

计算机硬件基础

计算机是由大量的电子元器件组合而成的电子设备,基础元器件(实现简单逻辑运算的硬件单元)控制着电流,通过电流来完成计算机的二进制运算。本章主要介绍晶体管与门的定义,集成电路的概念,并在此基础上讨论计算机中央处理器 CPU 的构成,计算机的体系结构等基本概念。

3.1 晶体管、门电路与集成电路

晶体管(transistor)是一种固体半导体器件,具有检波、整流、放大、开关、稳压、信号调制等多种功能。晶体管作为一种可变电流开关,能够基于输入电压控制输出电流。与普通机械开关(如继电器)不同,晶体管利用电信号来控制自身的开合,而且开关速度非常快,实验室中测试的切换速度可达 100GHz 以上。

1947 年 12 月 16 日,威廉·肖克利(William Shockley)、约翰·巴顿(John Bardeen)和沃特·布拉顿(Walter Brattain)成功地在贝尔实验室制造出第一个晶体管。威廉·肖克利于 1950 年开发出双极晶体管(bipolar transistor),是现在通用的标准晶体管。助听器是第一个采用晶体管的商业化设备,第一台晶体管收音机 Regency TR1 仅包含 4 个锗晶体管。晶体管的问世,使人们能用一个小巧的、消耗功率低的电子器件,来代替体积大、功率消耗大的电子管,是 20 世纪的一项重大发明。1959 年,美国菲尔克公司研制出第一台大型通用晶体管计算机,使得晶体管成为第二代计算机的标志。作为计算机的基础元器件,晶体管相对于第一代计算机采用的真空电子管,具有体积小、重量轻、速度快、寿命长等一系列优点。图 3-1 为威廉·肖克利。

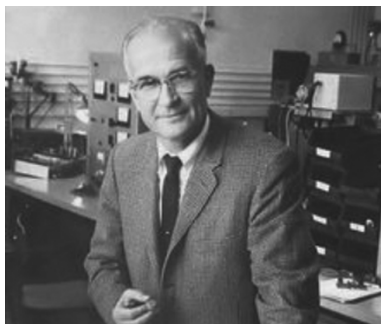


图 3-1 晶体管之父——威廉·肖克利

早期的晶体管采用锗材料,现代则采用硅材料。按晶体管使用的半导体材料可分为硅材料晶体管和锗材料晶体管。晶体管大多数是由 MOS 管构建,MOS 管分为 P 型和 N 型,按晶体管的极性可分为 NPN 型晶体管、PNP 型晶体管。晶体管的电气特性属于电子学课程知识,本书不具体描述。

门是对电信号执行基本运算的设备,由两个及以上的晶体管构成。门的主要

功能是接收一个或多个输入信号,生成一个输出信号。门的种类很多,每种类型的门可完成一种特定的逻辑运算。相互连接的门可组合为**电路**,电路可以完成更为复杂的逻辑运算功能。

描述门的常用方法有3种,即布尔表达式、逻辑框图和真值表。**布尔表达式**的数学基础即是前面提到的英国数学家乔治·布尔发明的布尔代数,其变量和结果只有0和1,是演示数字电路活动的极好方式。**逻辑框图**是电路的图形化表示方法,每类型的门都有一个特定的图形符号,通过不同方法将门连接在一起,可表达出整个电路逻辑。**真值表**是一张列出了所有可能的输入值以及对应输出值的表。

非门、与门、或门、异或门、与非门、或非门是6种基本类型的门,实现6种基本的逻辑运算,下面用上述3种描述方法表示。

非门,对输入信号 A 求反,输出为 X ,即如果输入为0,输出为1;如果输入为1,则输出为0,如图3-2所示。

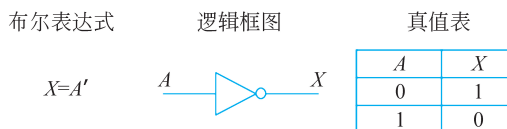


图3-2 非门

与门,接收两个输入信号 A 和 B ,由两个信号值确定输出信号 X 的值。只有在两个输入信号都是1情况下,与门输出为1,否则输出为0,如图3-3所示。

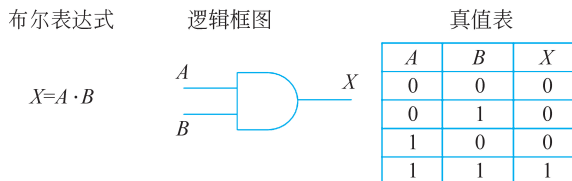


图3-3 与门

或门,接收两个输入信号 A 和 B ,只要有一个输入信号为1,则输出信号 X 为1;只有当两个信号都为0时,输出信号 X 为0,如图3-4所示。

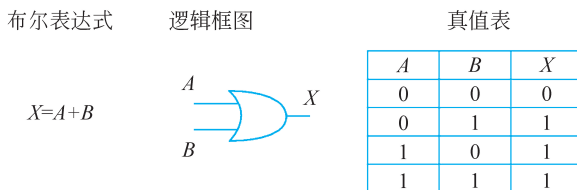


图3-4 或门

异或门,接收两个输入信号 A 和 B 。如果两个输入值相同,即同为0或同为1,则输出值为0;否则,输出为1,如图3-5所示。

与非门,接收两个输入信号 A 和 B ,对与运算的结果求反,如图3-6所示。

或非门,接收两个输入信号 A 和 B ,对或运算的结果求反,如图3-7所示。

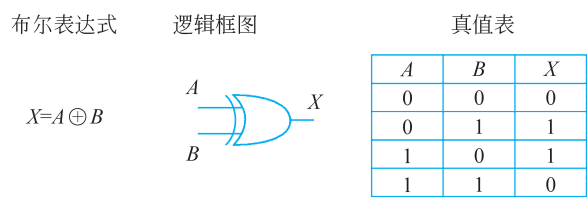


图 3-5 异或门

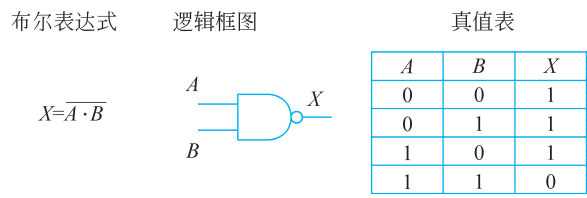


图 3-6 与非门

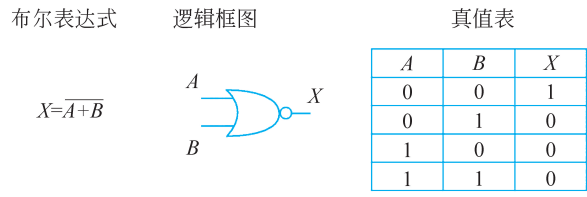


图 3-7 或非门

注：布尔代数中没有专用的与非门、或非门符号。

有了晶体管、门、电路的概念，就可以给出集成电路的定义了。杰克·基尔比(Jack Kilby)在1958年发明了基于锗的集成电路，同时代的罗伯特·诺伊斯(Robert Noyce)发明了基于硅的集成电路。当前半导体工业大多数应用的是基于硅的集成电路。杰克·基尔比获得了2000年诺贝尔物理学奖，而罗伯特·诺伊斯早于1990年过世，不然罗伯特·诺伊斯也有机会获得该奖。

集成电路(又称芯片)，英文全称是 integrated circuits，是嵌入了多个门的硅片。具体来讲，采用一定的工艺，把一个电路中所需的晶体管、电阻、电容和电感等元件及导线互连在一起，集中在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上，然后封装在一个管壳内，成为具有所需电路功能的微型结构。

集成电路具有体积小，重量轻，引出线和焊接点少，寿命长，可靠性高，性能好等优点，同时成本低，便于大规模生产。它不仅在工业、民用等领域得到广泛的应用，如收音机、电视机、计算机，同时在军事、通信、遥控等领域也得到广泛的应用。用集成电路来装配电子设备，其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍，设备的稳定工作时间也大大提高。

集成电路按功能、结构的不同，可以分为模拟集成电路、数字集成电路和数/模混合集成电路三大类。

模拟集成电路又称线性电路，用来产生、放大和处理各种模拟信号。模拟信号是幅度随时间变化的信号。例如，半导体收音机的音频信号、录音机播放的磁带信号等，输入信号和

输出信号成比例关系。

数字集成电路用来产生、放大和处理各种数字信号。数字信号是在时间上、幅度上离散取值的信号。例如,3G/4G/5G 手机、数码相机、计算机 CPU、数字电视的逻辑控制、音频信号和视频信号。

