

USB

应用开发技术大全

薛园园 编著

华清远见嵌入式培训中心 审校



本书源代码



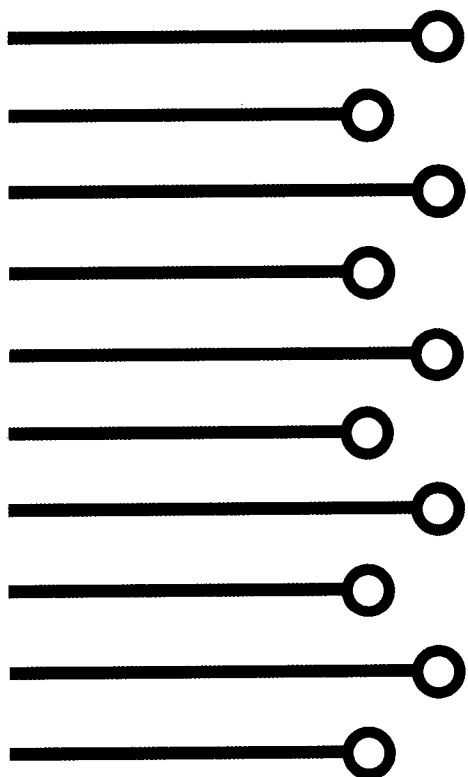
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

USB

应用开发技术大全

薛园园 编著

华清远见嵌入式培训中心 审校



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

USB 应用开发技术大全 / 薛园园编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.8

ISBN 978-7-115-16199-4

I. U... II. 薛... III. 电子计算机—接口 IV. TP334

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 064169 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了新型 USB 总线接口的协议、工作原理以及驱动程序设计, 并以大量篇幅全面、详细地介绍了各种应用场合下的 USB 设计实例。

全书分为 4 篇, 共 24 章: 第 1 章~第 8 章为第 1 篇, 介绍 USB 总线接口的协议、设备配置方式以及工作原理; 第 9 章~第 11 章为第 2 篇, 介绍 USB 驱动程序的设计, 包括使用 DriverStudio 进行驱动程序设计和使用通用 USB 驱动程序; 第 12 章~第 22 章为第 3 篇, 通过 11 个例子详细介绍在不同的应用场合下 USB 接口设备的设计, 包括了完整的电路图和程序; 第 4 篇包括第 23 章和第 24 章, 介绍 Cypress 的 EZ-USB 芯片的寄存器及其应用, 以及 USB 控制函数, 这部分内容对于前面各个实例的学习和读者日后的设计工作都有很大的参考价值。

本书内容全面、结构紧凑、实例丰富。对于 USB 接口的初学者, 通过学习本书可以快速入门。本书对具有一定开发经验的设计人员也有很好的参考价值。

USB 应用开发技术大全

-
- ◆ 编 著 薛园园
 - 审 校 华清远见嵌入式培训中心
 - 责任编辑 黄 焱
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京鸿佳印刷厂印刷
 - 新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 49.75
 - 字数: 1 201 千字
 - 印数: 1—4 000 册
 - 2007 年 8 月第 1 版
 - 2007 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16199-4/TP

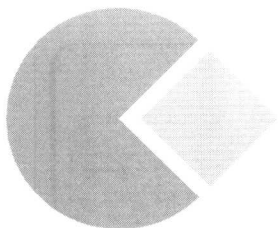
定价: 89.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010) 67132692 印装质量热线: (010) 67129223

本书编委会

主 编：薛园园

编 委：	张金霞	尚敬宜	罗 栋	段文睿
	李争亭	宋智广	姜鹏飞	刘 波
	黄其武	刘林建	赵玉荣	尚文谊
	丁凤霞	王朋章	李修华	丁礼友
	朱朝坤	祝庆林	罗思红	罗玉霞
	张运端	邹小红	张家磊	张 薇
	宫 磊	徐砚颖	李 峥	王世平
	张迪妮	文 明	罗伟杰	



