

硬件接口开发系列

PC PH.D.
Inside PC Interfacing

PC 接口
技术内幕

Myke Predko 著
陈逸 译

硬件接口开发系列

PC PH.D.

Inside PC Interfacing

PC 接口技术内幕

Myke Predko 著
陈逸 译

中国电力出版社

内 容 提 要

本书从硬件和软件的角度出发,深入浅出地阐释了 PC 接口的工作原理。全书共分八个部分,44 章,依次介绍了 PC 硬件和软件的工作方式、PC 接口软件、硬件接口、Windows 编程、Windows 设备驱动程序、USB 接口等等,内容翔实,是读者掌握 PC 接口不可多得的有力工具。

本书适用于各个层次的用户,尤其对于设计应用程序或设备的专业人员,或者喜欢在 PC 硬件方面搞点小发明的爱好者,更具有非凡的价值。

图书在版编目(CIP)数据

PC 接口技术内幕/(加)普林德克著;陈逸译. —北京:中国电力出版社,2002.5

ISBN 7-5083-0986-3

I .P... II. ①普...②陈... III. 个人计算机 — 接口 IV. TP368.347

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 019329 号

著作权合同登记号 图字:01-2001-1877 号

本书英文版原名:PC Ph.D. —Inside PC Interfacing

original edition copyright 2000 by McGraw-Hill.

All rights reserved.

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.infopower.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 7 月第一版 2002 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 52 印张 1274 千字

定价 85.00 元

版 权 所 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

致 谢

我第一次在 IBM 做实习维护工程师的时间是 1981 年的夏天。在那段时间里，关于 IBM 将生产一款“PC”（Personal Computer，个人电脑）来与“苹果机 II 代”竞争的谣传是很盛行的。尽管我的很多同事都认为 IBM 的“bigiron”这个想法是很正确的，小型计算机只是短暂的时尚，但 IBM 真的在 1981 年的秋天推出了第一台“PC”。第一台 PC 从 Boca Raton 的工厂生产出来至今有将近 20 年的时间了，IBM 的 PC 已经成为了日常生活的一个有机组成部分。

我见证了 PC 的成长道路：从相当昂贵的游戏平台、字处理工具或学习电子知识的方法到极其经济的商业工具、通信手段和很多人生活的基本组成部分。这个转变是成千上万人的想像和过去 20 年努力工作的结果。

这些改进是缓慢而稳定的，从第一台只有单色或彩色显示器和两个磁盘驱动器（总共 256K 内存）的 PC 开始，然后出现了带有 80286 的 PC/AT，这是对 PC 性能的一次很大的提高。我们公认的最新革新是“调制解调器”和 PC 的互联网络能力。今天我们使用的 PC 有图形用户接口，运行的是多任务操作系统，它们的内存大小和处理器能力在十年前只有“超级计算机”才有。

经过这么多年，我在很多公司、国家和环境中遇到了很多人，他们无私地帮助我和其他人学习 PC 难点以及如何开发我们自己的应用软件。这些人也创作了他们自己的方案和产品，他们努力工作以使得 PC 成为一种更快速、更有用、更可靠的工具，从而为 PC 设计复杂的应用程序就更容易了。他们的劳动成果已经成为了一种产品，这种产品被全世界人所使用和改善，这应该被认为是 20 世纪最伟大的发展工程。

我差不多花了几个月的时间来尽力回忆每个人，这些人给我提供了信息、技巧和建议，所有这些都帮助我更好地理解 PC 并最终充实了本书。我可以很诚实很客观地列出 20 页的人名，这些人是过去 20 年中我一直保持联系的人，我从他们身上学习到有用的东西。我希望我能提供一份更客观的名单，但我担心我将不得不再单独花上 6 个月的时间来回忆所有曾经帮助过我的人的名字，而且这仍然将漏掉一些很重要的人。

对于那些给我提出过问题、指出过错误以及启迪过思想的人，我要做的就是说一句“谢谢你”。我感到很幸运，我能够生活在一个开放的团体里，大家可以共享想法并能主动地互相帮助。创作这本书的部分原因是回馈这些知识并帮助其他对 PC 感兴趣的人，使得他们能够和我一样处理问题。

特别感谢 Ben Wirz，感谢你在我创作本书时的鼓励和耐心。我感谢你花费时间来听我的

想法并提出意见。

没有 IBM 和 Celestica, 我不能写作这本书。感谢你们给我提供了最新最强大的工具和设备, 并支持我这么多年, 把我的想法提供给测试者和设计进应用程序中。

