

第3章

计算机体系结构

3.1 计算机系统的组成

3.1.1 图灵模型

1936年,阿兰·图灵提出了一种抽象的计算模型——图灵机(Turing Machine),如图3-1所示。图灵的基本思想是用机器来模拟人们用纸笔进行数学运算的过程,他根据这样的过程构造出了一台假想的机器,该机器由以下几个部分组成。

(1) 一条无限长的纸带 TAPE。纸带被划分为一个接一个小格子,每个格子上包含一个来自有限字母表的符号,字母表中有一个特殊的符号□表示空白。纸带上的格子从左到右依次被编号为 $0, 1, 2, \dots$,纸带的右端可以无限延伸。



图 3-1 图灵模型

(2) 一个读写头 HEAD。该读写头可以在纸带上左右移动,它能读出当前所指的格子上的符号,并能改变当前格子上的符号。

(3) 一套控制规则 TABLE。它根据当前机器所处的状态以及当前读写头所指的格子上的符号来确定读写头下一步的动作,并改变状态寄存器的值,令机器进入一个新的状态。

(4) 一个状态寄存器。它用来保存图灵机当前所处的状态。图灵机的所有可能状态的数目是有限的,并且有一个特殊的状态称为停机状态。

这个机器的每一部分都是有限的,但它有一个潜在的无限长的纸带,因此这种机器只是一个理想的设备。图灵认为这样的一台机器就能模拟人类所能进行的任何计算过程。

3.1.2 冯·诺依曼模型

20世纪30年代中期,美国科学家冯·诺依曼大胆地提出:抛弃十进制,采用二进制作为数字计算机的数制基础。同时,他还提出预先编制计算程序,然后由计算机来按照人们事前制定的计算顺序来执行数值计算工作。人们把冯·诺依曼的这个理论称为冯·诺依曼体系结构,也称作普林斯顿体系结构。从ENIAC到当前最先进的计算机都采用的是冯·诺依曼体系结构。所以冯·诺依曼是当之无愧的电子计算机之父。

冯·诺依曼结构处理器具有以下几个特点。

- (1) 必须有一个存储器;
- (2) 必须有一个控制器;
- (3) 必须有一个运算器,用于完成算术运算和逻辑运算;
- (4) 必须有输入设备和输出设备,用于进行人机通信。另外,程序和数据统一存储并在程序控制下自动工作。

为了完成上述功能,计算机必须具备五大基本组成部件,包括:输入数据和程序的输入设备;记忆程序和数据的存储器;完成数据加工处理的运算器;控制程序执行的控制器;输出处理结果的输出设备。

3.1.3 计算机系统的工作原理

计算机系统包括硬件系统和软件系统两大部分。硬件是指组成计算机的各种物理设备,由五大功能部件组成,即运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备。这五大部分相互配合,协同工作,如图 3-2 所示。

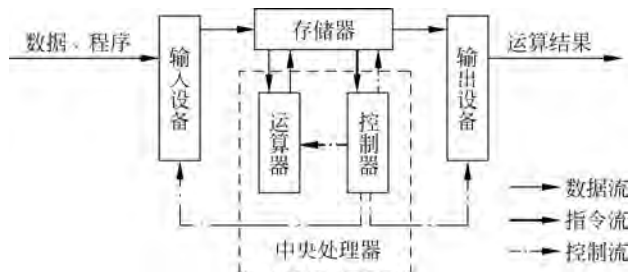


图 3-2 五大功能部件

计算机的工作原理为:首先由输入设备接收外界信息(程序和数据),控制器发出指令将数据送入(内)存储器,然后向内存储器发出取指令命令;在取指令命令下,程序指令逐条送入控制器;控制器对指令进行译码,并根据指令的操作要求,向存储器和运算器发出存数、取数命令和运算命令,经过运算器计算并把计算结果存在存储器内;最后在控制器发出的取数和输出命令的作用下,通过输出设备输出计算结果。

3.1.4 微型计算机的结构

1. 主机

主机指计算机用于放置主板及其他主要部件的容器(mainframe)。通常包括 CPU、内存、硬盘、光驱、电源以及其他输入输出控制器和接口,如 USB 控制器、显卡、网卡、声卡等。位于主机箱内的部件通常称为内设,而位于主机箱之外的通常称为外设(如显示器、键盘、鼠标、外接硬盘、外接光驱等)。计算机主机的结构如图 3-3 所示。

计算机主机的组成部分如下。

- (1) 机箱(装主机配件的箱子,没有机箱不影响使用)。



图 3-3 计算机主机的结构

- (2) 电源(主机供电系统,没有电源不能使用主机)。
- (3) 主板(连接主机各个配件的主体,没有主板主机不能使用)。
- (4) CPU(主机的心脏,负责数据运算。不可缺少,属于重要设备)。
- (5) 内存(存储主机调用文件,不可缺少)。
- (6) 硬盘(主机的存储器,不可缺少)。
- (7) 声卡(某些主板集成)。
- (8) 显卡(某些主板集成,显示器控制)。
- (9) 网卡(某些主板集成,没有网卡计算机无法访问网络,是联络其他主机的渠道)。
- (10) 光驱(没有光驱,主机无法读取光碟上的文件)。
- (11) 一些不常用设备,如视频采集卡、电视卡、SCSI 卡等。