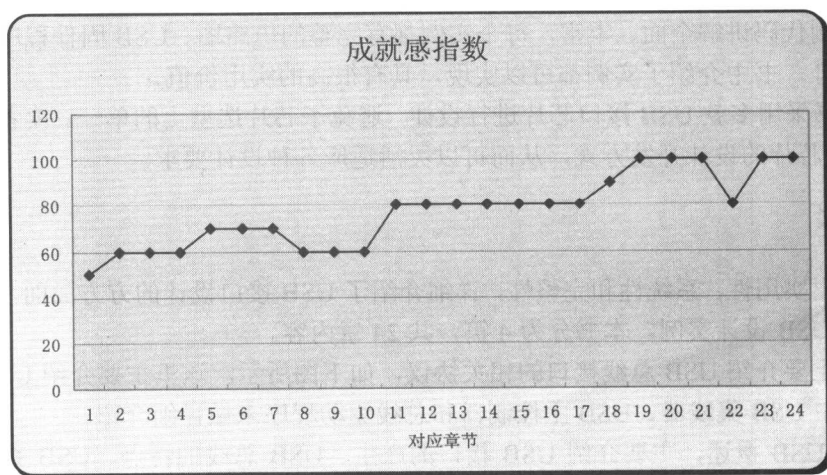
前言

USB 是一种新型的计算机总线接口技术,其全称为 Universal Serial Bus(通用串行总线)。USB 接口使计算机和外部设备的连接变得十分方便。目前,很多设备都开始采用 USB 接口来实现,目前 USB 接口有取代其他老式接口的趋势。

本书详细介绍了新型 USB 总线接口的协议、工作原理以及驱动程序设计。另外,本书还以大量篇幅,全面、详细地介绍了在各种应用场合下 USB 的设计实例,使读者全面掌握 USB 接口的设计原理。

如何学习本书

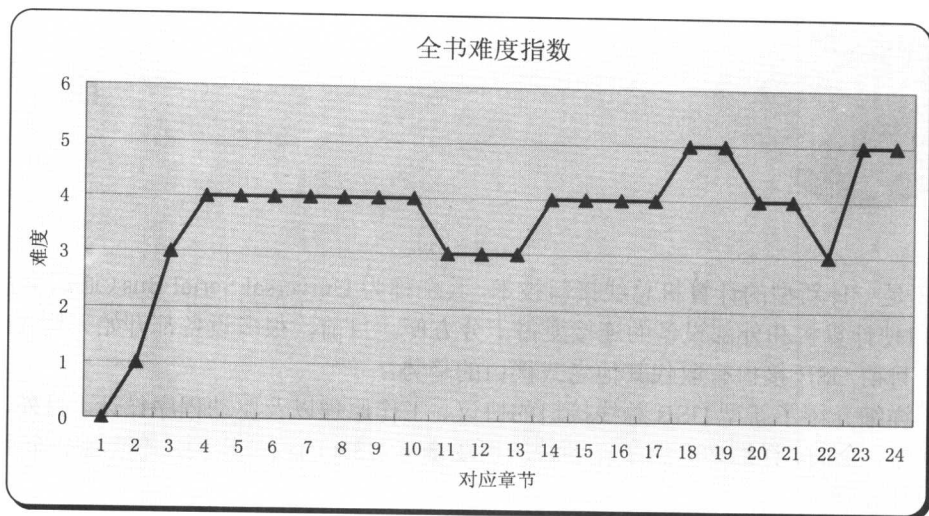
USB 涉及硬件、软件等多个方面,USB 协议远比普通的并行接口和串行接口要复杂。因此,学习 USB 技术将是一个漫长而艰苦的过程,要想熟练掌握 USB 接口的开发,需要循序渐进。下图反映的是读者在阅读本书过程中对 USB 技术掌握的成就感的指数变化情况。



