

清华大学计算机系列教材

基于VHDL语言的 微机接口电路设计

赵世霞 谭耀麟 编著

清华大学出版社



清华大学计算机系列教材

基于VHDL语言的 微机接口电路设计

赵世霞 谭耀麟 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书将微机接口电路的设计与学习硬件描述语言紧密地结合,通过具体的设计实例来指导学习 VHDL 语言和掌握微机接口电路的设计方法。

全书内容分为 7 章:第 1 章概述了接口电路的基本知识与可编程器件的应用;第 2、3 两章介绍了 VHDL 语言的程序结构、数据类型、基本语句等内容;第 4、5 两章详细讲述用 VHDL 语言描述常用的经典微机接口电路的设计实例;第 6 章介绍了综合多个接口的创新型实验的设计方法;第 7 章以 Altera 公司的 Quartus II 为例详细地介绍了软件设计工具的使用,以及基于软核处理器 Nios II 的硬/软件系统设计流程和调试方法,为初学者选用更高版本的或者其他公司的 EDA 软件以及进行系统开发起到了示范作用。最后,本书的附录是实验中参考的一些技术资料。

本书可以作为电子信息、计算机、自动化等相关专业的大学生、研究生的课程教材,以及作为各类电子技术人员的学习参考书使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于 VHDL 语言的微机接口电路设计/赵世霞,谭耀麟编著. —北京:清华大学出版社,2010.10
(清华大学计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-23123-3

I. ①基… II. ①赵… ②谭… III. ①硬件描述语言, VHDL — 程序设计 — 高等学校 — 教材 ②微型计算机 — 接口电路 — 电路设计 — 高等学校 — 教材 IV. ①TP312
②TP368.147

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 114239 号

责任编辑:战晓雷

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:28.25 字 数:685 千字

版 次:2010 年 10 月第 1 版 印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.50 元

产品编号:034109-01

前 言

以集成电路为基础,以传感技术、计算机技术和通信技术为核心的电子信息产业是实施国家中长期科学和技术发展规划纲要的《高技术产业发展“十一五”规划》中优先发展的产业。它已经超过了以汽车、石油、钢铁为代表的传统工业成为第一大产业,并为改造和拉动传统产业以及农业高新技术的推广应用、迈向数字时代提供了强大的推力和坚实的基础。因此,国家需要大批信息技术(Information Technology, IT)方面的人才,而国内目前的IT教育主要是高等学校的计算机、电子、电信、信息技术等相关专业的学历教育,每年培养的大学毕业生在数量和质量上远远不能满足市场的需要。

在科学技术领域,包括计算机在内的电子系统正朝着片上系统(System on Chip, SOC)发展,现代电子技术的发展促进了传统设计方法的进步,掌握硬件描述语言Verilog或VHDL(Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)和计算机接口技术,用电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)来设计电子系统是电子信息类大学生应具备的基本技能。但是目前计算机专业的传统教学模式普遍存在“重软件、轻硬件”、课程设置陈旧、教学内容滞后、理论与实践严重脱节等问题,使得学生毕业后需要的岗位专业应用技术严重不足,需要经过较长时间的培训才能胜任工作。例如“微机接口技术”课作为高等院校计算机专业的主要专业基础课程之一,教学中的普遍情况是:使用的教材陈旧,对芯片的应用现状和新技术发展很少涉及。课堂上单纯理论分析,再加上大量汇编语言编写的初始化程序和应用程序,使学生感觉枯燥乏味;而实验课教学又普遍采用Intel 80x86系列接口芯片的功能验证性实验,在内容和形式上基本是固定的,缺乏学生自主的创新环节,并且不能与当前的最新技术同步。

为了适应21世纪的发展趋势,计算机专业课程的知识结构需要更新,教学实验的手段也要有比较大的改观。我们从1995年开始在研究生的“微型计算机系统接口技术”课引入Lattice公司的在系统编程(In-System Programmability, ISP)器件ispLSI1024实现了软磁盘接口电路的EDA教学实验,并从2002年开始采用Altera公司的复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device, CPLD)芯片EPM7128和现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)芯片ACEXEP1K为本科生的“微计算机技术”课、“微机接口设计与VHDL语言”课和大学三年级的“专业实践”课提供了教学实验的环节。根据多年来的教学经验,我们认为VHDL语言是面向硬件描述对象的语言,在学习方式上应该与其他的高级语言有所不同,只有结合硬件设计对象来学习才能更好地理解和掌握它。

编写本书的主要目的是希望将VHDL语言和微机接口电路原理的学习紧密地结合起来,学生通过从分析系统需求、程序设计、仿真模拟、目标电路代码装载到可编程芯片中,直到连接微机总线并且编写接口程序进行调试这样一个综合多方面知识的融会贯通的全过程训练,能够提高学生学习硬件的兴趣和信心。参加过实验的学生的体会是“最重要的收获是让我们体会到了做一个工程的感觉,在完成单个接口的过程中,从设计芯片、模拟仿真、烧制芯片到调试程序,反复修改,不断完善;在整个工程上,从单个设备接口的设计,

到多个接口之间的组合,再到软硬件之间的配合,最后将各个部件整合成一个完整的系统,实现了一定的功能。这些让自己体会到一种新的学习方式,并且获得了很大的乐趣和成就感。”

另外,我们针对不同学习要求的学生提供了不同层次的基本实验和综合实验实例,它们的正确性都经过我们设计的实验教学装置运行的检验。该装置于2006年获得清华大学第9届实验技术成果一等奖,现在已由清华大学科教仪器厂(<http://www.qhkj.com>)生产。书中也提及实验中容易忽略的一些问题,例如处理微机接口中信号的高阻态、在不同的操作系统平台下编写测试程序时如何使用编程语言等。这里需要特别强调的是:虽然书中给出了可以实现的实例,但只是为了给学生做个领路的向导,激发学习兴趣,同时建立起学习的自信心。我们更鼓励学生针对同一种接口电路,采用不同的设计方案和编程手段来实现,或者综合若干个接口电路来构建新的应用系统,充分发挥自己的主观能动性和创新思维。