2. 外设

外部设备简称“外设”,是指连在计算机主机以外的硬件设备。对数据和信息起着传输、转送和存储的作用,是计算机系统中的重要组成部分。按照功能的不同,大致可以分为输入设备、显示设备、打印设备等,如图 3-4 所示。



图 3-4 计算机外设

(1) 键盘、鼠标。它是人或外部与计算机进行交互的一种装置,用于把原始数据和处理这些数据的程序输入到计算机中。

(2) 显示器。它是计算机的输出设备之一,它可以显示用户的操作和计算结果。目前计算机显示设备主要有 CRT 显示器、LCD 显示器、等离子显示器和投影机。

(3) 打印机。打印机也是计算机的输出设备之一,它将计算机的运算结果或中间结果以人所能识别的数字、字母、符号和图形等,依照规定的格式印在纸上。

3.2 计算机组成原理

3.2.1 系统总线

1. 概述

系统总线,又称内总线或板级总线,用来连接微机各功能部件而构成一个完整微机系统。系统总线上传送的信息包括数据信息、地址信息、控制信息,因此,系统总线包含三种不同功能的总线,即数据总线(Data Bus, DB)、地址总线(Address Bus, AB)和控制总线(Control Bus, CB),如图 3-5 所示。

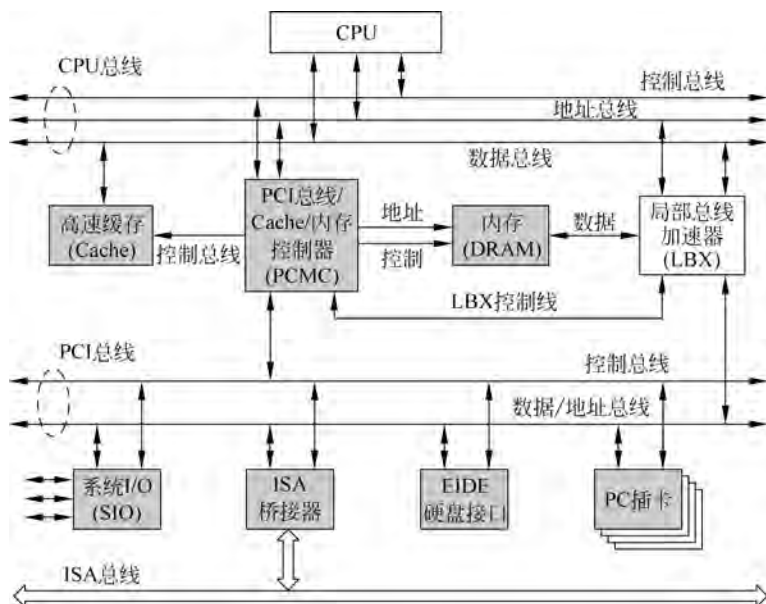


图 3-5 系统总线

2. 工作原理

CPU 通过系统总线对存储器的内容进行读写,同样通过总线,实现将 CPU 内数据写入外设或由外设读入 CPU 的功能。总线就是用来传送信息的一组通信线。微型计算机通过系统总线将各部件连接到一起,实现了微型计算机内部各部件间的信息交换。一般情况下, CPU 提供的信号需要经过总线。系统总线按照传递信息的功能来分,分为地址总线、数据总线和控制总线。这些总线提供了微处理器(CPU)与存储器、输入/输出接口部件的连接线。可以认为,一台微型计算机就是以 CPU 为核心,其他部件全“挂载”在与 CPU 相连接的系统总线上的设备。

3. 功能分类

(1) 数据总线。用于传送数据信息。数据总线是双向三态形式的总线,既可以把 CPU 的数据传送到存储器或输入/输出接口等其他部件,也可以将其他部件的数据传送到 CPU。数据总线的位数是微型计算机的一个重要指标,通常与微处理的字长相一致。例如, Intel 8086 微处理器字长 16 位,其数据总线宽度也是 16 位。需要指出的是,数据的含义是广义的,它可以是真正的数据,也可以是指令代码或状态信息,有时甚至是一个控制信息。因此,在实际工作中,数据总线上传送的并不一定仅仅是真正意义上的数据。

(2) 地址总线。是专门用来传送地址的,由于地址只能从 CPU 传向外部存储器或输入/输出端口,所以地址总线总是单向三态的,这与数据总线不同。地址总线的位数决定了 CPU 可直接寻址的内存空间大小,比如 8 位微机的地址总线为 16 位,则其最大可寻址空间为 $2^{16} = 64\text{KB}$ 。16 位微机的地址总线为 20 位,其可寻址空间为 $2^{20} = 1\text{MB}$ 。一般来说,若地址总线为 n 位,则可寻址空间为 2^nB 。举例来说,一个 16 位元宽度的位址总线(通常在 1970 年和 1980 年早期的 8 位元处理器中使用)可寻址的内存空间为 $2^{16} = 65\,536 = 64\text{KB}$ 的地

址,而一个 32 位元位址总线(通常在 2004 年的 PC 处理器中使用)可寻址的内存空间为 $4\,294\,967\,296=4\text{GB}$ 的位址。

