

必备的PC系统体系参考手册

——《PC Magazine》杂志“Read Only”专栏

PC 系统体系丛书

UNIVERSAL SERIAL BUS SYSTEM ARCHITECTURE Second Edition

USB 系统体系

(第二版)

光盘中含85分钟
USB 2.0 简介，由 Don
Anderson 制作

MindShare, Inc 著
Don Anderson Dave Dzatko
孟文 译

PC 系统体系丛书

UNIVERSAL SERIAL BUS SYSTEM ARCHITECTURE Second Edition

USB 系统体系

(第二版)

MindShare, Inc
Don Anderson Dave Dzatko 著
孟 文 译

中国电力出版社

Universal Serial Bus System Architecture, Second Edition (ISBN 0-201-30975-0)

MindShare, Inc

Copyright ©2001 MindShare, Inc.

Original English Language Edition Published by Addison Wesley, Inc.

All rights reserved.

Translation edition published by PEARSON EDUCATION NORTH ASIA LTD and CHINA ELECTRIC POWER PRESS, Copyright © 2003.

本书翻译版由 Pearson Education 授权中国电力出版社在中国境内（香港、澳门特别行政区和台湾地区除外）独家出版、发行。

未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2002-4849 号

For sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (excluding Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR).

仅限于中华人民共和国境内（不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行。

图书在版编目（CIP）数据

USB 系统体系：第2版 / 美国迈舍尔公司编；孟文译。

—北京：中国电力出版社，2003

ISBN 7-5083-1521-9

I. U... II. ①美...②精... III. 电子计算机—总线—接口 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 048299 号

责任编辑：陈维宁

书 名：USB 系统体系（第二版）

原 著：（美）MindShare, Inc

翻 译：孟文

出版发行：中国电力出版社

地址：北京市三里河路6号 邮政编码：100044

电话：（010）88515918 传真：（010）88518169

印 刷：汇鑫印务有限公司印刷

开 本：787×1092 1/16 印 张：20 字 数：439 千字

书 号：ISBN 7-5083-1521-9

版 次：2003年9月北京第一版

印 次：2003年9月第一次印刷

定 价：45.00 元

致 谢

感谢各位参与 MindShare 的 USB 入门课程的工程师。他们的意见和见解非常有价值。
感谢 Don Coston 的投稿。特别感谢 Tom 和 Nancy Shanley 的关心和支持。

关于本书

MindShare 体系系列

MindShare 体系系列书目包括：《ISA System Architecture》、《EISA System Architecture》、《80486 System Architecture》、《PCI System Architecture》、《Pentium Processor System Architecture》、《PCMCIA System Architecture》、《PowerPC System Architecture》、《Plug and Play System Architecture》、《CardBus System Architecture》、《Protected Mode Software Architecture》、《Pentium Pro and Pentium II System Architecture》、《USB System Architecture》、《FireWire System Architecture》、《PCI-X System Architecture》以及《AGP System Architecture》。该系列书目由 Addison-Wesley 出版社出版。

每本书不是简单地重复信息，而是使用构件块的方式不断推进。《ISA System Architecture》是其他书目的核心。表 1 是每本书之间的关系。

表 1 PC 体系结构系列书目

分 类	书 名	版 本	ISBN
处理器体系结构	《8046 System Architecture》	第 3 版	0-201-40994-1
	《Pentium Processor System Architecture》	第 2 版	0-201-40992-5
	《Pentium Pro and Pentium II System Architecture》	第 2 版	0-201-30973-4
	《PowerPC System Architecture》	第 1 版	0-201-40990-9
总线体系结构	《PCI System Architecture》	第 4 版	0-201-30974-2
	《EISA System Architecture》	不再版	0-201-40995-X
	《FireWire System Architecture:IEEE 1394a》	第 2 版	0-201-48535-4
	《ISA System Architecture》	第 3 版	0-201-40996-8
	《USB System Architecture》	第 2 版	0-201-46137-4
	《PCI-X System Architecture》	第 1 版	0-201-72682-3
其他体系结构	《PCMCIA System Architecture》	第 2 版	0-201-40991-7
	《CardBus System Architecture》	第 1 版	0-201-40997-6
	《Plug and Play System Architecture》	第 1 版	0-201-41013-3
	《Protected Mode Software Architecture》	第 1 版	0-201-55447-X
	《AGP System Architecture》	第 1 版	0-201-3794-3