从图中可以看出,随着学习的深入,读者掌握的知识和设计实例越丰富,成就感会越来越强。因此,循序渐进地学习是掌握 USB 设计的根本。

本书难度分布

为了让读者更好地使用本书，下面给出了本书所有章节的难度指数分布图，读者可以根据各章的难度指数和自身的知识基础，来自行掌握学习的进度。



本书的特点

和其他相关内容的书籍比较，本书有如下特点：

- (1) 本书内容详尽，覆盖 USB 的协议、USB 驱动程序设计以及 USB 接口设计实例。
- (2) 注重效率，书中每一章、每一小节的标题都以简洁的语言突出 USB 设计的要点。
- (3) 本书突出实用性，实例丰富，涵盖了 USB 设计的方方面面。
- (4) 实例代码讲解全面、丰富，每个实例都有完整的电路图、USB 固件程序设计以及上位机程序设计。书中介绍了实例都可以实现，具有很高的实用价值。
- (5) 本书采用多款 USB 接口芯片进行设计，避免了芯片选型上的单一。读者可以从中掌握多个 USB 芯片的设计开发方式，从而可以灵活适应各种设计要求。

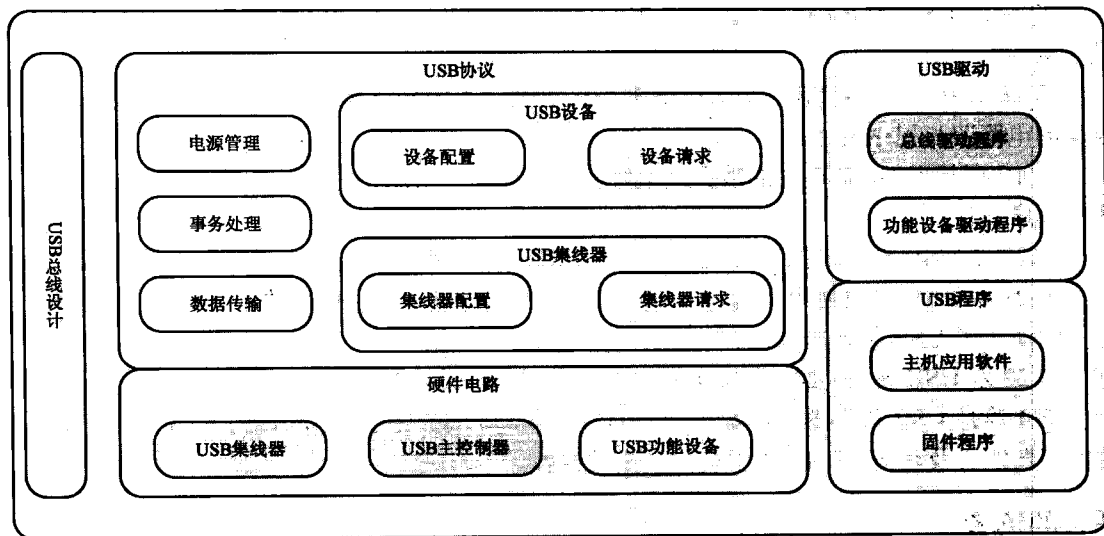
本书的内容

本书突出实用性、系统性和完整性，详细介绍了 USB 接口设计的方方面面，并且给出了很多实用的 USB 设计实例。本书分为 4 篇，共 24 章内容。

第 1 篇主要介绍 USB 总线接口的相关协议，如下图所示。这里主要介绍 USB 功能设备的设计，其中 USB 集线器、USB 主控制器和总线驱动程序未做详细介绍。