在本书的创作过程中, 本书的责任编辑 Kelly Ricci 受了重伤。她的 Barry Brown 的 PRD Group 中的同事接替了她的工作并确保本书和其他由 Kelly 负责的书按计划出版。他们每个人的热情都给我留下了深刻的印象, 尽管本书的文字和图片仍然有些错误。Lana、Mark、Barry、Toya (我相信我漏掉了一些人) 都对本书按时出版提供了很大帮助。Kelly, 我希望你能快速地完全恢复过来。

我也要感谢 McGraw-Hill 出版社的编辑 Scott Grillo, 感谢他帮助我明确了本书的概念, 同时还要感谢 McGraw-Hill 出版社中参与本书的编辑、出版和销售的其他人。每个我曾经与之谈话的人都很热情, 更重要的是对我很有帮助, 他们总是能抽出时间来回答我的问题并给我一些鼓励的言语。

1998 年整个一年中我都忙着出差, 我不能相信本书的 25% 是在飞机场或经济舱中完成的。相同数量的校对工作也是在相同的环境下完成的。因此我要感谢两组人。首先, 我要感谢航空服务员, 她们使得我的空中生活更舒服。我感谢你们的努力工作, 包括在我用完餐后立刻打扫干净以便我马上开始工作, 还有满足我无休止的冰水要求。

我也要感谢 Scrooges 航空公司, 由于他们的努力, 我终于没有因为关节拖在地上而得上关节炎。我希望新的千年能给他们带来一个机会来合理地安排航线, 并且购买一些不是为矮个子的人准备的飞机。

我的孩子 Joel、Elliot 和 Marya 对我创作本书提供了很大的帮助 (主要是没有毁坏我的草稿以及在我工作时保持安静)。我知道这已经足够了, 但你们还是没有做到最好。我还欠你们一次迪斯尼乐园之旅呢 (这是我使用 “Air Miles” 的代价)。

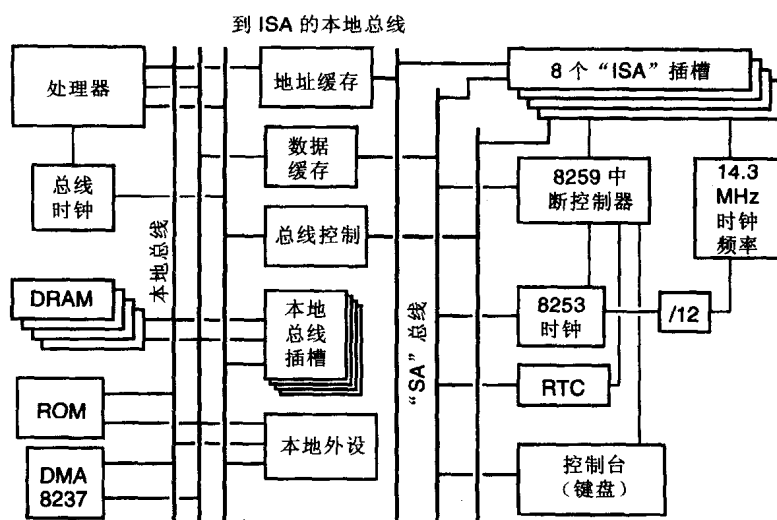
和往常一样, 我得到的最大的支持是来自我的妻子 Patience 的。当本书的手稿最终在 FedEx 脱稿的时候 (这时已经晚了 2 个月了), 你是这个星球上最快乐的人。你帮助我校对, 这减轻了我的负担, 并让我度过了最后几个难熬的星期。我知道我很坚强地面对了最后期限的到来和过去, 是你帮助我把所有东西都整理出来。

本书是你们无尽的爱和鼓励的结晶。谢谢你们。

介 绍

当 IBM 个人电脑 (PC) 在 1981 年首次亮相时, 它简单得让人惊讶, 只有 7 块大规模集成电路 (不包括存储芯片) 内置在里面。在 7 块大规模集成电路中, 磁盘控制器和视频控制器不是“中央”印刷电路或“planar”的部分。伴随着一个非常简单的操作系统和合理有效的扩展总线, 一个工程师可以彻底地理解和轻易地开发出原始 PC 的硬件接口。

