

Jisuanji
Zucheng yu jiegou



高等学校“十五”规划教材

计算机组成与结构

范爱华 主编

中国矿业大学出版社

高等学校“十五”规划教材

计算机组成与结构

主 编 范爱华
副主编 孔庆臣 高殿武 卢文生
主 审 谢子殿

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

全书共分八章。主要内容有三部分:计算机基础知识,各子系统的组成、工作原理、设计方法及相互关系等。

本书可作为高等院校计算机专业教材,也可供从事计算机专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与结构/范爱华主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2003.2

高校“十五”规划教材

ISBN 7-81070-634-9

I. 计... II. 范... III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 003147 号

书 名 计算机组成与结构

主 编 范爱华

责任编辑 陈贵仁 高 专

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编: 221008)

印 刷 北京京科印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 17.125 字数 316 千字

版次印次 2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1~2000 册

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

根据“煤炭高等教育学会教材工作会议”精神,结合高等教育面向新世纪的发展变化趋向,按照《高等学校(矿业)“十五”规划教材》的安排,我们承担了《计算机组成与结构》的编写工作。

计算机组成与结构是计算机专业基础课。计算机的结构通常定义为系统程序员(包括用汇编语言编写程序的程序员)所能见到的计算机硬件特性;计算机的组成通常是指计算机硬件的具体实现。计算机组成与结构已成为计算机专业学生学习的一门重要课程以及从事有关计算机研究和应用人员必须掌握的重要知识。

经过半个多世纪的努力,计算机硬件及其技术发展迅猛,日臻完备。然而其基本组成与结构并没有重大变化。作为计算机专业基础课,我们避开具体的机型,而是突出其基本组成与结构的讲解。通过本课程的学习,使学生掌握一定的计算机硬件基础知识,从本质上认识计算机的组成及工作原理,由此而达到举一反三、触类旁通的目的。

全书共有八章。其中第二章、第三章是基础知识部分,该部分的内容是为学习掌握计算机组成与结构的前提知识准备的;第四章概要介绍了计算机系统,旨在使读者能对计算机整体结构有个概括的了解,启发读者从整体出发,自觉地将后续各章子系统融合在一起;第五章、第六章、第七章、第八章分别详述了计算机各子系统的任务、组成、工作原理、设计方法及相互关系,是本书的重点章节。

本书的第三、第五、第六章由范爱华编写,第二章 1~4 节由卢文生编写,第二章 5~6 节、第八章由高殿武编写,第一章、第四章由孔庆臣编写,第七章由张海宁编写;全书由范爱华任主编,由孔庆臣、高殿武、卢文生任副主编,由谢子殿

主审。

本书的编写引用和借鉴了许多相近书籍的内容;全书编写过程中曾得到李广才教授的热心帮助和指导;在此一并深表谢意。

编者虽然从事多年的教学工作,并主讲该课程多年,但因水平有限,不当之处在所难免。希望同行们和广大读者批评指正。

主编 范爱华

2002 年 7 月

目 录

第一章	计算机系统概述	(1)
第一节	计算机硬件与软件	(1)
第二节	数字计算机的组成	(4)
第三节	微型计算机	(8)
第四节	计算机的主要技术指标	(10)
第五节	电子计算机的发展简史	(11)
第二章	机器数及运算方法	(19)
第一节	数据的表示方法和转换	(19)
第二节	带符号的二进制数的移位运算	(38)
第三节	定点加减法运算	(40)
第四节	定点乘法运算	(50)
第五节	定点除法运算	(65)
第六节	浮点四则运算	(73)
第三章	计算机中的逻辑部件	(80)
第一节	计算机中常用的组合逻辑电路	(80)
第二节	计算机中常用的时序逻辑电路	(90)
第四章	计算机硬件结构简介	(98)
第一节	计算机系统的多级层次结构	(98)
第二节	Von. Neumann 计算机的结构特点	(102)
第三节	计算机各子系统的基本组成	(108)
第四节	机器语言的一般特征	(115)
第五章	运算器	(128)
第一节	概述	(128)
第二节	定点运算器	(130)

第三节	浮点运算器·····	(136)
第四节	改善和增强运算器功能的几种硬件实现·····	(138)
第六章	控制器 ·····	(140)
第一节	概述·····	(140)
第二节	中断系统·····	(145)
第三节	时标系统的分析·····	(154)
第四节	组合逻辑控制部件的设计·····	(169)
第五节	微程序控制部件的设计·····	(172)
第六节	控制台及计算机的加电控制过程·····	(181)
第七章	存储系统 ·····	(184)
第一节	概述·····	(184)
第二节	半导体存储器·····	(187)
第三节	外存储器·····	(207)
第四节	多体并行交叉存储器·····	(215)
第五节	快速缓冲存储器·····	(219)
第六节	虚拟存储器·····	(224)
第八章	输入输出系统 ·····	(231)
第一节	概述·····	(231)
第二节	程序中中断输入输出方式·····	(235)
第三节	DMA 输入输出方式 ·····	(245)
第四节	通道控制方式和外围处理机方式·····	(249)
第五节	总线结构·····	(253)
第六节	外设接口·····	(261)
参考文献	·····	(267)



计算机系统概述

第一节 计算机硬件与软件

一、什么是计算机硬件和软件

硬件和软件是论述计算机时经常遇到的术语。

硬件这个术语来自英文 Hardware, 原意是指金属物品。因此, 可以说计算机硬件是指构成计算机的金属部分。广义来说, 硬件是组成计算机装置的总称。这些装置包括中央处理器、存储装置和外部设备。

软件是计算机程序及其有关文档, 也包括被版本化了的有关计算机使用方法的信息。软件分为系统软件和应用软件两大类: 系统软件包括操作系统、诊断程序、计算机语言处理程序等; 应用软件包括厂家出售的通用软件 and 用户自己编写的应用程序。由这些软件所构成的软件系统, 如图 1-1 所示。