第 1 章 USB 概述，主要介绍 USB 接口的产生、USB 总线的特点、USB 系统结构以及 USB 设备的开发类型等。

第 2 章 USB 电源管理，主要介绍 USB 设备和 USB 集线器的供电，以及 USB 协议中对供电保持和设备挂起的操作。



第3章 USB 事务处理，主要介绍 USB 的字段格式、信息包格式以及常用的 USB 事务处理等。

第4章 USB 数据传输类型，主要介绍块传输、中断传输、同步传输和控制传输，另外还介绍了 USB 协议中的差错控制机制。

第5章 USB 设备配置，主要介绍 USB 设备的描述符。

第6章 USB 设备请求，主要介绍 USB 协议中规定的标准 USB 设备请求。

第7章 USB 集线器配置，主要介绍 USB 集线器的配置、USB 集线器的端点描述符以及 USB 集线器的状态。

第8章 USB 集线器请求，主要介绍 USB 集线器设备特有的各种请求。

第2篇是 USB 驱动程序设计，共分为3章。

第9章 WDM 驱动程序，主要介绍 WDM 驱动程序的组成、USB 设备即插即用的实现以及 PnP IRP 的处理规则。

第10章 DriverStudio 驱动开发工具，主要介绍 DriverStudio 的开发工具以及 USB 编程类函数和 USB 驱动程序的建立。

第11章通用 USB 驱动分析，主要介绍 Cypress 公司的通用 USB 驱动程序的使用。

第3篇是 USB 设计实例，共分为11章，详细介绍 USB 在一些常用领域的使用。

第12章 USB 固件调试，主要介绍采用 Cypress 公司的 EZ-USB 芯片进行固件程序设计和调试的方法。

第13章 USB 控制 LED 显示实例，主要介绍主机程序通过 USB 接口控制外部 LED 数码管的实例电路图和程序。

第14章使用 EEPROM 进行 USB 列举，主要介绍如何使用 EEPROM 自定义设备 VID、PID 等。

第15章 USB 键盘设计，主要介绍 HID 人机接口的设计原理以及一个典型的 USB 键盘设计实例。

第16章 USB 鼠标设计，主要介绍 USB 鼠标的工作原理和设计方法。

第 17 章 USB 的 RAM 测试实例, 主要介绍 EZ-USB 芯片的 RAM 结构, 并给出了一个测试实例。

第 18 章基于 Slave FIFO 模式的数据采集实例, 主要介绍采用 Slave FIFO 模式进行数据采集的电路图和程序设计。

第 19 章基于 GPIF 模式的数据采集实例, 主要介绍采用 GPIF 模式进行数据采集的电路图和程序设计。

第 20 章 USB 打印机控制实例, 主要介绍如何使用外部控制器来控制 USB 打印机。

第 21 章 USB 模块使用实例, 主要介绍一个使用方便、性能优越的 USB 模块, 并通过一个实例演示了 USB 模块的使用。

第 22 章 USB 转 RS-232 串口实例, 主要介绍如何设计 USB 总线和 RS-232 总线的转换。

第 4 篇是 USB 寄存器和函数剖析, 分为两章, 详细介绍了 Cypress 的 EZ-USB 系列芯片的寄存器定义及其应用, USB 主机控制函数详解。

适合的读者

- USB 接口的初学者。
- 具有一定开发经验的 USB 设计人员。
- 电子设计爱好者及电子工程师。
- 大专院校相关专业的学生及教师。

参与本书编写的人员

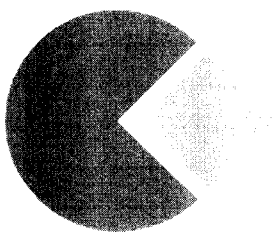
本书由薛园园负责编写并统编全书稿, 同时参与编写的还有张金霞、尚敬宜、罗栋、罗伟杰、段文睿、李争亭、宋智广、姜鹏飞、刘波、黄其武、刘林建、赵玉荣、尚文谊、丁凤霞、王朋章、李修华、丁礼友、朱朝坤、祝庆林、罗思红、罗玉霞、张运端、邹小红、张家磊、张薇、宫磊、徐砚颖、李峥、王世平、张迪妮、文明等, 在此一并表示感谢。