随着时间的推移, PC 变得很复杂了。在 1984 年, IBM 推出了 PC/AT, 它包括了一块能模拟操作模式 (包括有保护内存的虚拟机) 的微控制器, 而到那时为止, 操作模式只有在主框架结构体系中才能使用。就在这时, Microsoft 公司推出了 Windows 操作系统, 它给用户提供了一个兼容的、易于学习的界面, 同时隐藏了很多 PC 硬件的操作。增加硬件的复杂性和先进性和简化用户界面的趋势一直继续下去, 直到 PC 成为有史以来最复杂、最强大和最易于使用的计算系统之一 (图 I-1)。



经过这么多年, 很多想法被提了出来。一些已经成了标准, 其他则被淘汰了, 今天只有少量用户使用。当我写作本书的时候 (1999 年初), 一台现代 PC 是由基于 Intel 奔腾 II 或 III 处理器的主板和运行 Microsoft Windows 98 或 Windows NT 操作系统 (这两种操作系统都是多任务操作系统, 可以充分利用奔腾的 32 位特性) 组成的。很容易为以下端口设计接口:

ISA、PCI 和 USB 可选接口，多个串口，“Centronics”并行打印机端口，磁盘接口（包括 IDE 和 SCSI 接口）和一个由输出的图形屏幕和输入的键盘/鼠标组合组成的用户控制台。

这些特性中的很多从 PC 最开始就已经有了。建立连接外部设备的应用程序变得越来越复杂了。原因就是 PC 操作系统的日益庞大和现代硬件不可想像的复杂性，包括保护模式、缓存、分页和其他特性。这使得一个 PC 主板逻辑上的晶体管的总数从原来的 20 多万个剧增到现在的将近 10 亿个。

以前的系统仍然在使用，这进一步加强了创建 PC 硬件接口的复杂性，在这些系统中，很多现在流行的接口是不能用的，或者操作系统与 32 位多任务 Windows 的“Win32”内核是不同的。本书涉及到很多特性，但重点讲述了我认为是一个标准系统的内容：

1. 一个具有“MMX”技术的奔腾兼容处理器。
2. 32MB（或更多）的系统内存。
3. 磁盘和硬盘驱动器。
4. Windows 95/98/NT/2000 操作系统。
5. 超级 VGA 彩色显示器。
6. 鼠标和键盘。
7. ISA 扩展总线插槽。
8. PCI 扩展总线插槽。
9. USB 网络连接。
10. SoundBlaster 音频 I/O 卡。
11. RS-232 串口。
12. Centronics 兼容并口。
13. 一个游戏端口。

IBM PC 是具有大量硬件外设的系统，这些外设是由操作系统软件控制的，包括控制外部设备和加强 PC 的运行性能。本书首先讲述了 Intel PC 处理器的结构和它们如何连接到 PC 系统。理解结构和它们如何互相连接是理解如何给 PC 添加硬件的关键。

下一步要讲述 MS-DOS 操作系统的运行，这是作为对 PC 应用程序编程的简介。MS-DOS 命令行界面是 PC 操作的基础。本书包括了 PC 的 BIOS 和 DOS 中断接口。

然后将详细讲述不同的接口，从标准接口开始（ISA 总线、键盘、RS-232 串行和 Centronics 并行打印机端口），接着是 USB 总线接口。硬件的解释部分包括很多演示工程以向你展示这些硬件设备如何被连接到外部设备上的。之后是你自己使用的一些技巧和硬件接口方法。

提供的硬件工程实例是很容易模仿实践的，而且它们看上去非常简单。尽管它们非常简单，这并不是说它们不能教你专用 PC 接口如何工作。在每个工程中，我尽力指出了重要的提示，并解释了实际上发生了什么以及应该怎么做来防止将来出现问题。

在我的前一本书中，很多人创建了我提供的每一个例子程序。我也给你推荐这个，但我推荐你只在一台试验 PC（这将在本书后面更详细地描述）上使用它们。不用冒着风险用你的主 PC（或工作站）来测试连接到主板电源和信号的自制设备，一个过时和廉价的 PC 就能提供很多相同的功能，而且你也不用担心会损坏你的主要工作（或互联网冲浪）工具。

本书介绍了 Windows Win32 内核操作系统（Windows 95、Windows 98、Windows/NT 和

Windows 2000) 和硬件的软件接口是如何编写的, 重点放在了 Microsoft Visual Basic 和 Visual C++ 开发工具上。创建 Windows 设备驱动 (DLL、VxD 和 WDM) 的方法将与计算机软件工具一起介绍, 这些软件工具可以使得开发过程快速有效。