(3) 控制总线。用来传送控制信号和时序信号。控制信号中,有的是微处理器送往存储器 and 输入输出接口电路的,如读/写信号、片选信号、中断响应信号等;也有是其他部件反馈给 CPU 的,如中断申请信号、复位信号、总线请求信号、设备就绪信号等。因此,控制总线的传送方向由具体控制信号而定,一般是双向的。控制总线的位数要根据系统的实际控制需要而定。实际上控制总线的具体情况主要取决于 CPU。

3.2.2 CPU

1. 定义

中央处理器(Central Processing Unit,CPU)是一台计算机的运算核心和控制核心。CPU、内部存储器和输入/输出设备是电子计算机三大核心部件。其功能主要是解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据。CPU 由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的数据总线、控制总线及状态总线构成。差不多所有 CPU 的运作原理可分为 4 个阶段——提取(Fetch)、解码(Decode)、执行(Execute)和写回(Writeback),并执行指令。所谓的计算机的可编程性主要是指对 CPU 的编程。

2. 工作原理

它把指令分解成一系列的微操作,然后发出各种控制命令,执行微操作系列,从而完成一条指令的执行。指令是指计算机规定执行操作的类型和操作数的基本命令。指令是由一个字节或者多个字节组成,其中包括操作码字段、一个或多个有关操作数地址的字段以及一些表征机器状态的状态字和特征码。有的指令中也直接包含操作数本身。

3. 基本结构

CPU 包括运算逻辑部件、寄存器部件和控制部件,其基本结构如图 3-6 所示。

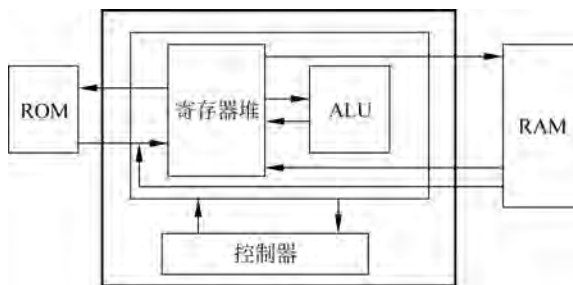


图 3-6 CPU 结构

(1) 运算逻辑部件：可以执行定点或浮点的算术运算操作、移位操作以及逻辑操作,也可执行地址的运算和转换。

(2) 寄存器部件：包括通用寄存器、专用寄存器和控制寄存器。

(3) 控制部件：主要负责对指令译码,并且发出为完成每条指令所要执行的各个操作

的控制信号。

3.2.3 存储器

1. 概述

存储器(Memory)是计算机系统记忆设备,用来存放程序和数据。计算机中的全部信息,包括输入的原始数据、计算机程序、中间运行结果和最终运行结果都保存在存储器中。它根据控制器指定的位置存入和取出信息。有了存储器,计算机才有记忆功能,才能保证正常工作。存储器按用途分为主存储器(内存)和辅助存储器(外存),也有分为外部存储器和内部存储器的分类方法。外存通常是磁性介质或光盘等,能长期保存信息。内存指主板上的存储部件,用来存放当前正在执行的数据和程序,但仅用于暂时存放程序和数据,关闭电源或断电后,数据会丢失。

2. 构成

构成存储器的存储介质,目前主要采用半导体器件和磁性材料。存储器中最小的存储单位就是一个双稳态半导体电路或一个CMOS晶体管或磁性材料的存储元,它可存储一个二进制代码。由若干个存储元组成一个存储单元,然后再由许多存储单元组成一个存储器。一个存储器包含许多存储单元,每个存储单元可存放一个字节(按字节编址)。每个存储单元的位置都有一个编号,即地址,一般用十六进制表示。一个存储器中所有存储单元可存放数据的总和称为它的存储容量。假设一个存储器的地址码由20位二进制数(即5位十六进制数)组成,则可表示 2^{20} ,即1024个存储单元地址。每个存储单元存放一个字节,则该存储器的存储容量为1MB。

存储器的主要功能是存储程序和各种数据,并能在计算机运行过程中高速、自动地完成程序或数据的存取。存储器是具有“记忆”功能的设备,它采用具有两种稳定状态的物理器件来存储信息。这些器件也称为记忆元件。在计算机中采用只有两个数码0和1的二进制来表示数据。记忆元件的两种稳定状态分别表示为0和1。日常使用的十进制数必须转换成等值的二进制数才能存入存储器。计算机中处理的各种字符,例如英文字母、运算符号等,也要转换成二进制代码才能存储和操作。

3. 用途

根据存储器在计算机系统所起的作用,可分为主存储器、辅助存储器、高速缓冲存储器、控制存储器等。为了解决对存储器要求容量大、速度快、成本低三者之间的矛盾,目前通常采用多级存储器的体系结构,即使用高速缓冲存储器、主存储器和外存储器,如图3-7所示。

高速缓冲存储器:高速存取指令,数据存取速度快,但存储容量小。

主存储器:内存存放计算机运行期间的大量程序和数据,存取速度较快,存储容量不大。

外存储器:外存存放系统程序和大型数据文

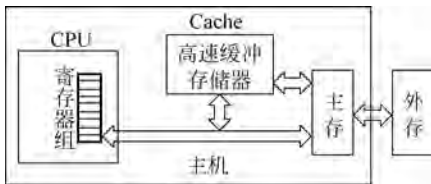


图 3-7 多级存储器的体系结构

件及数据库,存储容量大,成本低。

按照与 CPU 的接近程度,存储器分为内存储器与外存储器,简称内存与外存。内存储器又常称为主存储器(简称主存),属于主机的组成部分;外存储器又常称为辅助存储器(简称辅存),属于外部设备。CPU 不能像访问内存那样直接访问外存,外存要与 CPU 或 I/O 设备进行数据传输,必须通过内存进行。在 80386 以上的高档微机中,还配置了高速缓冲存储器(Cache),这时内存包括主存与高速缓存两部分。对于低档微机,主存即内存。