注意事项

读者应该知道 MindShare 体系系列书目总是关注快速发展的技术。这就是说在这本书完成的时候，它只是目标技术的一个“概要介绍”。我们在目标技术改进的时候会更新每一本书，但是因为很多因素，总是会有些滞后。（例如，等待下一个版本的说明书固定下来，改变所需要的必要时间，等待书的出版和发行。）

本书依据的规范

本书依据通用串行总线 2.0 规范。也包括下列设备类文件的信息：

- 音频设备类文件
- 通用类文件
- 通信设备类文件
- HID（人机交互）类文件
- 大容量存储类文件
- 监视器类文件

这些规范和文件可以在 USB 实现论坛网站找到：

www.usb.org

本书组织结构

这本书分成六个部分，包括下列章节：

第一部分：USB 2.0 综述

- **第 1 章：USB 的设计目标**——今天我们的许多 PC 机仍然沿用基于 20 世纪 80 年代初设计的最初的 IBM PC 机接口的外围设备，这种实现有一系列的缺点，会给设计者和用户带来相当多的麻烦。这一章我们讨论 USB 2.0 的基本设计目标并且回顾一下传统方式的缺点
- **第 2 章：概念总述**——本章给出 USB 转换基本概念的总述，描述 USB 系统软件、系统硬件和 USB 设备在 USB 1.x 系统和 USB 2.0 系统中的交互。还描述了 USB 通信进程，包括设备框架的概念。也介绍了每个 USB 系统的硬件和软件元素以及相应的基本功能
- **第 3 章：电缆和连接器**——USB 为将所有外设到主机的连接定义了一种连接器类型。本章介绍 USB 连接器和电缆物理方面的性能
- **第 4 章：USB 电缆配电系统**——本章讨论 USB 配电系统，还有总线驱动设备和自驱动设备操作的相关问题。也讨论了主机软件在检测和报告与配电有关的问题时所起的作用

第二部分：低速和全速设备的操作

- **第 5 章：低速/全速信号环境**——USB 使用双向不归零编码和差动信号在 USB 电缆

上传信息。本章讨论低速和全速信号环境，包括 USB 使用的差动信号和双向不归零编码技术。信号环境必须也支持其他与发送信号相关的功能，例如：检测设备的连接和卸载，挂起和唤醒操作，重装设备，还有一些其他内容，这些都会在本章讨论

- **第 6 章：低速/全速传输类型和调度**——USB 支持四种传输类型：中断、批量、同步传输和控制传输。本章我们会讨论这些类型，以及它们的初始化过程和运行机制
- **第 7 章：包和事务**——每个广播在 USB 上的传输包括一组数据包。这些包共同定义了一个独立的事务作为一个大的传输中的一部分。每个事务的类型都给出了定义，也在组成它的每个包中指出类型
- **第 8 章：错误恢复**——中断、批量和同步传输都要求使用 USB 验证数据的成功传输。CRC 和其他的错误检测方法被应用到数据传输验证中，如果发现错误，就要重传。本章就是讨论各种错误情况和 USB 识别错误所使用的机制，以及改正这些错误的恢复方法
- **第 9 章：USB 节电模式**——USB 设备通过进入挂起状态支持节电模式。本章讨论设备在软件的控制下进入挂起状态的途径。还讨论了软件如何重新唤醒设备，以及调制解调器这样的设备如何初始化一个远程唤醒