当我决定要写硬件接口时, 我使用 Microsoft 和 Intel 的 PC/99 规范作为参考。这个标准从硬件和操作系统软件的角度定义了将要应用的特性。如果阅读了这些标准, 你将可能很惊讶地发现现在流行的专用接口 (例如键盘端口和 ISA 总线) 将要被通用串行总线 (“USB”) 和 IEEE-1394 (被称为 Firewire) 所取代。由于这个原因, 我在本书中加入了一部分关于 USB 的内容, 包括例子程序。在我写本书的时候, Firewire 还不是任何 PC 上的标准特性 (尽管你可在苹果机上使用)。

在本书的写作过程中, Microsoft 把 Windows NT 5.0 改名为 Windows 2000。由于这个原因, 我把本书中涉及到 Windows NT 的文字内容压缩到最小。Windows 2000 是 Windows 系列演化的下一代, 尽管它是从 Windows NT (目前使用全部 Win32 内核的产品) 演化过来的, 它将可以用在所有的 Windows PC 上, 把 Windows 3.x/95/98/NT 合成到一个平台中。

在我写本书的时候, Linux 已经发展到 2.2 版本, 与 Windows 竞争。我没有在本书中讲述 Linux 操作系统的发展史, 但相关的硬件、BIOS 和处理器信息仍将对 Linux 硬件开发者有用。

其他信息和资源

尽管本书的目的是向你介绍基本 PC 结构、操作系统软件和接口, 但是它不是教授电子工程或计算机科学基础的教科书。它假设你有了一些电子学、汇编语言和高级语言编程技术方面的基础。如果对计算机处理器如何工作或者数字和模拟电路没有基本的概念, 你将发现本书很混乱, 很难理解。

同时, 你还必须基本了解如何操作 PC 上的文件: 创建、编辑和处理。本书介绍 16 位 (MS-DOS) 接口, 还有 32 位 Win32 (组成了 Windows 95、Windows 98 和 Windows 2000) 操作系统。

如果你希望从本书中学到更多的知识, 那么你应该有一套 8086 汇编器和一种高级语言来亲自测试例子程序, 并创建你自己的程序。尽管本书中出现的是 Microsoft 工具, 其他产品 (包括自由或共享的汇编程序和编译器) 也是可以使用的。

本书附带了一张 CD-ROM, 这张 CD-ROM 包括了本书中出现的程序的源代码。为了帮助浏览 CD-ROM 中的内容, CD-ROM 中还有一个 HTML 界面, 它将使用你的网页浏览器。(编者注: 由于随书 CD-ROM 包含的文件总共只有 1.17M, 为了减轻读者负担, 本书中文版不再包含此盘, 而是将 CD-ROM 文件打包放在本社站点供读者下载, 网址: www.infopower.com.cn)。

我非常相信互联网以及它帮助工程师得到技术信息的能力。对于本书中出现的所有产品来说, 这一点是真的。网站上可以找到更新的信息, 还有列表服务器和用户组的信息, 以及与部分生产商直接联系的信息等。

本书简单而全面地介绍了 PC 和它使用的硬件以及如何创建自定义硬件和软件接口, 熟读本书, 你就可以利用 PC 做除了浏览网络以外的事情了。

本书的约定:

Hz	赫兹 (周期每秒)
kHz	千赫兹 (千周期每秒)
MHz	兆赫兹 (百万周期每秒)
GHz	千兆赫兹 (十亿周期每秒)
Bps	位每秒
KBps	千位每秒
MBps	百万位每秒
KB	1 024 字节
MB	1 048 576 字节
GB	1 073 741 824 字节
Ω	欧姆
k	1 000 欧姆
μF	微法
ms	毫秒
μs	微秒
0x0nn, \$nn, 0nnh 和 H'nn'	十六进制数
0b0nnn, %nnn, 0nnnb 和 B'nnn'	二进制数
nnn, 0nnnd 和.nnn	十进制数
AND 和 ·&	按位与
OR 和	按位或
XOR 和 ^	按位异或
_Label	负电平激活引脚。在某些生产商的数据表单里, 这是用一个前缀! 或者是在整个标签上加短横线来表示的
[parameter]	这个参数是可选的
parameter parameter	一个或另一个参数

本书中使用的开发工具

当我为本书创建程序代码时, 我尽量使用已经可用的工具。由于这个原因, 我主要选择了 Microsoft 的汇编器和编译器。正如本书后面描述的那样, Microsoft 的确很好地支持了这些工具, 它提供了低成本的“学习版本”, 还有与所有应用程序配套的多媒体培训 CD-ROM。

