

内 容 简 介

通过 U 盘、USB 鼠标、USB 键盘、USB MIDI 键盘、USB 转串口、自定义的 USB HID 设备和自定义的 USB 设备等几个具体的 USB 例子,一步步讲解 USB 设备及驱动程序和应用程序开发的详细过程和步骤。第 9 和 10 章介绍 USB WDM 驱动开发,并给出一个简单的 USB 驱动和 USB 上层过滤驱动的实例。第 2 版中新增 4 章内容,包括 USB 触摸屏设备、移植到 AVR 单片机和 ARM 微控制器上以及更多的 USB 设备的实现。

本书附带的光盘中有 USB 学习板的电路图以及所有实验的完整源代码包(C/C++语言)。

本书的读者对象主要是 USB 设备与驱动设计的初学者和提高者,以及所有对圈圈的支持者。

图书在版编目(CIP)数据

圈圈教你玩 USB/刘荣编著.--2 版.--北京:
北京航空航天大学出版社,2013.4

ISBN 978-7-5124-1092-3

I. ①圈… II. ①刘… III. ①USB 总线—串行接口
IV. ①TP334.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 052805 号

版权所有,侵权必究。

圈圈教你玩 USB(第 2 版)

刘 荣[网名 电脑圈圈] 编著

责任编辑 张 楠 王 松

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710mm×1 000mm 1/16 印张:26.25 字数:559 千字

2013 年 4 月第 2 版 2013 年 4 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-1092-3 定价:59.00 元(含光盘+PCB 板)

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第2版前言

时间过得真快,转眼三年时间就过去了。在这三年里,发生了很多事情。例如本书已经印刷了三次,共15000册;再例如圈圈毕业工作有两年半了,由于工作的原因,这期间很少再玩USB了,基本上都是在搞嵌入式Linux以及Android系统方面的东西。不过刚开始进公司的时候,还是做了一段时间的USB工作的,主要是USB接口的触摸屏和游戏手柄等。还因为给公司的老大送了《圈圈教你玩USB》一书而涨了工资,不过这都是很遥远的事情啦。圈圈在公司中除了工作以外,还发展了很多娱乐活动,例如组建了公司的乐队,上吉他课,学习钢琴等等。为了能够发布我的钢琴专辑,特意录了音将它们硬塞进随书光盘里了,我想这可能是北航出版社有史以来第一次在技术书籍的光盘中放入作者的钢琴专辑吧!反正光盘空着也是空着,不如多放点内容进去,不喜欢的话可以不管它们。

为什么是在三年这个时候再版呢?因为三是个神奇的数字,例如事不过三、每天要吃三餐、一个月是三十天、三人行、三个代表、不管三七二十一等等,数不胜数。关于再版的事,三年期间不知道胡编催促了多少次,每次都被圈圈以工作忙为借口推脱了。最后一次,在胡编的威逼利诱下,再加上圈圈的小孩也快要出生了,想想以后的时间应该更少了,又恰逢这个三年之际的2012世界末日,所以圈圈就答应下来了。终于,在一个阴森寒冷,下着小雨的星期天早上,圈圈一大早就爬了起来,翻箱倒柜地寻找以前的开发板、数据线等。还好,圈圈每次搬家时都带着这些家当,总算是找全了。东西找着了,在又一次拿起键盘写书之前,总得先说点什么吧,于是就有了这篇《第2版前言》。

本书出版三年以来,受到了很多USB初学者的喜爱和支持,当然也有一些资深的USB专家说本书写得简单的,在这里对所有的支持和意见表示感谢。圈圈认为,单靠看一本书就想成为专家,那几乎是不大可能的。处于如今这样网络发达、信息爆炸的时代,初学时可以靠一些较简单、实验型的书籍入门。一旦入门后,就需要自己通过寻找资料、搜集数据、设计实验等手段,进行较深入的研究,才能达到较高的水平。一个真正的高手,永远不会期待别人把什么都准备好了,也惟有如此,才能成为高手。因此本书虽然是再版,但还是依旧保持之前的风格,新增的内容都是入门级的。

本书的第11章至第14章,是第2版新增加的。第11章主要是考虑到网上很多朋友询问USB触摸屏设备实现的问题,因此在这里增加了普通的单点触摸屏和

WIN7下多点触摸屏功能的实现。而第12章和第13章,是考虑到很多朋友反映说书中所选的芯片太古老了,而且还要外加控制器,因此就专门增加了将代码移植到其它平台(分别是AVR和ARM7)的这两章内容。第14章的内容是在移植到ARM7平台后进行的一些扩展,例如USB声卡的实现、真U盘的实现等等。

希望再版后的书对您更有帮助!