全书内容分为7章,大致为三部分:第一部分由第1、2、3章组成,介绍微机接口技术及可编程器件的应用;VHDL语言的程序结构;数据类型、基本语法等。考虑到侧重于满足基本的教学要求,省略了FPGA系统的综合建模、ASIC设计、功耗优化以及高层综合等内容。第二部分由第4、5、6章组成,是基于VHDL语言的微机接口电路的设计。以经典的微机接口电路进行讲述,分为基础实验和综合创新型实验设计,以便可以根据不同的教学要求来选用。第三部分是第7章和附录,介绍设计工具的使用和实验参考技术资料。主要以Altera公司的Quartus II为例,并以图解的方式详细地讲述了软件的使用及操作方法,同时还介绍了基于软核处理器Nios II的硬件、软件系统设计流程和调试方法,展示了以SOPC生成一个完整的Nios II系统的演示,目的是为初学者在今后选用更高版本的或者其他公司的EDA软件以及深入进行系统开发起到示范作用。

本书是对多年微机接口实验教学的总结,蕴含了为研制教学实验平台参加SRT(Students Research Training,大学生研究训练)项目的工作以及历届参加相关课程学习的学生的实验成果,在此表示衷心的感谢。

最后需要指出,由于作者的水平有限,本书在编写的过程中难免出现一些错误和疏漏,恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年1月于清华大学

zhaoshixia@tsinghua.edu.cn

tanyaolin@ee.tsinghua.edu.cn

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 计算机接口技术的发展	1
1.1.1 PC 的外设接口	2
1.1.2 PC 的系统总线	5
1.1.3 PC 的主板芯片组	7
1.2 集成电路技术的发展	9
1.2.1 硅基微电子技术的发展趋势	9
1.2.2 可编程逻辑器件的发展	10
1.2.3 CPLD 和 FPGA 的结构	12
1.3 电子电路的设计与仿真	17
1.3.1 EDA 工具软件	17
1.3.2 PLD 的设计工具	19
1.3.3 层次化设计与 VHDL 的应用	20
1.4 PLD 与微机接口电路的实验平台	22
1.4.1 FPGA 的实验平台	22
1.4.2 基于 PLD 的微机接口实验平台	24
习题与思考题	27
第 2 章 VHDL 语言与程序结构	28
2.1 硬件的描述	28
2.1.1 电路的结构与行为	28
2.1.2 信号及其延迟	28
2.2 VHDL 语言特点与设计流程	29
2.2.1 VHDL 语言的特点	29
2.2.2 VHDL 的设计流程	29
2.3 VHDL 程序基本结构	30
2.3.1 实体	31
2.3.2 结构体	34
2.3.3 配置	36
2.3.4 包集合	37
2.3.5 库	40
习题与思考题	42

第3章 VHDL 语言基础	43
3.1 词法表示	43
3.1.1 数字表示法	43
3.1.2 字符与字符串表示法	43
3.1.3 位串表示法	44
3.1.4 命名规则及注释	44
3.2 标识符	45
3.2.1 短标识符	45
3.2.2 扩展标识符	45
3.3 运算操作符与表达式	46
3.3.1 逻辑运算符 (Logical)	46
3.3.2 算术运算符 (Arithmetic)	46
3.3.3 关系运算符 (Relational)	47
3.3.4 并置运算符 (Concatenation)	47
3.3.5 运算符的优先级	48
3.4 数据类型	48
3.4.1 标准数据类型	49
3.4.2 用户自定义的数据类型	50
3.5 数据对象	52
3.5.1 常量 (Constant)	52
3.5.2 变量 (Variable)	53
3.5.3 信号 (Signal)	53
3.5.4 文件 (Files)	54
3.6 基本语句	55
3.6.1 并行语句	55
3.6.2 顺序语句	64
3.7 VHDL 设计举例	71
3.7.1 8 位移位寄存器的设计	71
3.7.2 4 位微处理器的设计	72
习题与思考题	83
第4章 接口电路设计 (一)	84
4.1 I/O 地址译码	84
4.1.1 微机总线的基础知识	84
4.1.2 I/O 地址译码片选信号的产生	86
4.2 并行接口电路的设计	90
4.2.1 8255 的功能和结构	90
4.2.2 8255 的工作方式与设置	92
4.2.3 并行接口的 VHDL 设计方案	93

4.2.4	设计实例	104
4.3	串行接口电路的设计	137
4.3.1	串行通信的基本概念	137
4.3.2	8251 的功能和结构	142
4.3.3	8251 的工作方式与设置	145
4.3.4	设计实例	148
4.4	定时/计数器的设计	159
4.4.1	8253/8254 的功能与结构	159
4.4.2	8253/8254 的工作方式与设置	160
4.4.3	设计实例	165
	习题与思考题	182
第 5 章	接口电路设计 (二)	183
5.1	A/D 与 D/A 接口电路	183
5.1.1	A/D 接口电路	183
5.1.2	A/D 接口设计实例	187
5.1.3	D/A 接口电路	190
5.1.4	D/A 接口设计实例	192
5.2	VGA 显示接口电路	194
5.2.1	VGA 显示的原理	194
5.2.2	VGA 接口电路	196
5.2.3	设计实例	199
5.3	ATA/ATAPI 接口电路	205
5.3.1	IDE 硬盘与 ATA 协议	205
5.3.2	IDE 接口的设计	212
5.3.3	CD-ROM 与 ATAPI 协议	225
5.3.4	CD-ROM 接口的设计	231
5.4	PS/2 接口电路	249
5.4.1	PS/2 接口的功能与通信协议	249
5.4.2	PS/2 键盘接口的设计	252
5.4.3	PS/2 鼠标接口的设计	270
	习题与思考题	284
第 6 章	综合创新型接口实验的设计	285
6.1	USB 接口电路	285
6.1.1	USB 接口的特点与协议	285
6.1.2	USB 接口芯片	290
6.1.3	USB 接口电路与系统软件设计	294
6.2	网络接口电路	300

