

嵌入式协议栈 μ C/USB-Device

μ C/USB: The Universal Serial Bus Device Stack



[加拿大/美国]The Micrium USB Team 著
何小庆 张爱华 何灵渊 韩志华 赵晓彤 江山 译



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

嵌入式协议栈 μ C/USB – Device

μ C/USB: The Universal Serial Bus Device Stack

[加拿大/美国] The Micrium USB Team 著

何小庆 张爱华 何灵渊 译
韩志华 赵晓彤 江山

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书全面深入地介绍了嵌入式 USB 设备协议的原理和 Micrium 的 μ C/USB 设备协议栈的使用。第一部分对 USB 进行了概述;第二部分讲述了如何用 μ C/USB 设备堆栈构建基于成熟的硬件和软件平台的 USB 设备的基本方法。书中对各种 USB 类设备作了详细的介绍,包括 USB 转串口适配器(通信设备类)、鼠标或键盘(人机接口设备类)、可移动存储设备(Mass Storage 类)和 USB 医疗设备(个人保健设备类)等。

本书适用于嵌入式系统开发人员、咨询顾问、爱好者及有兴趣了解 μ C/USB 设备协议栈工作原理的学生。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式协议栈 μ C/USB-Device / (加)米林
(Micrium, The.), (美)蒂阿(Team, U.) 著; 何小庆等
译. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015. 7

书名原文: μ C/USB: The Universal Serial Bus
Device Stack

ISBN 978-7-5124-1824-0

I. ①嵌… II. ①米… ②蒂… ③何… III. ①USB 总
线—串行接口 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 151103 号

英文原名: μ C/USB: The Universal Serial Bus Device Stack

Copyright © 2012 by Micrium Press.

Translation Copyright © 2015 by Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 Micrium 出版社授权北京航空航天大学出版社在中华人民共和国境内独家出版发行。版权所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2015-6000 号

嵌入式协议栈 μ C/USB-Device

μ C/USB: The Universal Serial Bus Device Stack

[加拿大/美国]The Micrium USB Team 著

何小庆 张爱华 何灵渊 译

韩志华 赵晓彤 江山

责任编辑 梅栾芳

*

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:cmsbook@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:710×1 000 1/16 印张:23.75 字数:506 千字

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1824-0 定价:69.00 元

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

译者序

本书翻译工作接近尾声的时候,我们和原书 $\mu\text{C}/\text{USB}$: *The Universal Serial Bus Device Stack* 的出版人、Micrium 创始人和总裁 Jean labrosse 先生就中文版《嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device》一书的序言交换了意见,他希望何小庆能为全书写一篇序言(实际上原书本身也没有序言),于是就有了下面的序言。

《嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device》一书以嵌入式 USB 设备协议栈为重点,介绍了 USB 系统原理、操作系统移植和 USB 控制器驱动编写等方面的知识,并配有详实的软件代码实现的文档介绍,这样全面介绍嵌入式 USB 的图书还很少见到。市场上的 USB 图书多数介绍芯片级的 USB 功能实现,主要写 USB 芯片的驱动编程和支持该芯片特定类的软件实现,局限性很大。本书也是目前北京航空航天大学出版社出版的 $\mu\text{C}/\text{OS}$ - III 系列图书最新的一本,该系列已经出版了《嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}$ - III》、《嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}$ - III 应用开发——基于 STM32 微控制器》和《嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{TCP}$ - IP——基于 STM32 微控制器》。

本书原版中的第二部分“ $\mu\text{C}/\text{USB}$ and the Renesas RX63N”,因为 Renesas RX63N 芯片在国内不是很流行,我们与 Jean labrosse 先生商量之后,决定将这部分内容移植到 STM32 微控制器后再在国内出版,这部分工作已经在进展之中。为了配合这个部分,北京麦克泰软件技术有限公司计划将把为 $\mu\text{C}/\text{OS}$ - III 图书配套的 $\mu\text{C}/\text{Eval}$ - STM32F107 评估板进行升级,发布一款新的板子,它既可以支持已经出版的三本书,还能很好地支持《嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device》。STM32 微控制器是最早进入市场的 32 位 ARM Cortex - M 核微控制器,在中国市场人气很旺,我们相信这样的安排能让中国的读者更容易通过 $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device 协议软件和 STM32 微控制器的结合,更好地学习和掌握嵌入式 USB 知识。