第三部分：高速设备操作

- **第 10 章：高速设备操作概况**——本章我们会简单地介绍高速设备的操作，为讨论高速环境打下一个基础
- **第 11 章：高速信号环境**——高速性能的设备还必须能在全速信号环境中通信。高速设备为在全速环境操作附加了许多扩展功能，使其可以以 480Mb/s 的速度可靠地发送信号。本章我们主要介绍高速设备的信号规则和高速/全速环境之间的转换方法
- **第 12 章：高速传输、事务和调度**——本章我们主要介绍 2.0 规范所作的变化。在高速环境中，USB1.0 中传输的定义有着相同的基本性质。不过，也会因包的大小和差民而有所改变。一些新的特点也被加到了高速环境中，例如高带宽的传输和 ping 协议。这些和一些其他的变化都会在本章讲述
- **第 13 章：高速错误检测和处理**——高速环境中的错误检测和处理与全速和低速环境非常相似。然而，因为更高的时钟速率，有些时间变量必须改变以支持错误检测，例如超时值和串扰检测。这些问题我们会在本章介绍
- **第 14 章：高速的挂起和恢复**——本章我们讲述为了使用全速挂起和恢复协议以及信号习惯，需要对高速设备所做的改变

第四部分：USB2.0 集线器在低速、全速、高速中的操作

- **第 15 章：高速集线器概况**——本章我们讲述高速集线器的基本特性。它必须在连接高速和全速端口时都能正确操作，而且还要支持在其端口上的所有设备的速度
- **第 16 章：高速事务中的 2.0 集线器**——本章我们讨论当 2.0 集线器在它的上游和下游端口收到高速数据包时的行为。也细致讲述了高速转发器和通过集线器向前传输高速数据包的延时问题
- **第 17 章：低速和全速事务中的 2.0 集线器**——本章介绍允许高速集线器支持低速和全速设备，而不需要牺牲大量的总线时间访问慢速设备的分解事务。本章讲述事务

翻译器的操作，分解事务的不同形式和每一种所要求的特定序列

第五部分：USB 2.0 设备配置

- **第 18 章：配置过程**——本章综述配置过程。详细讲解了每个 USB 设备配置的主要步骤
- **第 19 章：USB 设备配置**——本章讨论连接到任何 USB 端口的 USB 设备的配置。任何速度的设备配置过程实际上都是一样的。和配置相关的设备描述符及其他的性能和特点也会在本章介绍
- **第 20 章：集线器配置过程**——集线器和任何其他连接到 USB 端口的设备一样配置。集线器配置的不同之处在于，它要报告在它的下层端口是否有设备连接。本章我们复习集线器的配置过程，重点讲解扩展通过集线器下层端口的总线
- **第 21 章：设备类**——本章我们介绍设备类的概念，并讨论它们在 USB 中的角色。本章还讨论了已定义的前 5 种类。讨论这些类是为了让读者对为每种类定义的信息及其使用的 USB 机制有所了解。细致的讨论需要读者具有对相关领域（例如电话、音频）的深入了解

第六部分：USB 软件概述

- **第 22 章：USB 主机软件概述**——主机软件包括三个类型的组件：USB 设备驱动程序、USB 驱动程序和主机控制器驱动程序。本章我们讨论每一层所扮演的角色，描述可编程接口的请求

附录

- **附录 A：标准设备请求**——这个附录给出 USB2.0 规范定义的标准设备请求的参考材料
- **附录 B：集线器请求**——这个附录给出用于访问和控制集线器功能而定义的集线器类请求的参考材料
- **附录 C：通用主机控制器**——这个附录给出 USB1.x 通用主机控制器接口的概况，也参考了传统规范
- **附录 D：开放主机控制器**——这个附录给出 USB1.x 开放主机控制器接口的概况，也参考了传统规范

