



21 世纪大学本科
计算机专业系列教材

赵雁南 温冬婵 杨泽红 编著

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

微型计算机系统与接口

- 根据教育部高教司主持评审的《中国计算机科学与技术学科教程 2002》组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE/CS *Computing Curricula 2001* 同步

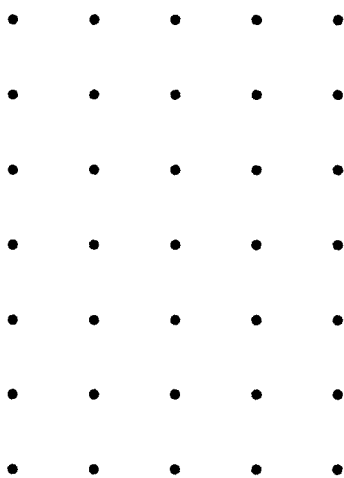


清华大学出版社

21世纪大学本科计算机专业系列教材

微型计算机系统与接口

赵雁南 温冬婵 杨泽红 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从微型计算机系统的角度出发,介绍了微处理器、存储器、I/O 接口和系统总线,分析了它们的结构、原理以及各部件之间的联系,突出时序分析与系统设计。本书以典型的 16 位微处理器 Intel 8086 为基础,帮助读者理解基本概念和基本工作原理;从分析 80x86 到 Pentium 系列微处理器的进化过程,引导读者了解虚拟存储、超标量流水线、指令分支预测、指令无序执行、MMX、PCI 的人射波反射和 PCI 配置等先进技术。并以中断、DMA、Cache、存储管理、系统总线、异步接口等为重点,结合实例阐述微型计算机关键技术的关键点和应用方法。

本书以 Intel 微处理器为背景,又不拘泥某一代处理器,在加深基本概念的基础上介绍最新技术。教材以基本概念为“基础”、以技术发展为“主线”、以关键技术为“重点”,特别加强对关键部件的逻辑与时序的分析,加强以基本概念为指导的系统扩充和设计案例分析,紧密结合实验教学,逐步培养学生具备计算机研发人员所必须掌握的资料阅读能力、时序分析及接口设计能力、系统设计编程及硬软件调试能力。

为便于学习,每章开始时均有导学说明,配有学习目标和学习重点,结束时本章小结和习题,指明重点和难点。

本书适合作为高等院校计算机和信息技术专业本科生的教材,也可作为研究生及相关技术人员的参考资料。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

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。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机系统与接口/赵雁南,温冬婵,杨泽红编著. —北京:清华大学出版社,2005.1

(21 世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 7-302-09921-9

I. 微… II. ①赵… ②温… ③杨… III. ①微型计算机—理论—高等学校—教材 ②微型计算机—接口设备—高等学校—教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 119647 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 张瑞庆

封面设计: 孟繁聪

印 刷 者: 北京嘉实印刷有限公司

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 29.5 字 数: 623 千字

版 次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09921-9/TP·6821

印 数: 1~5000

定 价: 36.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

目 录

CONTENTS

第 1 章 概述	1
1.1 什么是微型计算机	1
1.2 微型计算机系统的构成和性能评价	2
1.2.1 微型计算机系统的基本组成	2
1.2.2 微型计算机的性能描述	6
1.3 微型计算机的发展概况	7
1.3.1 Intel 系列微处理器	7
1.3.2 与 Intel 兼容的微处理器	11
本章小结	11
习题	11
第 2 章 微处理器	12
2.1 8086 微处理器	13
2.1.1 8086 微处理器的结构	13
2.1.2 8086 的引脚信号定义	18
2.1.3 地址信号锁存和总线驱动	26
2.1.4 8086 的总线操作	33
2.1.5 8086 的存储器和 I/O 组织	41
2.1.6 8086 的中断系统	44
2.2 Pentium 微处理器	51
2.2.1 从 8086 到 Pentium	51
2.2.2 Pentium 的结构特点	55
2.2.3 超标量流水线	64
2.2.4 分支指令的转移预测	69
2.2.5 Pentium 的工作模式	71
本章小结	75

习题	76
----------	----

第 3 章 寻址方式和指令系统	77
------------------------------	-----------

3.1 寻址方式	77
3.1.1 8086 的寻址方式	78
3.1.2 机器语言指令的转换	87
3.1.3 IA 结构处理器寻址方式的扩充	91
3.2 80x86 指令系统	93
3.2.1 8086 指令系统	94
3.2.2 80x86 的扩展指令	127
3.3 微处理器编程	132
3.3.1 模块化的编程方法	133
3.3.2 使用键盘和显示器	155
本章小结	171
习题	173