本书编写过程中得到了华清远见嵌入式培训中心的大力支持, 他们为本书的写作提供了丰富的参考资料并提出了许多建议性的意见, 在此表示衷心的感谢。本书的相关资料和嵌入式系统相关资料、公开视频, 请参见 <http://www.farsight.com.cn/download>。

由于本书内容较多, 编写时间仓促, 书中难免遗漏和不足之处, 恳请广大读者提出宝贵意见。本书责任编辑的联系方式是 huangyan@ptpress.com.cn, 欢迎来信交流。’

编者

2007 年 6 月



目 录

第 1 篇 USB 基础

第 1 章 USB 概述	3
1.1 USB 总线的产生	3
1.2 USB 总线特点	4
1.3 USB 总线结构	5
1.3.1 USB 主机	6
1.3.2 USB 设备	6
1.3.3 USB 的连接	7
1.3.4 USB 系统的分层结构	7
1.4 USB 的开发类型及流程	8
1.5 小结	9
第 2 章 USB 电源管理	10
2.1 USB 的供电	10
2.1.1 USB 接口的电源指标	10
2.1.2 电源分配	11
2.2 USB 电源管理	12
2.2.1 供电保持	12
2.2.2 USB 设备的挂起	12
2.2.3 USB 集线器的挂起	13
2.3 小结	13
第 3 章 USB 事务处理	14
3.1 USB 事务概述	14
3.2 USB 字段格式	15

3.2.1	同步字段	15
3.2.2	包标识字段	16
3.2.3	地址字段	17
3.2.4	端点字段	17
3.2.5	帧号字段	17
3.2.6	数据字段	18
3.2.7	CRC 字段	18
3.3	USB 信息包	18
3.4	令牌包	18
3.4.1	IN 令牌包	19
3.4.2	OUT 令牌包	19
3.4.3	SETUP 令牌包	19
3.4.4	PING 令牌包	19
3.4.5	SOF 令牌包	20
3.4.6	SPLIT 令牌包	20
3.4.7	PRE 令牌包	22
3.5	数据包	22
3.6	握手包	22
3.7	USB 事务处理	23
3.7.1	IN 事务处理	23
3.7.2	OUT 事务处理	24
3.7.3	SETUP 事务处理	25
3.7.4	PING 事务处理	25
3.7.5	SOF 事务处理	26
3.7.6	SPLIT 事务处理	26
3.7.7	PRE 事务处理	27
3.8	USB 设备	28
3.8.1	USB 设备的状态	28
3.8.2	USB 总线列举	29
3.9	小结	30
第 4 章	USB 数据传输类型	31
4.1	USB 数据传输	31
4.2	USB 块传输	32
4.2.1	块传输的数据包长度	33
4.2.2	块事务处理	33
4.3	USB 中断传输	33
4.3.1	中断传输的数据包长度	34
4.3.2	中断事务处理	34

4.4	USB 同步传输	34
4.4.1	同步传输的数据包长度	35
4.4.2	同步事务处理	35
4.5	USB 控制传输	35
4.5.1	控制传输数据包长度	36
4.5.2	控制事务处理	36
4.6	USB 差错控制机制	38
4.6.1	超时控制机制	38
4.6.2	信息包错误机制	39
4.6.3	数据触发机制	40
4.6.4	EOP 错误控制机制	41
4.6.5	总线活动丢失控制机制	42
4.7	小结	43
第 5 章	USB 设备配置	44
5.1	USB 的描述符	44
5.2	设备描述符	45
5.2.1	设备描述符定义	45
5.2.2	设备描述符示例	47
5.3	配置描述符	47
5.3.1	配置描述符定义	47
5.3.2	配置描述符示例	48
5.4	字符串描述符	48
5.4.1	字符串描述符定义	49
5.4.2	字符串描述符示例	49
5.5	接口描述符	50
5.5.1	接口描述符定义	50
5.5.2	接口描述符示例	51
5.6	端点描述符	51
5.6.1	端点描述符定义	51
5.6.2	端点描述符示例	52
5.7	设备限定描述符	53
5.7.1	设备限定描述符定义	53
5.7.2	设备限定描述符示例	54
5.8	其他速率配置描述符	55
5.8.1	其他速率配置描述符定义	55
5.8.2	其他速率配置描述符示例	56
5.9	小结	56

