

微机基础

本章重点内容

- ◇ 微机的发展历程
- ◇ 微机的基本结构
- ◇ 微机的基本概念和重要术语
- ◇ 微机中数的表示和编码

本章学习目标

通过本章的学习,了解微机的历史发展进程,掌握微机的基本组成结构和工作过程,明确微处理器、微机系统等概念的内涵,熟悉二进制、十六进制数的运算规则及不同进制的数据之间的相互转换,掌握带符号整数的补码表示方法,熟悉 BCD 码和 ASCII 码。

1.1 微型计算机发展概述

随着人类科学发展过程中对计算速度和计算精度的要求不断提高,计算机作为一种计算工具出现了。按计算机处理信息形式的不同,有模拟计算机和数字计算机之分。模拟计算机是处理模拟信号的计算机,模拟信号是指用连续变化的物理量(如电流、电压等)来模拟实际物理量,如梁的应力变化、刀具的运行轨迹等。模拟计算机 19 世纪初就在工业生产控制中有所应用,模拟计算机中所有的处理过程均通过模拟电路来实现,电路结构复杂,抗外界干扰能力差。随着数字计算机的发展,作为计算工具和通用仿真设备的模拟计算机被数字计算机所取代。但是,作为专用仿真设备、教学与训练工具,模拟计算机还将继续发挥作用。数字计算机是指对离散的数字信号进行算术和逻辑运算处理的计算机。数字计算机以数字电路为基础,信息采用二进制代码 0 和 1 表示。数字计算机与模拟计算机相比,具有许多突出的特点,如运算速度快,精度高,信息便于表示、处理、存储及传输等。数字计算机通用性强,可以适应各种应用领域。因此,自从 1946 年第一台电子数字式计算机(electronic number integrated arithmetic computer, ENIAC)问世以来,计算机技术不断发展,性能越来越高,计算机的应用也从科学计算发展到人类社会生活的方方面面。

电子数字计算机的诞生和发展是 20 世纪最重要的科技成果之一。进入 20 世纪 70 年代以后,随着微电子学科在理论上和制造工艺技术上的发展和成熟,相继出现了大规模集成电路(large scale integrated circuit, LSIC)和超大规模集成电路(very large scale integrated circuit, VLSIC)技术,以此为基础,计算机的运算器和控制器能够集成在一块芯片上,微型

计算机开始登上历史舞台,并且从技术到应用迅猛发展,成为计算机发展的一个主流方向。当前,以微型计算机为代表的计算机已日益普及,其应用已深入到人类社会生活的各个方面,极大地改变着人们的工作、学习和生活方式,成为信息时代的主要标志。本书后续介绍的内容都是针对电子数字式计算机而言的。

1.1.1 电子数字式计算机的发展历程

计算机系统由硬件和软件两大部分组成。所谓计算机硬件是指构成计算机的物理设备的总称,包括电子的、电磁的、机电的、光学的元器件和装置。计算机软件则是指在硬件上运行的程序、相关数据及文档资料的总称。

按照构成电子数字式计算机的主要元器件的制作材料和制作工艺水平来划分,计算机的发展经历了“四代”。这四个发展阶段以硬件进步为主要标志,同时也包括了软件技术的发展。

第一代(1946—1958年)——采用真空电子管为逻辑电路部件,以超声波汞延迟线、阴极射线管、磁芯和磁鼓等为存储手段;软件采用机器语言,后期采用汇编语言。

第二代(1958—1964年)——采用晶体管为逻辑电路部件,用磁芯、磁盘作内存和外存;软件广泛采用高级语言,并出现了早期的操作系统。

第三代(1964—1971年)——采用中小规模集成电路为主要功能部件,以磁芯、半导体存储器和磁盘为内、外存储器;软件广泛使用操作系统,产生了分时、实时等操作系统和计算机网络。

第四代(1971年至今)——采用大规模、超大规模集成电路为主要部件,以半导体存储器和磁盘为内、外存储器;在软件方法上产生了结构化程序设计和面向对象程序设计的思想,并得到广泛应用。本书将要介绍的微处理器(microprocessor, μP)和微型计算机(microcomputer, MC)在这一阶段诞生并获得飞速发展。此外,网络操作系统、数据库管理系统得到广泛应用,并进一步产生了图形界面操作系统和可视化编程工具。

