

第 1 章 绪 论

内容提要：首先对计算机系统进行分类，在此基础上概括了微型计算机的特点；其次，对微处理器、微计算机及微计算机系统 3 个术语给出解释；最后概述了微处理器技术的发展情况。

学习目标：了解计算机的分类情况及微计算机的特点，了解微处理器的发展概况及 RISC 结构的特点，掌握微处理器、微计算机及微计算机系统 3 个术语的内涵。

学习方法：本章所讲的内容是有关微计算机原理的背景知识及一些术语的说明，学习时主要是阅读本章所介绍的内容及其他相关的参考材料。

1.1 微型计算机的特点

按照传统的分类方法，计算机可分为大型计算机(mainframe)、小型计算机(minicomputer)与微型计算机(microcomputer)3 类。

大型计算机主要作为大型计算机中心、大型信息处理中心的核心系统。其主机运算速度高，存储容量大，事务处理能力强，数据输入输出的吞吐率高，可为众多用户提供服务。目前大型计算机系统均采用并行处理体系结构，其性能已达到相当高的水平，人们称之为超级计算机(supercomputer)。如 IBM 公司最新发表的世界上最快的超级计算机“ASCI white”，其运算速度达到每秒 12.3 万亿次运算能力，安装在美国能源部的国家实验室，用来完成超级计算任务。

小型计算机的规模与性能比起大型主机要低得多。但发展到 20 世纪 70 年代末期，这类计算机的指令功能、存储容量、事务处理能力、输入输出能力都能与大型计算机系列中低档机相媲美，有很好的性能价格比。这类机器也被人们叫做超级小型机(super-minicomputer)，其代表产品是 DEC 公司的 VAX-11/780。小型计算机一般都装备在大学的中心实验室、大型企业的信息中心、银行的信息中心等部门，提供一定用户规模的信息服务。小型计算机当前仍具有一定的市场规模，代表性产品是 IBM 公司的 AS400 系列产品。

微型计算机的产生与发展是与大规模集成电路的发展分不开的。1971 年英特尔公司研制成第一种采用 MOS 大规模集成电路技术的单片微处理器 4004。Intel 4004 本来是为袖珍计算器设计的，推出后取得很大的成功。但是由于 4004 设计的局限性，无法作为通用计算机的中央处理器使用。经过改进设计，英特尔公司推出了可用于微型计算机的 4 位微处理器 4040。此后许多半导体及电子设备厂商对微处理器的开发均十分重视。英特尔公司很快又推出 8 位微处理器 8080 和 8085。与此同时 Motorola 公司生产出 8 位微处理器 6800，Zilog 公司生产出 8 位微处理器 Z80。同时，各厂家也推出与其微处理器相配套的外围支援器件，设计并装配成通用型的微型计算机，以一种崭新的形态在市场上大量出现。微型计算机的出现与发展大大地推动了计算机技术在各行各业中的广泛应

用。今天,人们无论是在办公室还是在家中都离不开微型计算机。

微型计算机的组成及功能与其他两种计算机是相同的,它们都是由中央处理器(微处理器)及外围支持电路、存储器、输入输出接口和输入输出设备所组成。微型计算机的特点可以概括为以下几点:

(1) 标准的工业化装配结构,体积小,重量轻,系统扩展及性能升级容易。随着微电子技术的迅速发展,集成电路的集成度越来越高,组成计算机的主要电路可由几片超大规模集成电路(VLSI)实现,这就为缩小微型计算机的体积和重量提供了保障。微型计算机的主电路板、扩展电路板以及它们之间的连接方式均为国际通用的工业标准;微型计算机的电源、机箱及部件的安装连接方式也是国际通用的工业标准。这样,一台微型计算机的结构十分紧凑,部件的安装与更换容易,系统的扩充与升级十分方便。

(2) 开放的标准体系结构和多元化的大规模工业生产使微型计算机的价格变得低廉。目前主流的微型计算机均采用统一的标准体系结构。微型计算机的核心器件、主电路板、扩展电路板以及外部设备等部件可由多个生产商提供,微型计算机市场已经形成了合理有序的竞争局面。这就大大地促进了技术的进步和价格的不断下降,微型计算机的应用得到迅速普及。

(3) 微型计算机的应用范围广泛。标准化的体系结构、超大规模集成电路的使用、规模化的生产,使得微型计算机的性能价格比越来越高,它的应用也越来越广泛。例如,各行各业的桌面办公系统、计算机网络的终端主机、工业自动控制系统中的智能设备、计算机辅助设计、计算机辅助教学及家庭娱乐等方面均大量使用微型计算机。可以说在当前的信息化社会中,微型计算机无处不在。