本书读者群

本书适合于硬件和软件设计者和技术支持人员使用。非设计和技术支持人员也可以找到有用的章节。

必备知识

读者应该熟悉 PC 体系结构和传统的硬件软件问题。MindShare 的 ISA 系统结构方面的书提供了许多关于 USB 要克服的输入/输出的传统问题的知识基础。

文件约定

这本书包括数字标识方法的约定如下。

十六进制符号

这部分我们定义本书的印刷规则。

所有的十六进制符号后面都有“h”例如：

9A4Eh ; 0100h

二进制符号

所有二进制符号后面都有“b”例如：

0001 0101b; 01b

十进制符号

没有任何后缀的数字都是十进制数字。如果需要明确指出，则在十进制数字后面加“d”，例如：

16; 255; 256d; 128d

位和字节符号

顾名思义，通用串行总线（USB），传送串行数据，所以要讨论和位相关的问题。本书使用标准符号来区分位和字节。

所有“位”的简写都使用小写的“b”，例如：

1.5Mb/s; 2Mb

所有“字节”的简写都使用大写的“B”，例如：

10MB/s; 1KB

位字段指示（位或信号的逻辑组）

所有的位字段小数在前（little-endian），顺序如下：

【X:Y】，X 为字段的最大位，Y 为字段的最小位。

访问我们的网页

我们的网站包括所有我们提供的产品和服务的列表。MindShare 提供基于 Web 的培训，CD-ROM 和 DVD 培训课程，书目和现场培训课程。另外，包括一些书目的勘误表，还可以链接到我们的出版商站点查看详细的图书大纲。

www.mindshare.com

我们出版商的网页包括我们目前已经出版的书目的列表，并且包括价目和订购信息。它的主页可以在下面网址访问到：

www.awl.com

我们期望您的反馈

MindShare 非常重视您的意见和建议。您可以通过信件、电话、传真或者互联网电子邮件和我们联系。

电话：(719) 487-1417，美国可以拨打免费电话 (800) 633-1440

传真：(719) 487-1434

电子邮件：don@mindshare.com

为了获取 MindShare 的产品和讲座信息，请访问我们的网站 www.mindshare.com

邮寄地址：

MindShare, Inc

4285 Slash Pine Dr.

Colorado Springs, CO80908

目 录

致 谢

关于本书

第一部分 USB 2.0 综述

第 1 章 USB 的设计目标	3
早期 PC 输入/输出范例的缺点	3
USB 范例	6
第 2 章 概念总述	10
概览	10
USB 1.x 系统和设备	10
USB 2.0 系统和设备	17
USB 2.0 系统的低速和全速设备	18
元素	22
USB 通信模式	28
设备框架（设备如何被呈现给软件）	31
拓扑结构	36
第 3 章 电缆和连接器	37
连接器	37
电缆	38
电气和机械规范	40
第 4 章 USB 电缆配电系统	41
USB 电源	41
集线器	41
总线供电的集线器	44
总线驱动的设备	45
端口电量不足	47
自供电的集线器	47
自供电设备	49

第二部分 低速和全速设备的操作

第 5 章 低速/全速信号环境	53
概述	53
设备连接的检测和速度检测	54
双向不归零编码	64
位填充	64
USB 信号状态总结	65
第 6 章 低速/全速传输类型和调度	67
概述	67
客户端初始化传输	68
传输类型	70
同步传输	70
第 7 章 包和事务	80
概述	80
令牌包	84
数据包——DATA0 或者 DATA1	87
握手应答包	88
前同步码包	89
事务	89
第 8 章 错误恢复	96
概述	96
包错误	96
总线超时	99
错误的包结束符	100
数据切换错误	101
设备串扰	109
活动损耗 (LOA)	109
串扰和 LOA 的检测和恢复	109
传输 (不保证交付)	112
中断传输的错误恢复	112
批量传输的错误恢复	112
控制传输的错误恢复	112
第 9 章 USB 节电模式	113
节电模式——挂起	113