电子数字式计算机经过70多年的发展,出现了规模多样、性能完善、功能强大的计算机。1989年,电气与电子工程师协会(IEEE)提出了一个计算机的分类报告,其中按照规模和功能,把计算机分为巨型机、小巨型机、大型机、小型机、工作站和个人计算机六类。

(1) 巨型机又称超级计算机,它采用大规模并行处理的体系结构,运算速度快、存储容量大,有极强的运算处理能力。它是所有计算机类型中价格最高、功能最强、速度最快的一类计算机,其浮点运算速度已达每秒 10^8 亿次。目前,巨型机主要用于战略武器的设计、空间技术、石油勘探、航空航天、长期天气预报以及社会模拟等领域。

(2) 小巨型机是20世纪80年代出现的新机种,也称桌上超级计算机,其运算速度略低于巨型机(超过每秒几十亿次),在技术上采用高性能的微处理器组成并行多处理器系统,使巨型机小型化,主要用于计算量大、速度要求高的科研机构。

(3) 大型机,国外习惯上称之为主机,相当于国内常说的大型机和中型机。近年来大型机采用了多处理、并行处理等技术,它具有很强的管理和处理数据的能力,一般在大企业、银行、高校和科研院所等单位使用。

(4) 小型计算机规模较小,结构简单,操作简便,维护容易,成本较低。小型机用途广

泛,既可用于科学计算、数据处理,也可用于生产过程自动控制和数据采集及分析处理等,适合于中小型企业事业单位使用。

(5) 工作站是介于微型计算机和小型计算机之间的一种高档微型机。它通常配有高档 CPU、高分辨率的大屏幕显示器和大容量的内外存储器,具有高速运算能力、较强的数据处理能力和高性能的图形功能,具有大型机或小型机的多任务、多用户能力,且兼有微型机操作便利的特点和良好的人机界面,主要用于数据运算、图像处理、计算机辅助设计等领域。

(6) 个人计算机即平常所说的微型计算机,也称 PC。个人计算机又分为台式机和便携机(也称为笔记本电脑)。个人计算机软件丰富,价格便宜,功能齐全,主要用于办公场所、联网终端、家庭等。

1.1.2 微型计算机的发展历程

在计算机的发展历史上,如果说 1946 年诞生的世界上第一台电子数字式计算机(electronic numerical integrator and computer, ENIAC)是计算机学科发展的第一次革命,那么微型计算机(以下简称微机)的诞生就是计算机学科发展的第二次革命。微机的出现,使计算机的应用从高深奥妙的科技领域普及到人类社会生活的各个方面,开辟了计算机普及应用的新纪元。

微机是第四代计算机的主要代表,它是以大规模、超大规模集成电路为主要部件,以微处理器为核心构造出的计算机系统。微型计算机的发展主要表现在其核心部件——微处理器的发展上,每出现一款新型的微处理器,就会带动微机系统的其他部件相应发展,如微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。

根据微处理器的字长及微型计算机的性能,可将微型计算机的发展划分为以下五个阶段:以 4 位或低档 8 位微处理器为主的第一代微型机(4 位机);以 8 位微处理器为主的第二代微型机(8 位机);以 16 位微处理器为主的第三代微型机(16 位机);以 32 位微处理器为主的第四代微型机(32 位机);以 64 位或更高位微处理器为主的第五代微型机(64 位及以上的微型机)。下面简要介绍微型计算机的发展历史。

第一代(1971—1973 年)——主要产品是 4 位和低档 8 位微机。1971 年,世界上第一台微型计算机随着第一个微处理器芯片 4004 的出现而诞生。该芯片字长 4 位,集成了约 2300 个晶体管,每秒可进行 6 万次运算。以它为核心组成的 MCS-4 计算机是世界上第一台微型计算机。1972 年 Intel(英特尔)公司研制出 8 位微处理器芯片 8008,并出现了由它组成的 MCS-8 微型计算机。8008 采用 PMOS 工艺,字长 8 位,基本指令 48 条,基本指令周期为 $20\sim 50\mu\text{s}$,时钟频率为 500kHz,晶体管集成度约 3000 个/片,用于简单的控制场合。