表 3-1 列出了集成电路的各类型名称以及逻辑门数量。

表 3-1 集成电路的各类型名称以及逻辑门数量

简 写	名 字	门 数
SSI	Small Scale Integration	1~10
MSI	Medium Scale Integration	11~100
LSI	Large Scale Integration	101~100000
VLSI	Very Large Scale Integration	$10^6 \sim 10^7$
ULSI	Ultra Large Scale Integration	$10^7 \sim 10^9$
GSI	Giga Scale Integration	$>10^9$

集成电路按导电类型可分为双极型集成电路和单极型集成电路,它们都是数字集成电路。双极型集成电路的制作工艺复杂,功耗较大,代表集成电路有 TTL、ECL、HTL、LST-TL、STTL 等类型。单极型集成电路的制作工艺简单,功耗也较低,易于制成大规模集成电路,代表集成电路有 CMOS、NMOS、PMOS 等类型。

集成电路的分类形式还有多种,这里不再赘述。

3.2 CPU 芯片

3.2.1 CPU 概念

CPU(central processing unit)即中央处理单元,也称为微处理器,是计算机中最重要的集成电路芯片。CPU 是一台计算机的运算核心和控制核心器件,主要功能是解释、执行计算机指令以及处理计算机软件中的数据。CPU 芯片的发展是计算机发展的主要体现。每当一款新型的 CPU 出现时,就会带动计算机系统的其他部件的相应发展,例如,计算机体系结构的进一步优化,存储器存取容量的不断增大、存取速度的不断提高,外围设备的不断改进以及新设备的不断出现等。

CPU 主要由算术逻辑单元(arithmetic and logic unit,ALU)、寄存器组(registers)和控制单元(control unit)构成,如图 3-8 所示。

算术逻辑单元,由与门和或门构成的电路,负责执行逻辑运算(与、或、非和异或)和算术运算(加法、减法、乘法和除法)。**寄存器**是由触发器构成的集成电路,用来临时存放数据的、高速独立的存储单元,包括数据存储器($R_0 \sim R_n$)、指令寄存器(IR)和程序寄存器(PR)。**控制单元**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。

CPU 执行指令时的一系列步骤称为一个指令周期,主要分为取指令、指令译码、取数据(如果需要)、执行指令四阶段,如图 3-9 所示。

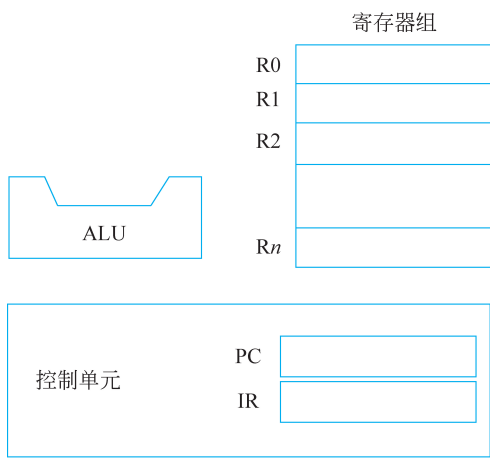


图 3-8 CPU 结构图

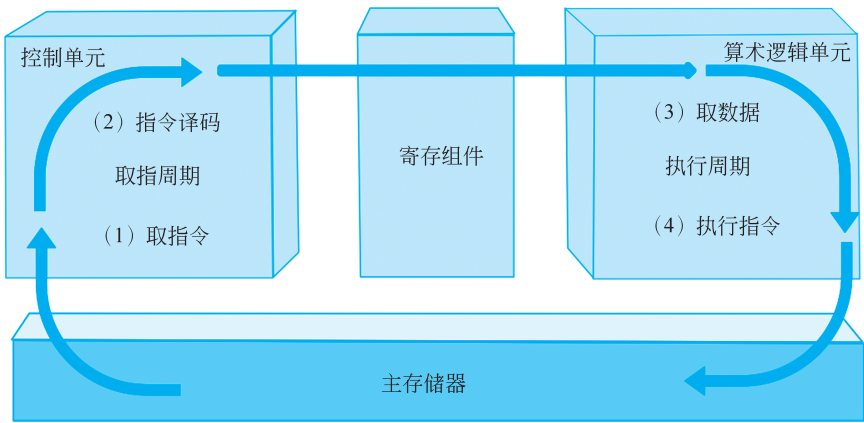


图 3-9 CPU 指令周期示意图

计算机的性能在很大程度上由 CPU 的性能决定，而 CPU 的性能主要体现在其执行指令的速度上。影响运行速度的性能指标包括 CPU 的工作频率、高速缓存(cache)容量、指令系统和逻辑结构等参数。

3.2.2 CPU 性能指标

1. CPU 频率

CPU 的工作频率相关的概念包括主频、外频、倍频系数、前端总线频率等。**主频**也称作时钟频率，单位是兆赫(MHz)或千兆赫(GHz)，表示在 CPU 内数字脉冲信号振荡的速度，体现 CPU 的运算、处理数据的速度。通常，主频越高，CPU 处理数据的速度就越快。主频和实际的运算速度存在一定的关系，但并不是一个简单的线性关系。**外频**是 CPU 的基准频率，单位是 MHz。CPU 的外频决定着整块主板的运行速度。CPU 的主频 = 外频 × 倍频系数。**倍频系数**是指 CPU 主频与外频之间的相对比例关系，在相同的外频下，倍频越高，CPU 的频率也越高。但实际上，在相同外频的前提下，高倍频的 CPU 本身意义并不大。这

是因为 CPU 与系统之间数据传输速度是有限的,一味追求高主频而得到高倍频的 CPU 就会出现明显的“瓶颈”效应——CPU 从系统中得到数据的极限速度不能够满足 CPU 运算的速度。**前端总线(FSB)频率**(即总线频率)直接影响 CPU 与内存之间数据的交换速度。

2. CPU 缓存

高速缓存容量也是 CPU 的重要指标之一,而且缓存的结构和大小对 CPU 速度的影响非常大。**高速缓存**位于 CPU 与内存之间,运行频率极高,一般和 CPU 同频运作,是一个读写速度比内存更快的存储器,读写速度接近 CPU 速度,采用静态随机存储器(SRAM,定义见 3.3.3 节)。当 CPU 向内存中写入或读出数据时,这个数据也被存储到高速缓冲存储器中。当 CPU 再次需要这些数据时,CPU 就从高速缓冲存储器读取数据,而不是访问较慢的内存;如需要的数据在高速缓存中没有,CPU 才会去读取内存中的数据。实际工作时,CPU 往往需要重复读取同样的数据块,高速缓存容量的增大,可以大幅度提升 CPU 内部读取数据的命中率,而不用再到内存或者硬盘上寻找,以此提高系统性能。但是综合考虑 CPU 芯片面积和成本等因素,高速缓存的容量都很小。高速缓存还被划分为多个等级,主要有一级缓存、二级缓存、三级缓存。

一级缓存(L1 cache)是 CPU 第一层高速缓存,分为数据缓存和指令缓存。内置的 L1 高速缓存的容量和结构对 CPU 的性能影响较大,均由 SRAM 组成,结构较复杂,在 CPU 管芯面积的约束条件下,L1 级高速缓存的容量不可能做得太大,通常在 32~256KB。

二级缓存(L2 cache)是 CPU 的第二层高速缓存,分内部和外部两种芯片。内部芯片二级缓存的运行速度与主频相同,而外部的二级缓存则只有主频的一半。L2 高速缓存容量也会影响 CPU 的性能,原则是越大越好。家用计算机的 L2 容量可达 512KB,笔记本计算机中可以达到 2MB,而服务器和工作站上的 L2 高速缓存容量更大,可以达到 8MB 以上。

三级缓存(L3 cache)为读取二级缓存后未命中的数据设计的缓存。在拥有三级缓存的 CPU 中,只有约 5%的数据需要从内存中调用,从而进一步提高 CPU 的效率,特别提升了大数据量计算时处理器的性能,对游戏应用很有帮助。此外,三级缓存对服务器性能有显著的提升。

3. CPU 指令系统

CPU 依靠指令来计算和控制系统,每款 CPU 在设计时就规定了一系列与其硬件电路相配合的指令系统。指令系统的强弱是 CPU 的重要指标,指令集是提高微处理器效率的最有效工具之一。