1.2 微处理器、微型计算机和微型计算机系统

在学习微计算机技术课程时,首先要对微处理器、微型计算机和微型计算机系统这3个术语建立起一个统一的、层次化概念。这3个术语既有不同的含义,又存在着相互依存的关系。

1. 微处理器(microprocessor, μp)

微处理器本身不具备微型计算机硬件的全部功能,但它却是微型计算机控制和处理的核心。微处理器的全部电路做在一块超大规模集成电路中。随着微电子技术的发展,超大规模集成化的单片微处理器中所包含的功能部件越来越多,工作频率越来越高,性能也越来越强,微处理器的设计与制造技术达到了空前高的水平。微处理器不仅仅用作微型计算机的核心处理部件,在一些超级计算机中也采用了商业化的主流微处理器作为核心处理部件。微处理器的组成包括3个基本部分,如图1.1所示。

(1) 算术逻辑部件(ALU): 它既能执行算术运算(定点运算、浮点运算),又能执行逻辑操作(逻辑“与”、逻辑“或”等)。

(2) 寄存器: 每个微处理器中都有多个寄存器,用来存放操作数、中间结果、状态标志以及指令地址等信息。

(3) 控制部件: 微处理器控制部件根据当前所执行指令的要求,产生一定时序的控制

制信号,控制该指令所规定的操作的执行。例如,控制 ALU 的操作、控制寄存器之间的数据传送、控制微处理器与输入输出接口或存储器之间的数据传送等。

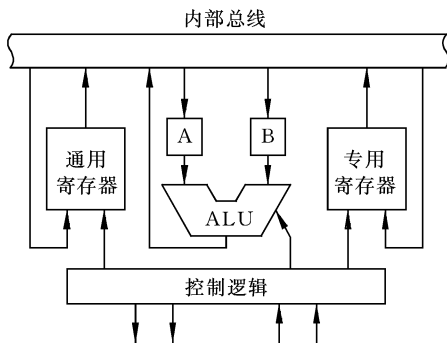


图 1.1 微处理器基本结构

这 3 个基本部分在微处理器内经内部总线连接在一起。微处理器的内部总线也称为数据路径(data path)，它的结构及宽度对微处理器的性能有着关键性的影响。微处理器把一些信号通过寄存器或缓冲器送到集成电路的引线上,以便与外部的微型计算机总线相连接。

2. 微型计算机(microcomputer, μC)

微处理器是执行指令的核心部件,但它还不具备微型计算机的全部功能。如指令及操作数的加载、指令执行结果的转储等功能还必须借助于微处理器以外的功能部件的帮助。因此,以微处理器为核心,配上外围控制电路、存储器模块电路、输入输出接口电路并通过微型计算机的系统总线的连接就组成了微型计算机的基本硬件电路,如图 1.2 所示。

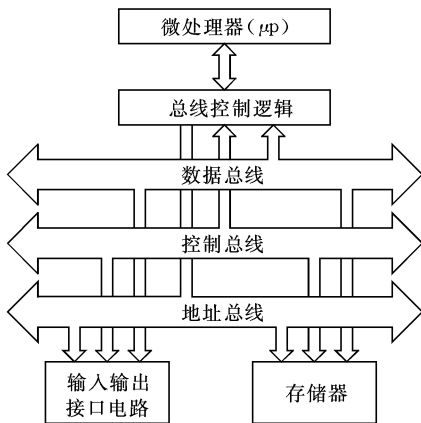


图 1.2 微型计算机基本结构

3. 微型计算机系统(microcomputer system)

微型计算机系统是在微型计算机所包含的基本硬件基础上,配置所需的外围设备为用户提供人机交互的手段及大规模数据的储存能力。但是,光有这些硬件还不够,微型

计算机系统还必须装有相应的软件(程序)才能形成信息处理的能力。软件包括系统软件、提供程序设计开发环境的软件(也称中间件)以及针对各种专门用途的应用软件。系统软件指的是可有效地管理计算机的各种资源,合理组织计算机的整个工作流程,为用户提供方便灵活操作环境的最基本的程序,如操作系统。中间件是指语言处理程序和工具类程序,例如,汇编语言及高级语言的编译程序、数据库管理程序、软件的调试工具以及为开发者提供方便的各种工具类程序等。应用软件是指用户根据自己的需要,针对某一实际问题而设计的程序,例如,管理信息系统程序、辅助设计程序(CAD)、辅助教学程序(CAI)等。