第二代(1973—1977 年)——主要产品为中、高档 8 位微机。其典型产品有 Intel 公司的 8080/8085、Motorola(摩托罗拉)公司的 MC6800、Zilog(齐洛格)公司的 Z80 等。它们的特点是采用 NMOS 工艺,字长 8 位,集成度提高约 4 倍,运算速度提高 $10\sim 15$ 倍。以 8080 为例,其基本指令 70 多条,指令周期 $2\sim 10\mu\text{s}$,时钟频率高于 1MHz,晶体管集成度约 6000 个/片。这一时期的指令系统比较完善,具有典型的计算机体系结构和中断、DMA 等控制

功能。软件方面除了汇编语言外,还有 BASIC、FORTRAN 等高级语言和相应的解释程序及编译程序,在后期还出现了操作系统。

第三代(1978—1984 年)——16 位微处理器时代,其典型产品是 Intel 公司的 8086/8088/80286、Motorola 公司的 MC68000、Zilog 公司的 Z8000 等。此外,一些成功的小型机也进行了“微型化”改造,如 DEC 公司的 LSI-11 系列就是将著名的小型机 PDP-11 进行微型化改造的结果。其特点是采用 HMOS 工艺,集成度和运算速度都比第二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。这一时期的著名微机产品有 IBM 公司的个人计算机。1981 年 IBM 公司推出的个人计算机采用 8088CPU。紧接着于 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。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。IBM 公司在发展个人计算机时采用了技术开放的策略,使个人计算机风靡世界。

第四代(1985—1999 年)——32 位微处理器时代。1985 年,Intel 公司首次推出 32 位微处理器芯片 80386,其集成度达到 27.5 万晶体管/片,每秒钟可完成 500 万条指令。80386 在结构上有重大进步,在 Intel 的产品内核序列中它处于 P3 级。随后,Intel 公司先后发布了 P4 级的 80486,属于 P5 级的 Pentium(奔腾)和 MMX Pentium(多能奔腾),属于 P6 级的 Pentium Pro(高能奔腾)、Pentium II Celeron(赛扬)/Xeon(至强)和 Pentium III/Celeron II/Xeon,属于 P7 级的 Pentium 4。每个级别的内核结构较前都有重大进步。以 1989 年推出的 80486 芯片为例,其内部除 CPU 外,还集成了浮点运算协处理器 FPU(相当于 80387)、8KB 高速缓存(cache)及存储管理单元(MMU),并在指令译码单元和高速缓存之间采用 128 位总线,在浮点处理单元(FPU)和高速缓存之间采用两条 32 位的总线,提高了指令和浮点数据的传送速度。32 位微处理器都采用 IA-32(Intel architecture-32)指令架构,并逐步增加了面向多媒体数据处理和网络应用的扩展指令,如 Intel 的 MMX、SSE 指令集和 AMD 的 3Dnow! Plus 指令集。人们将自 8086 CPU 以来一直延续的这种指令体系通称为 x86 指令体系。这一时期比较出名的微机产品还有 1987 年由 IBM 公司推出的 PS/2(CPU 为 80386),它首次采用 3.5 英寸软盘、VGA 视频标准及微通道结构(micro-channel architecture,MCA)总线,并提供即插即用(plug and play,PnP)功能。由于 IBM PS/2 在技术路线上又退回到了封闭模式,所以未能得到推广。

第五代(2000—2005 年)——随着因特网和电子商务的发展,人们对服务器的性能提出更高的要求,32 位的微处理器已不能适应这一要求。包括 Intel、AMD、IBM、Sun 在内的一批厂商陆续设计并推出 64 位微处理器,如 2000 年 Intel 推出的微处理器 Itanium(安腾),它采用由 Intel 和 HP 公司联合定义的全新指令架构“显式并行指令计算”(explicitly parallel instruction computing,EPIC),该指令架构又被称为 IA-64,以区别于原来的 IA-32 架构。64 位微处理器推出时主要面向服务器和 workstation 等高端应用,之后随着应用程序越来越丰富,很快进入台式机应用。