4. 常用存储器

1) 硬盘

硬盘(Hard Disc Drive)是计算机主要的存储媒介之一,由一个或者多个铝制或者玻璃制的碟片组成。这些碟片外覆盖有铁磁性材料。绝大多数硬盘都是固定硬盘,被永久性地密封固定在硬盘驱动器中。硬盘的物理结构如下。

(1) 磁头:是读写合一的电磁感应式磁头。

(2) 磁道:当磁盘旋转时,磁头若保持在一个位置上,则每个磁头都会在磁盘表面划出一个圆形轨迹,这些圆形轨迹就叫作磁道。

(3) 扇区:磁盘上的每个磁道被等分为若干个弧段,这些弧段便是磁盘的扇区,每个扇区可以存放 512B 的信息,磁盘驱动器在向磁盘读取和写入数据时,要以扇区为单位。

(4) 柱面:硬盘通常由重叠的一组盘片构成,每个盘面都被划分为数目相等的磁道,并从外缘的 0 开始编号,具有相同编号的磁道形成一个圆柱,称为磁盘的柱面。

2) 光盘

光盘以光信息作为存储物的载体来存储数据,采用聚焦的氢离子激光束处理记录介质的方法来存储和再生信息。激光光盘分为不可擦写光盘(如 CD-ROM、DVD-ROM 等)和可擦写光盘(如 CD-RW、DVD-RAM 等)。高密度光盘(Compact Disc)是近代发展起来不同于磁性载体的光学存储介质。常见的 CD 光盘非常薄,只有 1.2mm 厚,分为 5 层,包括基板、记录层、反射层、保护层、印刷层等。

3) U 盘

U 盘,全称为“USB 闪存盘”,英文名是 USB flash disk。它是一个 USB 接口的不需要物理驱动器的微型高容量移动存储产品,可以通过 USB 接口与计算机连接,实现即插即用。U 盘的称呼最早来源于朗科公司生产的一种新型存储设备,名曰“优盘”,它使用 USB 接口与计算机进行连接,之后,U 盘的资料即可与计算机进行交换。

U 盘最大的优点是小巧便于携带、存储容量大、价格便宜、性能可靠。闪存盘体积很小,仅大拇指般大小,重量极轻,一般在 15g 左右,特别适合随身携带。一般的 U 盘容量有 1GB、2GB、4GB、8GB、16GB、32GB、64GB 等,价格多为几十元。内存盘中无任何机械式装置,抗震性能极强。另外,闪存盘还具有防潮防磁、耐高低温等特性,安全可靠性能很好。

4) ROM

ROM 是只读内存(Read-Only Memory)的简称,是一种只能读出事先所存数据的固态半导体存储器。其特性是一旦存储了资料就无法再将之改变或删除。ROM 通常用在不需要经常变更资料的电子或计算机系统中,并且资料不会因为电源关闭而消失。

5) RAM

RAM 是随机存取存储器(Random Access Memory)的简称。它是存储单元的内容可按需随意取出或存入,且存取的速度与存储单元的位置无关的存储器。这种存储器在断电时将丢失其存储的内容,故主要用于存储短时间使用的程序。按照存储信息的不同,随机存储器又分为静态随机存储器(Static RAM,SRAM)和动态随机存储器(Dynamic RAM,DRAM)。

3.2.4 输入/输出系统

1. 输入/输出系统控制方式

1) 程序查询方式

这种方式是在程序控制下 CPU 与外设之间交换数据。CPU 通过 I/O 指令询问指定外设当前的状态,如果外设准备就绪,则进行数据的输入或输出,否则 CPU 就等待。重复上述过程进行循环查询。

程序查询方式是一种程序直接控制方式,这是主机与外设间进行信息交换的最简单的方式,输入和输出完全是通过 CPU 执行程序来完成的。一旦某一外设被选中并启动后,主机将查询这个外设的某些状态位,看其是否准备就绪。若外设未准备就绪,主机将再次查询;若外设已准备就绪,则执行一次 I/O 操作。

这种控制方式简单,但外设和主机不能同时工作,各外设之间也不能同时工作,系统效率很低。因此,它仅适用于外设的数目不多、对 I/O 处理的实时要求不那么高、CPU 的操作任务比较单一、并不很忙的情况。

这种方式的优点是结构简单,只需要少量的硬件电路即可实现。缺点是由于 CPU 的速度远远高于外设,因此通常处于等待状态,工作效率很低。

2) 中断方式

中断是主机在执行程序过程中,遇到突发事件而中断程序的正常执行转而去对突发事件进行处理,待处理完成后返回原程序继续执行的方式。中断过程包括中断请求、中断响应、中断处理和中断返回。

计算机中有多个中断源,有可能在同一时刻有多个中断源向 CPU 发出中断请求,这种情况下,CPU 按中断源的中断优先级顺序进行中断响应。

中断处理方式的优点是显而易见的,它不但为 CPU 省去了查询外设状态和等待外设就绪所花费的时间,提高了 CPU 的工作效率,还满足了外设的实时要求。其缺点是对系统的性能要求较高。