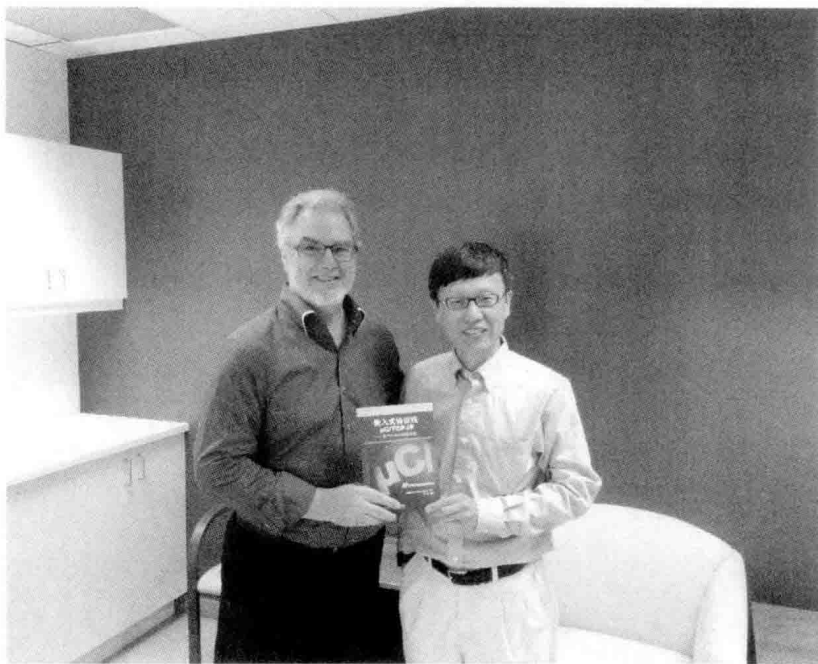
USB 是计算机系统历史上最成功的通信接口,是连接个人计算机外设事实上的工业标准。USB 在嵌入式系统中已经广泛采用,可实现设备之间或者设备与主机之间的通信和数据存储等功能,还可用于软件升级和内容更新。Micrium 的 $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device 是专门针对嵌入式系统设计的 USB 设备协议栈。依靠 Micrium 团队的共同努力,高质量、可伸缩和高可靠性的代码经过了很严格的认证过程, $\mu\text{C}/\text{USB}$ - Device 符合 USB 2.0 规范。

截至本书出版, Micrium 的 μ C/USB - Device 协议栈已经能够支持通信设备(CDC)类、人机接口设备(HID)类、大容量存储设备类(MSC)、个人健康设备类(PHDC)和供应商类。 μ C/USB - Device 协议栈的最新版本增加了 CDC - EEM 类和 Audio 类的支持,丰富了 μ C/USB - Device 协议栈的功能。Audio 类可以帮助用户构建符合 Audio 1.0 规范的音频设备,典型应用包括扬声器、麦克风、耳机等。EEM(以太网仿真模型)类是一种在 USB 总线上高效率传输以太网数据包的一种规范。它是 USB CDC 规范的一部分,允许设备通过 USB 接口连接到以太网,所有典型的网络应用如 HTTP、FTP、DHCP 等,都可以运行在该设备上(这两个类没有在本书中体现)。 μ C/USB - Device 协议栈设备控制器的驱动程序很丰富,支持许多 MCU 芯片内置的 USB 控制器,包括 STM32、TI Tiva C 系列、LPC17xx、21xx 和 318x 等近 40 余种。 μ C/USB - Device 协议栈的架构非常清晰,核心模块分为设备控制驱动、设备核心、类和 RTOS 移植四大部分,既可以支持 μ C/OS - II 或者 μ C/OS - III,也可以支持其他的 RTOS。