至于 PC 汇编语言代码, 我用的是 Microsoft MASM 6.11 版本。这套非常完整的汇编器有很多工具, 允许你在 8086 实模式和 80286、80386 和 MMX 保护模式下编写汇编代码。很多其他工具也可以从其他生产商处以自由软件的形式得到 (对例子也是有效的), 但你可能

需要改变一些指令。

大部分 MOS-DOS 代码是用 C 语言编写的。我使用的编译器是我在 1987 年购买的 Microsoft C 3.0 版本。编译器本身不支持 80386 指令或保护模式，但它的确能写出优秀的 16 位 MS-DOS 代码。目前，有很多直接的 MS-DOS C 编译器可以使用了，我向你推荐 Hi-Tech 的 Pacific C 共享软件（见附录 B 中的相关参考内容）。

大部分 Windows 程序是用 Microsoft 的 Visual Basic 编写的。所有代码都在 5.0 和 6.0 版本上测试过了。Visual Basic 是一个神奇的工具，给你引入了图形用户界面的面向事件编程，同时还给你介绍了一些面向对象编程的思路。

除了 Visual Basic，我还提供了很多用 Microsoft 的 Visual C++ 编写的应用程序和设备驱动程序的源代码。C++ 是面向对象的编程语言，在试图用它创建你自己的应用程序之前，你应该看一看附录 B 中列出的参考书。

我在本书中引用了 Microsoft 软件开发者工具包（SDK）和设备驱动工具包（DDK）。这些工具可以从 Microsoft 的 Microsoft 开发者网络（MSDN）订阅程序中得到。这个程序提供了很多的操作，每种都有不同的服务和信息级别。

为了使创建设备驱动程序更容易，我也使用了 Vireo 软件 VtoolsD 和 Driver::Works。这些优秀的软件有助于揭开设备驱动程序开发的神秘性，允许你把精力放在设备驱动程序的功能上而不是驱动程序本身的语法上。

在几乎所有使用微控制器的接口工程中，我都使用了微芯片 PICMicro。这个设备家族极其通用，并且非常易于编程。我也使用 Atmel AT89C2051，这是一个 20 引脚的 8751 兼容微控制器。如果你不熟悉这些设备，你可以从我的网页上找到更多的参考信息（在附录 B 中给出）。

在 CY7C76xx USB 微控制器程序中，我使用 Cypress 公司在它的 USB 新手工具包中提供的工具。你可以在本书后面获得这些工具的详细信息。对于 PC 来说，操作系统应该是 Windows 98 或 Windows 2000。Windows 95 只要是 OSR 2.1（或以后版本）并且 WDM 接口打开了，那么也可以使用。

如果你准备购买本书中出现的所有开发工具，那零售价将近 \$4500。在投资比购买 PC 更多的钱购买软件之前，我建议你首先读完本书，然后决定要购买的软件。同时，我也建议你先购买 Visual Basic 和 Visual C++ 的学习版本，同时购买多媒体培训 CD-ROM。如果购买本书中出现的所有产品，你将会得到厚厚一摞技术文档和将近 20 张 CD-ROM，但这些资料都是你没有什么兴趣去研究的。

关于作者

本书的作者 Myke Predko 同时也是《Programming & Customizing the 8051TM Microcontroller》、《The Microcontroller Handbook》和《Programming & Customizing the PIC Microcontroller》这几本书的作者。他现在是加拿大 Celestica 公司的新产品测试工程师，与新电子产品设计师们一起工作。他曾经任职于世界最大的计算机制造工厂，其身份为测试工程师、产品工程师和制造管理员。他获得过 PC 主板的自动测试专利，还获得过微控制器机构设计的专利。他毕业于 Waterloo 大学电气工程专业。

目 录

致 谢
介 绍
关于作者

第一部分 PC 的硬件和软件，以及它们如何协同工作

第 1 章 历史回顾	3
PC 之前	3
IBM 的 5150	5
克隆	7
PC/AT	9
PS/2	10
现代 PC	12
第 2 章 PC 结构	17
处理器和支持结构“核心”	18
系统定时器	31
内存映射	34
卡总线 (ISA、EISA 和 PCI)	36
大容量存储器	42
外围设备	50
配置信息	54
视频输出	57
PC 电源	61
第 3 章 PC 处理器	64
Intel 8086	65

8087 和浮点计算	95
Intel 80386 和 80486	100
奔腾和对速度的需求	104
其他处理器	110
第 4 章 PC 软件	111
固件与软件	111
操作系统	113
图形用户界面 (GUI)	115
第 5 章 PC 设备寻址	117
PC 内存映射	117
PCI/ISA 总线	123
中断分配	126
保护模式硬件特性	127