第 4 章 微处理器与 I/O 设备的数据传输方式以及数据传输的控制方式	176
---	------------

4.1 微处理器与 I/O 的数据传输方式与控制方式	176
4.1.1 微处理器和外设之间数据的传输方式	176
4.1.2 数据传输的控制方式	177
4.2 中断系统与可编程中断控制器	179
4.2.1 微计算机的中断系统	179
4.2.2 可编程中断控制器 8259A	186
4.2.3 中断程序设计	202
4.2.4 中断问题小结	207
4.3 直接存储器存取(DMA)和 DMA 控制器	209
4.3.1 DMA 基本概念	209
4.3.2 DMA 控制器 8237A	212
4.3.3 DMA 问题小结	233
本章小结	234
习题	234

第 5 章 微型计算机与外设的接口技术及相关芯片	236
5.1 I/O 接口电路的一般组成	236
5.1.1 异步接口的状态寄存器	237
5.1.2 从输入接口的工作原理看结构	237
5.1.3 异步输出接口的原理性结构	239
5.2 并行接口与并行接口芯片	240
5.2.1 并行接口电路	240
5.2.2 可编程并行接口电路 82C55A	243
5.3 串行通信与串行通信接口	254
5.3.1 串行通信基础	255
5.3.2 可编程串行通信接口 8251A	262
5.3.3 其他串行接口芯片	271
5.4 模数、数模转换接口与数据采集	272
5.4.1 一些术语	272
5.4.2 D/A 转换接口	273
5.4.3 A/D 转换接口	278
5.4.4 数据采集	285
5.4.5 A/D、D/A 接口设计要点	290
本章小结	291
习题	292
第 6 章 存储器系统和存储管理	294
6.1 微型计算机的存储器系统	295
6.1.1 半导体存储器	295
6.1.2 微型计算机的存储器组织	304
6.1.3 Cache 基本概念回顾	305
6.2 Pentium 的 Cache 组织	309
6.2.1 概述	309
6.2.2 Pentium 存储器系统的数据一致性	313
6.2.3 Pentium 内部数据 Cache 的访问	321
6.2.4 Pentium 的猝发访问	323
6.3 存储管理	329
6.3.1 存储器管理概述	329

6.3.2 分段机制.....	330
6.3.3 分页技术.....	339
本章小结.....	344
习题.....	344

第7章 系统总线 345

7.1 总线的一般概念	345
7.1.1 总线的定义和总线的层次结构.....	345
7.1.2 总线特征要素.....	348
7.1.3 总线的电气性能.....	350
7.2 ISA 总线	353
7.2.1 ISA 总线概述	353
7.2.2 ISA 总线时序.....	355
7.2.3 ISA 总线扩展技术.....	358
7.3 PCI 总线	360
7.3.1 PCI 总线简介	360
7.3.2 PCI 总线信号.....	363
7.3.3 PCI/ISA 桥的负向译码	369
7.3.4 PCI 总线交易.....	370
7.3.5 PCI 总线仲裁.....	377
7.3.6 PCI 配置	380
本章小结.....	391
习题.....	392

第8章 嵌入式系统 393

8.1 嵌入式系统概述	393
8.1.1 嵌入式系统的概念.....	394
8.1.2 嵌入式系统的组成.....	395
8.1.3 嵌入式系统的特点.....	398
8.2 Intel XScale PXA250/PXA210 简介.....	399
8.2.1 Intel XScale PXA250 产品特性	399
8.2.2 Intel XScale 核及其特性	399
8.2.3 Intel XScale PXA250 的集成功能部件	403
8.2.4 Intel XScale PXA250 的引脚信号功能	406

8.2.5 存储器映射	409
8.3 Intel XScale PXA250 的指令系统	411
8.3.1 ARM 指令系统特点	411
8.3.2 ARM 指令的寻址方式	414
8.3.3 ARM 指令的条件执行	416
8.3.4 ARM 标准指令	416
8.3.5 Thumb 指令系统	425
8.4 Intel XScale PXA250 的功能扩展	426
8.4.1 存储器扩展	426
8.4.2 LCD 应用连接	433
8.4.3 AC97 应用连接	434
本章小结	436
习题	437
第 9 章 其他先进微处理器	438
9.1 Pentium Pro 微处理器和指令的无序执行	438
9.1.1 Pentium Pro 的总体结构	438
9.1.2 指令执行流程	444
9.2 Pentium II 处理器以及 MMX 功能	446
9.2.1 Pentium II 处理器的一般结构以及对 Pentium Pro 的改进	446
9.2.2 MMX 技术	447
9.3 Pentium III 与 Pentium 4 微处理器的特点	451
9.3.1 Pentium III	451
9.3.2 Pentium 4	452
本章小结	455
习题	455
参考文献	456