第六代(2005 年至今)——多核处理器时代。单核处理器在主频接近 4GHz 时,仅靠提高单核芯片的速度会产生过多热量,已经无法明显提升系统的整体性能。2005 年,Intel 公司和 AMD 公司先后推出了双核处理器。2005 年 4 月,Intel 的第一款双核处理器平台包括采用 Intel 955X 高速芯片组、主频为 3.2 GHz 的 Intel 奔腾处理器至尊版 840,此款产品的

问世标志着一个新时代的来临。AMD 在之后也发布了双核皓龙 (Opteron) 和速龙 (Athlon) 64 X2 处理器。但真正的“双核元年”则被认为是 2006 年 7 月 23 日, Intel 发布了具有革命性意义的全新一代酷睿 (Core) 双核处理器。双核和多核处理器设计用于在一个处理器中集成两个或多个完整执行内核, 以支持同时管理多项活动。当前主流的 CPU 多采用多核、多线程, 通过采用新的架构、增加更多内核、采用更新的工艺、提升单线程性能等不断提高 CPU 的性能。

在讨论和展望微型计算机的发展历程时, 我们可以借用著名的“摩尔定律”, 即集成电路芯片的集成度每 18~24 个月就会翻一番。以集成电路为基础的微型计算机, 近 40 年的发展历程也不断印证了摩尔定律, 即每隔一年半到两年, 微型计算机发展就会有一次更新换代。从单核到双核, 再到多核的发展, 证明了摩尔定律还是非常正确的, 因为“从单核到双核, 再到多核的发展, 可能是摩尔定律问世以来在芯片发展历史上速度最快的性能提升过程”。表 1-1 所列为各代微处理器和微型计算机的主要技术指标。

表 1-1 各代微处理器和微型计算机的比较

代别	年份	典型产品	工艺 (线宽)	集成度/ (管数/片)	时钟频率	字长
第一代	1971—1973	Intel 4004, 4040, 8008	PMOS (10 μ m)	0.2 万	1MHz	4/8 位
第二代	1973—1977	Intel 8080, MC6800 Intel 8085, Z80	NMOS (6 μ m)	0.3 万~1 万	2~4MHz	8 位
第三代	1978—1984	Intel 8086/8088, Z8000, MC68000 Intel 80286	HMOS (3 μ m)	2 万~6 万 13.5 万	4~10MHz	16 位
第四代	1985—1999	Intel 80386, 80486, MC68020, 68030, 68040 Z80000	CHMOS (1.2 μ m)	32 万~120 万	16~66MHz	32 位
第五代	2000—2004	Pentium, Power PC, P6 Alpha 21164, Pentium 4	CMOS (0.6~ 0.18 μ m)	310 万~930 万 4200 万	66~133MHz 1.4~3.2GHz	32 位
	2000—2004	Itanium(安腾)	CMOS 0.18 μ m	2.14 亿	733MHz~ 2.53GHz	64 位
第六代	2005 年至今	酷睿 i3/i5/i7	CMOS 14nm	数十亿	2.6~3.9GHz	64 位

1.1.3 微型计算机的应用领域

微型计算机具有体积小、价格低、工作可靠、使用方便、通用性强等特点, 其应用领域非常广泛, 可划分为两个主要方向。

1. 数值计算、数据处理及信息管理方向

这一应用方向包括科学和工程计算、图形图像处理、文字图表处理、计算机辅助设计、计

计算机辅助教育、网络及数据库管理、电子商务和电子政务、远程服务和家庭娱乐等。从事这类工作的一般是通用微机,其主要应用形式有服务器(server)、工作站(workstation)、个人台式机和个人便携机等。从应用角度来看,要求这类微机有较快的工作速度、较高的运算精度、较大的内存容量和较完备的输入/输出设备。此外,还要能为用户提供方便友好的操作界面和简便快捷的维护扩充手段。

其中,服务器主要用于网络和数据库管理,并为网络用户提供共享的软硬件资源。工作站主要用于图形、图像、音视频处理和计算机辅助设计。而个人 PC 则主要面向个人单机使用或联网使用,因其社会拥有量最大、使用最为普及,因而是这类微机最典型的代表。