第二部分 PC 接口软件

第 6 章 基本汇编程序编程	131
汇编语言指令	131
8080 段分配	135
定义变量	137
源代码格式化	138
浮点编程	141
实地址模式编程	143
保护模式编程	143
宏指令与条件代码	146
汇编程序与高级语言程序的对比	148
第 7 章 中断编程	150
中断执行	150
软件中断	154
硬件中断	155
中断捕获	161
中断共享	163
处理程序框架	164
向中断处理程序传递参数	166

应用程序调试中断	167
第 8 章 PC 引导过程	170
硬件引导	170
操作系统引导	176
第 9 章 BIOS 接口	178
BIOS 中断接口	179
控制台接口	179
何时使用 BIOS 功能	184
系统变量	185
多路复用中断	186
第 10 章 MS-DOS	187
DOS 程序段前缀 (PSP)	187
环境信息	193
DOS 中断接口	195
实用图形编程	196
AUTOEXEC.BAT	206
CONFIG.SYS	207
第 11 章 MS-DOS 命令行编程	208
批处理文件与解释程序	208
“微型” (.COM) 内存模式程序	212
FINDCURS: 世界上最小的一个有用的应用程序	221
可执行 (.EXE) 程序	222
设备驱动程序	227
第 12 章 无操作系统运行	229
ROM 扩展	229
无操作系统软盘操作	230
第 13 章 MS-DOS 编程语言与应用程序开发工具	240
批处理文件	241
汇编程序	244
BASIC	245
Pascal	246

C/C++	247
链接目标文件	251
调试程序	257
编辑程序	261
第 14 章 实用 PC 编程	263
解析命令行参数	263
I/O 接口代码	266
内存组织	270
读取和写入文件数据	271
数据排序及格式化	276
用户接口	279
格式化数据输出	281
第 15 章 事件驱动编程	282
用户接口	283
系统资源	286
第 16 章 Microsoft Windows	289
Windows 的图形用户界面	290
Win16 和 Win32	293
WIN.INI 和 Windows 注册表	294
安装程序	297
Windows 应用程序	297
DOS 保护模式接口	302
第 17 章 Windows 编程语言与开发工具	304
Visual Basic	304
Visual C++	305
Java	306
LabView	307
Microsoft 设备驱动程序开发包	309
其他语言与开发工具	311
第 18 章 针对错误的编程	313
突发事件应用程序/PC 崩溃/重置	314
处理用户输入	316

文件输入或输出	319
硬件	322
用户反馈	326

第三部 硬件接口

第 19 章 一台用于实验的 PC	331
硬件要求	332
软件要求	333
复位控制	334
测试设备的装置	336
第 20 章 PC 的精确定时	337
实时时钟的定时	337
总线时钟策略	338
微秒精度定时器的使用	341
第 21 章 键盘和鼠标端口	344
键盘同步通信协议	345
键盘端口的软件接口	347
键盘控制器	349
键盘端口共享	350
鼠标端口	352
第 22 章 键盘接口	355
键盘监控器	355
第 23 章 非标准的 RS-232	358
异步串行通信和 RS-232 介绍	359
PC 的 RS-232 端口	365
连接的制作	372
把 RS-232 逻辑电平转化成 TTL/CMOS 电平	376
为接口应用选择 RS-232	381
微控制器的“Bit-Banging”串行接口软件	385
第 24 章 实用 RS-232 接口	390
在两台 PC 间进行串行数据传送	391

串行控制的起重机	394
第 25 章 Centronics 并行端口	400
硬件配置	400
接口方式	405
并行端口的使用	408
第 26 章 实用并行端口连接	410
软件保护狗	411
第 27 章 ISA 总线	417
总线信号	417
第 28 章 ISA I/O 端口和 RAM/ROM 原型卡	433
I/O 端口读写	436
存储器读写	437
扩充 ROM 和 RAM 引导程序	438
ISA NTSC 合成视频帧抓取器	439
第 29 章 PCI 总线	445
I/O 总线	445
配置和 PnP	451
中断	453
DMA	454
第 30 章 游戏杆接口	455
PC 如何读取模拟量输入	456
数字控制在游戏杆的应用	460
第 31 章 声霸卡	465
寄存器接口	465
通过 DMA 存储器的 WAV 文件输出程序	484

第四部分 Windows 编程

第 32 章 Windows 结构	493
圆区与环	493