6.2.1	以太网接口简介	300
6.2.2	网络接口芯片	304
6.2.3	以太网接口电路的设计	308
6.3	综合接口实验的设计	325
6.3.1	综合实验的指导思想	325
6.3.2	综合实验方案的解析一	327
6.3.3	综合实验方案的解析二	334
	习题与思考题	351
第 7 章	Quartus II 软件和 TPC 库函数的使用	352
7.1	Quartus II 5.1 软件使用说明	352
7.1.1	建立 Quartus II 工程文件	352
7.1.2	源程序的编写与编译	354
7.1.3	仿真与功能模拟	357
7.1.4	将目标代码装载到芯片中	363
7.1.5	图形编辑器的使用	366
7.1.6	时间分析器的使用	369
7.1.7	Quartus II 工程中的文件后缀说明	369
7.2	TPC 接口卡库函数的使用	371
7.2.1	在 Windows XP/2000 下的编程	371
7.2.2	TPC 接口卡的库函数使用	373
7.2.3	关于 DMA 方式的编程	377
7.2.4	TPC 接口卡在 Windows 98 下的使用	387
7.2.5	Linux 操作系统下的接口实验	394
7.3	Altera 的 Nios II 使用说明	399
7.3.1	基于 Nios II 的硬件系统设计	401
7.3.2	基于 Nios II 的软件系统设计与调试	423
附录 A	第二套扫描码集	429
附录 B	第三套扫描码集	431
附录 C	Windows 中的 Virtual-Key Codes	432
附录 D	PS/2 键盘命令集	437
附录 E	PS/2 鼠标命令集	438
附录 F	ASCII 码表	439
附录 G	常用 DOS 功能调用命令	441
	参考文献	442

第1章 基本概念

1.1 计算机接口技术的发展

20 世纪中期按照阿兰·图灵 (Alan M. Turing) 和冯·诺依曼 (John von. Neumann) 等人的理论和模型诞生的电子计算机发展到今天, 经过了电子管、晶体管、集成电路、互联网和云计算的时代。计算机的系统结构在冯·诺依曼结构 (von Neumann architecture) 的基础上不断改进, 出现了哈佛结构 (Harvard architecture) 以及作为目前最成功的业界技术标准之一的 x86 结构为代表的众多先进微处理器体系结构。随着科学技术的进步, 计算机的软、硬件发展很快, 例如作为计算机核心部件的处理器 (Central Processing Unit, CPU) 也由单核发展到多核, 甚至集成了图形处理器 (Graphic Processing Unit, GPU) 和网络处理器 (Network Processing Unit, NPU) 的复杂异质多核处理器。计算机的应用领域也从科学计算、数据处理和过程控制拓展到处理文字、数据、声音、图像、图形等媒体数据, 并朝着 3C——计算机 (Computer)、通信 (Communication) 和消费电子产品 (Consumer Electronic) 的融合, 以及实现人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的终极目标迈进。

现代的计算机分为服务器、工作站、台式机、笔记本式计算机、手持设备等类型。而不论哪种类型, 在构建计算机及其应用系统时都离不开接口电路。在计算机中 CPU 与外部设备、存储器的连接和数据交换都通过接口设备来实现, 前者被称为 I/O (Input/Output) 接口, 而后者则被称为存储器接口。I/O 接口的功能是实现 CPU 通过系统总线 (Bus) 把 I/O 电路和外围设备联系在一起, I/O 设备品种繁多, 其相应的接口电路也各不相同。而存储器通常在 CPU 的同步控制下工作, 接口电路比较规范。通常情况下, 大多数用户并不是自己构建计算机, 而是利用成品计算机配接外围接口的应用。因此, 习惯上所说的接口是指 I/O 接口。

接口其实是一组电气联接和信号交换标准, 系统中接口的选择直接影响着系统连接外设的能力和与外设间信息交换的速度。接口从传送信息的方式上可分为串行接口和并行接口, 从硬件实现形式上可分为 I/O 接口芯片和接口控制卡。常见的接口芯片有定时/计数器 (如 8253/8254)、中断控制器 (如 8259)、DMA (Direct Memory Access, 直接存储器存取) 控制器 (如 8237)、串行接口 (如 8250/8251)、并行接口 (如 8255) 等。接口控制卡由若干个集成电路按照一定的逻辑组成部件, 或直接与 CPU 同在主板 (Mother Board) 上, 或是插在主机的系统总线扩展插槽 (也称为 I/O 扩展插槽) 上。接口电路需要占用主机的 I/O 地址与系统总线的资源, 需要驱动程序与操作系统配合工作。

为了实现 CPU 与各种外设之间的数据交换, 通常接口必须具备下列功能:

- (1) 设置数据的寄存和缓冲逻辑, 以适应 CPU 与外设之间的速度差异。
- (2) 能够进行二者间信息格式的转换 (如串并转换、二进制与十六进制或者 ACSII 码转换等)。
- (3) 能够协调二者间信息的类型和电平的差异的变换 (如电平转换及驱动、数/模或

模/数转换等)。

(4) 能够协调二者间的时序差异(如同步或异步时序等)。

(5) 具备地址译码和设备选择功能。

(6) 设置中断和 DMA 控制逻辑。

对接口的控制可以按照程序查询方式、中断处理方式、DMA 传送方式等进行互联和信息传递。为了讲述的方便,我们以最普及的台式机——PC(Personal Computer)为例介绍主要的接口。