μ C/USB - Device 协议栈是 Micrium μ C/OS 系列操作系统软件的成员之一, μ C/OS 的内核已经有第三代产品,第一代产品 1992 年问世,1998 年有了 μ C/OS - II,2009 年发表了 μ C/OS - III。1999 年 Jean labrosse 先生创办 Micrium 公司之后开发了大量的 μ C/OS 的组件,比如 μ C/FS、 μ C/TCP - IP 和 μ C/GUI 等,这些组件和 μ C/OS 组合,形成一个功能和性能很强大的嵌入式操作系统。 μ C/USB - Device 可以流畅地与 μ C/OS - II 或者 μ C/OS - III 配合工作,还能得到 μ C/FS 和 μ C/TCP - IP 的支持。

本书的作者来自 Micrium USB 开发团队:Christian Légaré 是 Micrium 的 CTO,有 22 年通信行业的经验,是《嵌入式协议栈 μ C/TCP - IP——基于 STM32 微控制器》作者,目前负责物联网应用解决方案 Micrium Spectra 的开发工作;Cédric Migliorini 是 Micrium USB 团队负责人,他改进和维护了 USB 设备和主机协议栈;Jean - François Deschênes 是 Micrium USB 团队的工程师,负责 μ C/USB - Host 软件;Juan P. Benavides 是应用工程师,在 Micrium 美国佛罗里达 Weston 办公室。前面三位都在 Micrium 加拿大蒙特利尔办公室,何小庆在 2014 年 6 月曾经访问过这个办公室,与 Christian 就物联网操作系统进行了广泛和深入的交流,收获很多,下图是与 Christian 的合影。

本书的翻译团队由两部分组成,其中一部分来自北京麦克泰软件技术公司专业工程师:张爱华,她在 RTOS 的移植和应用方面有丰富的经验,与何小庆一起翻译了《嵌入式实时操作系统 μ C/OS - III 应用开发——基于 STM32 微控制器》;韩志华和赵晓彤,他们对 μ C/OS 和 IAR 开发工具有实践经验。另外一部分是在校的优秀学生,何灵渊现是哥伦比亚大学计算机科学专业的研究生,他已经参与翻译了 2 本计算机专业的图书;江山是斯蒂文森理工大学电子工程专业的本科生。何小庆除在公司任职外,还在高校给研究生和本科生授课,在科技期刊和行业协会兼职。



2014年6月何小庆与 Christian Légaré 在蒙特利尔的合影

本书的第1章和附录B、C、D由张爱华翻译；第2~4章，附录H、I、J及参考文献由何小庆翻译；第5~7章和附录E、F由韩志华翻译；第8、9章和附录G由赵晓彤翻译；第10、11章和附录A由何灵渊翻译；第12~14章和附录A(部分)由江山翻译，全书由何小庆统稿和审校。

我们要感谢北京航空航天大学出版社让这本非常专业的嵌入式软件书籍可以与读者见面。策划编辑胡晓柏主任长期致力于嵌入式系统图书出版的精神感动和鼓励了我们。感谢北京麦克泰软件技术公司各方面的支持和帮助。

最后，希望读者能从本书的阅读中受益。我们的翻译如有不足和纰漏之处，还请读者指正。

译者

2015年8月

于北京、上海和美国纽约

目 录

第 1 章 USB 概述	1
1.1 USB 历史概述	1
1.2 机械规范	2
1.2.1 电缆和连接器	2
1.2.2 电气规范	4
1.2.3 高速模式	5
1.3 USB 设备供电	6
1.3.1 总线供电设备	6
1.3.2 自供电设备	7
1.4 总线状态	8
1.5 USB 拓扑结构	11
1.5.1 USB 主机	12
1.5.2 USB 设备	13
1.5.3 USB 设备结构	13
1.5.4 设备状态	14
1.5.5 主控制器	15
1.6 USB 包	16
1.7 USB 包类型	16
1.7.1 令牌包	17
1.7.2 数据包——低速和全速模式	18
1.7.3 数据包——高速模式	19
1.7.4 握手包	19
1.7.5 拆分事务特殊令牌包	20
1.8 数据流模型	21
1.8.1 端 点	21