设备对挂起的响应	113
集线器对挂起的响应.....	114
全局挂起	114
选择性挂起	117
选择性挂起后接全局挂起.....	120
通过复位恢复	121

第三部分 高速设备操作

第 10 章 高速设备操作概况	125
概述	125
高速设备的新特点	125
支持 USB 1.x 系统.....	126
2.0 主机控制器	127
第 11 章 高速信号环境	128
概述	128
高速设备连接检测	130
高速差动信号	131
高速开始包和同步序列.....	138
高速包结束符	139
高速设备断开检测	139
高速复位和挂起	141
第 12 章 高速传输、事务和调度	142
概述	142
高速事务调度	143
周期传输	144
非周期传输	150
第 13 章 高速错误检测和处理	156
概述	156
高速总线超时	156
错误的包结束符	157
第 14 章 高速的挂起和恢复	160
概述	160
进入设备挂起	160
设备恢复	161

第四部分 USB 2.0 集线器在低速、全速、高速中的操作

第 15 章 高速集线器概况	165
概述	165
连接到高速端口的 2.0 集线器	165
连接到全速端口的 USB 2.0 集线器	167
第 16 章 高速事务中的 2.0 集线器	169
概述	169
高速集线器转发器	169
第 17 章 低速和全速事务中的 2.0 集线器	173
概述	173
分解事务的结构	174
分解令牌包	176
事务翻译器	177
分解事务的调度	179
周期分解事务	185
非周期分解事务	194

第五部分 USB 2.0 设备配置

第 18 章 配置过程	203
概述	203
配置软件单元	204
根集线器配置	206
第 19 章 USB 设备配置	208
概述	208
配置过程摘要	208
软件如何检测设备的连接和速度	209
复位端口	211
读取和解析 USB 描述符	211
设备状态	221
客户端软件配置	223
第 20 章 集线器配置过程	224
配置集线器	224

读集线器描述符	225
1.x 集线器描述符	226
高速集线器描述符	233
集线器加电	237
检查集线器状态	237
集线器端口状态摘要.....	239

第 21 章 设备类	241
概述	241
设备类	243
音频设备类	244
通信设备类	246
显示设备类	247
大容量存储器设备	248

第六部分 USB 软件概述

第 22 章 USB 主机软件概述	253
USB 软件	253
USB 驱动程序 (USB D)	256
配置管理	256
配置要求的 USB 元素	257
数据传输管理	258
提供客户端服务 (USB 驱动程序接口)	258

附 录

附录 A 标准设备请求	263
概述	263
标准设备请求	263
设置或者清除特性	265
设置或者取配置	266
设置或者取描述符	266
设置或者取接口	267
取状态	267
同步帧	268
设备测试	268
附录 B 集线器请求	270
概述	270

集线器请求类型	270
集线器类请求	272
设置或者取描述符	273
取集线器状态	273
设置或者清除集线器特性.....	275
取端口状态请求	276
设置或者清除集线器特性.....	279
端口测试模式	280
取总线状态	280
 附录 C 通用主机控制器.....	281
概述	281
通用主机控制器事务调度.....	281
传输描述符	283
UHC 控制寄存器	286
 附录 D 开放主机控制器.....	289
概述	289
开放主机控制器寄存器.....	298

第一部分

USB 2.0 综述

第一部分我们主要讨论通用串行总线（Universal Serial Bus——USB）的设计目标，这种总线是在大家普遍认为原始PC机外围设备扩展的实现中有这样那样的缺点的背景下出现的。这一部分我们也介绍了USB的概念，包括它正常运转所需要的硬件和软件要素，对低速、全速和高速设备的支持。然后讨论了USB对于所有设备速率都一致的特征，例如电缆连接器和总线电源。第一部分包括以下几章：

- 第1章：USB的设计目标
- 第2章：概念总述
- 第3章：电缆和连接器
- 第4章：USB电缆配电系统