3) 直接存储器访问方式

DMA 方式指高速外设与内存之间直接进行数据交换,不通过 CPU 并且 CPU 不参加数据交换的控制。工作过程如下:外设发出 DMA 请求,CPU 响应 DMA 请求,把总线让给 DMA 控制器,在 DMA 控制器的控制下通过总线实现外设与内存之间的数据交换,如图 3-8 所示。

DMA 最明显的一个特点是它不是用软件而是采用一个专门的控制器来控制内存与外设之间的数据交流,无须 CPU 介入,大大提高了 CPU 的工作效率。

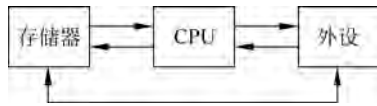


图 3-8 直接存储器访问方式

2. 输入/输出设备

1) 输入设备

常用的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪等。

(1) 键盘的分类。按键盘的键数分,键盘可分为 83 键盘、101 键盘、104 键盘、107 键盘等;按键盘的形式分,键盘可分为有线键盘、无线键盘、带托键盘和 USB 键盘等。

(2) 鼠标的分类。按照工作原理,鼠标器可分为机械式鼠标、光电式鼠标两类。按鼠标的形式分,鼠标可分为有线鼠标和无线鼠标。

(3) 扫描仪。扫描仪通过光源照射到被扫描的材料上来获得材料的图像。常用的扫描仪有台式、手持式和滚筒式三种。分辨率是扫描仪的很重要的特征,常见的扫描仪的分辨率有 300×600 、 600×1200 等。

2) 输出设备

常用的输出设备有显示器、打印机等。

(1) 显示器:按使用的器件分类可分为阴极射线管显示器(CRT)、液晶显示器(LCD)和等离子显示器;按显示颜色可分为彩色显示器和单色显示器。显示器的主要性能指标有像素、分辨率、屏幕尺寸、点间距、灰度级、对比度、帧频、行频和扫描方式等。

(2) 打印机:打印机分为针式打印机、喷墨打印机、激光打印机、热敏打印机 4 种。

3) 其他输入/输出设备

其他常用的输入/输出设备有数码相机 DC、数码摄像机 DV、手写笔、投影机、扫描仪、绘图仪等。

3. I/O 接口

1) I/O 接口的功能

I/O 接口使主机和外设能够按照各自的形式传输信息,如图 3-9 所示。

2) 几种接口

(1) 显示卡:主机与显示器之间的接口。

(2) 硬盘接口:包括 IDE 接口、EIDE 接口、ULTRA 接口和 SCSI 接口等。

(3) 串行接口:COM 端口,也称串行通信接口。

(4) 并行接口:是一种打印机并行接口标准。

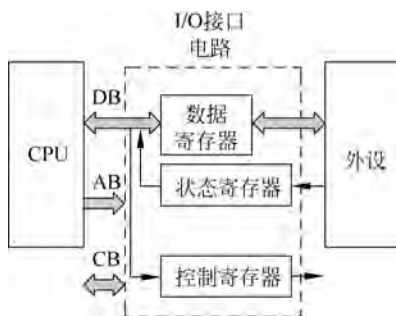


图 3-9 I/O 接口

3.3 计算机系统分类

3.3.1 超级计算机

1. 定义

能够执行一般个人计算机无法处理的大量资料与高速运算的计算机。其基本组成组件

与个人计算机的概念无太大差异,但规格与性能则强大许多,是一种超大型电子计算机。具有很强的计算和处理数据的能力,主要特点表现为高速度和大容量,配有多种外部和外围设备及丰富的、高功能的软件系统。现有超级计算机运算速度大都可以达到每秒亿亿级以上,未来 2020—2021 年内将到达百亿亿级别。

超级计算机是计算机中功能最强、运算速度最快、存储容量最大的一类计算机,多用于国家高科技领域和尖端技术研究,是一个国家科研实力的体现,它对国家安全、经济和社会发展具有举足轻重的意义,是国家科技发展水平和综合国力的重要标志。

2. 发展历史

超级计算机经历了三个发展阶段。

(1) 第一阶段,有美国 ILLIAC-IV(1973 年)、STAR-100(1974 年)和 ASC(1972 年)等巨型计算机。ILLIAC-IV 是一台采用 64 个处理单元在统一控制下进行处理的阵列机,后两台都是采用向量流水处理的向量计算机。

(2) 第二阶段,1976 年研制成功的 CRAY-1 机标志着现代巨型计算机进入第二阶段。这台计算机设有向量、标量、地址等通用寄存器,有 12 个运算流水部件,指令控制和数据存取也都流水线化;机器主频达 80MHz,每秒可获得 8000 万个浮点结果;主存储器容量为 100~400 万字(每字 64 位),外存储器容量达 10⁹~10¹¹ 字;主机柜呈圆柱形,功耗达数百千瓦;采用氟里昂冷却。