从现阶段的主流体系结构来讲,指令集可分为 CISC 和 RISC 两类。

(1) **CISC**(complex instruction set computing) **指令集**,即复杂指令集。在 CISC 微处理器中,程序的各条指令是按顺序串行执行的,每条指令中的各个操作也是按顺序串行执行的。顺序执行的优点是控制简单,但计算机各部分的利用率不高,执行速度慢。Intel 公司生产的 x86 系列 CPU 及其兼容 CPU 及 AMD、VIA 都采用 CISC 指令集。

(2) **RISC**(reduced instruction set computing) **指令集**,即精简指令集,由约翰·科克(John Cocke)提出。1975 年,约翰·科克研究了 IBM370 CISC 系统,对 CISC 机进行测试表明,各种指令的使用频度相当悬殊,最常使用的是一些比较简单的指令,它们仅占指令总数的 20%,但在程序中出现的频度却占 80%。复杂的指令系统会增加微处理器的复杂性,

使处理器的研制时间变长,成本高,并且复杂指令会降低计算机的速度。基于上述原因,20世纪80年代RISC型CPU诞生了。RISC指令集是高性能CPU的发展方向。与传统的CISC相比而言,RISC的指令格式统一,种类比较少,寻址方式也比复杂指令集少,处理速度提高很多。目前,中高档服务器普遍采用RISC类型的CPU,特别是高档服务器全都采用RISC类型的CPU。在中高档服务器中采用RISC类型的CPU主要有以下几类:PowerPC处理器、SPARC处理器、PA-RISC处理器、MIPS处理器、Alpha处理器。

3.2.3 CPU芯片的发展历程

CPU芯片的发展历程大致划分为以下6个阶段:

1. 低档微处理器时代

第1阶段(1971—1973年)是4位和8位低档微处理器时代,通常称为第1代,其典型产品是Intel 4004和Intel 8008微处理器和分别由它们组成的MCS-4和MCS-8微机。基本特点是采用PMOS工艺,集成度约4000个晶体管/片,系统结构和指令系统都比较简单,主要采用机器语言或简单的汇编语言,指令数目为20多条,基本指令周期为 $20\sim 50\mu\text{s}$,用于简单的控制。

Intel公司在1969年为日本计算机制造商Busicom的一项项目,着手研发可编程计算机的多款芯片。最终,Intel在1971年11月15日向全球市场推出4004微处理器,每颗售价为200美元。4004是Intel公司的第一款微处理器,其晶体管数目约为2300个,为个人计算机奠定了发展基础。

2. 8位中高档微处理器时代

第2阶段(1974—1977年)是8位中高档微处理器时代,通常称为第2代,其典型产品是Intel 8080/8085、Motorola公司的6800、Zilog公司的Z80等。它们的特点是采用NMOS工艺,晶体管集成度提高约4倍,运算速度提高 $10\sim 15$ 倍(基本指令执行时间 $1\sim 2\mu\text{s}$)。指令系统比较完善,采用典型的计算机体系结构,具有中断、DMA等控制功能。

1974年,Intel公司推出8080处理器,并作为Altair 8800微型计算机的运算核心,如图3-10所示。当时的计算机迷可用395美元买到一组Altair的套件。它在数月内卖出数万套,



图 3-10 Altair 8800 microcomputer

成为史上第一款下订单后制造的机种。Intel 8080 晶体管数目约为 6000 个。

3. 16 位微处理器时代

第 3 阶段(1978—1984 年)是 16 位微处理器时代,通常称为第 3 代,其典型产品是 Intel 公司的 8086/8088、Motorola 公司的 M68000、Zilog 公司的 Z8000 等微处理器。其特点是采用 HMOS 工艺,集成度(20000~70 000 个晶体管/片)和运算速度(基本指令执行时间是 $0.5\mu\text{s}$)都比第 2 代提高了一个数量级。指令系统更加丰富、完善,采用多级中断、多种寻址方式、段式存储结构、硬件乘除部件,并配置了软件系统。这一时期著名微机产品是 IBM 公司的个人计算机。1981 年,IBM 公司推出的个人计算机采用 8088 CPU;紧接着 1982 年又推出了扩展型的个人计算机 IBM PC/XT,它对内存进行了扩充,并增加了一个硬磁盘驱动器。

80286(简称 286)是 Intel 公司首款能执行所有旧款处理器专属软件的处理器,这种软件的兼容性之后成为 Intel 公司全系列微处理器的注册商标,在 6 年的销售期中,估计全球各地共安装了 1500 万部 286 个人计算机。Intel 80286 处理器晶体管数目为 13.4 万颗。1984 年,IBM 公司推出了以 80286 处理器为核心组成的 16 位增强型个人计算机 IBM PC/AT,由于 IBM 公司采用了技术开放的策略,使得个人计算机很快风靡世界。

4. 32 位微处理器时代

第 4 阶段(1985—1992 年)是 32 位微处理器时代,又称为第 4 代。典型产品是 Intel 公司的 80386/80486、Motorola 公司的 M69030/68040 等。其特点是采用 HMOS 或 CMOS 工艺,集成度高达 100 万个晶体管/片,具有 32 位地址线和 32 位数据总线。每秒钟可完成 600 万条指令,即 600 万 MIPS(million instructions per second)。微型计算机的功能已经达到甚至超过超级小型计算机,完全可以胜任多任务、多用户的作业。同期,其他一些微处理器生产厂商,如 AMD、TI (TEXAS Instrument) 也推出了 80386/80486 系列的芯片。

80386DX 的内部和外部数据总线是 32 位,地址总线也是 32 位,可以寻址到 4GB 内存,并可以管理 64TB 的虚拟存储空间。它的运算模式除了具有实模式和保护模式以外,还增加了一种“虚拟 86”的工作方式,可以通过同时模拟多个 8086 微处理器来提供多任务能力。80386SX 是 Intel 公司为了扩大市场份额而推出的一种较便宜的普及型 CPU,它的内部数据总线为 32 位,外部数据总线为 16 位,它可以接受为 80286 开发的 16 位输入输出接口芯片,降低整机成本。80386SX 推出后,受到市场的广泛欢迎,因为 80386SX 的性能大大优于 80286,而价格只是 80386DX 的三分之一。Intel 80386 微处理器内含 27.5 万个晶体管——比当初的 4004 多了 100 倍以上,这款 32 位处理器首次支持多任务设计,能同时执行多个程序。

1989 年,80486 芯片由 Intel 公司推出。这款经过四年开发和 3 亿美元投入的芯片首次突破了 100 万个晶体管的限制,集成了 120 万个晶体管,使用 $1\mu\text{m}$ 的制造工艺,时钟频率从 25MHz 逐步提高到 33MHz、40MHz、50MHz。

80486 将 80386 和数字协处理器 80387 以及一个 8KB 的高速缓存集成在一个芯片内。80486 中集成的 80487 的数字运算速度是以前 80387 的两倍,内部缓存缩短了微处理器与慢速 DRAM 的等待时间。并且,在 80x86 系列中首次采用了 RISC 指令集,可以在一个时

钟周期内执行一条指令。它还采用了突发总线方式,大大提高了与内存的数据交换速度。由于这些改进,80486 的性能比带有 80387 数字协处理器的 80386 DX 性能提高了 4 倍。

5. 奔腾系列微处理器时代

第 5 阶段(1993—2005 年)是奔腾(Pentium)系列微处理器时代,通常称为第 5 代。典型产品是 Intel 公司的奔腾系列芯片及与之兼容的 AMD 的 K6、K7 系列微处理器芯片。内部采用了超标量指令流水线结构,并具有相互独立的指令和数据高速缓存。随着 MMX (Multi Media eXtended)微处理器的出现,使个人计算机的发展在网络化、多媒体化和智能化等方面跨上了更高的台阶。

1997 年推出的 Pentium II 处理器结合了 Intel MMX 技术,能以极高的效率处理视频、音频和图形图像。Intel Pentium II 处理器晶体管数目为 750 万个。

1999 年推出的 Pentium III 处理器加入 70 个新指令,采用 SIMD 结构,能大幅提升视频、3D 图形、音频流、语音识别等应用的性能,能大幅提升互联网的使用体验,让使用者能浏览逼真的线上博物馆与商店,以及下载高品质影片。首次采用 $0.25\mu\text{m}$ 技术,Intel Pentium III 晶体管数目约为 950 万个。