1.8.2 管道	22
1.8.3 传输	22
1.9 事务、传输和帧	24
1.10 帧和微帧	25
1.11 USB 实际吞吐量	26
1.12 枚举	27
1.13 USB 协议栈	29
1.13.1 设备协议栈	29
1.13.2 主机协议栈	29
1.13.3 USB OTG 协议栈	31
1.14 一致性测试	32
1.14.1 USB 设备测试	32
1.14.2 USB 黄金树	32
1.14.3 USB 主机测试	34
第 2 章 开始工作	35
2.1 准备	35
2.2 下载源代码	35
2.3 安装文件	36
2.4 构建应用示例	37
2.4.1 理解 Micri μ m 示例	38
2.4.2 复制和修改临时文件	39
2.4.3 包含进 USB Device 协议栈源代码	43
2.4.4 修改应用配置文件	44
2.5 运行应用范例	45
第 3 章 主机操作系统	50
3.1 微软 Windows	50
3.2 关于 INF 文件	51
3.3 使用 GUID	54
第 4 章 架构	56
4.1 模块关系	57
4.1.1 应用程序	57
4.1.2 库	57
4.1.3 USB 类层	57
4.1.4 USB 内核层	58
4.1.5 端点管理层	58
4.1.6 实时操作系统抽象层	58

4.1.7 硬件抽象层	59
4.1.8 CPU 层	59
4.2 任务模型	59
4.2.1 发送和接收数据	60
4.2.2 处理 USB 请求和总线事件	61
4.2.3 处理调试事件	62
第 5 章 配 置	64
5.1 静态堆栈配置	64
5.1.1 基本配置	64
5.1.2 USB 设备配置	65
5.1.3 接口配置	65
5.1.4 字符串配置	66
5.1.5 调试配置	66
5.1.6 通信设备类(CDC)配置	67
5.1.7 CDC 抽象控制模型(ACM)串口类配置	67
5.1.8 人机接口设备(HID)类配置	67
5.1.9 大容量存储设备类(MSC)配置	68
5.1.10 个人健康设备类(PHDC)配置	69
5.1.11 供应商类配置	70
5.2 应用相关配置	70
5.2.1 任务优先级	70
5.2.2 任务堆栈大小	71
5.3 设备和设备控制器驱动配置	71
5.4 配置范例	71
5.4.1 简单的全速 USB 设备	72
5.4.2 组合高速 USB 设备	72
5.4.3 复杂的组合高速设备	73
第 6 章 设备驱动程序指南	76
6.1 设备驱动程序结构	76
6.2 设备驱动程序模型	76
6.3 设备驱动程序 API	77
6.4 中断处理	79
6.4.1 带 ISR 处理参数的单个 USB ISR 向量	79
6.4.2 单个 USB ISR 向量	79
6.4.3 带 ISR 处理参数的多个 USB ISR 向量	80
6.4.4 多个 USB ISR 向量	80

6.4.5	USBD_DrvISR_HANDLER()	80
6.5	设备配置	81
6.6	内存分配	84
6.7	支持的 CPU 和板子	84
6.8	USB 设备驱动程序函数模型	85
6.8.1	设备同步接收	85
6.8.2	设备异步接收	86
6.8.3	设备同步发送	87
6.8.4	设备异步发送	88
6.8.5	设置设备地址	90
第 7 章	USB 类	91
7.1	类实例的概念	91
7.2	类实例的结构	98
7.3	类和内核层通过回调函数的交互	99
第 8 章	通信设备类	102
8.1	概 述	103
8.2	架 构	104
8.3	配 置	105
8.4	ACM 子类	106
8.4.1	概 述	107
8.4.2	常规配置	108
8.4.3	子类实例配置	108
8.4.4	子类通知与管理	110
8.4.5	子类实例通信	111
8.4.6	使用演示应用程序	112
第 9 章	人机接口设备类	117
9.1	概 述	117
9.2	架 构	121
9.3	配 置	122
9.3.1	常规配置	122
9.3.2	类实例配置	123
9.3.3	类实例通信	127
9.3.4	同步通信	127
9.3.5	异步通信	128
9.4	使用演示应用程序	131
9.4.1	配置 PC 和设备应用程序	131