微处理器、微型计算机以及微型计算机系统三者的关系,如图 1.3 所示。



图 1.3 微处理器、微型计算机和微型计算机系统的关系

1.3 微处理器技术发展的概况

微处理器技术的发展是与微电子技术即大规模集成电路技术的发展分不开的。微电子技术以每 18 个月集成度提高一倍的速度迅速发展,为微处理器体系结构设计者提供了实现各种先进技术的舞台。以前只能在昂贵的大型计算机中采用的技术,今天在微处理器中几乎都采用了,微处理器及其外围支援器件的性能价格比已达到前所未有的水平。

微处理器是微型计算机系统的核心。微处理器技术的发展推动了整个微型计算机技

术的进步,使微型计算机系统的应用领域越来越广泛。现在微型计算机在处理速度、处理信息的种类、通信功能等各个方面都已达到或超过传统概念的工作站或小型计算机。

英特尔公司是当今世界上最大的微处理器生产厂商。20 世纪 80 年代初,世界上最大的计算机制造商 IBM 公司选定了英特尔公司制造的 16 位微处理器为核心,设计制造出 IBM PC 微型计算机系统。由于当时 IBM 公司采用了公开其所有技术的开放政策,因此大大地推动了微型计算机技术及产业的发展,使 IBM PC 的组成与结构很快成为微型计算机的工业标准。

此后英特尔公司用了近 5 年的时间(1985 年)推出了 80386 微处理器,完成了 16 位体系结构向 32 位体系结构的转变。80386 的研制成功是微处理器技术进步道路上的一个里程碑。在此之后,又经历了 4 年时间,80486 出现了。80486 的设计目标是提高指令执行速度和支持多处理器系统。80486 在芯片内部增加一个 8KB 的高速缓冲存储器(cache),还增加了相当于 80387 的浮点部件(FPU),在基本指令的实现上,采用硬布线逻辑而不是微程序技术。所有这些技术措施的采用,使得 80486 指令执行的效率大大提高,在相同主频下,其指令执行速度比 80386 快 2~3 倍。

1993 年 3 月,英特尔公司推出了第一代“奔腾”(Pentium)微处理器,微处理器技术发展进入了一个新的阶段。到目前为止,“奔腾”已有四代产品,其研制开发速度之快是前所未有的。“奔腾”的设计思想是把如何提高微处理器内部指令执行的并行性作为主导。指令执行的并行性越好,微处理器的性能就越高。当然,半导体工艺技术的提高使微处理器芯片的集成度及工作频率大大地提高,也为微处理器性能的迅速提高打下了物质基础。

从微体系结构的角度看,最早推出的 Pentium 与接下来出现的 Pentium/MMX (MMX,多媒体扩充技术)同属第一代“奔腾”微处理器产品,简称 P5。从 P5 开始,为了提高微处理器内部操作的并行性,首先把片内的一级高速缓冲存储器(L_1 cache)分为专门存放指令代码的 I cache 与专门存放操作数的 D cache 两部分,这就可使处理器取指令操作与访问数据的操作重叠进行。另外,在集成度允许的情况下,片内实现了多重功能部件,如两条整数操作执行流水线,这就是采用了超标量技术。为了使分支指令的执行不致影响流水线的连续运行,P5 微处理器中还实现了分支预测功能。这些技术的采用提高了微处理器内部指令执行的并行性,其总体性能得到明显地提高。

1995 年 2 月,英特尔公司推出了第二代的“奔腾”微处理器产品 Pentium Pro,简称 P6,中文名叫“高能奔腾”。P6 在保留并加强 P5 中所采用的提高片内操作并行性措施的基础上,又采用了两项重要的技术,以提高内部操作的并行性与各功能部件的工作效率。首先 P6 在处理器模块内部实现了第二级高速缓冲存储器(L_2 cache)。由于 L_2 cache 与微处理器核心的距离非常近,它们之间的数据交换频宽可做到等于或接近核心内部的工作频宽,这对处理器内部操作速度的提高是一个有力的支持。而在基于 P5 的系统中, L_2 cache 设置在主机板上,与处理器核心的距离很远,其数据交换的频宽就会大打折扣。另外,P6 采用的第二项创新技术是“无序执行”技术(out of order execution)。这项技术是在 P6 内部通过硬件电路将处理器预取到的 30 条指令进行分析,打破原来指令流的顺序,将那些已形成操作数的指令先行派送到流水线中去执行,尽量保证流水线高效不停顿地