2. 过程控制及嵌入应用方向

应用于这一方向的主要是一些专用微机和专用系统,如工业 PC、STD 总线工控机、PC/104 总线工控机、可编程逻辑控制器(programmable logical controller, PLC)以及由通用微处理芯片、微控制器(国内多称为“单片机”)、数字信号处理器(digital signal processor, DSP)等构成的各种宿主应用系统。在软件方面,各种组态软件和嵌入式操作系统都可以以模块裁剪拼接的方式提供开发上的便利。

对控制类微机,重点要求其能抵御各种干扰、适应应用现场的恶劣环境,可以长时间稳定地工作;同时,也要求其实时性好,对各种随机事件的响应处理速度快。此外,对嵌入式应用强调其体积要小,对便携式应用则强调其省电。

1.2 微型计算机的基本结构和工作过程

1.2.1 微型计算机的基本结构

1946 年,美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(John Von Neumann)提出了存储程序计算机的设计思想,奠定了现代计算机的结构基础。半个多世纪以来,随着计算机技术的不断发展以及应用领域的不断扩大,计算机体系结构发生了非常大的变化,如巨型机、大型机和微型计算机,它们的规模不同,性能差距很大,但从本质上讲,存储程序仍是这些计算机的结构基础,因此将其统称为冯·诺依曼型计算机。

冯·诺依曼型计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 个基本部分组成,现在的微型计算机就采用这种结构,如图 1-1 所示。

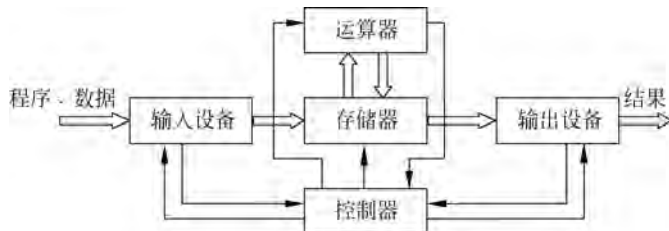


图 1-1 微型计算机的基本结构

1. 运算器

运算器由算术逻辑单元(arithmetic logical unit, ALU)、累加器、状态寄存器、通用寄存器组等组成。核心部件 ALU 的功能是实现数据的算术运算和逻辑运算,包括加、减、乘、除等算术运算,与、或、非、异或等逻辑操作,以及移位、求补等操作。累加器是专门存放算术或逻辑运算的一个操作数和运算结果的寄存器。状态寄存器用来保存指令执行的状态信息和控制信息。通用寄存器组一般用来保存程序的中间结果,为随后的指令快速提供操作数,从而避免把中间结果存入内存、再读取内存的操作。

2. 控制器

控制器是整个计算机系统的指挥中心,其基本功能如下:

(1) 指令控制。计算机的工作过程就是连续执行指令的过程。一般情况下,按照顺序一条条地取出指令并执行,只有在碰到转移类指令时才会改变顺序。控制器应根据指令所在的地址按顺序或在遇到转移指令时按照转移地址取出指令,分析指令(指令译码),传送必要的操作数,并在指令执行结束后存放运算结果。总之,要保证计算机中的指令流的正常工作。

(2) 时序控制。指令的执行是在时钟信号的严格控制下进行的,一条指令的执行时间称为指令周期,不同指令的指令周期中所包含的时钟节拍数是不同的。时序信号用于计算机的工作基准,使系统按一定的时序关系进行工作。

(3) 操作控制。操作控制是根据指令流程,确定在指令周期的各个节拍中要产生的微操作控制信号,以有效地完成各条指令的操作过程。

通常将运算器和控制器合称中央处理器(control processing unit, CPU)或微处理器,是构成计算机最核心的部件。

3. 存储器

存储器是用来存储程序和数据部件。根据存储器和 CPU 的关系,存储器分为主存储器(内存)和辅助存储器(外存)两大部分。主存储器是 CPU 可以直接从中读出或写入数据的存储器,用来存放当前正在使用或经常使用的程序和数据,它的容量较小,但存储速度快,通常由半导体存储器组成。辅助存储器不能被 CPU 直接访问(读出或写入),用来存放相对来说不经常使用的程序和数据,在需要时调入内存使用。它的容量大,但存储速度慢,常用的有硬盘、光盘、Flash 存储器等。