2000 年 Intel 公司发布了 Pentium 4 处理器,具有更强大的多媒体处理能力。Pentium 4 处理器集成了 4200 万个晶体管,到了改进版的 Pentium 4 (Northwood)更是集成了 5500 万个晶体管,并且开始采用 $0.18\mu\text{m}$ 进行制造,初始速度就达到了 1.5GHz。

2005 年 Intel 公司推出的双核处理器有 Pentium D 和 Pentium Extreme Edition,同时推出 945/955/965/975 芯片组来支持新推出的双核处理器,采用 90nm 工艺生产。这两款双核处理器使用没有针脚的 LGA 775 接口,但处理器底部的贴片电容数目有所增加,排列方式也有所不同。

6. 酷睿系列微处理器时代

第 6 阶段(2006 年至今)是酷睿(Core)系列微处理器时代,通常称为第 6 代。“酷睿”是一款领先节能的新型微架构,设计的出发点是提供卓越的性能和能效,提高每瓦特的性能,(即能效比)。

酷睿 2 的英文名称为 Core 2 Duo,是 Intel 公司在 2006 年 7 月推出的新一代基于 Core 微架构的产品体系系统称。酷睿 2 是一个跨平台的构架体系,包括服务器版、桌面版、移动版三大领域。Core 微架构是 Intel 公司的以色列设计团队在 Yonah 微架构基础之上改进而来的新一代 Intel 架构。最显著的变化在于对各个关键部分进行强化。为了提高两个核心的内部数据交换效率采取共享式二级缓存设计,两个核心共享高达 4MB 的二级缓存。

随着 Intel 公司在 2010 年迈入 32nm 工艺制程,高端旗舰的代表被 Core i7-980X 处理器取代,全新的 32nm 工艺解决六核心技术,拥有最强大的性能表现。对于准备组建高端平台的用户而言,Core i7-980X 以及 Core i7-950 是不错的选择。

Core i5 是一款基于 Nehalem 架构的四核处理器,采用整合内存控制器,三级缓存模式,L3 达到 8MB,支持 Turbo Boost 等技术的新处理器配置。它和 Core i7 (Bloomfield)的主要区别在于总线不采用 QPI,采用的是成熟的 DMI (Direct Media Interface),并且只支持双通道的 DDR3 内存。

Core i3 可看作是 Core i5 的精简版,基于 Westmere 架构,采用 32nm 工艺。Core i3 最大的特点是整合图形处理器(GPU),也就是说 Core i3 由 CPU+GPU 两个核心封装而成。由于整合的 GPU 性能有限,用户想获得更好的 3D 性能,可以外加显卡。显示核心部分的制作工艺仍是 45nm。代表产品有酷睿 i3-530/540。

CPU 芯片技术仍然在向前发展,表 3-2 对上述的 6 个阶段做了一个简单的总结和对比。

表 3-2 CPU 芯片发展历程

年 代	处理器位数	晶体管集成度	代表产品
1971—1973 年	4 位或 8 位	2300~4000 晶体管/片	Intel 4004/ Intel 8008
1974—1977 年	8 位	6000 晶体管/片	Intel 8080/8085、Motorola 公司的 6800、Zilog 公司的 Z80
1978—1984 年	16 位	20 000~70 000 晶体管/片	Intel 公司的 8086/8088、Motorola 公司的 M68000、Zilog 公司的 Z8000
1985—1992 年	32 位	100 万晶体管/片	Intel 公司的 80386/80486、Motorola 公司的 M69030/68040
1993—2005 年	32 位或 64 位	750 万~5500 万晶体管/片	Intel 公司的奔腾系列芯片,AMD 的 K6、K7 系列微处理器芯片
2005 年至今	64 位	超过 1 亿晶体管/片	Intel 公司的 Core 系列芯片: Core i3/i5/i7

3.3 冯·诺依曼体系结构

计算机体系结构的概念是 1964 年 C. M. Amdahl 在介绍 IBM360 系统时提出的,其具体描述为“计算机体系结构是程序员所看到的计算机属性,即概念性结构与功能特性”。按照计算机系统的多级层次结构,不同级别程序员所看到的计算机具有不同的属性。通常所说的计算机体系结构主要指机器语言级机器的系统结构。一般来说,低级机器属性对于高层程序员基本是透明的。

冯·诺依曼体系结构是现代计算机的基础,当代绝大多数计算机仍是冯·诺依曼计算机的组织结构,只是做了一些改进而已,并没有从根本上突破冯·诺依曼体系结构的束缚。在介绍冯·诺依曼体系结构前,先介绍冯·诺依曼的生平。



冯·诺依曼
体系结构

3.3.1 冯·诺依曼的生平

约翰·冯·诺依曼(John von Neumann, 1903 年 12 月 28 日—1957 年 2 月 8 日),出生于匈牙利的美国籍犹太人数学家,现代计算机创始人之一。他在计算机科学、经济学、物理学中的量子力学及很多领域都做出过重大贡献,是 20 世纪最伟大的科学全才之一。

冯·诺依曼一生中发表了大约 150 篇论文,其中有 60 篇纯数学论文,20 篇物理学以及 60 篇应用数学论文。他最后的作品是一个在医院未完成的手稿,后来以书名《计算机与人脑》发布,展现了他生命最后时光里的兴趣方向。

1940 年以前,冯·诺依曼的工作主要是纯粹数学的研究。在数理逻辑方面提出简单而

明确的序数理论,并对集合论进行新的公理化,其中明确区别集合与类;其后,研究希尔伯特空间上线性自伴算子谱理论,从而为量子力学打下数学基础;1930年起,证明平均遍历定理,开拓了遍历理论的新领域;1933年,运用紧致群解决了希尔伯特第五问题;此外,还在测度论、格论和连续几何学方面也有开创性的贡献;从1936—1943年,与默里合作,创造了算子环理论,即所谓的冯·诺依曼代数。

1940年以后,冯·诺依曼转向应用数学。冯·诺依曼因第二次世界大战战事的需要研究可压缩气体运动,建立冲击波理论和湍流理论,发展了流体力学;1942年与莫根施特恩合作,写作《博弈论和经济行为》一书,使他成为数理经济学的奠基人之一。

冯·诺依曼对世界上第一台电子计算机 ENIAC 的设计提出过建议,1945年3月他在共同讨论的基础上起草了一个全新的“存储程序通用电子计算机方案——EDVAC”。1945年6月,冯·诺依曼与戈德斯坦、勃克斯等人,联名发表了一篇关于 EDVAC 的长达 101 页纸的报告,即计算机史上著名的“101 页报告”,是现代计算机科学发展里程碑式的文献。明确规定用二进制替代十进制运算,并将计算机分成五大组件,这一卓越的思想为电子计算机的逻辑结构设计奠定了基础,已成为计算机设计的基本原则。由于他在计算机逻辑结构设计上的伟大贡献,他被誉为“计算机之父”。

1946年,冯·诺依曼开始研究程序编制问题,他是现代数值分析——计算数学的缔造者之一,他首先研究线性代数和算术的数值计算,后来着重研究非线性微分方程的离散化以及稳定问题,并给出误差的估计。他协助发展了一些算法,特别是蒙特卡罗方法。20世纪40年代末,开始研究自动机理论,研究一般逻辑理论以及自复制系统,他未完成的手稿在1958年以《计算机与人脑》为名出版。图3-11为冯·诺依曼。



图 3-11 冯·诺依曼

3.3.2 冯·诺依曼体系结构概述

在“101 页报告”中,冯·诺依曼提出存储程序概念,即把程序本身当作数据来对待,程序和该程序处理的数据用同样的方式存储。基于存储程序概念,定义了存储程序计算机的五大组成部件和基本工作方法。这两大特征构成了冯·诺依曼体系结构。

存储程序计算机的五大组成部件包括算术逻辑单元、控制单元、存储单元、输入设备和输出设备,结构如图3-12所示。

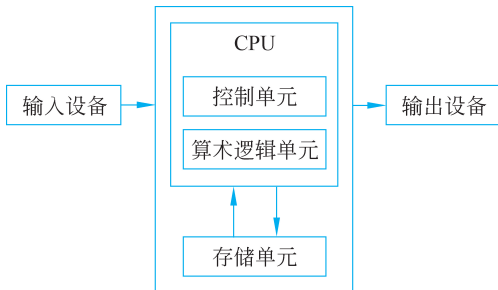


图 3-12 冯·诺依曼体系结构

算术逻辑单元负责对数据执行算术运算和逻辑运算;**存储单元**存放程序指令和数据;**输入设备**负责将数据从外部世界转移到计算机中;而**输出设备**负责将计算机结果转移到外部世界;**控制单元**充当调度角色,协调、控制其他单元的工作。