第 6 章 USB 设备请求	57
6.1 USB 设备请求概述	57
6.2 标准 USB 设备请求	58
6.2.1 读取状态请求 GetStatus	58
6.2.2 清除特性请求 ClearFeature	60
6.2.3 设置特性请求 SetFeature	60
6.2.4 设置地址请求 SetAddress	61
6.2.5 读取描述符请求 GetDescription	61
6.2.6 设置描述符请求 SetDescriptor	61
6.2.7 读取配置请求 GetConfiguration	62
6.2.8 设置配置请求 SetConfiguration	62
6.2.9 读取接口请求 GetInterface	62
6.2.10 设置接口请求 SetInterface	63
6.2.11 同步帧请求 SynchFrame	63
6.3 设备请求示例	63
6.3.1 声明设备请求	63
6.3.2 设备请求的响应	64
6.4 小结	68
第 7 章 USB 集线器配置	69
7.1 USB 集线器的配置	69
7.1.1 集线器设备类	69
7.1.2 集线器的配置	70
7.2 USB 集线器的描述符	71
7.2.1 集线器设备描述符	71
7.2.2 集线器配置描述符	73
7.2.3 集线器接口描述符	74
7.2.4 集线器端点描述符	75
7.2.5 集线器类描述符	76
7.3 USB 集线器的状态	78
7.4 小结	78
第 8 章 USB 集线器请求	79
8.1 USB 集线器请求概述	79
8.2 USB 集线器类请求	80
8.2.1 读取集线器状态请求 GetHubStatus	80
8.2.2 读取下行端口状态请求 GetPortStatus	80
8.2.3 禁止集线器的特性请求 ClearHubFeature	81

8.2.4 禁止下行端口特性请求 ClearPortFeature	81
8.2.5 使能集线器特性请求 SetHubFeature	82
8.2.6 使能下行端口特性请求 SetPortFeature	83
8.2.7 读取描述符请求 GetHubDescriptor	83
8.2.8 设置描述符请求 SetHubDescriptor	84
8.2.9 清除 TT 块请求 ClearTTBuffer	84
8.2.10 复位 TT 块请求 ResetTT	85
8.2.11 读取 TT 内部状态请求 GetTTState	85
8.2.12 停止 TT 正常工作请求 StopTT	86
8.3 小结	87

第 2 篇 USB 驱动程序设计

第 9 章 WDM 驱动程序	91
9.1 WDM 驱动程序概述	91
9.1.1 WDM 驱动程序特点	92
9.1.2 WDM 驱动程序的分层	93
9.1.3 WDM 驱动程序模型	94
9.2 WDM 驱动程序的组成	95
9.2.1 驱动程序入口例程	95
9.2.2 即插即用例程	97
9.2.3 分发例程	100
9.2.4 电源管理例程	101
9.2.5 卸载例程	103
9.3 USB 设备即插即用的实现	104
9.3.1 启动设备	105
9.3.2 停止设备	106
9.3.3 删除设备	107
9.4 PnP IRP 的处理规则	107
9.5 小结	109
第 10 章 DriverStudio 驱动程序开发工具	110
10.1 DriverStudio 简介	110
10.1.1 DriverStudio 软件工具	110
10.1.2 DriverStudio 软件的安装及配置	113
10.1.3 配置 DriverStudio 编译环境	115
10.2 WDM 驱动程序基本结构	116
10.2.1 基类 KDriver	117
10.2.2 即插即用类 KPnPDevice	119