1.1.1 PC 的外设接口

PC 常见的接口有:并行接口(主要用于将数据输出到打印机或绘图仪,故常标为打印终端:Line Print Terminal, LPT)、串行接口(RS232C 异步串行通信接口,常简称 COM 口)、键盘与鼠标接口、磁盘/光盘(CD-ROM/DVD 等)接口、SCSI (Small Computer System Interface, 小型计算机系统接口)接口、IEEE-1394/Fire wire (火线)接口、USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线)接口、显示接口、MIDI (Musical Instrument Digital Interface, 乐器数码接口)接口、音频接口、AMR (Audio/MODEM Riser, 音频调制解调器扩展)接口、IrDA (Infrared Data Association, 红外式数据传输)接口、网络接口等。在连接这些接口时,要注意除了 USB 和 1394 接口能支持在系统运行情况下的插拔(俗称“热插拔” hot-plugging 或 hot swap)外,其他接口都必须在两个互连的设备断电的情况下进行插拔。

1981 年国际商业机器公司 (IBM) 推出的 IBM PC (采用 Intel 8088 和 DOS 操作系统)开创了计算机的 PC 时代,而且它对 CPU 和操作系统的选择促成了英特尔 (Intel) 与微软 (Microsoft) 公司的 Wintel 联盟,奠定了它们在 IT 行业的霸主地位。早期 PC 的接口只有键盘接口、COM 接口(两个端口:一个接鼠标、一个供异步串行通信用)、LPT 接口、磁盘接口(分软磁盘接口和硬磁盘接口)、显示接口(为 CGA (Color Graphics Adaptor) 标准)。经过近 30 年的发展,除 COM 接口基本没变外,其他的接口有很大变化,其间增加了一些类型的接口,也适时淘汰了某些接口。其中:

键盘接口和鼠标接口从第二代 PC (采用 Intel 8386 处理器和 OS/2 操作系统)起采用 PS/2 (Personal System/2) 标准接口。

LPT 接口的工作模式由 15KB/s 半双工单向传输的标准工作模式(Standard Parallel Port, SPP)扩展了 2MB/s 双向半双工数据传输的增强型工作模式(Extended Parallel Port, EPP),以及采用双向全双工数据传输,并在多任务环境下可以使用 DMA 的扩充型工作模式(Extended Capabilities Port, ECP)。

在磁盘接口中,软磁盘 (Floppy Disk) 驱动器接口支持的软盘由 5.25in 双面低密度软盘 (360KB) 发展到兼容 5.25in 双面高密度软盘 (1.2MB),以及 3.5in 双面高密度软盘 (1.44MB)。只是由于性能更好和更便携的 USB 接口闪存盘 (Flash Disk, 也称为 U 盘) 的普及,软磁盘逐渐被淘汰。

从 IBM PC/XT 开始有的硬磁盘 (Hard Disk) 驱动器接口标准是在磁盘生产商把控制器与盘体集成在一起的 IDE (Integrated Drive Electronics) 硬盘后才有的,IDE 接口也称为 ATA (Advanced Technology Attachment) 接口。最初它的数据交换的方式只有通过 CPU 执行 I/O 端口指令来读写的 PIO 模式 (Programming Input/Output Model),后来增加了 DMA

模式和能在时钟脉冲的上升和下降沿存取数据的 Ultra DMA 模式。至今先后有 7 个 ANSI (American National Standards Institute, 美国国家标准学会) 的 ATA 接口标准, 常用的是具有 Ultra DMA 模式的 ATA/ATAPI-4、5、6、7 四种, 它们又分别称为 Ultra ATA/33 (数据速率 33MB/s), Ultra ATA/66 (66MB/s), Ultra ATA/100 (100MB/s) 和 Ultra ATA/133 (133MB/s)。所有的 IDE 硬盘接口都使用 16 位并行的数据线, 故也称作 Parallel ATA, 所支持的设备除了硬盘, 还包括 CD-ROM/DVD 驱动器等。近年来随着 CPU 主频达到数千兆、数据位宽 64 位, 使得数据速率不断攀升, 此时并行的数据线已不适应要求, 需要改用线路相互之间干扰较小、布局更为简洁方便的串行线路来进行信号传输。因此, PC 的数据总线都在朝着易于光纤化的串行架构发展。作为最重要的存储部件的磁盘接口也出现了串行总线标准 (Serial-ATA, SATA), 目前的 SATA 1.0 标准可达到 150MB/s, SATA 2.0/3.0 更可提升到 300 以至 600MB/s。

SCSI 设备在数据传输过程中不需要 CPU 的介入, 在用做图形工作站和网络服务器的计算机中广泛采用 SCSI 接口的硬盘、光驱、扫描仪等。SCSI 的数据宽度为 8/16 (故也称 Parallel SCSI), 其单个通道支持 8/16 个设备, SCSI 起步是 8 位数据宽度的 SCSI-1 (5MB/s), 至今为止 8 位数据宽度最快的是 Ultra2 SCSI (40MB/s), 16 数据宽度 (称为 Wide) 最快的是 Ultra-320 SCSI (320MB/s) 和 Ultra-640 SCSI (640MB/s)。同样, SCSI 也向串行发展为 SAS (Serial Attached SCSI), SAS 采取与 SATA 兼容的直接点对点的串行传输方式, 单个通道支持 16 384 个设备, 第一代传输的速率为 150MB/s、第二代为 300MB/s、第三代为 600 MB/s。

IEEE-1394 是最初由苹果 (Apple) 公司开发的支持热插拔的一种高速串行总线, 理论上单个通道支持 64 个设备。它继承了成熟的 SCSI 指令体系, 曾经被期待替代 SCSI 设备, 但因为成本高, 不如 USB 普及, 是数码相机和 DV (Digital Video) 摄像机的常用输出接口。现有的 IEEE1394 标准支持 100Mbps、200Mbps、400Mbps 和 800Mbps 的传输速率, 已制定了 1.6Gbps 和 3.2Gbps 的规格。