随着计算机的发展,现代计算机产品多,部件相关型号也多如牛毛。如表 3-3 所示的一款笔记本电脑参数。

表 3-3 联想 YOGA 5 Pro 详细参数

处理器	CPU 型号: Intel Core i7 7500U;CPU 主频: 2.7GHz;最高主频: 3.5GHz;核心/线程数: 双核心/四线程;三级缓存: 4MB;核心架构: Kaby Lake;制程工艺: 14nm;功耗: 15W
存储设备	内存容量: 16GB(8GB×2),DDR4 2133MHz;硬盘容量: 1TB,SSD 固态硬盘;无内置光驱
显示屏	支持十点触控触控屏,13.9 英寸,16: 9,3840×2160,IPS 广视角炫彩屏,三边窄边框全高清 IPS 触控屏,100%sRGB 色域空间
显卡	核芯显卡: Intel GMA HD 620,共享内存容量
多媒体设备	720p HD 摄像头;2×2W JBL 音箱;内置低音炮,双麦克风
网络通信	无线网卡,支持 802.11ac 无线协议;蓝牙 4.1 模块
I/O 接口	数据接口: 1×USB 3.0,USB Type-C 接口(DC-IN/USB2.0),USB Type-C 接口(视频输出/USB 3.0);视频接口: Micro HDMI;音频接口: 耳机/麦克风二合一接口;电源接口;4 合 1 读卡器(MMC,SD,SDHC,SDXC)
输入设备	触摸板;背光键盘;支持智能指纹识别功能
电源	4 芯锂电池,续航时间 15.5 小时,视具体使用环境而定,100~240V,45W 自适应交流电源适配器
外观	笔记本重量 1.4kg,长度 323mm,宽度 224.5mm,厚度 14.3mm,镁铝合金,银色,黑色
其他	开机密码;硬盘密码;附带软件;内置感应器: 环境光传感器;加速度计;支持 360°翻转,手势控制,语音控制

下面简要介绍存储设备、I/O 子系统以及子系统互连的相关术语。

3.3.3 存储设备

存储设备用于存储数据和程序,类型多样化,可采用电、磁或光学等类型的介质。对于计算机而言,有存储设备,才有记忆功能。存储设备可分为内存储器(简称内存,又称为主存储器)和外部存储器(辅助存储器)。

主存储器是 CPU 能直接寻址的存储空间,由半导体器件制成,其特点是存取速率快。主存类型包括: ①随机存储器(RAM); ②只读存储器(ROM); ③高速缓存(cache)。

RAM 是 random access memory 的缩写。随机存储器既可以从中读取数据,也可以将数据写入其中。当机器电源关闭时,存于其中的数据就会丢失。**内存条**是集成了多个 RAM 芯片的一小块电路板,用作计算机的主存,插在计算机中的内存插槽上。RAM 又分为静态 RAM 和动态 RAM。静态 RAM(static RAM,SRAM)用传统的触发器门电路(有 0 和 1 两个状态的门)来保存数据。这些门保持状态(0 或者 1),通电时数据始终存在,不需要刷新。SRAM 速度快但价格贵。动态 RAM(dynamic RAM,DRAM)使用了电容,如果电容充电,则状态是 1;如果放电,状态是 0。因为电容会漏电,所以内存单元需要定时刷新。

DRAM 速度比较慢,但比较便宜。

ROM 是 read only memory 的缩写。在制造 ROM 时,数字信息就被写入并永久保存。这些信息只能读出,一般不能写入,即使机器停电,这些数据也不会丢失。ROM 一般用于存放计算机的基本程序和数据,如 BIOS ROM,存有计算机自举(上电启动)的基本程序和数据。ROM 包括以下基本类型。

(1) 可编程只读存储器(programmable ROM, PROM)是一种 ROM,出厂时空白,写一次程序后不能够再重写,用于存储特定程序。

(2) 可擦除的可编程只读存储器(EPROM),是一种 PROM,可以拆下后用紫外光擦写。

(3) 电可擦除的可编程只读存储器(EEPROM)是一种 EPROM,不需要拆下,可用电子脉冲擦写。

高速缓存(cache)具体信息见 3.2.2 节。

外部存储器是 CPU 不能直接读写的存储设备,数据需要读入内存后 CPU 才能读写,断电后数据不丢失。外部存储器通常读写速度慢,容量大,成本低,可采用多种类型材料制造。常见的外部存储器有磁带、软磁盘、硬盘、光盘、U 盘等。

磁带是载有磁层的带状设备,是计算机历史上第一种真正的大容量辅助存储设备,可记录声音、图像、数字或其他信号,是产量最大和用途最广的一种磁记录材料。通常是在塑料薄膜带基(支持体)上涂覆一层颗粒状磁性材料,如针状 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 磁粉或金属磁粉,或蒸发沉积上一层磁性氧化物或合金薄膜而成。最早曾使用纸和赛璐珞等作带基,现在主要用强度高、稳定性好和不易变形的聚酯薄膜。

磁带按用途分有——录音带、录像带、计算机带和仪表磁带等。虽然磁带在 20 世纪 30 年代已经出现,直到 1963 年,才由荷兰飞利浦公司研制成盒式录音带。由于盒式录音带具有轻便、耐用、互换性强等优点而得到迅速发展。之后,日本研制成功 Avilyn 包钴磁粉带,美国生产出金属磁粉带。日本日立玛克赛尔公司创造的 MCMT 技术,即特殊定向技术、超微粒子及其分散技术,制成了微型及数码盒式录音带,使音频记录进入了数字化时代。我国在 20 世纪 60 年代初开始生产录音带,1975 年试制成盒式录音带,并已达较高水平。录像带用于记录视频信息。1956 年美国安佩克斯公司制成录像机以来,录像带从电视广播逐步进入到科学技术、文化教育、电影和家庭娱乐等领域。仪表磁带是自动化和磁记录技术相结合的产物,用于把人们无法接近的测量数据自动而连续地记录下来的场景。如卫星空间探测。

磁带设备能够记录和读出信息,主要依靠电-磁、磁-电转换实现。磁带设备主要由磁带和磁头(读写头)构成,如图 3-13 所示。磁带的带基上涂有铁磁性小颗粒,磁头是环形铁芯,其上绕有线圈。信息的记录过程:磁带贴着磁头走过,信号电流使得磁头缝隙处磁场的强弱、方向不断变化,磁带上的磁粉也就被磁化成一个个磁极方向和磁性强弱各不相同的“小磁铁”,信息就这样记录在磁带上。信息的读取过程与上述过程相反,磁化的磁带经过磁头时,“小磁铁”产生的磁场穿过磁头的线圈,由于“小磁铁”的极性和磁性强弱各不相同,它在线圈内产生的磁通量也在不断变化,于是磁头线圈中产生相应的感应电流,记录在磁带上的信号就可读取了。作为计算机的外部存储器,磁带具有顺序访问、容量大、速度慢、价格低等特点。

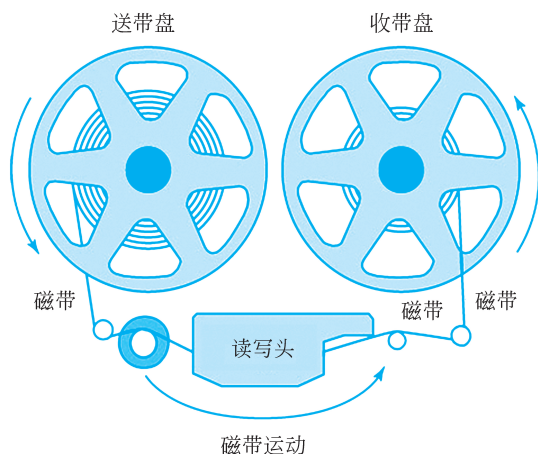


图 3-13 磁带工作示意图

磁盘是计算机常用的外部存储器,有软磁盘和硬磁盘(传统机械硬盘)等类型。

软磁盘是最早的可移动存储设备,由圆形盘片和塑料封装盒组成,圆形盘片是覆盖磁性涂料的塑料片,通过软盘驱动器读写数据。软磁盘读取速度慢,存取容量小,过去常用的是 5.25in(1in=25.4mm)和 3.5in 规格的软磁盘,当前已被光盘(compact disc,CD)和 USB 盘替代。