运行,使处理器内部保持一个很高的指令执行并行度。P6 的微体系结构使英特尔公司微处理器性能及技术水平又进入了一个新的发展阶段。

1997 年 5 月英特尔公司推出了命名为 Pentium II 微处理器产品。Pentium II 可以说是具有 MMX 技术的 P6 微处理器,英特尔微处理器的体系结构从 P5 的内核全面转向 P6 的内核,Pentium II 的推出使英特尔微处理器产品正式进入第二代“奔腾”产品系列。

1999 年 3 月英特尔公司正式发布了它的第三代“奔腾”微处理器产品,命名为 Pentium III。Pentium III 仍然采用 Pentium Pro,即 P6 的动态执行微体系结构,具有 Intel 的 MMX 功能,提供了称为“数据流单指令多数据扩展”(SSE)的 70 条新指令支持先进的成像、三维图形、数据流音频与视频以及语音识别数据处理的要求。Pentium III 内部工作频率最高可达 1 133MHz,对外前沿总线主频为 100MHz 或 133MHz。

Intel 奔腾微处理器经历了 P5 至 P6 微体系结构的历程。自从 1995 年推出 P6 微体系结构后 Intel 在新结构的开发与推广上一直十分谨慎。2000 年 11 月 21 日,Intel 向全球正式宣布推出 Pentium 4 微处理器。Pentium 4 属于第四代奔腾微处理器,其微体系结构完全不同于 Pentium、Pentium II 和 Pentium III,是新一代的微处理器。Pentium 4 微处理器采用了称为 NetBurst 的全新 Intel 32 位微体系结构(IA-32)。该结构特别增强了互联网应用、图像处理、视频数据流处理、语音处理、三维图形处理等方面对性能要求的支持。其内部微体系结构有以下主要特点。Pentium 4 采用了超长流水线技术,流水线共有 20 级便于大幅度提高片内工作主频,它的起始频率为 1.4GHz。Pentium 4 采用了更为先进的动态执行技术,无序执行部件在 P6 内核的基础上进行了扩展,提高了分支预测的准确性。Pentium 4 处理器有两个双倍速度的 ALU 部件,它可在每个时钟周期的上升边与下降边之间执行指令,从而实现了在一个时钟周期内完成 4 个整数运算,加快了整数指令的执行速度。Pentium 4 有一个相当于 400MHz 的系统前端总线(FSB),可实现 3.2GB/s 的传输宽带。Pentium 4 把原来微体系结构中的一级指令高速缓存变成功能更加强大的“执行跟踪缓存”(execution trace cache),利用它可以从指令执行主回路中消除指令译码的延迟。Pentium 4 还采用了新的 SSE2 指令集,在原有的 SSE 指令集的基础上新增加了 76 组 SSE2 指令,增强了处理器在互联网应用、3D 图形处理及多媒体处理等方面的性能。

回顾了英特尔微处理器技术发展的概况,从最早的 8086 到目前的 Pentium 4,虽然微体系结构变化非常大,但这一系列微处理器一直保持着指令系统的向上兼容性。这样做的目的是为了保护软件开发方面的投资。现在人们习惯把这个一直保持着兼容性的指令系统称为 x86 指令系统。

20 世纪 80 年代以前,计算机的结构设计者为了解决当时出现的“软件危机”,不断地增加处理器指令系统的复杂性,使机器指令更加接近高级语言的语句。这样做的目的是使软件开发变得较为容易。但是这样做的结果是指令系统越来越大、寻址方式越来越多、指令的硬件实现也越来越复杂。后来人们把指令系统具有这种特点的计算机叫做复杂指令系统计算机(CISC)。DEC 公司的 VAX 系列机器是典型的 CISC 结构。x86 指令系统产生于 70 年代末,它的设计思想也属于 CISC 技术范畴。

通过对大量统计资料的研究,人们发现:一个指令系统中大约 20%的指令在程序中

经常被使用,其被使用的比例占整个程序中指令数的 80%;而该指令系统中约 80% 的指令却很少被使用,其被使用的比例只占整个程序指令数的 20%。这是一个重要发现,它给予人们的思考导致了精简指令集计算机(reduced instruction set computer,RISC)技术的蓬勃发展。RISC 是一种计算机体系结构的设计思想,它的特点可以归纳如下:

(1) 在设计指令系统时,要在指令功能与指令执行时间两个方面综合考虑。要优先选择那些经常被使用、功能相对简单但执行时间短的基本指令保留在指令系统中;而对那些功能复杂且硬件实现也复杂的指令是否加入指令系统要慎重考虑。

(2) 在微处理器结构设计中采用面向寄存器的结构。寄存器—寄存器操作指令是程序设计中常用的基本指令,也是 RISC 结构指令系统优选的对象。因此在处理器芯片有限的硅资源中要尽量增加通用寄存器的数量,以便在结构上支持寄存器—寄存器指令的执行。在一般情况下,RISC 结构的处理器中通用寄存器的数量都在 32 个以上。寄存器—寄存器指令除了被使用的频度高以外,它的执行速度也比其他指令执行速度快得多,因为这类指令的操作均在芯片内部进行,比较容易做到一个时钟周期内完成该指令的全部操作。

(3) 在微处理器结构设计中采用 LOAD/STORE 结构。LOAD/STORE(读存储器/写存储器指令)结构是指在 RISC 机器的指令系统中,只设置两条访问存储器的指令,即读存储器某单元数据和向某存储器单元写数据。这两条指令执行时,处理器要启动外部总线操作。与芯片内部操作相比,需要更多的时钟周期。因此 RISC 结构除 LOAD/STORE 指令外不再设置其他与访问存储器有关的指令,以保证程序中大多数指令是在芯片内部操作,在总体上提高了程序执行的速度。

(4) 充分提高流水线的效率。在一定的时钟频率下,设法增加处理器内部指令执行的并行性是提高处理器性能的重要手段。流水线结构能够实现处理器内部多条指令的并行执行,保证流水线高效率地运转是 RISC 结构设计中优先考虑的问题。在 RISC 结构中,所有指令的格式是相同的,这就使得指令译码变得简单、迅速,有利于流水线的顺利操作。在 RISC 结构中,处理器芯片内部都设有高速缓冲存储器,这就使得取指令、读写操作数变成芯片内部操作,大大缩短访问存储器操作的执行时间,这也是对流水线高效运行的有力支持。此外上面提到的精简的指令系统、面向寄存器的结构等 RISC 结构的特点,实际上也为流水线的高效运行提供了保证。

(5) 配合编译优化技术提高 RISC 结构处理器的性能。RISC 结构指令系统是精简的,一些复杂的操作转移到软件方面去实现。这样做的结果必然会使一个程序被编译后所形成的代码长度增加。但是 RISC 结构强调采用编译优化技术对代码进行重组,充分利用芯片内部资源,进一步提高流水线的执行效率,发挥其内部操作的并行性潜力,从总体上提高 RISC 结构处理器的性能。

以上简单介绍了 RISC 结构的一些主要特点。随着微电子与计算机体系结构技术的进步,不管是 CISC 结构还是 RISC 结构的处理器,在结构设计时所追求的目标是共同的。这个目标就是充分发挥处理器内部指令执行并行性的潜力,尽可能多地提高处理器的总体性能。在相同主频及硅资源的前提下,RISC 结构的处理器达到上述目标较为容易,RISC 结构的设计思想更多地被微处理器体系结构设计者所采用。

思考题与练习题

- 1.1 计算机分哪几类？各有什么特点？
- 1.2 简述微处理器、微计算机及微计算机系统 3 个术语的内涵。
- 1.3 80x86 微处理器有几代？各代的名称是什么？
- 1.4 奔腾微处理器有几代？各代的名称是什么？

第 2 章 微处理器的结构及微计算机的组成

内容提要：首先介绍了 80x86 系列微处理器的概况；其次以 8086 微处理器为重点，讲述了其内部结构及操作过程、对外引脚的定义及其功能、中断请求及响应过程、总线请求及响应过程等微处理器的最基本概念，在此基础上，分析了 8086 最大、最小方式下的微计算机的基本组成情况；最后讲述 80386 微处理器的内部结构、操作过程、存储器管理、中断系统，对在虚拟存储空间下的保护机制做了介绍。

学习目标：微处理器是微计算机系统的核心部件。通过学习要求掌握 8086 微处理器内部结构的组成、各功能部件的作用及操作过程、最小方式下对外引脚信号的定义以及 8086 的中断结构，还要求掌握最小方式下微计算机的基本组成及 8086 的总线操作时序。对于 80386 微处理器要求了解其内部结构、各功能部件的基本操作，以及在虚拟存储空间下存储器管理机制。