第 1 章

概述

学习目标

本章作为学习本书的引言,介绍本书所要讨论的主要内容和微型计算机的发展历程。通过本章的学习,要求了解微型计算机系统的组成、微型计算机的主要部件以及评价微型计算机性能的指标。并通过微处理器的发展了解微型计算机的发展历程。

学习重点

- ◆ 微型计算机系统的组成及性能评价指标。
- ◆ 微型计算机的发展过程以及各代微处理器的特点。

本章是本课程的预备知识,首先明确本书讨论的内容,然后以 Intel 微处理器为例简述了微处理器的发展历程。

1.1 什么是微型计算机

计算机通常按照其功能、体积和价格分为小型机、中型机和大型机。大规模和超大规模集成电路的发展,使得微处理器能够在一个硅芯片上实现,Intel 公司的 Intel 4004 虽然只有 4 位字长,却被认为是计算机历史上一个划时代的产品,它翻开了微型计算机的新篇章。在短短的几十年内,从第一个 8 位微处理器 8080 发展到功能强大的 32 位 Pentium 4。基于微处理器的微机系统在性能上远远超过了早年的小型机、中型机,甚至大型机。微型计算机区别于其他计算机的界定标准也变得模糊起来。

最早的电子计算机由电子管组成,被称为第一代计算机,那时的一台电子计算机需要占用几个房间,每秒钟只能完成几万次运算。第二代计算机是晶体管计算机,其体积仍然庞大。集成电路的诞生,使计算机的体积大大缩小,计算速度和功能大大增强。如果将集成电路计算机归为第三代,那么第四代就是基于大规模和超大规模集成电路的计算机。在微处理器刚刚起步的 20 世纪 70 年代,将基于微处理器的计算机称作微型计算机,随着技术的进步,微处理器被广泛地应用在各种类型的计算机系统中,多个 Pentium 处理器组

成的工作站,其计算能力、性能和应用范围是普通 PC 机无法比拟的。这使按照构成计算机的元件来区分计算机类型的界线又变得模糊了。

虽然,难于严格定义什么是微型计算机,但是,一般把台式计算机一类的个人计算机、结构相对简单的工业控制计算机等统称为微型计算机。

1.2 微型计算机系统的构成和性能评价

1.2.1 微型计算机系统的基本组成

目前,应用最为广泛的微型计算机系统是基于微处理器的 PC 系统。不管是 20 世纪 80 年代初以 8088 为 CPU 的 IBM PC/XT,还是近年基于 Pentium 4 的 PC 系统,其框架结构都十分类似,包括微处理器、存储器系统、输入输出接口和输入输出系统,电源以及支持运行的操作系统。见图 1-1。

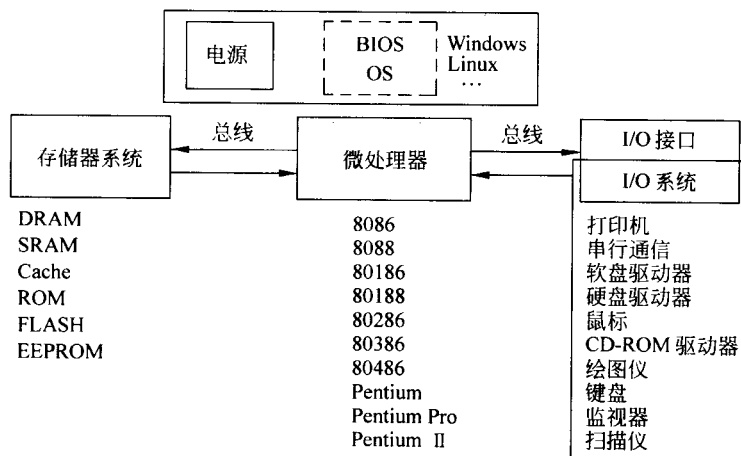


图 1-1 微型计算机系统

微处理器、存储器、I/O 接口及连接各部分的总线,连同支持运行的基本 I/O 系统 (BIOS)组成微型计算机,它们是微机系统的主体,也是本书将要讨论的主要内容。图 1-2 表示了微计算机的基本结构。以基于 Pentium 的微计算机为例,它包括了 Pentium 微处理器、第二级高速缓存 (Cache)、主存储器、支持系统控制的逻辑芯片组北桥和南桥、系统总线 PCI 或 ISA 以及连接在总线上的 I/O 扩展。人们常说的主机是一个模糊的概念,它几乎是图 1-2 中除了输入输出系统(设备)以外的所有部分,还包含了系统电源。