4. 输入设备

输入设备是指向计算机输入数据和信息的设备,它是计算机与用户或其他设备之间进行信息交换的桥梁。键盘、鼠标是最常用的输入设备,其他输入设备有扫描仪、数码相机、摄影机、麦克风、光笔(lightpen)等。

5. 输出设备

输出设备把各种计算结果或信息以数字、字符、图像、声音等形式表示出来,常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

通常将输入设备和输出设备统称为外围设备(peripheral),又称 I/O 设备。

图 1-1 表明,程序和数据通过输入设备送入存储器中;程序启动执行时,在控制器的控制下从相应的存储单元取出指令并被译码执行,控制器输出对应操作的各种控制信号。运算后的结果可送回存储器中,或送到输出设备显示或打印。5 个基本组成部分分工明确、协调配合,自动完成程序的所有指令直至结束。

1.2.2 微型计算机的工作过程

应用微机处理实际任务时,一般包括以下 3 个步骤。

(1) 编制程序:当人们用计算机完成某项工作时,比如解算一道数学题,首先要把解算方法表达成计算机能识别并能执行的基本操作命令。这些基本操作命令按一定顺序排列起来,就组成了程序。因此,程序是实现既定任务的指令序列,其中的每条指令都规定了计算机执行的一种基本操作。计算机按程序安排的顺序执行指令,便可完成解算任务。

(2) 存储程序:就是把已编制好的程序和数据送入存储器中保存起来。

(3) 启动执行程序:执行一条指令可分为①取出指令;②分析指令;③执行指令;④为执行下一条指令做好准备,即让指令指针寄存器指向下一条指令的地址。CPU 从程序第一条指令的存储地址开始,按指令顺序周而复始进行取出指令、分析指令、执行指令的操作,直至完成全部指令操作。

由此可见,冯·诺依曼型计算机的基本工作原理可概括为“存储程序”和“程序控制”,其基本结构和工作过程可以简要地概括为以下三点:

(1) 计算机应包括运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 大基本部件;

(2) 计算机内部采用二进制来表示指令和数据;

(3) 编好的程序首先送入内存中,然后启动计算机工作,计算机自动逐条取出指令和分析执行指令。

1.3 微机的基本概念和术语

1.3.1 微机的一些基本概念

1. 微处理器

采用大规模和超大规模集成电路技术将运算器和控制器集成在一块芯片上,构成微型计算机的中央处理单元(CPU)。其功能是执行算术、逻辑运算和控制整个计算机自动、协调地完成操作。

2. 微型计算机

以 CPU 为核心,配上存储器(RAM、ROM)、I/O 接口和相应外设,并通过系统板上的总线有机连接构成的微型化的计算机装置即为微型计算机。

有的厂家把 CPU、存储器和 I/O 接口电路集成在单块芯片上,使之具有完整的计算机功能,这种计算机称为单片微型计算机,即单片机。它具有超小型化、高可靠性和价廉等优点,在智能仪器仪表、工业实时控制设备、智能终端和家用电器等众多领域有广泛的用途。目前国内较流行的单片机有 MCS-51 系列、96 系列和 AVR 系列、STM32 系列、MSP430 系列、PIC 系列等。

还有一种微型计算机,是将 CPU、存储器、I/O 接口以及简单的输入设备如键盘、输出设备如 LED 显示器集成于一块印制电路板上,这种微型计算机称为单板机。

3. 微型计算机系统

微型计算机系统由硬件和软件两大部分组成。即微型计算机硬件必须辅以软件,包括系统软件、程序设计语言、应用软件等,才能构成实用的微型计算机系统(micro computer system, MCS)。

1.3.2 微机中一些重要术语

位(bit): 是计算机所能表示的最小数据单位,用一个二值电路的状态来表示,只有“0”和“1”两种状态。

字节(byte): 按顺序排列的 8 个二进制位称为一个字节。字节是计算机处理数据的基本单位,即以字节为单位存储和解释信息。8 个二进制位按从左到右的顺序可依次表示为 $D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0$, 其中 D_7 是字节最高位, D_0 是字节最低位。有时将高 4 位 $D_7 D_6 D_5 D_4$ 叫作高半字节,低 4 位 $D_3 D_2 D_1 D_0$ 叫作低半字节。字节表示示意图如图 1-2 所示。

