 位去使能中断。USB 核心设置中断请求 IRQ 位为高电位来请求中断，而且 8051 通过写入“1”来清除 IRQ 位。

在图 19.3 中显示了：USBIEN 与 USBIRQ 寄存器控制了前 5 个中断；而 IN07IEN 与 OUT07IEN 寄存器则控制剩下的 16 个 USB 中断，与其相对应有 IN0～IN7 与 OUT0～OUT7 共 16 个批量端点。

IN07IRQ　端点 0-7IN 中断请求　7FA9

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
IN7IR	IN6IR	IN5IR	IN4IR	IN3IR	IN2IR	IN1IR	IN0IR

OUT07IRQ　端点 0-7 OUT 中断请求　7FAA

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
OUT7IR	OUT6IR	OUT5IR	OUT4IR	OUT3IR	OUT2IR	OUT1IR	OUT0IR

USBIRQ　USB 中断请求　7FAB

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
—	—	IBNIR	URESIR	SUSPIR	SUTOKIR	SOFIR	SUDAVIR

IN07IEN　端点 0-7 IN 中断使能　7FAC

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
IN7IEN	IN6IEN	IN5IEN	IN4IEN	IN3IEN	IN2IEN	IN1IEN	IN0IEN

OUT07IEN　端点 0-7 OUT 中断使能　7FAD

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
OUT7IEN	OUT6IEN	OUT5IEN	OUT4IEN	OUT3IEN	OUT2IEN	OUT1IEN	OUT0IEN

USBIEN　USB 中断使能　7FAE

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
—	—	IBNIE	USRESIE	SUSPIE	SUTOKIE	SOFIE	SUDAVIE

图 19.3　中断寄存器