9.4.2 运行演示程序	132
9.5 移植 HID 类到 RTOS 层	135
9.6 周期输入报告任务	136
第 10 章 大容量存储类	139
10.1 概 述	139
10.1.1 大容量存储类协议	139
10.1.2 端 点	140
10.1.3 大容量类请求	140
10.1.4 小型计算机系统接口(SCSI)	141
10.2 体系结构	141
10.2.1 MSC 体系结构	141
10.2.2 SCSI 命令	141
10.2.3 存储层和存储介质	143
10.2.4 多个逻辑单元	144
10.3 RTOS 层	145
10.4 配 置	146
10.4.1 一般配置	146
10.4.2 类实例配置	147
10.5 使用演示应用	150
10.5.1 USB 设备应用	150
10.5.2 USB 主机应用	151
10.6 MSC 的存储层移植	153
10.7 MSC 的 RTOS 移植	154
第 11 章 个人健康设备类	155
11.1 概 述	155
11.1.1 数据特性	155
11.1.2 操作模型	156
11.2 配 置	158
11.2.1 一般配置	158
11.2.2 类实例配置	159
11.3 类实例通信	161
11.3.1 使用元数据前文进行通信	162
11.3.2 无元数据前文的通信	164
11.4 RTOS 基于 QoS 的任务调度程序	164
11.5 使用演示应用	167
11.5.1 演示应用的配置	167

11.5.2 运行演示应用	168
11.6 PHDC 的 RTOS 移植	170
第 12 章 供应商类	171
12.1 概 述	171
12.2 配 置	172
12.2.1 通用配置	172
12.2.2 类实例配置	173
12.2.3 类实例通信	175
12.2.4 同步通信	175
12.2.5 异步通信	177
12.3 USBDev_API	179
12.3.1 设备和管道管理	179
12.3.2 设备通信	182
12.4 运行演示程序	184
12.4.1 配置 PC 和设备应用程序	184
12.4.2 编辑 INF 文件	186
12.4.3 运行演示程序	187
12.4.4 GUID	190
第 13 章 调试和跟踪	192
13.1 使用调试跟踪	192
13.1.1 调试配置	192
13.1.2 调试跟踪输出	192
13.1.3 调试格式	193
13.2 处理调试事件	193
13.2.1 调试事件池	193
13.2.2 调试任务	194
13.2.3 调试宏	194
第 14 章 μC/USB 设备的实时操作系统移植	196
14.1 概 述	196
14.2 将模块移植到 RTOS	197
14.3 核心层 RTOS 模型	198
14.3.1 同步传输完成信号	198
14.3.2 核心事件管理	198
14.3.3 调试事件管理	199
14.4 移植核心层到 RTOS	199

附录 A 核心 API 参考	201
A.1 设备函数	201
A.2 配置函数 USBD_CfgAdd()	208
A.3 接口函数	209
A.4 端点函数	212
A.5 操作系统内核函数	232
A.6 设备驱动回调函数	240
A.7 跟踪函数 USBD_Trace()	244
附录 B 设备控制器驱动 API 参考手册	245
B.1 设备驱动函数	245
B.2 设备驱动 BSP 函数	258
附录 C CDC API 参考手册	260
C.1 CDC 函数	260
C.2 CDC ACM 子类函数	268
附录 D HID API 参考手册	278
D.1 HID 类函数	278
D.2 HID OS 函数	285
附录 E MSC API 参考手册	294
E.1 大容量存储类函数	294
E.2 MSC 操作系统函数	299
E.3 MSC 存储层函数	303
附录 F PHDC API 参考手册	309
F.1 个人健康设备类函数	309
F.2 PHDC 操作系统函数	321
附录 G 供应商类 API 参考手册	326
G.1 供应商类函数	326
G.2 USBDEV_API 函数	337
附录 H 错误代码	353
H.1 通用错误代码	353
H.2 设备错误代码	354
H.3 配置错误代码	354
H.4 接口错误代码	354
H.5 端点错误代码	354
H.6 OS 层错误代码	355
H.7 URB 错误代码	355
H.8 设备控制器驱动程序错误代码	355