非常感谢胡编不停地督促,没有胡编的给力和支持,就不会有《圈圈教你玩USB》,也更谈不上再版了。当然,光有还是不够的,还要卖得好,推广得好,这就要靠广大读者们的支持了,圈圈对此再次表示感谢!谢谢!

圈圈

2012年12月于广州

前言

USB 作为一种计算机总线技术,在如今的个人计算机上已经是必不可少的了。看看我们身边的计算机外部设备,有多少是通过 USB 口与计算机连接的?鼠标、键盘、游戏手柄、打印机、扫描仪、MP3、数码相机、U 盘、移动硬盘及移动光驱等,另外,还有一些我们不太常见的 USB 设备,例如一些具有 USB 口的仪表仪器、开发用的调试器、烧录机、USB 网卡、USB 耳机、USB 话筒及 USB 电话,甚至一些移动电话(手机)也具备 USB 口。总之,只要是与计算机通信的外部设备,似乎都可以用 USB 来连接,这足见 USB 之强大。

USB 之所以使用得如此广泛,是因为它具有连接简单、速度快、可扩展性强、支持热插拔操作和标准统一等特点。由于 USB 协议详细地规定了各种参数以及数据结构、格式,因而使得各厂生产出来的设备都能够很好地相互兼容。不过,这却给 USB 设备开发者带来了一些麻烦。USB 设备开发者首先要很清楚 USB 协议才能开发出符合协议的 USB 设备,然而 USB 协议本身是一个比较复杂、庞大的系统,再加上众多的子类协议,使得很多设计者望而生畏,或者时间上不允许。所以有一些小公司将 USB 部分外包或者使用别人现成的 USB 模块来加快开发进度。如果你会开发 USB 相关设备的话,可能会获得不少机会哦😊。不过,虽然圈圈(就是笔者我啦,读者一定要牢记这点,不然把你弄晕了我可不负责)会一点 USB,但目前还是穷光蛋一个😞。当然,你也可以学圈圈这样,写本书出来忽悠忽悠。

虽然 USB 这么好用,但是教你如何设计 USB 设备的书在市面上却是少见,大部分都是对 USB 协议翻译,只有少量的内容是实际开发的内容和代码。圈圈从 2003 年年底(大二)开始学习 USB,花了约一年的时间(主要是利用课余时间)阅读了一些 USB 书籍和文档后,才真正开始动手做自己的第一个 USB 设备:一个基于 AT89C52+PDIUSBD12 的假 U 盘。圈圈自认自己资质不差,却让一个小小的 USB 困扰了这么久,我想除了自己的原因之外,还跟 USB 协议本身的复杂性和没有一些好的书籍有很大关系。在整个 USB 学习过程中主要都是靠自己慢慢摸索,走了一些弯路。现在回过头再来看看,如果当初能有一个整体的认识,按照合理的步骤来操作,就不会走这么多弯路了。因此圈圈意识到,迫切需要写一本能让 USB 初学者少走弯路、快速入门和上手的书籍。圈圈写这本书,是真心地想要更多的人能够学会 USB,会开发 USB 设备。本书并不是对 USB 协议简单地进行翻译,而是尽量用圈圈自己的语言

来进行描述。所以,本书的一大特点就是语言有些口语化,逻辑不是太严密,有些语句也可能存在着错误。但我想这样读起来也许会更轻松些,太严谨、太严密的描述,可能会显得有些乏味。另外,有些地方可能会存在一些重复性描述,主要是想方便理解和加深印象。

本书通过 U 盘、USB 鼠标、USB 键盘、USB MIDI 键盘、USB 转串口、自定义的 USB HID 设备和自定义的 USB 设备等几个具体的 USB 例子,来介绍 USB 设备设计的具体流程。提到自定义的 USB 设备,就不可避免地要提到自己开发 USB 的驱动程序。本书最后两章简单地介绍了 USB WDM 驱动的开发,并给出一个简单的 USB 驱动和一个 USB 下层过滤驱动的实例。驱动程序开发更深层次的研究不属本书范畴,留给读者自行深究。另外,本书也包括了一些圈圈在 USB 的学习和实际设计过程中总结的一些电路设计和程序设计的经验及方法,希望能够帮助大家更好地学习和设计 USB 系统。