USB 是由 Intel 和 Microsoft 公司倡导发起的支持热插拔、即插即用 (Plug-and-Play, PNP) 的一种通用串行总线, 它能够在不关闭主机电源的情况下动态地安装和删除 USB 设备。USB 的非对称式设计是由一个主机控制器和最多可以有 5 级的集线器 (Hub) 以树形连接的多达 127 个设备组成, 一个 Hub 可以向外提供 5V 的 500mA 电流, 且一台计算机可以同时有多个控制器。现在流行的 USB 有两个标准: USB 1.1 低速模式下传输速率最大为 1.5Mbps、全速模式下传输速率最大为 12Mbps; USB 2.0 兼容 1.1 的标准并增加最大传输速率为 480Mbps 的高速模式。近期推出的 USB 3.0 将最大传输速率提升到 4.8Gbps 以上。鉴于 USB 的优越性, 越来越多的外设选择采用 USB 接口, 例如鼠标、键盘、游戏手柄、游戏杆、扫描仪、数码相机、打印机、网络部件、移动硬盘和各种闪存、数据采集等。

IrDA 接口和 AMR 接口都是早期的 PC 为了与外部设备通信而设置的, 由于更优异的网络接口成为主要的通信手段, 现在它们都已被 PC 淘汰。其中 IrDA 是利用波长为 850~900nm 红外线的一种短距离无线连接技术, 红外传输距离在几厘米到几十米、发射角度通常在 0~15°, 以半双工异步收发方式进行红外通信。IrDA1.0 串行红外协议 (Serial Infrared, SIR) 最高通信速率为 115.2Kbps, IrDA1.1 快速红外协议 (Fast Infrared, FIR) 提高到 4Mbps。之后, IrDA 又推出了最高通信速率为 16Mbps 的特速红外协议 (Very Fast Infrared, VFIR)。现在少数笔记本电脑、掌上电脑、移动手机、遥控器等常常集成有编/

解码功能、38kHz 载波的 5 针红外接口。

AMR 是 Intel 公司发布的追加处理声音功能和调制解调器机能等模拟信号卡的特殊扩展插槽, 后来被直接插在系统总线上的调制解调器 (Modem) 卡替代。PC 常用的利用电话线拨号上网的 Modem 卡是 PCI 插槽的 56Kbps Modem 卡, 它执行 CCITT (Consultative Committee of International Telegraph and Telephone, 国际电报电话咨询委员会) 建议调制解调器的 V.42 标准, 具有 56 000bps 信号速率、全双工通信方式、同步和拥有数据压缩及差错控制技术等功能。

网络接口通过俗称网卡的网络接口控制器 (Network Interface Controller, NIC) 实现 PC 与网络的通信。根据网络技术的不同, 网卡分 ATM (Asynchronous Transfer Mode, 异步传输模式) 网卡、令牌环 (Token Ring) 网卡和以太网 (Ethernet) 网卡等, 但是目前绝大多数的局域网采用以太网技术。按照网卡所支持带宽的不同又可分为 10Mbps 网卡、100Mbps 网卡、10/100Mbps 自适应网卡、1000Mbps 网卡等。它们可以作为扩展卡插在计算机扩展总线上, 或者集成到主板上。网卡的接口类型根据传输介质的不同, 有缆线和光纤 (千兆以上) 两种。缆线的接口有 AUI 接口 (粗缆接口)、BNC 接口 (细缆接口) 和 RJ-45 接口 (双绞线接口) 三种接口类型。

MIDI 接口是一个工业标准的电子通信协定, 使得计算机、合成器、声卡以及电子鼓乐器能互相控制、交换信息。它传送音调和音乐强度的数码, 音量、颤音和平滑音、休止等参数的控制信号, 以及设定节奏的时钟信号等。在 PC 中它常与游戏杆接口和音频接口组成声卡 (Sound Card), 其中 MIDI 接口和游戏杆接口共用输出端口, 端口中的两个针脚 (TXD 和 RXD) 用来传送 MIDI 信号, 可连接电子琴键盘等各种 MIDI 设备, MIDI 可为某些视频游戏提供背景音乐。由于它们的信号是分离的, 所以游戏杆和 MIDI 设备可以同时使用。

声卡是多媒体技术中最基本的组成部分, 实现声波与数字信号的相互转换。基本功能是“软”声卡依靠 CPU、“硬”声卡依靠内置的数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 完成: 音乐合成发音 (Synthesizer) 功能、混音器 (Mixer) 功能、数字声音效果处理 (Digital sound effects processing) 功能以及模拟声音信号的输入和输出功能。普通立体声声卡的模拟音频接口有外接辅助音源输入 (标记为 Lin In, 如影碟机、收音机、录像机及 VCD 回放卡等输出的音频)、话筒输入 (标记为 Mic In) 以及扬声器输出端口 (标记为 SPK) 3 个插孔。而 5.1 声道的声卡有 6 个插孔, 可支持 2 通道 (左、右) 立体声、4 通道 (前置左和右、后置左和右) 立体声和 5.1 通道 (前置左和右、后置左和右、一个中置和一个重低音) 立体声。另外, 还提供 SPDIF (Sony/Philips Digital Interconnect Format) 数字音频光纤接口或同轴电缆接口。目前的声卡符合 AC'97 (Audio CODEC'97) 音频电路系统标准或者高保真音频 (HD Audio) 规范。

显示屏是计算机最重要的人机交互界面。屏幕的扫描从电视的隔行扫描过渡到逐行扫描; 每帧屏幕的刷新频率也从电视的 50Hz/60Hz 增加到 70~85Hz, 对于 CRT (Cathode Ray Tube) 显像管来说, 较高的刷新频率可以减轻高亮度图像显示时的闪烁感, 有些特殊的场合 (如时分制双目立体显示) 需要 100 Hz/120 Hz 的刷新频率。屏幕的幅型比 (宽度与高度比) 从 4:3/5:3 扩展到宽屏 (例如 16:9 等)。显示分辨率经历了早期的低彩色深度: 图形方式下 2 色 640×200 或 4 色 320×200 的 CGA (Color Graphics Adaptor)、图形方式下 16 色 640×350 的 EGA (Enhanced Graphics Adapter) 和 16 色 640×480 的 VGA (Video Graphics