10.2.3	物理对象类 KPnpLowerDevice	123
10.3	WDM 驱动程序建立实例	123
10.3.1	简单驱动程序的建立	124
10.3.2	驱动程序设计	131
10.3.3	驱动程序的安装	134
10.3.4	驱动程序测试	137
10.4	USB 编程类函数概述	138
10.5	USB 设备编程类 KUsbLowerDevice	138
10.5.1	激活 USB 设备配置函数 ActivateConfiguration	139
10.5.2	终止 USB 设备配置函数 DeActivateConfiguration	139
10.5.3	初始化厂商请求函数 BuildVendorRequest	139
10.5.4	分配类请求函数 BuildClassRequest	140
10.5.5	清除特征标志函数 ClearFeature	140
10.5.6	设置特征标志函数 SetFeature	141
10.5.7	获取状态函数 GetStatus	141
10.5.8	获取 USB 帧号函数 GetCurrentFrameNumber	141
10.5.9	未配置状态函数 Unconfigure	142
10.5.10	配置状态函数 Configure	142
10.5.11	配置接口函数 PreconfigureInterface	142
10.5.12	接口描述符函数 LocateInterface	142
10.5.13	配置描述符函数 Preconfigure	143
10.5.14	删除 USB 资源函数 ReleaseResources	143
10.5.15	字符串描述符函数 GetStringDescriptor	143
10.5.16	设备描述符函数 GetDeviceDescriptor	143
10.5.17	初始化函数 Initialize	144
10.5.18	发送 URB 函数 SubmitUrb	144
10.6	USB 接口编程类 KUsbInterface	144
10.6.1	使能接口函数 SelectAlternate	144
10.6.2	清除特征标志函数 ClearFeature	145
10.6.3	设置特征标志函数 SetFeature	145
10.6.4	获取状态函数 GetStatus	145
10.6.5	初始化厂商请求函数 BuildVendorRequest	145
10.6.6	分配类请求函数 BuildClassRequest	146
10.6.7	管道函数 Pipes	147
10.6.8	管道数量函数 NumberOfPipes	147
10.6.9	接口协议函数 Protocol	147
10.6.10	接口子类函数 Subclass	147
10.6.11	接口类函数 Class	147
10.6.12	使能接口号函数 AlternateSetting	148

10.6.13	接口数量函数 InterfaceNumber	148
10.6.14	初始化函数 Initialize	148
10.6.15	关闭接口函数 Close	148
10.6.16	是否打开函数 IsOpen	149
10.6.17	打开实例函数 Open	149
10.6.18	发送 URB 函数 SubmitUrb	149
10.6.19	是否可用函数 IsValid	149
10.7	USB 管道编程类 KUsbPipe	150
10.7.1	初始化函数 Initialize	150
10.7.2	打开接口函数 Open	150
10.7.3	是否打开函数 IsOpen	150
10.7.4	关闭管道函数 Close	150
10.7.5	中断传输函数 BuildInterruptTransfer	150
10.7.6	控制传输函数 BuildControlTransfer	151
10.7.7	块传输函数 BuildBulkTransfer	151
10.7.8	同步传输函数 BuildIsochronousTransfer	152
10.7.9	清除特征标志函数 ClearFeature	152
10.7.10	设置特征标志函数 SetFeature	152
10.7.11	获取状态函数 GetStatus	153
10.7.12	复位管道函数 Reset	153
10.7.13	丢弃函数 Abort	153
10.7.14	初始化厂商请求函数 BuildVendorRequest	153
10.7.15	初始化类请求函数 BuildClassRequest	154
10.7.16	最大帧字节数函数 MaximumPacketSize	154
10.7.17	最大传输字节数函数 MaximumTransferSize	155
10.7.18	管道句柄函数 Handle	155
10.7.19	中断检查间隔函数 PollInterval	155
10.7.20	管道端点地址函数 EndpointAddress	155
10.7.21	设置最大传输字节数函数 SetMaximumTransferSize	155
10.7.22	发送 URB 函数 SubmitUrb	156
10.7.23	传输类型函数 Type	156
10.8	USB 驱动程序创建实例	156
10.8.1	USB 驱动程序建立	156
10.8.2	USB 驱动程序设计	162
10.9	小结	164
第 11 章	通用 USB 驱动程序分析	165
11.1	INF 文件简介	165
11.2	INF 文件处理过程	165