本书主要面向的读者是刚接触 USB 开发的电子设计人员,需要有一定的电子技术、计算机技术和 C 语言基础。对于已经熟悉 USB 的读者意义不大,应以官方的数据手册和文档为主。本书为了让读者快速入门,可能会对一些模型做简化处理,也可能有一些地方是圈圈本身理解偏差或者错误的,当本书与官方的协议和文档不一致或者冲突时,以官方文档为准。

书中的实例,都是基于圈圈设计的 USB 学习板之上的。本书附带的光盘中有该学习板的电路图(pdf 格式)以及所有实验的完整源代码包,电路图和实验的代码包也可以到圈圈的 USB 小组或者博客中下载。

作为一个人或一本书,出错之处在所难免,如果大家发现有错误的地方,请告诉圈圈一声。你可以在圈圈的 USB 专区里给圈圈留言,也可以去个人博客里留言。圈圈的官方博客地址:<http://blog.ednchina.com/computer00/>或 <http://computer00.2lic.org>。注意是电脑圈圈,是两个数字 0,而不是字母 O。如果你记不住这些地址也没关系,直接去网上搜索“电脑圈圈的 USB 专区”或者“电脑圈圈”,也可找到它们。

在此感谢北京航空航天大学出版社嵌入式系统事业部主任胡晓柏先生对出版本书的关心和支持;感谢同学以及网友对本书的建议和支持;感谢家人对我的支持和理解,尤其是要感谢老婆,为了写书,少了很多陪她的时间,谢谢她的支持、理解和爱;同时也要感谢购买本书的读者——你。

电脑圈圈

2009 年 1 月
于广州

目 录

第 1 章 USB 概述及协议基础	1
1.1 USB 是什么	1
1.2 USB 的特点	1
1.3 USB 的拓扑结构	2
1.4 USB 的电气特性	5
1.5 USB 的线缆、插头及插座	6
1.6 USB 的插入检测机制	8
1.7 USB 的描述符及其之间的关系	10
1.8 USB 设备的枚举过程	11
1.9 USB 的包结构及传输过程	13
1.9.1 USB 的包结构及包的分类	13
1.9.2 令牌包	15
1.9.3 数据包	16
1.9.4 握手包	17
1.9.5 特殊包	17
1.9.6 如何处理数据包	18
1.10 USB 的四种传输类型	19
1.10.1 USB 事务	19
1.10.2 批量传输	19
1.10.3 中断传输	21
1.10.4 等时传输	22
1.10.5 控制传输	23
1.10.6 端点类型与传输类型的关系	23
1.10.7 传输类型与端点支持的最大包长	24
1.11 本章小结	24

第2章 硬件系统设计	25
2.1 方案及芯片的选定	25
2.2 D12 引脚功能说明	26
2.3 D12 与 AT89S52 的连接	30
2.4 串口部分电路	32
2.5 按键部分	34
2.6 指示灯部分	34
2.7 IDE 接口部分	35
2.8 单片机部分	35
2.9 元件安装	35
2.10 电路调试	38
2.11 测试程序的编写和调试	39
2.11.1 建立一个工程	40
2.11.2 为工程添加源文件	41
2.11.3 KEIL 工具栏及仿真介绍	43
2.11.4 按键驱动的编写	46
2.11.5 串口驱动的编写	52
2.11.6 PDIUSB D12 读写函数及读 ID 的实现	57
2.12 本章小结	61
第3章 USB 鼠标的实现	62
3.1 USB 鼠标工程的建立	62
3.2 USB 的断开与连接	62
3.3 USB 中断的处理	66
3.4 读取从主机发送到端点 0 的数据	67
3.5 USB 标准请求	74
3.5.1 USB 标准设备请求的结构	74
3.5.2 GET_DESCRIPTOR 请求	76
3.5.3 SET_ADDRESS 请求	77
3.5.4 SET_CONFIGURATION 请求	78
3.6 设备描述符的实现	78
3.7 设备描述符的返回	82
3.8 设置地址请求的处理	92
3.9 配置描述符集合的结构	94
3.9.1 配置描述符的结构	94