(3) 第三阶段,20 世纪 80 年代以来,采用多处理机(多指令流多数据流 MIMD)结构、多向量阵列结构等技术的第三阶段的更高性能巨型计算机相继问世。例如,美国的 CRAY-XMP、CDC CYBER205,日本的 S810/10 和 20、VP/100 和 200、S×1 和 S×2 等巨型计算机,均采用超高速门阵列芯片烧结到多层陶瓷片上的微组装机工艺,主频高达 50~160MHz 以上,最高速度有的可达每秒 5~10 亿个浮点结果,主存储器容量为 400~3200 万字,外存储器容量达 10¹² 字以上。

3. 超级计算机结构

国防科技大学并行与分布处理国家重点实验室王正华教授等学者认为,超级计算机的体系结构大致有以下几种。

(1) 对称多处理(SMP)。SMP 结构的计算机一般在单个机柜中包含两个以上处理器,各处理器完全相同,平等地访问软硬件资源,处理器间通过总线或者交叉开关相连,共享存储器,但有各自独立的 Cache。SMP 的优势在于其透明的编程模式,串行程序一般可不加修改直接运行于 SMP 之上。缺点是由于对公共内存和 I/O 的竞争,加上维护 Cache 一致性的开销,导致扩展能力有限。

(2) 大规模并行处理(MPP)。MPP 指在同一地点由大量处理器构成的并行计算机,一般以通用 64 位微处理器作为处理节点,多为分布存储方式,节点间通信用消息传递方式,其规模可扩展到数千节点。MPP 系统的优点是峰值速度高,并具有良好的可扩展性。主要缺点是消息传递能力与节点运算能力难以匹配。

(3) 机群(Cluster)。Cluster 是用高速互连网络连接起来的一组微机或工作站,各节点都是独立的(有独立完整的内存和操作系统)计算机。互连常采用商用计算机网络(ATM、

FDDI、以太网等),采用消息传递方式通信。它具有规模可扩展、性价比高等优点,缺点主要是多操作系统难于管理和维护,而且通信延迟大。

(4) 群聚集(Constellations)。Constellations 指以大型 SMP(处理器数目不少于 16 个)为节点构成的 Cluster,各节点间通过高速专用网络互连,也称为机群 SMP(Cluster-SMP 或 CSMP)。每个节点含 16 个 Power3 处理器,节点内共享存储,节点间由交叉开关互连。

4. 超级计算机技术趋势

1) 涡轮式刀片服务器

新一代的超级计算机采用涡轮式设计,每个刀片就是一个服务器,能实现协同工作,并可根据应用需要随时增减。单个机柜的运算能力达万亿次/秒,理论上协作式高性能超级计算机的浮点运算速度为亿亿次/秒。通过先进的架构和设计,它实现了存储和运算的分开,确保用户数据、资料在软件系统更新或 CPU 升级时不受任何影响,保障了存储信息的安全,真正实现了保持长时、高效、可靠的运算并易于升级和维护的优势。

2) 降低能耗趋势

亿亿级超级计算机的能耗已成为研究人员关注的焦点,IBM 公司深度计算部门的副总裁戴夫·特瑞克在超级计算机大会上表示,Jaguar 超级计算机耗能 7MW。一台只配置中央处理器处理核心的亿亿级超级计算机耗能约 20 亿瓦特,相当于一个中等规模的原子能核工厂的耗能,降低能耗将成为研究人员考虑的要点。美国军方授权研制新一代超级计算机的厂商需要研制出一种全新的节能芯片,以减少超级计算机的能耗,也有公司考虑使用将加速器与中央处理器相结合的混合方式来达到降低能耗的目的。

3) 改进软件设计

使用加速器是实现亿亿级计算机可行性战略的关键所在,应用软件可以利用加速器来实现亿亿级的计算。亿亿级超级计算机系统的核心处理器的数量在 1000 万到 1 亿个之间。数量巨大的处理器有可能频繁出现故障,因此必须采取更加灵活有效的方式来解决这个问题。美国军方正在着力研发全新的计算架构和编程模式,以解决传统计算架构遭遇的能源使用问题和计算扩展限制问题。改进软件编程比改进超级计算机硬件容易,因此,改进软件设计将是一个发展方向。

4) 结构设计简单化

让超级计算机的设计尽可能简单是关键,目前的很多超级计算机设计都很简单,比如,IBM 公司的“红杉”超级计算机的大小只有一个上网本的一半,而且也没有暴露在外面的电线。美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室先进技术部门助理副主管马克·西格也强调说,设计简洁是关键也是趋势,亿亿级超级计算机的部件需要比目前的超级计算机要少,IBM 公司的蓝色基因超级计算机(BlueGene/L)嵌制了动态随机存储器、电压调控模组以及千兆位以太网,其结构设计非常简洁。

5) 降低成本

新一代超级计算机的成本可能非常高,目前的超级计算机的成本高达 1 亿美元,比如天河二号的耗资达 1 亿美元(约合人民币 6 亿元);神威·太湖之光超级计算机的投资也为 6 亿元人民币,未来新的神威超级计算机总投资约为 18 亿元人民币;我国“十三五”高性能计算专项课题三个 E 级超算的原型机系统计划总经费 31 亿;Summit 耗资约 2 亿美元;美

国能源部 2019 年计划拨款 5 亿美元给英特尔公司和克雷公司,以共同建造美国首台可实现每秒百亿亿次浮点运算的超级计算机“极光”。据估算,未来百亿亿级超级计算机,如果进行工业化的生产,其成本可能为 10 亿美元左右,这将是一笔巨大的投资。因此,降低超级计算机的成本将是厂家不得不考虑的一个问题。