微型计算机通过 I/O 接口可以连接多种外部设备,如打印机、鼠标、键盘、显示器、调制解调器、扫描仪等,来服务于各种应用;并可以通过驱动器连接软盘、硬盘、光盘等,扩充

海量外存。在 BIOS 的基础上,加上支持微机的各类操作系统,如 DOS、Windows 2000、Windows XP、Linux,连同电源系统,形成功能强大的微型计算机系统。下面对微机系统的主体部分作进一步阐述,这些部分也是以后各章讨论的重点。

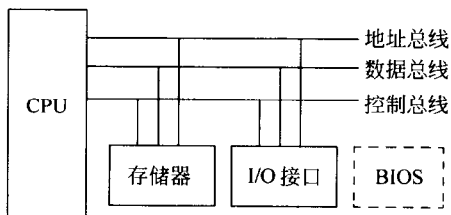


图 1-2 微型计算机的基本结构

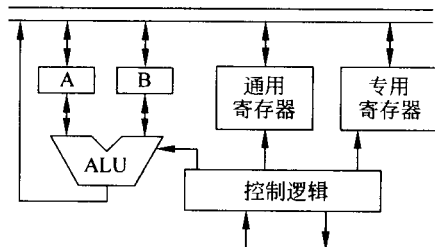


图 1-3 中央处理器的基本单元

1. 微处理器

微机系统的核心部件是微处理器。微处理器执行指令,控制系统的运行,在一定程度上体现了微机系统的性能和技术发展水平。早年的微处理器就是常说的 CPU (central processing unit, 中央处理器), 可以将 CPU 简单地分成 4 个部分: 算术逻辑部件 (ALU)、控制部件、寄存器堆和内部总线。见图 1-3。

ALU 执行指令,完成算术逻辑运算。寄存器堆包括通用寄存器和专用寄存器,用于存放指令、操作数和中间结果。控制部件按一定的定时关系,控制 CPU 执行指令并按所规定的操作和外界交换信息。内部总线将上述功能部件连接在一起。

随着技术的进步,微处理器集成了越来越多的功能。为了提高存储器系统的性能,80386 把存储器管理部件 (MMU) 集成在微处理器的内部,MMU 可以完成分段和分页的存储器管理;80486 集成了 8KB 的第一级 Cache 和算术协处理器;Pentium 除了 16KB 的 Cache 外,具有两套流水线化的整数处理单元和一套浮点处理单元,两套整数处理单元相当于两个 CPU,即超标量流水线;Pentium Pro 以上处理器更是把两级高速缓存集成在微处理器内部,第一级 (L1) Cache 16KB,第二级 (L2) Cache 256KB;由于要集成的功能大幅度增加,有些微处理器不得不把第二级高速缓存做在另外一个芯片上,比如 Pentium II, L1 Cache 为 32KB、L2 Cache 为 256KB,但是为了提高芯片之间数据传送的速度,还是将两个芯片封装在同一个管壳之中。现代的微处理器已经不同于早年的 CPU,它是一个功能强大的、集成了多种功能的微型计算机的核心处理部件。图 1-4 是微处理器的简略结构图。

2. 存储器和 I/O 接口

这里的存储器指的是内存储器,内存储器存放程序代码和数据。8086/8088 支持 1MB 的内存储器,80386DX~Pentium 的内存范围为 4GB, Pentium Pro 以上处理器能够支持 64GB 的内存储器。早期的 PC/XT,内存储器直接挂在经过驱动的处理器的总线上,

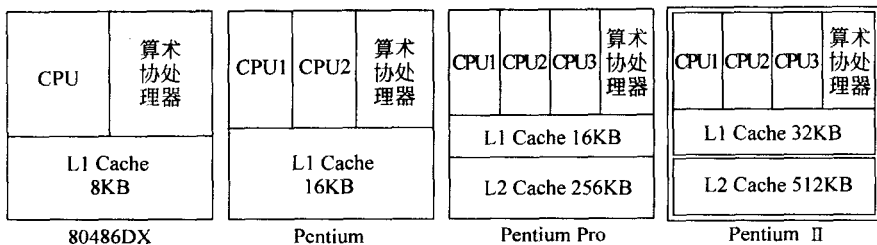


图 1-4 几种微处理器的简略结构

存储器访问速度基本上能够和处理器速度相匹配。随着微处理器技术的进步,不仅对物理存储器容量的支持扩大了几万倍,也使得存储器访问速度与处理器执行指令速度的差距越来越大,为了弥补它们之间的速度间隙,从 80386 开始,系统采用高速缓存技术和存储器分层结构来提高存储系统的性能,使得微处理器和存储器间的控制关系变得复杂起来。