H.9	MSC 错误代码	355
附录 I	存储器占用	356
I.1	通信设备类	356
I.2	人机接口设备类	357
I.3	大容量存储器类	358
I.4	个人健康设备类	359
I.5	厂商类	360
附录 J	μ C/OS - III 和 μ C/USB - Device 软件许可政策	361
J.1	μ C/USB - DEVICE 维护协议的续签	361
J.2	μ C/USB - DEVICE 源代码升级	361
J.3	μ C/USB - DEVICE 技术支持	362
参考文献		363

第 1 章

USB 概述

本章概要地介绍了 USB 系统,概述了 USB 规范 2.0 版中的基本概念,探讨了数据流模型,详细介绍了设备相关的操作,最后,描述了 USB 设备的逻辑组织结构。USB 规范 2.0 版完整的协议描述见 <http://www.usb.org>。

1.1 USB 历史概述

通用串行总线(USB)是由 USB 实施者论坛(USB-IF)维护的一种用于串行总线通信的工业标准。USB 规范包含协议相关的所有信息,如电气信号、连接器的物理尺寸、协议层及其他重要的内容。与其他通信接口相比,USB 提供了更多优势,如易于使用,低成本,低功耗,以及快速、可靠的数据传输。

1. USB 联盟

1994 年,七家公司:Compaq(康柏)、Digital Equipment(美国数字设备公司)、IBM(美国国际商业机器公司)、Intel(英特尔)、NEC(日本电气株式会社)、Microsoft(微软)、Nortel(北方电信公司)联合制定了 USB 标准。每个公司基于不同的原因加入该联盟,但他们具有相同的目标:

- 使用一种通用的结构,从根本上简化用户外围设备与计算机的连接。
- 简化连接到计算机的所有外围设备的软件配置。
- 提高计算机和外围设备之间可用的传输带宽。

USB 1.0 在 1996 年发布,它提出了 1.5 Mb/s 的低速(LS)模式和 12 Mb/s 的全速(FS)模式。1998 年,USB 1.1 发布,修正和澄清了 USB 规范 1.0 的几个要素。

LS 模式仍然用于不需要大量带宽的人机接口设备,例如键盘、鼠标和游戏操作杆。FS 模式广泛应用于大容量存储设备、打印机、扫描仪和音频设备中。

日益增长的更大存储量和更快通信链路的市场需求,促进了 USB 2.0 的开发,USB 2.0 在 2000 年初发布。新的 USB 标准保持了与 LS 和 FS 模式的兼容性,并增加了 480 Mb/s 的高速(HS)模式。

2. 时间表

- 1969 年 开发了串行端口(RS-232C)。
- 1994 年 Compaq、DEC、IBM、Intel、Microsoft、NEC 和 Nortel 联合成立了 USB 联盟。
- 1996 年 USB 1.0 标准发布,支持 1.5 Mb/s(低速带宽)和 12 Mb/s(全速带宽)两种数据速率。
- 1999 年 USB 1.1 发布,修正了发现的 bug。
- 2000 年 USB 2.0 发布,提出了 480 Mb/s 的总线实现。
- 2001 年 增加了 USB On - The - Go(OTG)supplement,允许 USB 设备之间直接相互通信。
- 2005 年 无线 USB 标准发布,它是一个点对点的无线通信链路。
- 2008 年 USB 3.0 发布,实现了高达 5 Gb/s 的传输速度。