Array), 并扩展到真彩色 (R/G/B 三基色均为 8b 以上), 例如 8b 基色的 $8 \times 3 = 24\text{b}$ 真彩色, 而通常采用的 32b 真彩色是在 R/G/B 各为 8b 通道的基础上增加一个 8b 的 Alpha 通道来储存图像中的重叠图层, 基色超出 8b 的被称为高动态范围影像 (High Dynamic Range Image)。目前常用的有 SVGA (Super Video Graphics Array, 800×600) 和 XGA (Extended Graphics Array, 1024×768) 等等; 对于宽屏幕的格式通常加以 Wide 标注, 例如宽屏扩展图形阵列 (Wide XGA 或 WXGA, 1280×720) 是近来笔记本电脑上流行的一种分辨率。显示器的接口有 RGB 视频模拟信号和行 (H)、场 (V) 同步信号的驱动方式。随着数字驱动方式的液晶显示器的出现和高清晰度视频的应用, DVI (Digital Visual Interface) 和 HDMI (High-Definition Multimedia Interface) 连接方式被越来越广泛使用, 它们都是利用基于最小化传输差分信号协议 (TMDS, Transition Minimized Differential Signaling) 的 3 个通道来进行图像数据的传输, 每个 TMDS 通道能够工作在 165MHz。这样一个 10 位的 TMDS 通道就可以提供 1.65Gb 带宽。两者的不同是: DVI 标准是为 PC 设计, 而 HDMI 则是在 DVI 基础上面向消费电子产品和支持更高的分辨率; 其次, DVI 必须分别传输视频和音频信号, 而 HDMI 能同时完成这两种信号的传输。

为显示接口提供视频信号与同步信号的是显示适配器 (Video adapter, 或者称显卡), CPU 将显示信息从总线送入显卡的 GPU 进行数据处理。处理好的数据被送到 Video RAM (俗称显存), 显卡控制器按照设定格式把显存读取出的数据送到 DVI 接口提供数字方式的输出, 或者读取出的数据再经过含有查找表 (Look Up Table, LUT) 存储器的 RAM DAC 转换成模拟信号提供模拟方式的输出。

此外, 计算机的许多应用都需要在系统扩展总线上插入相应的控制卡或者采用 USB 等接口方式接入, 例如在 PC 上收看电视的电视卡、安防领域的监控摄像机图像采集卡、各种工业控制中的 A/D 和 D/A 等。

1.1.2 PC 的系统总线

计算机中 CPU 需要与一定数量的部件和外围设备连接, 采用共用的被称为“总线”的连接线路结构可以便于部件和设备的扩充, 尤其是制定了统一的总线标准, 容易使不同设备间实现互连。总线一般有: CPU 与各外围芯片互连的内部总线、各插件板卡与系统主板互连的系统总线和计算机与外部设备之间进行信息与数据交换的外部总线。其中内部总线是主机内部芯片一级的互连, 例如 I^2C (Inter-IC) 总线等; 外部总线是设备一级的通信互连, 例如 RS-232C、USB 等。系统总线由数据总线 (Data Bus, DB)、地址总线 (Address Bus, AB) 和控制总线 (Control Bus, CB) 三种不同功能的总线组成。数据总线是双向三态形式的总线, 它的位数通常与 CPU 处理的字长相一致。地址总线是单向三态的, 它的位数决定了 CPU 可直接寻址的内存空间大小。控制总线传送控制信号和时序信号, 传送方向由具体控制信号而定。其中有 CPU 送往存储器和 I/O 接口电路的, 例如存储器读/写信号和 I/O 读/写信号、地址锁存信号、DMA 使能和响应信号、中断响应信号等; 也有其他部件反馈给 CPU 的, 例如中断申请信号、复位信号、总线请求信号、设备就绪信号等。

近三十年来, PC 的系统总线从 PC 总线到 ISA (Industry Standard Architecture) 总线和 PCI (Peripheral Component Interconnect) 总线, 再到 PCI Express 等总线体系, 这三次大的演变使得 PC 性能获得三次飞跃式的提升。

PC 总线在 1981 年出现在 IBM PC (8 位 CPU: 8088) 中, 并于 1983 年升级为 PC/XT 总线 (62 引脚), 是 4.77MHz 时钟的 8 位数据和 20 位地址的总线; 1984 年在 IBM PC/AT (16 位 CPU: 80286) 中扩充为 8MHz 时钟的 8 位/16 位数据兼容和 24 位地址的 PC/AT 总线 (98 引脚)。其中对应 PC/XT 总线位置的后 62 条引脚 (在扩展卡上称为“金手指”) 是 8 位模式, 全部 98 条引脚是 16 位模式, 总线传送一次数据所需时钟周期数是 2。随着众多 PC 厂商的加入, PC 总线规范也被逐渐标准化成 ISA 总线。期间某些 286 PC 兼容机的生厂商以提高 CPU 的时钟来竞争市场, 因此, ISA 总线的时钟频率达到了 10 MHz、12 MHz 甚至 16MHz。1988 年在 32 位 80386DX 处理器出现之后, 由 Compaq 等 9 家公司联合推出了完全兼容 ISA 总线的数据和地址都是 32 位宽度的 EISA (Extended Industry Standard Architecture) 总线, 为了保持兼容性, 总线时钟仍然为 8MHz (8.33MHz) 左右。它是在 ISA 总线的基础上使用双层引脚错开插座, 即原来 ISA 总线的 98 条引脚为上层, 下层在对应两个 ISA 引脚之间又增加了 99 条扩展引脚。在 PC 中 EISA 不如 ISA 普及, 用户在 ISA 总线上添加新设备时不得不了解一些关于硬件的特殊知识, 对 IRQ (中断请求)、I/O 地址和 DMA 信道等进行配置, 才能正常使用新设备。为了克服这个缺点, 1987 年 IBM 试图以会帮用户自动完成这些设定的“微通道体系” (Micro Channel Architecture, MCA) 取代 ISA, 虽然该总线因某些原因未能推广, 却最终导致了即插即用系统的诞生。