尽管各代微机的存储器系统从容量到控制结构有较大的差异,但为了保持系统的兼容性,其存储结构十分类似。从 8086/8088 到 Pentium 系列的 PC 系统,内存储器的映像区域完全兼容。PC/XT 的 1MB 内存分为 640KB 的暂时程序区(TPA)和 384KB 的系统区。TPA 包含中断向量表、BIOS 和 DOS 的通信区、连接 DOS 到 BIOS 的 IO. SYS 以及鼠标一类基本外部设备的驱动程序。系统区则用于视频显示控制、硬盘和网络控制器以及 BIOS。80386 以上的高档 PC 仍然以前 1MB 内存为常规存储器,并定义 1MB 以上区域为扩展内存系统。在实模式下,系统在前 1MB 存储区内运行(图 1-5)。

I/O 接口和 I/O 设备组成 I/O 系统。I/O 接口是微计算机的重要组成部分,它作为数据缓冲和数据传送控制部件连接微处理器和 I/O 设备。I/O 设备的种类很多,结构和工作原理差别很大,它们不作为本书重点讨论内容。和存储器类似,早期的 I/O 接口也直接连接在经过驱动的处理器的总线上。逐渐地,微计算机系统总线形成,从 PC/XT 开始的 PC 总线、PC/AT 的 ISA 总线、直到今天的 PCI 总线,使得大多数外设可以通过 I/O 接口连接在系统总线上。I/O 接口还可以和信号处理或数据处理电路集成在一起组成各种功能的扩展板卡,如视频采集处理卡、网络接口卡等。诸多与总线兼容的扩展卡,成就了微计算机在不同领域的应用。

无论是 80x86 还是 Pentium 系列处理器,它们都具有 0~FFFFH 的 64KB 的 I/O 地址空间。PC 系统具有大致相同的 I/O 映像区,映像区分为两部分:0~0400H 是为系统设备保留的 I/O 区域;0400H~FFFFH 是扩展的 I/O 区域。图 1-6 是比较典型的 PC 机 I/O 映像区。

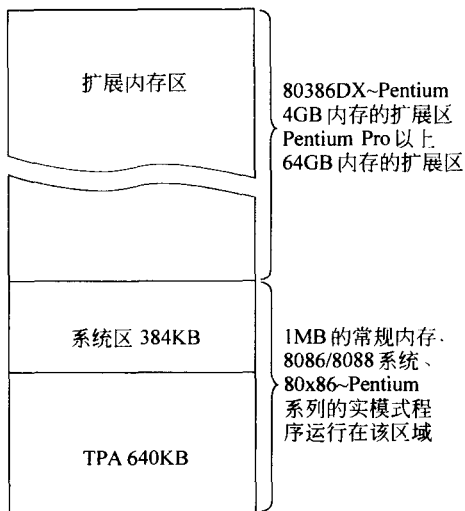


图 1-5 PC 的内存映像区

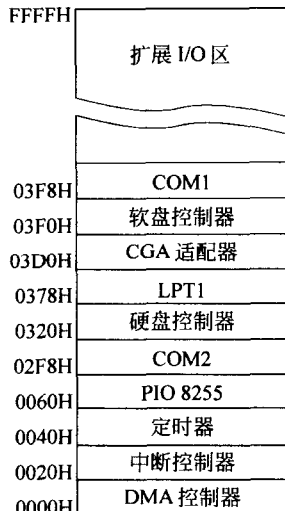


图 1-6 PC 的 I/O 映像区

对系统 I/O 的访问,通常是通过 BIOS 进行的。BIOS 包含了对系统基本 I/O 设备的功能调用,操作系统或用户程序通过 BIOS 的功能调用,便可以访问系统 I/O 设备,如显示器、串行口、键盘、时钟等。

3. 总线

总线是连接微处理器、存储器和 I/O 接口的公共链路,它各部件之间传递地址、数据和控制信号,分别称为地址总线、数据总线和控制总线。1970 年,DEC 公司在 PDP11/20 上采用了标准总线,到 Unibus 之后,总线技术迅速发展。总线技术使系统的模块化结构设计翻开了新的一页,它支持多品种之间软硬件的兼容和版本升级,便于系统的故障诊断和维护。总线的结构和性能是微型计算机系统性能的一项重要指标。