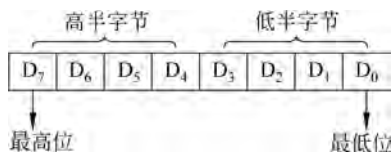


图 1-2 字节表示示意图

字(word): 计算机处理数据时,CPU 通过数据总线一次存取、加工和传送的一组二进制位表示的数。一个字通常由一个字节或若干字节组成。如 8 位机的一个字就是一个字节,16 位机的一个字由 2 个字节组成,32 位机的一个字由 4 个字节组成,64 位机的一个字由 8 个字节组成。注意:在表示数据时,由于计算机表示数的逐步发展过程,习惯上称 16 位二进制数为一个字,32 位二进制数为双字。

字长: 指字的二进制位的个数。8 位微处理器的字长为 8,16 位微处理器的字长为 16,32 位微处理器的字长为 32,64 位微处理器的字长为 64。字长是衡量计算机性能的一个重要指标。一般来讲,字长越长,计算机的精度越高、性能越好。

1.4 微机中数的表示和编码

现代微型计算机是在微电子学高速发展和计算数学日益完善的基础上形成的,可以说微型计算机是微电子学与计算数学相结合的产物。微电子学的基本电路元件及其逐步向大

规模和超大规模发展的集成电路是现代计算机的硬件基础,而计算数学的数值计算方法与数据结构是现代计算机的软件基础。

数据是计算机处理的对象。计算机中的“数据”是一个广义的概念,包括数值、字母、符号、文字、图形、图像、声音、视频等各种形式。而计算机内部只能采用二进制编码表示数据,因为计算机的构成以二值电路为基础。一个二值电路是指具有两种不同的稳定状态且能相互转换的电子器件,两种不同状态如二极管的导通与阻塞、三极管的饱和与截止等。计算机用器件的稳定物理状态来表示数据。因此,二值电路只能表示出两个数码,如用高电平表示二进制的 1,则低电平表示二进制的 0。二进制数码的表示和运算是最简单且最可靠的,而且有较强的逻辑性,所以计算机中采用二进制数码系统。凡是需要由计算机处理的各种信息,无论其表现形式是数值、文本、图形,还是声音、图像,都必须以二进制数码的形式来表示。

1.4.1 进位计数制

数制是人们利用符号来进行科学计数的方法。进位计数制是指用一组固定的数码和特定的规则表示数的方法。数制所使用的数码的个数称为基。数中每一位所具有的值称为权。因此,在一个数中,每个数码表示的值不仅取决于数码本身,还取决于它所处的位置。

在日常生活中,人们通常使用十进制表示数,而计算机内部采用的是二进制表示法。通常为了简化二进制数据的书写,也采用八进制和十六进制表示法。

为了区别不同进制的数据,在书写时可用后缀或下标注。一般用 B(binary)或 2 表示二进制数,O(octal)或 8 表示八进制数,H(hexadecimal)或 16 表示十六进制数,D(decimal)或 10 表示十进制数。如果省略进制字母,则默认为十进制数。

十进制、二进制、八进制和十六进制都是进位计数制且可以相互转换。

人们习惯使用的十进制数有以下特点:

(1) 用 10 个符号表示数,即用 0、1、2、…、9 共 10 个阿拉伯数字符号来表示。这些符号叫作数码,数码的个数叫作基,十进制数的基是 10。

(2) 在一个数中,每个数码表示的值不仅取决于数码本身,还取决于它所处的位置,即处于个位、十位,还是百位等,每一位有各自的权。例如 $123D = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0$ 。其中 10^2 、 10^1 和 10^0 分别对应为百位、十位和个位的权。

(3) 遵从逢十进一规则。

任何一个十进制数 N 均可表示为

$$\begin{aligned} N &= \pm (a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m}) \\ &= \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中, n 为整数位数, m 为小数位数, a_i 可以是 0~9 这 10 个数码中的任意一个。

式(1-1)可以推广到任意进位计数制。设进位计数制的基用 R 表示,则任意数 N 为

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i \quad (1-2)$$

对于二进制, $R = 2$, a_i 为 0 或 1,逢二进一。