硬盘,是计算机的最主要外部存储设备,具有容量大、成本低、非易失性等特点。我们平常使用的程序,如 Windows 操作系统、打字软件、游戏软件等,一般都是安装存储在硬盘上的。运行时把它们装入计算机内存中运行,才能真正使用其功能。

目前,硬盘有三种类型:传统硬盘(hard disk drive,HDD)、固态硬盘以及混合硬盘。传统硬盘是由多张圆形磁性盘片(盘片表面涂有一层磁性材料)叠加而成,封装在硬质金属盒子中,可防止因磁盘表面划伤导致数据丢失的问题。固态硬盘集成闪存芯片(Flash)或 DRAM 芯片作为存储介质。混合硬盘(hybrid hard disk,HHD)集成了磁性盘片和闪存芯片。虽然新型硬盘采用不同的存储介质,但在接口的规范和定义、功能及使用方法上与传统硬盘的完全相同,在产品外形和尺寸上也完全与传统硬盘一致。

传统硬盘驱动器和工作原理示意图如图 3-14 所示。硬盘驱动器由读写磁头(head)、柱状磁盘片、盘片转轴以及机械臂等构成。磁盘片高速旋转定位,磁头对盘片表面的磁介质读写,从而完成信息的记录和读取。对单张盘片来说,盘片旋转时,磁头在磁盘表面划出一个圆形轨迹即为磁道,磁道上等分的弧段形成扇区(sector),存储在扇区中的信息称为块/盘块(block),一般一个扇区 512B,多个扇区的集合称为簇。叠加的多张盘片,相同编号的磁道形成柱面,即业内经常提到硬盘的柱面(cylinder,CHS)。只要知道了硬盘柱面的数目,可确定硬盘的容量,具体计算方法:硬盘的容量=柱面数×磁头数×扇区数×512B。

硬盘的主要技术参数包括容量、转速、平均访问时间、数据传输率等。

(1) 容量是硬盘作为计算机外部存储器的最主要参数,体现硬盘的存储能力。硬盘容量以兆字节(MB)、吉字节(GB)或太字节(TB)为单位,一般情况下硬盘容量越大,单位字节的价格就越便宜。

(2) 转速(rotational speed 或 spindle speed),是硬盘内电机主轴的旋转速度,也就是

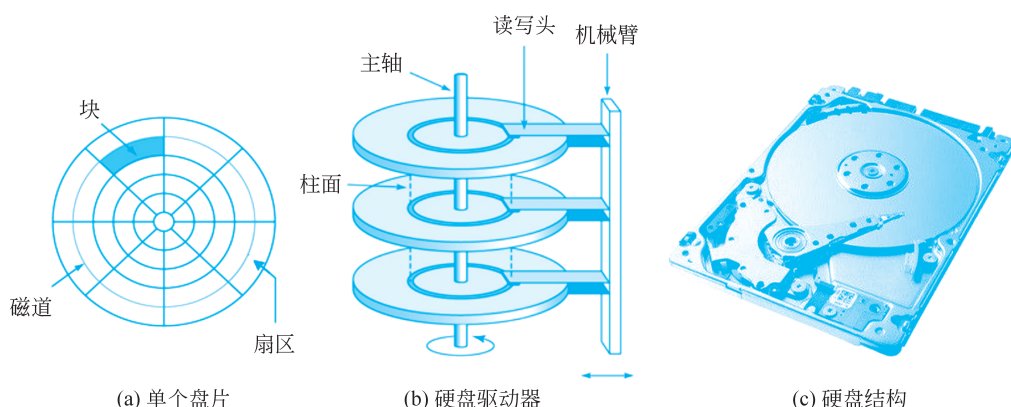


图 3-14 传统硬盘驱动器和工作原理示意图

硬磁盘盘片在一分钟内所能完成的最大转数。转速的快慢决定了硬磁盘内部传输率,在很大程度上直接影响硬磁盘的速度。硬磁盘的转速越快,硬磁盘寻找文件的速度也就越快,相对的硬磁盘传输速度也高。硬磁盘转速以 RPM(revolutions per minute),即 r/min 为单位。RPM 值越大,硬磁盘的整体性能越好。台式机的普通硬盘的转速一般有 5400RPM、7200RPM。笔记本电脑以 4200 RPM、5400 RPM 为主,服务器中使用的 SCSI 硬盘转速基本都采用 10 000RPM,甚至还有 15 000RPM 的。当然,随着硬磁盘转速的不断提高,也带来了温度升高、电机主轴磨损加大、工作噪声增大等负面影响。

(3) 平均访问时间(average access time)是指磁头从起始位置定位到目标磁道位置,并且从目标磁道上找到要读写的数据扇区所需的时间。平均访问时间体现了硬磁盘的读写速度,它包括了硬磁盘的寻道时间和等待时间,即平均访问时间=平均寻道时间+平均等待时间。硬磁盘的平均寻道时间(average seek time)是指硬磁盘的磁头移动到盘面指定磁道所需的时间。这个时间当然越小越好,硬磁盘的平均寻道时间通常在 8~12ms,而 SCSI 硬盘则应小于或等于 8ms。硬磁盘的等待时间又叫延迟时间(latency),指磁头已处于要访问的磁道,等待所要访问的扇区旋转至磁头下方的时间。平均等待时间为盘片旋转一周所需的时间的一半,一般应在 4ms 以下。

(4) 数据传输率(data transfer rate),传统硬盘的数据传输率是指硬磁盘读写数据的速度,单位为兆字节每秒(MB/s)。硬盘数据传输率又包括了内部传输率和外部传输率。内部传输率(internal transfer rate)也称为持续传输率(sustained transfer rate),它反映了硬磁盘缓冲区未用时的性能。内部传输率主要依赖于硬磁盘的旋转速度。外部传输率(external transfer rate)也称为突发数据传输率(burst data transfer rate)或接口传输率,它体现系统总线与硬磁盘缓冲区之间的数据传输率,外部数据传输率与硬盘接口类型和硬盘缓存的大小有关。ATA 接口硬盘的最大外部传输率为 133MB/s,而 SATA II 接口的硬盘外部传输率则达到 300MB/s。

固态硬盘是一种使用集成电路组件作为存储器件的固态存储设备,并且固态硬盘中没有机械结构,如图 3-15(a)所示,相比机械硬盘更能抵抗物理冲击,运行时更安静,具有更高的数据传输速率、更高的存储密度和更好的可靠性。通常一块固态硬盘由主控芯片、缓存以及闪存颗粒构成,负责存储数据的主要是闪存颗粒,闪存颗粒又细分为单层单元(SLC)、多

层单元(MLC)以及三层单元(TLC)三种。固态硬盘中的主控是一个将闪存颗粒连接到计算机的电子器件,相当于一个执行固件代码的嵌入式处理器,控制的功能主要包括坏块映射、缓存读写、加密、垃圾回收等。固态硬盘中的缓存通常由 DRAM 制成,主要用于辅助主控芯片进行数据处理。

还有一种常见硬盘是**移动硬盘**,其本质为强调便携性的硬盘,与固定在计算机内部的硬盘通常使用 SATA 接口或 IDE 接口不同,移动硬盘为了能在不同的计算机之间交换数据,通常使用 USB 接口作为数据传输通道,如图 3-15(b)所示。移动硬盘也分为机械移动硬盘和固态移动硬盘。机械移动硬盘考虑到移动途中的不稳定性,盘片采用硅氧盘片,使其更加平滑。同时为了避免磁头与盘片接触损坏盘片,移动硬盘还要配备防震功能,即在磁盘受到剧烈震动时盘片自动停止旋转,磁头也将回到起始安全区。