根据功能和位置,总线有不同的分类。在多处理机系统中,连接各处理机的总线称为全局总线,连接每个处理机各个模块的总线称作局部(本地)总线。比如,微机和工作站广泛使用的 VME 总线是全局总线,VMX 是处理机的本地总线。全局总线也称为系统总线,从广义上讲,无论是独立的处理机还是多处理机,系统中支持各种设备的通用总线都称作系统总线。VME、ISA、PCI 都是系统总线。有些总线专门用于外部设备,如 USB 总线、IEEE 1394 总线,它们是目前流行的串行总线;IDE 总线和 SCSI 总线则是和具有相应接口的硬盘驱动器和光盘驱动器等外部设备连接的外设总线。还有一些功能专用的总线,如连接显卡的 AGP 总线,它是一种为提高视频带宽而设计的图形加速端口。

早期的 PC 总线相对简单,数据宽度仅为 8 位,是一组连接 I/O 扩展的系统总线,即 PC 总线,后来发展为 16 位的 ISA 总线。根据计算机内不同的数据传输速率,一台微机可以具有多个层次的总线。比如基于 Pentium 的 PC 系统,具有连接微处理器和北桥的

前端总线、连接图形终端的 AGP 总线、PCI 总线和 ISA 总线。可以根据设备的不同速度,把它们连接在不同层次或者不同速率的总线上。

1.2.2 微型计算机的性能描述

微型计算机的性能是一个综合的指标,它是由微计算机的系统结构、各部件的硬件性能以及系统的软件配置有关,主要评估指标有以下几项。

1. 微处理器的字长和指令执行时间

微计算机的性能很大程度上取决于微处理器的性能,描述微处理器的指标有字长、外部总线宽度、主频、指令执行时间等。

微处理器的字长一般由 ALU 的位数和数据总线的宽度来决定,字长越长,表示数据的精度越高,传送处理数据的速率越快。8086 是 16 位字长处理器,80386DX 是 32 位处理器。有些处理器的 ALU 位数和数据总线宽度并不相同,8088 的 ALU 是 16 位,但为了和 8 位的 I/O 设备兼容,其数据总线只有 8 位,因此称其为准 16 位处理器。Pentium 的超标量结构有两个整型的 32 位 ALU,并具有 64 位数据总线,Pentium 被称为 64 位微处理器。

主频表示微处理器工作的最高频率,同一类型的微处理器可以有不同频率的主频,如主频为 100MHz 的 80486DX4 的速度是 75MHz 80486DX4 的 1.3 倍。然而主频并不是反映处理器速度的最主要指标,100MHz Pentium 的指令执行时间几乎是 100MHz 80486 的二分之一,这是因为 Pentium 采用了超标量结构。通常,用单位时间执行指令的数目来比较不同型号的处理器速度,单位是每秒百万指令流(MIPS)。Pentium 的第一个版本时钟频率为 66MHz,指令执行速度为 110MIPS;第二版的主频为 100MHz,指令执行速度 150MIPS。但是这种评测方法受评测程序中不同种类指令比率的影响,测试结果缺乏客观性。后来,Intel 又推出了更加科学的 iCOMP (intel comparable microprocessor performance)指数评测方案,来综合评测 32 位微处理器的速度。评测程序中整数运算、浮点运算、图形处理、图像处理各占一定的比率,再根据一定公式计算出处理器的 iCOMP 指数。Pentium 100 的 iCOMP 指数为 815,Pentium 200 的 iCOMP 指数达到了 1810。

2. 内存存储器容量和速度

存储器容量和存储器访问时间是反映微型计算机内存存储器性能的两个主要指标。

内存存储器的最大容量和处理器的地址线宽度有关,8086 有 20 位地址线,最大内存容量为 1MB,Pentium 的地址线为 36 位,可访问的存储器空间为 64GB。微型计算机通常综合性能和价格两个因素来配置合适容量的内存存储器。比如,Pentium 4 台式机的内存配置一般为 256MB 或 512MB。

存储器访问时间体现了内存存储器的速度,直接影响处理机的性能。20 世纪 80 年代初,动态存储器 DRAM 的访问时间在几百纳秒,近年来提高到几十纳秒。但是存储器速