3.9.2 接口描述符的结构	95
3.9.3 端点描述符的结构	96
3.9.4 HID 描述符的结构	96
3.10 配置描述符集合的实现以及返回	97
3.11 字符串及语言 ID 请求的实现	101
3.12 设置配置请求的实现	107
3.13 报告描述符的结构及实现	110
3.14 报告的返回	116
3.15 Bus Hound 工具的简介	120
3.16 本章小结	122
第 4 章 USB 键盘的实现	123
4.1 USB 键盘工程的建立	123
4.2 设备描述符的实现	123
4.3 配置描述符集合的实现	124
4.3.1 配置描述符	125
4.3.2 接口描述符	125
4.3.3 HID 描述符	125
4.3.4 端点描述符	125
4.4 字符串描述符	128
4.5 报告描述符	128
4.6 输入和输出报告的实现	131
4.7 USB 键盘实例的测试	134
4.8 再谈 USB HID 的报告描述符	136
4.9 带鼠标功能的 USB 键盘(方法一)	138
4.10 带鼠标功能的 USB 键盘(方法二)	144
4.11 多媒体 USB 键盘	152
4.12 本章小结	157
第 5 章 用户自定义的 USB HID 设备	158
5.1 MyUsbHid 工程的建立	158
5.2 描述符的修改	158
5.3 报告的实现	160
5.4 对用户自定义的 USB HID 设备的访问	162
5.5 访问 HID 设备时所用到的相关函数	163
5.5.1 获取 HID 设备的接口类 GUID 的函数	163

5.5.2	获取指定类的所有设备信息集合的函数	163
5.5.3	从设备信息集合中获取一个设备接口信息的函数	164
5.5.4	获取指定设备接口详细信息的函数	165
5.5.5	打开设备的函数	166
5.5.6	获取 HID 设备属性的函数	167
5.5.7	从设备读取数据的函数	167
5.5.8	往设备写数据的函数	168
5.5.9	通过控制端点 0 读取报告的函数	168
5.5.10	通过控制端点 0 发送报告的函数	168
5.5.11	关闭句柄的函数	169
5.5.12	需要包含的库文件	169
5.6	访问 USB HID 设备的上位机软件的实现	169
5.6.1	上位机程序编写的思路	169
5.6.2	查找及打开 HID 设备的代码	170
5.6.3	读输入报告线程的代码	175
5.6.4	写输出报告的代码(发送 LED 的状态)	178
5.6.5	写输出报告线程的代码	180
5.6.6	线程的创建以及设备插拔事件的注册	181
5.6.7	对设备状态改变事件的处理	182
5.7	软件界面以及使用方法	183
5.8	本章小结	184
第 6 章	USB 转串口	185
6.1	串口家族历史	185
6.2	串口接头的引脚分布及功能	185
6.3	USB 转串口的实现方法	186
6.4	设备描述符	187
6.5	字符串描述符	188
6.6	配置描述符集合	189
6.6.1	配置描述符	189
6.6.2	CDC 接口描述符	189
6.6.3	类特殊接口描述符——功能描述符	190
6.6.4	接口 0(CDC 接口)的端点描述符	192
6.6.5	数据类接口的接口描述符	192
6.6.6	接口 1(数据类接口)的端点描述符	193
6.6.7	修改好描述符后的测试	194

6.7 类请求的实现	196
6.7.1 GET_LINE_CODING 请求	196
6.7.2 SERIAL_STATE 通知	197
6.7.3 SET_CONTROL_LINE_STATE 请求	198
6.7.4 SET_LINE_CODING 请求	198
6.7.5 实现类请求后的测试	200
6.8 对串口数据的处理	201
6.9 安装驱动用的 inf 文件	207
6.10 本章小结	210
第7章 USB MIDI 键盘	211
7.1 MIDI 简介	211
7.2 MIDI 的工作原理	212
7.3 USB MIDI 设备的数据流模型	212
7.4 设备描述符	213
7.5 配置描述符集合	213
7.5.1 配置描述符	213
7.5.2 音频控制接口描述符	213
7.5.3 类特殊音频控制接口描述符	214
7.5.4 MIDI 流接口描述符	214
7.5.5 类特殊 MIDI 流接口描述符	215
7.5.6 端点描述符和类特殊端点描述符	219
7.5.7 字符串描述符	221
7.6 修改好描述符后的测试	221
7.7 USB MIDI 键盘的数据返回	222
7.8 USB MIDI 键盘的使用	225
7.9 单片机自动弹奏的实现	227
7.10 本章小结	227
第8章 U 盘	228
8.1 USB 大容量存储设备	228
8.2 设备描述符	228
8.3 字符串描述符	229
8.4 配置描述符集合	229
8.4.1 配置描述符	229
8.4.2 接口描述符	229