本书内容涵盖了 USB 1.1 和 USB 2.0 规范,因为这些都是嵌入式系统中常用的标准。在典型的嵌入式系统中,通常不提供 USB 3.0 所需要的资源,所以本书不会详细讨论 USB 3.0 规范。

1.2 机械规范

本节涵盖了电缆和连接器、电气规范,以及 USB 1.1 和 USB 2.0 总线供电设备相关的内容。

1.2.1 电缆和连接器

USB 电缆由 4 根 28 - AWG 规格的导线组成。“D+”和“D-”是一对 USB 双绞线,两根信号线拧在一起形成双螺旋结构,这些信号线被封装在一个屏蔽层中。电缆最大长度为 5 米。

1. A 型和 B 型连接器

A 型和 B 型连接器如图 1-1 所示。电缆引脚如表 1-1 所列。

表 1-1 USB A 型和 B 型电缆引脚

名 称	用 途	颜 色
VBus	电源	红色
Gnd	电源地	黑色
D+	数据	绿色
D-	数据	白色

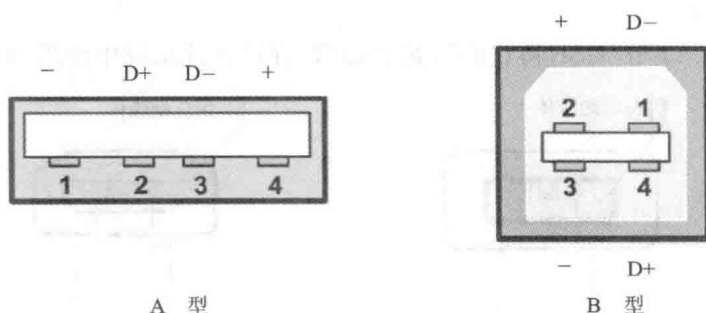


图 1-1 A 型和 B 型连接器插座

A 型连接器连接到主机(上行端口),而 B 型连接器通常用于连接设备(下行端口)。

传输电能的引脚(VBus 和 Gnd)比其他两个引脚长。因此连接设备时,电源引脚先接通,而后再接通数据引脚。当拔出设备时,先断开数据引脚,再断开电源引脚。

2. Mini USB 连接器

在 USB 2.0 中增加了 Mini 连接器。B 型连接器太大不容易集成到这类设备中,Mini-B 连接器可以替代标准的 B 型连接器,用于手持设备和便携式设备。Mini-B 连接器增加了一个引脚,命名为 ID,但这个引脚没有使用。Mini-B 连接器如图 1-2 所示。电缆引脚如表 1-2 所列。

Mini 连接器已经逐渐被淘汰掉,取代它用于小型手持设备开发的是 Micro 连接器。

表 1-2 USB Mini-B 电缆引脚

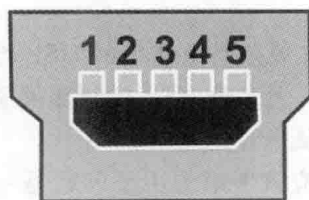


图 1-2 Mini-B USB 连接器插座

名 称	用 途	颜 色
VBus	电源	红色
Gnd	电源地	黑色
D+	数据	绿色
D-	数据	白色
外壳	屏蔽线	—
ID	没有使用	—

3. USB ON - THE - GO(Micro)连接器

USB OTG 设备使用 Micro-USB 连接器。这种连接器较小,使它们更适合手持设备,并且支持通过 ID 引脚确定设备类型。一个 OTG 设备通过检查 ID 引脚的对地电阻是否小于 $10\ \Omega$ 或大于 $100\ \text{k}\Omega$ 来确定插入的是 Micro-A 或 Micro-B 接口。如果 ID 引脚上的电阻小于 $10\ \Omega$,则该引脚被认为是 ID=FALSE;如果电阻值大于 $100\ \text{k}\Omega$,则被认为是 ID=TRUE。Micro USB 连接器如图 1-3 所示,电缆引脚