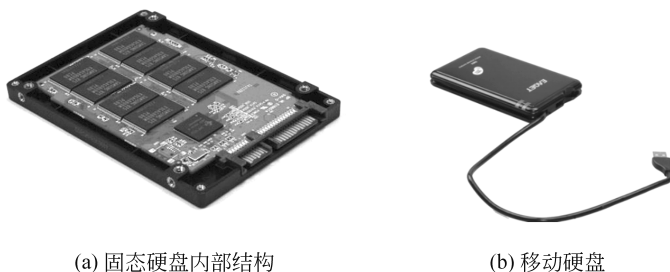


图 3-15 其他类型硬盘

光盘,通常是铝制的圆形扁平盘,直径在 7.6~30cm,厚度约 1.2mm。光盘采用光信息作为存储介质,利用激光技术来存储和读取数据。其基本原理是光盘上有凹凸不平的小坑,根据光照射到上面有不同的反射,转化为 0、1 的数字信号,如图 3-16 所示。



图 3-16 光盘工作原理示意图以及光盘成品

依据光盘的可读写性,光盘分成两类:一类是只读型光盘,如 CD-ROM、DVD-ROM、BD-ROM(Blu-ray Disc Read-Only Memory)等;另一类是可记录型光盘,如 CD-R、CD-RW、DVD-R、DVD-RW、DVD-RAM、DVD-RDL 等,R 的含义是写一次,读多次,而 RW 是多次读写的含义,DL 代表双层。

光盘的结构包括基板、记录层、反射层、保护层、印刷层等。其中记录层的材质不同,决定了光盘的类型。基板是光盘的外壳,也是其他层的载体,采用聚碳酸酯(PC)材料,具有冲击韧性极好、使用温度范围大、尺寸稳定性好、耐候性、无毒性等特点。

记录层是刻录信号的地方,其原理是在基板上涂抹上专用的有机染料,以供激光记录信息。市场上存在三大类有机染料:花菁(cyanine)、酞菁(phthalocyanine)及偶氮(AZO)。一次性记录的 CD-R 光盘主要采用酞菁有机染料,当对光盘进行烧录时,激光就会对在基板上涂的有机染料直接烧录成一个接一个的“坑”,这样有“坑”和没有“坑”的状态就形成了 0 和 1 的信号,这一个接一个的“坑”是不能恢复的,也就意味着此光盘不能重复擦写。这一连串的 0、1 信息,就组成了二进制代码,从而表示特定的数据。对于可重复擦写的 CD-RW 而言,所涂抹的就不是有机染料,而是某种碳性物质,例如,CD-RW 采用银、铜、镉与碲的合金。当激光烧录信息时,不是烧成一个接一个的“坑”,而是改变碳性物质的极性,通过改变碳性物质的极性,来形成特定的 0、1 代码序列。碳性物质的极性是可以重复改变的,这也就表示此光盘可以重复擦写。反射层材料是反射光驱激光光束的区域,借反射的激光光束读取光盘片中的资料。不同光盘的反射层采用不同的材料。例如,CD-ROM 采用铝,CD-R 反射层用金替换了铝。保护层用来保护光盘中的反射层及记录层防止信号被破坏。材料采用光固化丙烯酸类物质,DVD+/-R 系列还需在以上的工艺上加入胶合部分。印刷层是印刷盘片的客户标识、容量等相关信息的地方,就是光盘的背面。它不仅可以标明信息,还可以起到一定的保护光盘的作用。

光盘的一个重要技术参数是容量。一般情况下,CD 的容量只有 700MB 左右,而 DVD 单面单层可以达到 4.7GB,双面双层可达 17GB,而单层蓝光光盘更是可以达到 25GB。它们之间的容量差别,同其相关的激光光束的波长密切相关。一般而言,光盘片的记录密度受限于读出的光点大小,即光学的绕射极限(diffraction limit),其中包括激光波长 λ ,物镜的数值孔径 NA。光学系统的数值孔径是一个无量纲的数,用于衡量该系统能够收集的光的角度范围。传统光盘技术要提高记录密度,一般可使用短波长激光或提高物镜的数值孔径使光点缩小,例如,CD(波长为 780nm,NA 为 0.45),DVD(波长为 650nm,NA 为 0.6)、Blu-ray Disc 盘片(波长为 405nm,NA 为 0.85)。

U 盘,全称 USB 闪存盘,英文名 USB flash disk,是移动存储设备之一。U 盘的组成很简单,主要由外壳+机芯组成,其中,机芯是一块印制电路板,集成有闪存芯片、USB 主控芯片、晶振、贴片电阻、电容、USB 接口等;外壳按材料分类,有 ABS 塑料、竹木、金属、皮套、硅胶、PVC 等。

U 盘相对于软磁盘,不受电磁干扰的影响,也不像 CD 一样会受到表面划痕的影响,是一种可靠的用于存储、备份和传输数据的设备。它具有占用空间小,操作速度较快,容量较大,在读写时断开不会损坏硬件等特点。采用可重写的存储介质,根据所使用的存储芯片,一些 U 盘拥有高达 100 000 次的写入/擦除周期,在正常情况下使用年限为 10~100 年。常见的 U 盘容量有 2GB、4GB、8GB、16GB、32GB、64GB,除此之外还有 128GB、256GB、512GB、1TB 的 U 盘等。

U 盘与计算机主机交换数据使用 USB 接口,即通用串行总线(universal serial bus,USB)。USB 接口标准 v1.0 版本自 1996 年 2 月发布后,陆续发布了 USB 1.1、USB 2.0、USB 3.0、USB 3.1、USB 3.2、USB 4 版本。

谁是 U 盘的发明者,还有一段插曲。自 1998—2000 年,有很多公司声称自己第一个发明了 USB 闪存盘,包括我国朗科科技、以色列 M-Systems、新加坡 Trek 公司。但是真正获得 U 盘基础性发明专利的却是我国朗科科技公司。2002 年 7 月,朗科科技“用于数据处理

系统的快闪电子式外存储方法及其装置”(专利号: ZL 99 1 17225.6)获得国家知识产权局正式授权。该专利填补了我国计算机存储领域 20 年来发明专利的空白。该专利权的获得引起了整个存储界的极大震动。以色列 M-Systems 立即向我国国家知识产权局提出了无效复审,一度成为全球闪存领域震惊中外的专利权之争。但是随着 2004 年 12 月 7 日,朗科科技获得美国国家专利局正式授权的闪存盘基础发明专利,美国专利号为 US6829672,最终结束了这场争夺。我国朗科科技才是 U 盘的全球第一个发明者。

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,计算机系统通常采用多级存储器体系结构,如图 3-17 所示,即采用高速缓冲存储器(高速缓存)、内部存储器和外部存储器多级结构。

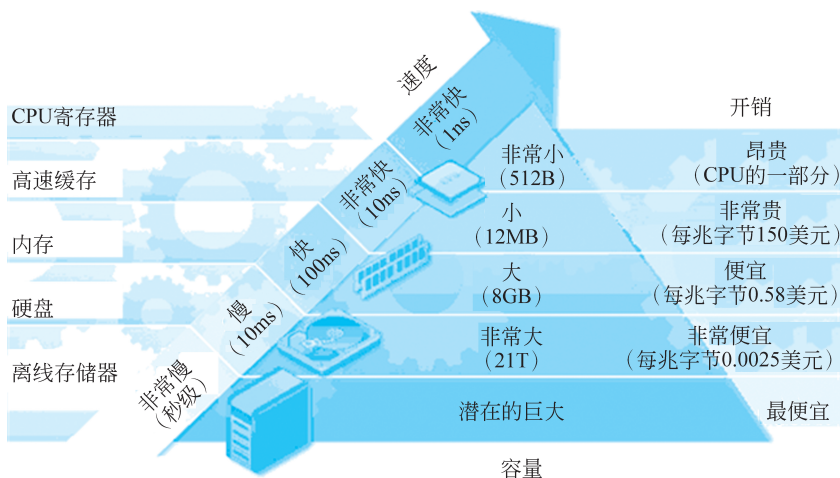


图 3-17 存储器的层次结构

图 3-17 中,硬盘和离线存储器属于外部存储器。从 CPU 访问不同存储器的速度而言,访问外部存储器的速度低于内部存储器,访问内部存储器的速度低于高速缓存和 CPU 内部的寄存器。从容量上来看,外部存储器大于内部存储器,内部存储器大于高速缓存,高速缓存大于寄存器。从开销上比较,外部存储器价格最便宜,低于内部存储器,而内部存储器低于高速缓存,CPU 寄存器的价格最贵。