学习方法：本章内容涉及的概念比较多，有些概念在“计算机组成原理”课程中已经学习过，因此在学习这部分的内容时，要利用已掌握的“计算机组成原理”课程中的知识，结合 8086 微处理器这一特例掌握所要求的有关微处理器结构与微计算机组成的基本概念与知识。

2.1 80x86 微处理器系列概况

80x86 微处理器系列是指英特尔公司从 20 世纪 70 年代开始所研制出的微处理器的总称。下面简单介绍 80x86 微处理器的演变过程。

1. 从 8080/8085 到 8086

1978 年英特尔公司推出了 16 位微处理器，命名为 8086。这个微处理器与其前一代 8 位微处理器 8080/8085 相比，在技术上有如下几点进步：首先，8086 有 16 位数据总线，处理器与片外传送数据时，一次可传送 16 位二进制数，而 8080/8085 一次只能传送 8 位。第二点是 8086 的寻址空间从 8080/8085 的 64KB 提高到 1MB。第三点是 8086 采用了流水线技术而 8080/8085 是非流水线结构。在一个具有流水线结构处理器的系统中，当处理器执行内部操作时，其地址总线与数据总线可用来与存储器或输入输出接口之间进行数据传送。8086 具有一个初级流水线结构，可以实现片内操作与片外操作的重叠。与非流水线结构的 8080/8085 相比，8086 微处理器的性能有明显的提高。

2. 从 8086 到 8088

8086 是一个 16 位微处理器。它的内部寄存器、功能部件、数据通路以及对外的数据总线均为 16 位宽度。它的出现是计算机技术上一个很大的进步。但是，当时已有的微处理器外围配套芯片都是为 8 位微处理器设计的，数据总线均为 8 位。因此，具有 16 位数

据总线的 8086 微处理器在应用上并没有发挥它的性能潜力。于是英特尔公司在 8086 之后很快便推出了 8088 微处理器。8088 的内部结构与 8086 基本相同,是 16 位的处理器结构。但是,8088 把对外的数据总线设计成为 8 位而不是 16 位。这样的设计使 8088 可以很容易与那些已有的 8 位外围芯片配合组成系统,既提供了 16 位处理能力,又适应了 8 位外围芯片已被广泛使用的市场形势。

3. 8088 的成功

在 1981 年,IBM 公司选择了 8088 微处理器作为核心来设计它的 IBM PC 微计算机系统,推向市场后,这种基于 8088 的 IBM PC 微计算机系统获得了巨大的成功,很快占领了微型计算机的主要市场。IBM PC 的成功代表了 8088 微处理器的成功,同时也为后来的 80x86 系列微处理器成为主流微计算机的处理核心打下了基础。

4. 80286、80386 及 80486 微处理器

由于 IBM PC 机用户对机器性能的要求迅速提高,英特尔公司在 1982 年推出了 80286 微处理器,它仍然是一个 16 位结构。它的内部及外部数据总线都是 16 位的,但是 80286 具有 24 位地址线,可寻址 16MB 的存储器空间。80286 有两种工作方式,即实模式

内容提要: 首先对计算机系统进行分类,在此基础上概括了微型计算机的特点;其次,对微处理器、微计算机及微计算机系统 3 个术语给出解释;最后概述了微处理器技术的发展情况。

学习目标: 了解计算机的分类情况及微计算机的特点,了解微处理器的发展概况及 RISC 结构的特点,掌握微处理器、微计算机及微计算机系统 3 个术语的内涵。

学习方法: 本章所讲的内容是有关微计算机原理的背景知识及一些术语的说明,学习时主要是阅读本章所介绍的内容及其他相关的参考材料。

1.1 微型计算机的特点

按照传统的分类方法,计算机可分为大型计算机(mainframe)、小型计算机(minicomputer)与微型计算机(microcomputer)3 类。

大型计算机主要作为大型计算机中心、大型信息处理中心的核心系统。其主机运算速度高,存储容量大,事务处理能力强,数据输入输出的吞吐率高,可为众多用户提供服务。目前大型计算机系统均采用并行处理体系结构,其性能已达到相当高的水平,人们称之为超级计算机(supercomputer)。如 IBM 公司最新发表的世界上最快的超级计算机“ASCI white”,其运算速度达到每秒 12.3 万亿次运算能力,安装在美国能源部的国家实