3.3.2 小型计算机与工作站

1. 小型计算机

计算机发展到第三代,开始出现了小型化倾向。1960 年,美国数据设备公司(DEC)生产了第一台速度为每秒 3000 次的小型集成电路计算机。

小型计算机是指采用 8~32 颗处理器,性能和价格介于 PC 服务器和大型主机之间的一种高性能 64 位计算机。国外小型计算机对应英文名是 Minicomputer 和 Midrange Computer。Midrange Computer 是相对于大型主机和微型计算机而言的。小型计算机如图 3-10 所示。



图 3-10 小型计算机

高端小型计算机一般使用的技术是:基于 RISC 的多处理器体系结构,兆数量级字节的高速缓存,几吉字节的 RAM,使用 I/O 处理器的专门 I/O 通道上的数百 GB 的磁盘存储器,以及专设管理处理器。高端小型计算机体积较小并且是气冷的,因此对客户现场没有特别的冷却管道要求。

小型计算机跟普通的服务器是有很大的差别的,最重要的一点就是小型计算机的高 RAS (高可靠性 Reliability,高可用性 Availability,高服务性 Serviceability)特性。

2. 工作站

工作站,英文名称为 Workstation,是一种以个人计算机和分布式网络计算为基础,主要面向专业应用领域,具备强大的数据运算与图形、图像处理能力,为满足工程设计、动画制作、科学研究、软件开发、金融管理、信息服务、模拟仿真等专业领域而设计开发的高性能计算机,如图 3-11 所示。工作站是一种高档的微型计算机,通常配有高分辨率的大屏幕显示器及容量很大的内存储器 and 外部存储器,并且具有较强的信息处理能力和高性能的图形、图像处理能力以及联网功能。



图 3-11 工作站

工作站是 20 世纪 80 年代迅速发展起来的一种计算机系统,介于高档 PC 与小巨型计算机之间。工作站是由计算机和相应的外部设备以及成套的应用软件包所组成的信息处理

系统。它能够完成用户交给的特定任务,是推动计算机广泛应用的有效方式。工作站应具备强大的数据处理能力,有直观的便于人机交换信息的用户接口,可以与计算机网相连,在更大的范围内互通信息,共享资源。工作站在编程、计算、文件书写、存档、通信等各方面给专业工作者以综合的帮助。常见的工作站有计算机辅助设计(CAD)工作站(或称工程工作站)、办公自动化(OA)工作站、图像处理工作站等。不同任务的工作站有不同的硬件和软件配置。

CAD工作站的典型硬件配置为小型计算机(或高档的微型计算机)、带有功能键的CRT终端、光笔、平面绘图仪、数字化仪、打印机等,软件配置为操作系统、编译程序、相应的数据库和数据库管理系统、二维和三维的绘图软件以及成套的计算、分析软件包。CAD工作站可以完成用户提交的各种机械的、电气的设计任务。

OA工作站的主要硬件配置为微型计算机、办公用终端设备(如电传打字机、交互式终端、传真机、激光打印机、智能复印机等)、通信设施(如局部区域网)、程控交换机、公用数据网、综合业务数字网等,软件配置为操作系统、编译程序、各种服务程序、通信软件、数据库管理系统、电子邮件、文字处理软件、表格处理软件、各种编辑软件以及专门业务活动的软件包(如人事管理、财务管理、行政事务管理等软件),并配备相应的数据库。OA工作站的任务是完成各种办公信息的处理。

图像处理工作站的主要硬件配置为计算机、图像数字化设备(包括电子的、光学的或机电的扫描设备,数字化仪)、图像输出设备、交互式图像终端,软件配置除了一般的系统软件外还要有成套的图像处理软件包。它可以完成用户提出的各种图像处理任务。越来越多的计算机厂家在生产和销售各种工作站。

3.3.3 台式计算机与笔记本电脑

1. 个人计算机

狭义来说,个人计算机(Personal Computer,PC)指IBM PC/AT兼容机种,此架构中的中央处理器采用英特尔或AMD等厂商所生产的中央处理器。个人计算机分为台式计算机与笔记本。

台式计算机也称台式机,其主机、显示器等设备一般是相对独立的,需要放置在计算机桌或者专门的工作台上,相对于笔记本电脑来说,台式计算机的体积大,如图3-12(a)所示。

NoteBook,俗称笔记本电脑,又称手提电脑或膝上型电脑(港台地区称之为笔记型电脑),是一种小型、可携带的个人计算机,通常重1~3kg。其发展趋势是体积越来越小、重量越来越轻,而功能却越发强大。像Netbook,也就是俗称的上网本,跟台式计算机的主要区别在于其便携带方便,如图3-12(b)所示。



图 3-12 台式计算机和笔记本电脑

2. 个人计算机的发展史

1962年11月3日,纽约时报于相关报导中首次使用个人计算机一词。

1968年,HP公司在广告中将其产品Hewlett-Packard 9100A称为个人计算机。

世界公认的第一部个人计算机,则为 1971 年 Kenbak Corporation 推出的 Kenbak-1。Kenbak-1 当时售价 750 美元,1971 年曾在《科学美国人》杂志上做广告销售。

1973 年,法国工程师 Francois Gernelle 和 André Truong 两个人所发明的 Micral 个人计算机,为第一款使用 Intel 微处理器的商业个人计算机。