度的提高远远赶不上微处理器速度的提高,弥补它们之间的速度间隙一直是微计算机技术中的难题。

3. 系统总线传输速率

系统总线的传输速率也是衡量微计算机性能的重要指标,总线每秒钟能够传送的最大字节数称作总线的传输速率。总线速率和总线宽度及总线周期时间有关。总线宽度指总线中数据线的位数。基于 8088 的 PC 系统总线宽度为 8 位,ISA 标准数据线宽度为 16 位。PCI 总线的宽度为 32 位或 64 位。总线周期时间指进行一次总线访问花费的时间,ISA 总线的典型总线周期时间为 3 个时钟周期,即每 3 个时钟周期传送 1 个字节;对于可以进行猝发传送的 PCI 总线,在猝发周期中每个时钟周期传送 4 个字节。8MHz 主频 16 位宽度的 ISA 总线传输速率是每秒 5.3MB。33MHz 主频 32 位宽度的 PCI 总线峰值传送速率为每秒 132MB,66MHz、64 位的 PCI 峰值传送速率达到每秒 528MB。

1.3 微型计算机的发展概况

讨论微型计算机的发展,最有代表性的是微处理器。随着微电子技术的不断进步,微处理器和其他功能部件遵循摩尔定律,每隔两年集成度和性能增长一倍,价格却下降二分之一。20 世纪 70 年代初,Intel 公司推出第一个通用的 8 位微处理器 8080,它由 3 片集成电路组成,总的晶体管数约为 5 千个,数据线宽度为 8 位,地址线为 16 位,最大寻址空间 64KB。它只有 78 条指令,主频为 1MHz。当时微处理器组成的微机系统价格十分昂贵,微处理器控制的机电设备还十分鲜见。30 年后的今天,单片的 Pentium 4 集成了大约 4 千 2 百万个晶体管。Pentium 4 是 32 位微处理器,外部数据总线的宽度为 64 位,最大寻址空间为 64GB,主频高达 2200MHz,运行速度约为每秒 30 亿条指令。组成的系统远远超出了早期中型乃至大型机的性能。由于价格低廉,使得基于 Pentium 4 的微型计算机在企业、机关、学校以及大学生中普及。谈及微处理器的应用,小至微处理器控制的玩具、家电、通信设备,大至互联网、航空航天卫星、火箭控制,在当前信息时代中微型计算机无处不在。下面以 Intel 系列微处理器为例,回顾微型计算机发展的历程。

1.3.1 Intel 系列微处理器

表 1-1 是 Intel 系列微处理器基本特性一览表。

第一个通用的 8 位微处理器 8080 诞生于 1974 年。后来,8085 将 8080 的 3 片结构集成成为 1 片,并将其结构优化。8085 微处理器和其他部件接口方便以及中断系统功能完善等特点使它在很长一段时间内被计算机控制系统广泛采用。8080 和 8085 奠定了 80x86 系列的雏形。

表 1-1 Intel 系列微处理器

Intel 处理器	产品问世年份	性能 (MIPS)	首批 CPU 频率 (MHz)	晶体管数目	主寄存器规模	外部数据总线宽度	最大地址空间	CPU 封装内的 Cache
Intel 8008	1972		0.5	2k	8	8	16KB	
Intel 8080	1974		1	5k	8	8	64KB	
Intel 8086	1978	0.8	8	29k	16	16	1MB	
Intel 80286	1982	2.7	12.5	134k	16	16	16MB	
Intel 80386DX	1985	6.0	20	275k	32	32	4GB	
Intel 80486DX	1989	20	25	1.2M	32	32	4GB	8KB L1
Pentium	1993	100	60	3.1M	32	64	64GB	16KB L1
Pentium Pro	1995	440	200	5.5M	32	64	64GB	16KB L1; 256KB
Pentium II	1997	466	300	7.5M	32	64	64GB	32KB L1; 256KB
Pentium III	1999	1000	500	9.5M	32GP 128 SIMD-F	64	64GB	32KB L1; 512KB L2
Pentium 4	2000	3000	1400	42M	32GP 128 SIMD	64	64GB	8KB+12K(TC); 512KB L2

1978 年,80x86 系列的第一代 16 位微处理器 8086 问世。在 8 位微处理器中,指令的读取、执行和回写都是串行进行的。8086 第一次将流水线的思想引进微处理器,实现了指令级的流水。此外,还把对存储器分段管理的机制引入处理器,扩大了处理器寻址的能力。8086 只有整数运算指令,浮点和其他复杂函数的运算由协处理器 8087 完成。和 8086 配套的还有 I/O 处理器 8089。虽然 8086 的功能在当时不算强大,但在 8087 和 8089 配合组成的系统中,却有较为强大的计算能力和 I/O 处理能力。处理器升级为 16 位后,为了能和早年与 8 位微处理器配套的 I/O 设备兼容,Intel 推出了 8088,IBM PC/XT 就是基于 8088 微处理器的计算机系统。8088 外部的数据总线是 8 位的,内部除了微小的差异以外,和 8086 的结构相同。