8.4.3 端点描述符	230
8.5 测 试	230
8.6 类特殊请求	231
8.6.1 Get Max LUN 请求	231
8.6.2 Bulk-Only Mass Storage Reset 请求	232
8.7 仅批量传输协议的数据流模型	232
8.7.1 命令块封包 CBW 的结构	233
8.7.2 命令状态封包 CSW 的结构	234
8.7.3 对批量数据的处理	234
8.8 SCSI 命令集和 UFI 命令集	234
8.8.1 查询命令 INQUIRY	235
8.8.2 读格式化容量命令 READ FORMAT CAPACITIES	237
8.8.3 读容量命令 READ CAPACITY	238
8.8.4 READ(10)命令	239
8.8.5 WRITE(10)命令	240
8.8.6 REQUEST SENSE 命令	241
8.8.7 TEST UNIT READY 命令	242
8.9 FAT 文件系统	242
8.9.1 关于 DBR	243
8.9.2 关于 FAT 表	245
8.9.3 关于目录项	246
8.10 模拟一个 FAT16 文件系统	247
8.11 实验结果	248
8.12 IDE 转 USB 的实现	250
8.13 本章小结	251
第 9 章 自定义 USB 设备及驱动开发	252
9.1 用户自定义 USB 设备	252
9.1.1 设备描述符	252
9.1.2 配置描述符集合	252
9.1.3 字符串描述符	252
9.1.4 数据的处理	253
9.2 驱动程序开发简介	253
9.3 WDM 驱动开发编程环境的建立	253
9.4 创建一个 USB WDM 驱动程序	255
9.5 对工程的编译	264

9.6 关于 inf 文件	265
9.7 驱动程序的修改	266
9.7.1 Read(KIrp I)函数	267
9.7.2 Write(KIrp I)函数	270
9.7.3 EP1_READ_Handler(KIrp I)函数	271
9.7.4 EP1_WRITE_Handler(KIrp I)函数	273
9.7.5 EP2_READ_Handler(KIrp I)函数	273
9.7.6 EP2_WRITE_Handler(KIrp I)函数	274
9.8 驱动的安装及安装后的信息	274
9.9 应用程序对驱动的访问	277
9.10 测试软件的使用	279
9.11 本章小结	281
第 10 章 USB 过滤驱动开发	282
10.1 过滤驱动简介	282
10.2 使用 DS 创建一个下层过滤驱动	282
10.3 过滤驱动代码的修改	287
10.4 过滤驱动的安装	292
10.5 过滤驱动的卸载	294
10.6 驱动程序测试	296
10.7 本章小结	299
第 11 章 USB 触摸屏设备	300
11.1 UsbTouchScreen 工程的建立	300
11.2 描述符的修改	300
11.3 报告的实现	304
11.4 测 试	309
11.5 WIN7 下的多点触摸	309
11.6 多点触摸和单点触摸模式的切换	312
11.7 多点触摸的报告描述符实现	312
11.8 多点触摸报告的实现	320
11.9 多点触摸在 WIN7 下的测试	332
11.10 本章小结	334
第 12 章 移植到 AVR 单片机上	335
12.1 AT90USB162 芯片介绍	335

12.2	硬件抽象层的移植	336
12.3	main. c 和 usbcore. c 的修改	346
12.4	USB 鼠标的移植	350
12.5	本章小节	350
第 13 章 移植到 ARM 微控制器上		351
13.1	AT91SAM7S64 芯片介绍	351
13.2	硬件抽象层的移植	351
13.3	main. c 和 usbcore. c 的修改	362
13.4	其他几个例子的移植	364
13.5	本章小节	364
第 14 章 更多 USB 设备的实现		365
14.1	真 U 盘的实现	365
14.2	USB 读卡器的实现	371
14.3	USB 音频频谱显示	381
14.4	USB 声卡的实现	392
14.5	本章小节	395
附 录 第 3 章实例的完整调试信息		396
参考文献		402
后 记		403