11.3	INF 文件的结构	166
11.3.1	版本节[Version]	166
11.3.2	源文件盘符节[SourceDisksNames]	169
11.3.3	源文件节[SourceDisksFiles]	169
11.3.4	目标磁盘节[DestinationDirs]	169
11.3.5	供应商节[Manufacturer]	170
11.3.6	默认安装节[DefaultInstall]	170
11.3.7	字符串节[String]	170
11.4	Cypress 的通用 USB 驱动程序概述	171
11.5	分析 CyLoad.inf 文件	171
11.5.1	CyLoad.inf 文件	171
11.5.2	修改设备的 VID/PID	174
11.5.3	修改字符串	174
11.5.4	修改 GUID	175
11.5.5	修改驱动程序名称	175
11.6	分析 CyUSB.inf 文件	175
11.6.1	CyUSB.inf 文件	175
11.6.2	修改设备的 VID/PID	177
11.6.3	修改字符串	178
11.6.4	修改驱动程序名称	178
11.7	驱动程序的安装	178
11.8	小结	181

第 3 篇 USB 设计案例

第 12 章	USB 固件调试	185
12.1	USB 芯片的 CPU 结构	185
12.1.1	增强型 8051CPU 结构	186
12.1.2	特殊功能寄存器	187
12.1.3	中断系统	188
12.1.4	I/O 系统	189
12.1.5	指令系统	192
12.2	Cypress 开发工具	197
12.2.1	安装开发包	197
12.2.2	开发包工具简介	200
12.3	基本固件框架	202
12.3.1	基本固件框架的建立	203
12.3.2	基本电路图	204
12.3.3	固件调试	205

12.4 固件程序设计	210
12.4.1 USB 端口读写程序设计	210
12.4.2 USB 端口读写的固件仿真调试	215
12.4.3 USB 端点的数据发送和采集	215
12.4.4 数据发送和采集仿真调试	220
12.5 小结	222
第 13 章 USB 控制 LED 显示实例	223
13.1 USB 的 I/O 端口简介	223
13.1.1 普通 I/O 功能	227
13.1.2 第二扩展功能	229
13.2 USB 端点 0 请求	232
13.2.1 USB 控制传输	232
13.2.2 USB 设备请求及固件响应	233
13.2.3 获得状态请求	234
13.2.4 设置特性请求	236
13.2.5 清除特性请求	237
13.2.6 获得描述符请求	238
13.2.7 设置描述符请求	240
13.2.8 设置配置请求	241
13.2.9 获得配置请求	242
13.2.10 设置接口请求	242
13.2.11 获得接口请求	243
13.2.12 同步帧请求	243
13.2.13 固件加载请求	243
13.2.14 自定义请求	244
13.3 LED 数码管原理	245
13.3.1 共阳极 7 段 LED	245
13.3.2 共阴极 7 段 LED	247
13.4 电路图	248
13.4.1 电源部分电路	249
13.4.2 USB 部分电路	249
13.5 USB 固件程序设计	249
13.5.1 主程序文件	250
13.5.2 功能实现代码	260
13.5.3 自定义请求的定义	262
13.5.4 USB 描述	272
13.5.5 固件程序安装及调试	279
13.6 USB 主机程序设计	282