80186 在 8086 的基础上增加了内部保留中断向量的数目和强大的内置 I/O 功能,把时钟发生器、可编程中断控制器、定时器、DMA 控制器等 I/O 芯片的功能集成在处理器内部。80186 主要应用是系统控制器,它们常被称为嵌入式控制器。

1982 年,80286 诞生,虽然 80286 和 8086 同为 16 位处理器,但 80286 在性能上有了显著的提高。80286 采用更高频率的时钟,提高了处理速度。80286 将存储器的保护管理模式引入微处理器,从 80286 开始,处理器支持实地址模式和虚拟保护模式。基于 80286 的 IBM 个人计算机即 IBM PC/AT。一般认为 AT 机是微型计算机系统成熟的一个标

志。它具有虚拟存储器的能力,利用外存储器可以虚拟 1GB 的虚存。

80386 诞生于 1985 年,是 Intel 公司推出的第一个 32 位微处理器,80386DX 包含 27 万 5 千个晶体管,内部寄存器均为 32 位,32 位地址线,最大地址空间为 4GB,在微处理器内部,按照速度的不同,采用了分级的总线结构。80386 增加了系统管理等专用寄存器,集成了规范的存储管理部件,支持 64TB 的虚拟存储空间。80386 也是第一个支持片外 Cache 的 CPU。除了实地址模式和虚拟保护模式以外,80386 还提供虚拟 8086 模式,在 80386 上可以同时运行多个 8086 的程序。

Intel 公司用 4 年时间研制出了 80486。80486 将 8MB 的 Cache 集成在处理器芯片内部,极大地提高了存储器访问的速度。80486 采取取指、第一级译码、第二级译码、执行和写回 5 级流水方案,同时以硬布线逻辑替代微程序技术,流水线每个时钟周期执行一条指令。处理器内部还增加了专门的浮点部件 FPU,数值运算协处理器的功能被集成在一个芯片当中。虽然,首批 80486 的主频仅仅从 80386DX 的 20MHz 提高到了 25MHz,但指令的执行速度却提高了 3 倍以上,从 80386 的 6MIPS 提高到 20MIPS。

20 世纪 90 年代初,Pentium 微处理器问世,该 32 位的微处理器把外部数据总线的宽度扩充到 64 位,也就是说处理器每次可以传送 8 个字节代码。Pentium 内部集成了 8KB 的代码 Cache 和 8KB 的数据 Cache,相对独立的代码 Cache 和数据 Cache 避免了同时进行取指和读写操作数时产生的 Cache 访问冲突。Pentium 采用了超标量流水线和指令分支预测技术,集成了高性能的浮点处理单元。多数情况下,超标量流水线每个时钟周期可以执行两条整型指令和一条浮点处理指令。整数处理能力比 486 提高两倍,浮点处理能力比 486 提高 5~10 倍。为了对各种不同微处理器的速度进行比较,Intel 推出 iCOMP 评测指数方案,将 SPEC92、ZD Bench 和 Power Meter 综合在一起,图 1-7 是不同频率下 80386~Pentium 的性能比较图。可以看出,同在 100MHz 频率下的 Pentium 比 80486 iCOMP 指数提高了 2 倍。

继 Intel 推出第五代微处理器 Pentium 两年之后,第六代微处理器 Pentium Pro 面世。Pentium Pro 处理器内部同时集成了 16KB 的 L1 Cache 和 256/512KB 的 L2 Cache。并通过指令乱序执行以及重排序缓冲器进一步提高指令级的并行性。Pentium Pro 具有 3 个整数执行单元和一个浮点单元,可以同时执行 3 条整型指令。为了增强处理器在音频、视频和图形等方面的处理能力,处理器增加了 57 条 MMX 指令。Pentium Pro 的首批处理器频率就达到 200MHz,性能为 440MIPS,Pentium Pro 的高效处理 32 位代码的能力使得它的微计算机系统能够安装功能更加强大的操作系统 Windows NT。

1997 年,Pentium II 处理器诞生,Pentium II 内部 L1 级指令 Cache 和数据 Cache 分别增加到 16MB,内部 L2 级 Cache 仍为 256/512KB。它在超标量流水线结构中增强了 MMX 指令的处理能力。从 Pentium II 开始采用了双独立总线结构,一条用于连接处理器内核和 L2 Cache,一条连接系统总线,处理器可以在 2 条总线上同时传送数据。图 1-8