Microsoft 公司的 Windows 操作系统带来的 GUI (Graphical User Interface, 图形用户接口) 界面以及磁盘控制技术令 ISA 总线不堪重负, Intel 公司顺应时势提出了 32 位即插即用的 PCI 总线概念, 1992 年和 1993 年相继发表主板组件间的规范 PCI 1.0 和系统扩展总线插槽的 PCI 2.0 标准。PCI 是整合了 ISA、MCA 和 EISA 的优点, 但不兼容它们的扩展接口, 先是在服务器中采用, 1996 年开始在某些 486 机和随后的 Pentium 系列微机中应用。PCI 的第一个版本是 120 条引脚、32 位/33MHz 总线时钟和传输带宽达到 133MBps、支持 5V 供电。在其发布一年后, Intel 公司紧接着提出 64 位/33 MHz、传输速率达 266MBps、支持 3.3V 供电的 PCI 总线, 但主要用于企业服务器和 workstation 领域; 后来又升级为 64 位/66MHz、传输速率峰值可达 533MBps; PCI 3.0 是最后一个官方版本, 它彻底取消了支持使用 5V 的设备。

在 PC 领域一直使用 32 位/33MHz 的 PCI 总线。1996 年 3D 显卡的出现, 需要通过总线与 CPU 进行频繁的数据交换, PCI 总线已不能适应。为此 Intel 公司在 PCI 基础上专门研发出针对显卡的 AGP (Accelerated Graphics Port, 加速图形接口) 总线标准, 直到 2004 年 AGP 标准被 PCI Express 所取代。常规 AGP 有 3 个标准: AGP 1.0 标准的时钟频率达到 66MHz, 具有 1X 和 2X 倍频两种模式, 数据传输带宽分别达到 266MBps 和 533MBps, 信号电压为 3.3V。1998 年的 AGP 2.0 通过增加的 4X 倍频模式, 将带宽提升到 1.06GBps, 且信号电压降低到 1.5V。2000 年的 AGP 3.0 增加的 8X 倍频模式可以提供 2.1GBps 的带宽, 它的信号电压进一步降低到 0.8V。

AGP 使用类似 EISA 的双层引脚错开插座, 有 3 种插槽:

- (1) 132 脚的通用 (Universal) 插槽, 适于所有标准。
- (2) 位于前 1/3 处多了一个阻断 (3.3V Key) 的 124 脚插槽, 适于 AGP 1.0 标准。
- (3) 位于后 1/3 处多了一个阻断 (1.5V Key) 的 124 脚插槽, 适于 AGP 2.0 和 3.0 标准。

由于信号电压和插槽供电规范的不同, 在 PC 中插入 AGP 显卡要注意与主板芯片组所支持的 AGP 标准相适应。除了常规的 AGP 规范, 我们偶尔还能看到支持 AGP Pro 的主板。

AGP Pro 的插槽是在 AGP 插槽的前端延伸 20 引脚的插槽和在 AGP 插槽的后端再延伸 28 引脚的插槽, 延伸部分可容纳更多的提供额外电能的引脚, 以满足处理能力更强大的专业显卡所需日益加大的功耗 (25~110W)。AGP Pro 接口其实是专为高端图形工作站而设计的, 完全兼容 AGP 4X 标准。

随着千兆网卡、高速磁盘阵列在 PC 与服务器的应用, 开发彻底代替 PCI 的新一代总线势在必行。为此, 服务器厂商采用平滑升级的方式推出高性能的 PCI-X (PCI eXtended); PC 厂商则彻底变革, 推出革命性的高速串行总线 PCI Express (PCI-E 或 PCIe)。1998 年 IBM 等 3 家公司发起, PCI-SIG (PCI Special Interest Group, PCI 特别兴趣组) 于 2000 年正式发布 PCI-X 1.0 标准。PCI-X 1.0 标准仍为 64 位, 但频率由 66MHz 提高到 133MHz, 获得高达 1.06GBps 的总带宽, 150 个引脚。2002 年推出更快的 PCI-X 2.0, 它包含较低速的 PCI-X 266 及高速的 PCI-X 533 标准, 分别针对不同的应用。PCI-X 266 标准的工作频率为 266MHz, 可提供 2.1GBps 共享带宽; PCI-X 533 标准的工作频率为 533MHz, 达到 4.2GBps 的共享带宽, 它们最多都可以同时支持 8 组并行设备。PCI-X 2.0 的接口与 PCI-X 1.0 完全相同, 可无缝兼容之前所有的 PCI-X 1.0 设备和 PCI 扩展设备。2004 年 PCI-X 标准被高速串行的 PCI Express 标准替代。

在未来总线频率不断提高的趋势下, 总线的数据位宽在达到 64 位以后, 由于并行信号之间的串扰和成本上的原因已不能再依靠加宽位数来获得更高的码率。2001 年 Intel 公司提出以串行、高频率运作的方式获得高性能 3GIO (Third Generation I/O Architecture, 第三代 I/O 体系) 总线, PCI-SIG 于 2002 年推出 PCI Express 1.0 标准, 2007 年 1 月公布 PCI Express 2.0 标准, 目前正在紧张开发 PCI Express 3.0 标准。PCI Express 是全双工、点对点 (Peer to Peer, P2P) 连接的 1b 序列传输, 遵守一个由对话层、数据交换层和物理层构成的多层协议。最基本的一组传输通道 (称为 X1) 拥有 4 根线组成 2 对单向低电压差分信号 (Low Voltage Differential Signaling, LVDS) 线路, 分别用于数据发送和数据接收, 并使用 8b/10b 编码的数据流内嵌时钟技术 (每 8b 数据编成 10b), 节省了通道并提高了效率。PCI Express 的目标是替代计算机内部所有的总线, 因此可以将几个基本的传输通道捆绑, 通常组成的频宽有 X1、X2、X4、X8、X16、X32 等多种不同规格标准, 其中 X16 主要是用来取代 AGP。PCI Express 1.0 的工作频率是 2.5GHz, 一对线路的码率是 $2.5\text{GHz} \div 10 \text{ (b/B)} = 250\text{MBps}$, 因此 PCI Express 1.0 的 X16 模式可达到双工码率为 4.0 GBps。2.0 版本的工作频率提高到 5GHz, 基本通道双工码率是 500MBps。未来的 3.0 版本的工作频率又提高一倍而达到 10GHz, 基本通道双工码率将是 1GBps。注意实际上总线的时钟频率是工作频率的一半, 因为可以在时钟的上升沿和下降沿传送数据。