3.3.4 I/O 子系统

计算机的 I/O 子系统即输入(input)输出(output)子系统,支持计算机与外界通信,并在断电的情况下存储数据。I/O 子系统包括非存储设备和外部存储设备。外部存储设备已在 3.3.3 节介绍,此节不再赘述。

计算机非存储 I/O 设备主要包括键盘、鼠标、触摸屏、显示器、打印机等。本节主要介绍最基础的 I/O 设备:键盘、鼠标和显示器的工作原理和发展史,而触摸屏和打印机的介绍见第 6 章。

1. 键盘

键盘是计算机指令和数据的输入装置,包含英文字母键、数字键以及一组特殊功能键。

键盘原型来源于英、美、法、意、瑞士等国家发明的各种形式的打字机。1868年,“打字机之父”——美国人克里斯托夫·拉森·肖尔斯(Christopher Latham Sholes)获打字机模型专利并取得经营权经营,几年后又设计出打字机的实用形式,并首次规范了键盘,即QWERTY键盘。最初键盘字母键的顺序是按照字母表的顺序安装的,但是当打字员打字速度稍快一些时,相邻两个字母的长杆和字锤就会卡在一起,从而发生“卡键”的故障。由于当时提高字母键弹回速度比较困难,设计师只能打乱字母排序,设法降低打字员速度,将使用频率高的字母反方向安置,发明了QWERTY键盘。1934年,华盛顿一个叫德沃拉克(Dvorak)的人发明了一种新的排列方法,即DVORAK键盘。这个键盘可缩短训练周期1/2时间,平均速度提高35%。其布局原则是:①尽量左右手交替击打,避免单手连击;②跨行的击键平均移动距离最小;③排在导键位置应是最常用的字母。尽管如此,由于习惯的原因,QWERTY键盘仍然是当今最通用的键盘布局方式,这是一个典型的“劣势产品战胜优势产品”的例子。

键盘按照应用类型可以分为台式机键盘、笔记本电脑键盘、工控机键盘、速录机键盘、双控键盘、超薄键盘、手机键盘等类型。按工作原理划分有机械键盘、塑料薄膜式键盘、导电橡胶式键盘、无接点静电电容式键盘等。塑料薄膜式键盘是目前占有市场份额最多的键盘。按外形划分有:标准键盘和人体工程学键盘。**人体工程学键盘**是在标准键盘上将指法规定的左手键区和右手键区这两大板块左右分开,并形成一定角度,使操作者不必有意识地夹紧双臂,保持一种比较自然的形态,这样设计的键盘被微软公司命名为微软自然键盘(Microsoft Natural Keyboard),对于习惯盲打的用户可以有效地减少左右手键区的误击率,如字母G和H。有的人体工程学键盘还有意加大常用键的面积,如空格键和回车键,在键盘的下部增加护手托板,给悬空手腕以支持点,减少由于手腕长期悬空导致的疲劳。

根据键盘的按键数,全尺寸键盘可分为101键、104键两种,这些按键包括功能键、标准打字键、数字键以及控制键。目前,也出现了一些不含数字键的87按键型键盘,虽然缩小了键盘的体积,但是在大规模输入数字时则稍显不便。通过对键盘上不同的按键及按键组合,可以实现对计算机的控制。几种常见的控制按键为Enter(回车键)、Ctrl(控制键)、Alt(交替换档键)、Esc(退出键)、Tab(制表键)、Shift(换挡键)和Caps Lock(大写字母锁定键)等。

2. 鼠标

为了方便地操作计算机,1964年加州大学伯克利分校博士道格拉斯·恩格尔巴特(Douglas Engelbart)发明了鼠标,其专利名为“显示系统X-Y位置指示器”,如图3-18所示。道格拉斯博士的鼠标由一个小木头盒子、两个滚轮、一个按钮构成。其工作原理是由滚轮带

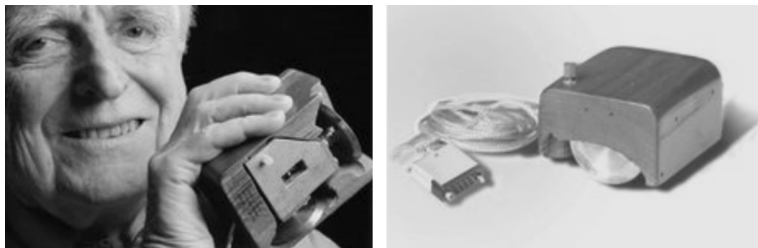


图 3-18 道格拉斯·恩格尔巴特和他发明的鼠标

动轴旋转,并使变阻器改变阻值,阻值的变化就产生了位移信号,经计算机处理后屏幕上指示位置的光标就可以移动了。

鼠标的发展,经历了道格拉斯博士的原始鼠标、机械鼠标、光机鼠标、光电鼠标到光学鼠标。机械鼠标主要由滚球、辊柱和光栅信号传感器组成,如图 3-19 所示。拖动鼠标时,带动滚球转动,滚球又带动辊柱转动,装在辊柱端部的光栅信号传感器产生的光电脉冲信号反映出鼠标在垂直和水平方向的位移变化。

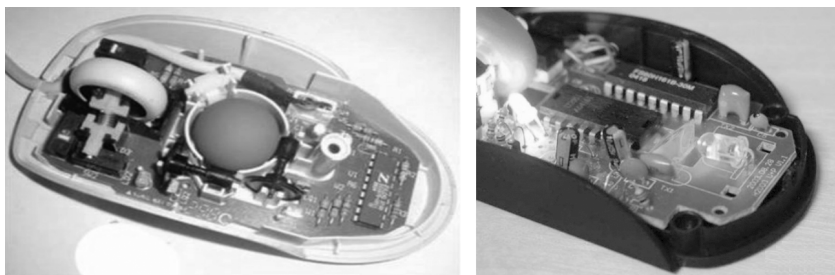


图 3-19 机械鼠标(左)与光机鼠标(右)

为了克服纯机械式鼠标精度不高、机械结构容易磨损的弊端,罗技公司在 1983 年成功设计出第一款光学机械式鼠标,简称为“光机鼠标”。光机鼠标是在纯机械式鼠标的基础上进行改良,通过引入光学技术来提高鼠标的定位精度。与纯机械式鼠标一样,光机鼠标同样拥有一个胶质的小滚球,并连接着 X、Y 转轴,所不同的是光机鼠标不再有圆形的译码轮,取而代之的是两个带有栅缝的光栅码盘,并且增加了发光二极管和感光芯片。当鼠标在桌面上移动时,滚球会带动 X、Y 转轴的两只光栅码盘转动,而 X、Y 发光二极管发出的光便会照射在光栅码盘上,由于光栅码盘存在栅缝,在恰当时机二极管发射出的光便可透过栅缝直接照射在两颗感光芯片组成的检测头上。如果接收到光信号,感光芯片便会产生 1 信号;如果没有接收到光信号,则将之定为 0 信号。接下来,这些信号被送入专门的控制芯片内运算生成对应的坐标偏移量,确定光标在屏幕上的位置。

光电鼠标与光机鼠标发展于同一时代,光电鼠标是完全没有机械结构的数字化鼠标,没有传统的滚球、转轴等设计,其主要部件为两个发光二极管、感光芯片、控制芯片和一个带有网格的反射板(相当于专用的鼠标垫)。这种光电鼠标工作时必须在反射板上移动,X 发光二极管和 Y 发光二极管会分别发射出光线照射在反射板上,接着光线会被反射板反射回去,经过镜头组件传递后照射在感光芯片上。感光芯片将光信号转变为对应的数字信号后将之送到定位芯片中专门处理,进而产生 X-Y 坐标偏移数据。

设计这种光电鼠标的初衷是将鼠标的精度提高到一个全新的水平,使之可充分满足专业应用的需求。光电鼠标在定位精度上的确有所进步,但它存在依赖反射板、使用不人性化、造价高昂等缺陷,因而并未得到流行,只是在少数专业作图场合中得到一定程度的应用,且随着光机鼠标的全面流行,光电鼠标很快就被市场所淘汰。

虽然光电鼠标惨遭失败,但全数字的工作方式、无机械结构以及高精度的优点让业界继续在此方向探索。最先在这个领域取得成果的是微软公司和安捷伦科技。1999 年,微软公司推出一款名为 IntelliMouse Explorer 的鼠标,采用微软公司与安捷伦科技合作开发的 IntelliEye 光学引擎,由于它更多借助光学技术,被外界称为“光学鼠标”。2000 年,罗技公