1985 年,东芝采用 X86 架构开发出世界上第一台真正意义的笔记本。

3.3.4 平板电脑与掌上电脑

1. 平板电脑

第一台用作商业的平板电脑是 1989 年 9 月上市的 GRiD Systems 制造的 GRiDPad,它的操作系统基于 MS-DOS。

平板电脑(Tablet Personal Computer, Tablet PC、Flat PC、Tablet、Slates),是一种小型、方便携带的个人计算机,以触摸屏作为基本的输入设备。它拥有的触摸屏(也称为数位板技术)允许用户通过触控笔或数字笔来进行作业而不是传统的键盘或鼠标。用户可以通过内建的手写识别、屏幕上的软键盘、语音识别或者一个真正的键盘(如果该机型配备的话)进行操作。平板电脑由比尔·盖茨提出,至少应该是 X86 架构。从微软提出的平板电脑概念产品上看,平板电脑就是一款无须翻盖、没有键盘、小到足以放入女士手袋,但功能完整的 PC,如图 3-13 所示。



图 3-13 平板电脑

多数平板电脑使用 Wacom 数位板,该数位板能快速地将触控笔的位置“告诉”计算机。使用这种数位板的平板电脑会在其屏幕表面产生一个微弱的磁场,该磁场只能和触控笔内的装置发生作用。所以用户可以放心地将手放到屏幕上,因为只有触控笔才会影响到屏幕。

平板电脑的主要特点是显示器可以随意旋转,一般采用小于 10.4in 的液晶屏幕,并且都是带有触摸识别的液晶屏,可以用电磁感应笔手写输入。平板电脑集移动商务、移动通信和移动娱乐为一体,具有手写识别和无线网络通信功能,被称为笔记本的终结者。

平板电脑按结构设计大致可分为两种类型,即集成键盘的“可变式平板电脑”和可外接键盘的“纯平板电脑”。平板式电脑本身内建了一些新的应用软件,用户只要在屏幕上书写,即可将文字或手绘图形输入计算机。

2. 掌上电脑

1992 年,美国一家计算机公司推出一种袖珍的计算机,大小与能装在口袋里的日历簿差不多。它使用 4 个 AA 型电池便能连续工作 8h。同其他计算机一样,它可同国际商用机器公司的 PC/XT 兼容,带有一个小键盘。

掌上电脑,即 PDA(Personal Digital Assistant),又称个人数字助理,主要提供记事、通讯录、名片交换及行程安排等功能。它同样有 CPU、存储器、显示芯片以及操作系统等。操作系统可以是 Linux OS、Palm OS 或 Windows Mobile(Pocket PC),如图 3-14 所示。



掌上电脑的主要功能有录音机功能、英汉汉英词典功能、全球时

图 3-14 掌上电脑

钟对照功能、提醒功能、休闲娱乐功能、传真功能等。

3.3.5 计算机化手机

iPhone 是 2007 年由苹果公司推出的,将移动电话、可触摸宽屏 iPod 以及具有桌面级电子邮件、网页浏览、搜索和地图功能合而为一的通信设备,是结合了照相手机、个人数码助理、媒体播放器以及无线通信设备的掌上设备。iPhone 引入了基于大型多触点显示屏和领先性新软件的全新用户界面,让用户用手指即可控制 iPhone。iPhone 还开创了移动设备软件尖端功能的新纪元,重新定义了移动电话的功能。

2011 年 6 月 21 日,诺基亚发布全球首款 MeeGo 移动智能终端手机 N9,它代表了智能手机的发展趋势。从诺基亚 N9 到摩托罗拉 ME860、HTC 的 Sensation、三星的 Galaxy S II,再到苹果的 iPhone4 等知名品牌的智能手机新品看,高处理器、大内存、大硬盘和智能操作系统是共同点,其中一些产品还安装了独立的图形处理器。除了硬盘和屏幕以外,这些手机几乎已经赶上甚至超过一些计算机产品了。越来越多的手机将具备计算机的功能。如果说苹果重新定义了手机,点燃了手机计算机化的星星之火的话,那么谷歌安卓操作系统的走俏,则让其在全球范围内燎原。2010 年第四季度,全球智能手机出货量首次超过了计算机。

从只能打电话到可以发短信、再到彩屏手机、照相手机、音乐手机,再到现在的智能上网手机,短短十多年时间里,手机实现了好几代升级,功能日益强大。本来通过计算机来完成的网络应用,现在一部手机就能解决。手机计算机化包括手机屏幕的计算机化、手机键盘的计算机化、手机软件的计算机化和手机应用的计算机化。目前,已经有很多计算机上的通信、娱乐、办公应用顺利地转移到手机上。MeeGo 智能手机 N9 和苹果 iPhone 如图 3-15 所示。



图 3-15 计算机化手机

思考题

1. 简述图灵模型。
2. 简述冯·诺依曼模型。
3. 简述计算机系统组成。
4. 简述微型计算机的结构。
5. 有几种系统总线? 它们的功能是什么?
6. CPU 由几个部分组成?
7. 存储器怎么分类?
8. 什么是超级计算机?
9. 什么是小型计算机? 什么是工作站? 什么是台式计算机? 什么是笔记本?
10. 什么是平板电脑? 什么是掌上电脑? 什么是计算机化手机?