此外, 与 PCI Express 竞争的还有很多基于串行高速序列传输标准, 包括 Hyper Transport, Infini Band, Rapid IO 和 Star Fabric 等。

1.1.3 PC 的主板芯片组

在早期的 80386 和 80486 PC 中, 除 CPU 外的控制逻辑 (例如时钟发生器、总线控制器、中断控制器、DMA 控制器、I/O 接口电路等) 是由一些具有独立功能的芯片组成的。1986 年 Chip and Technologies (C&T) 公司率先推出了一组由 5 片 (82C201、82C202、82A203、82A204、82A205) 组成的、内部囊括了 PC/AT 机主板上所有主要芯片功能的 CS8220 芯片

组 (Chipset), 芯片组的诞生使主板的设计和测试简单化和标准化, 不仅大幅度降低了 PC 的制造成本, 更重要的是为将来扩展主板的功能、增强对外部设备的支持留下了空间。芯片组是主板的核心组成部分, 几乎决定着主板的全部功能。

随着 PCI 总线的引入, 为了进一步提高系统的整体性能, Intel 公司开始在 800 系列芯片组中采用了 Hub 体系结构, 现在采用这一结构的微机已成为 PC 的主流。图 1.1 是 Intel 公司在 2007 年推出的 Bearlake 3 系列芯片组家族中 P31 芯片组的功能方框图。

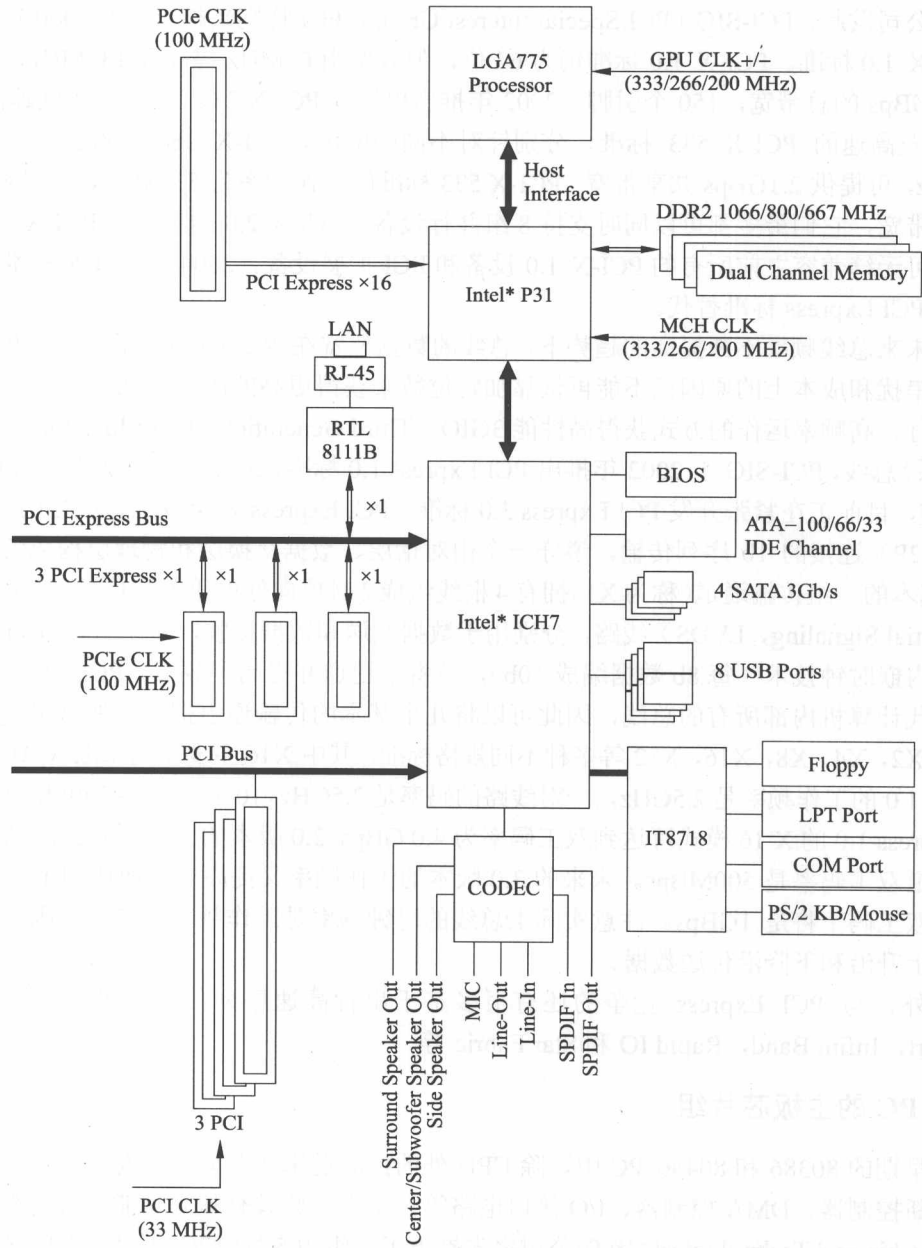


图 1.1 PC 芯片组的 Hub 体系结构