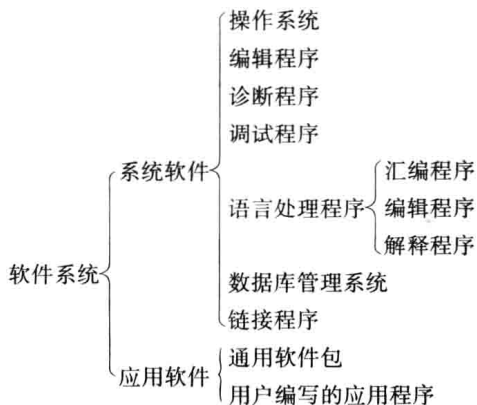


图 1-1

在计算机里,常把一批信息(或是数据,或是程序)叫做文件。文件都有自己的文件名,是人为命名的。使用某批信息,一般是根据它的文件名来索取。文件一般存储在内存、软磁盘、硬磁盘或光盘等存储器里。

因此,可以说硬件是指计算机的裸机,软件是指硬件的使用或应用方法。

二、计算机程序和语言

计算机程序是为解决给定问题,计算机所要执行的指令或语句的集合。

指令是指指挥计算机完成特定操作的命令。一台计算机所能执行的全部指令称为这台计算机的指令系统(Instruction Set)。计算机所能认识的指令是指直接指挥计算机硬件工作的命令,叫机器语言,也叫机器码,用二进制表示。

使用机器语言,编写和阅读程序都非常困难。因此,用机器语言编写的程序目前很少见。为了提高编程、读程的效率,产生了用与机器语言相对应的符号(称作助记符)来编写的程序,这种符号语言称为汇编语言。由于机器不认识汇编语言,所以必须通过叫做汇编程序的软件把它转换为机器语言。其转换过程如图 1-2 所示。

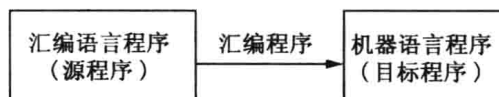


图 1-2

机器语言和汇编语言一样,同一个程序用在不同的机种计算机上就不可能认识。所以说,机器语言和汇编语言是面向机器的语言。对于这两种语言,只要改变机种,程序就必须重新编写,非常不便。因此,出现了不是针对具体机种的计算机语言——高级语言,如 BASIC 语言、ALGOL 语言、FORTRAN 语言、PASCAL 语言、COBOL 语言等。

用高级语言编写的程序,必须转换成机器语言才能执行。实现这种转换的程序是编译程序或解释程序。

编译程序又称编译系统,其功能是把用高级语言编写的源程序翻译成称为目标程序的机器语言程序。

有的语言是以汇编语言作为中间输出,多数 C 编译程序就是如此。由 C 程序变成可执行的程序的过程如图 1-3 所示。C 编译程序读 C 源程序并把它变成汇编程序;汇编程序再把汇编语言的中间输出变成机器语言,即目标程序;链接程序再把目标程序和存放在程序库里的有关信息链接装配在一起,最终产生可执行的程序。C 编译程序也有不产生汇编语言中间输出的,但从便于了解编

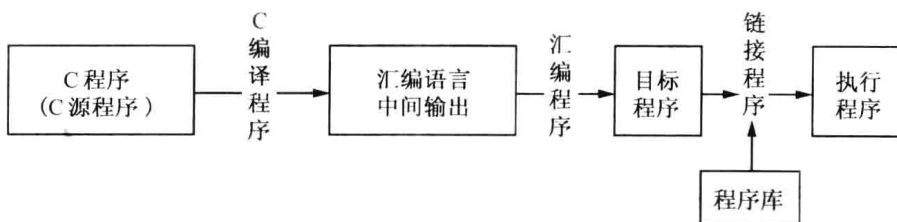


图 1-3

译程序的工作情况来看,汇编语言中间输出是必要的。

解释程序又叫解释系统,其功能是对用高级语言编写的源程序逐句分析并立即执行。它与编译程序的区别是,它不是在程序执行前把整个程序先翻译成机器语言形式的目标程序,而是按语句的动态顺序逐句进行分析翻译,读一句,解释一句。如 BASIC 语言程序就可采用解释方式执行。

三、操作系统

人们通常把计算机的硬件称为硬资源,而把计算机的软件称为软资源,统称为计算机资源。计算机资源又分为四大类,即处理机(中央处理器)、存储器、外部设备和信息(程序和数据)。所谓操作系统就是管理这四类资源的一组程序,以便使计算机资源更有效地发挥作用。

四、计算机系统层次结构

由计算机硬件和软件系统所组成的计算机系统,可用层次结构来表示,如图 1-4 所示。

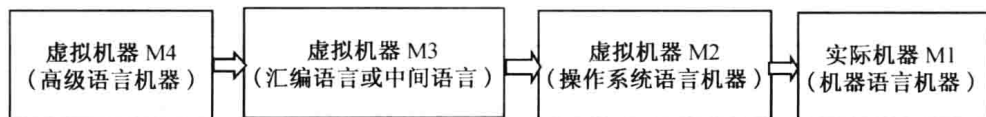


图 1-4

从计算机系统层次结构来看,应明确三点:

- (1) 指令系统是裸机与软件的接口。
- (2) 计算机与其他电子设备不同,一般电器接上电源即可工作,而计算机如果没有软件支持,只有裸机,尽管接上电源,也不能工作。
- (3) 操作系统是用户与计算机硬件的接口,是用户的工作平台。

第二节 数字计算机的组成

我们现在所使用的计算机主要是数字计算机,但计算机并非仅是数字计算机。计算机可分为数字计算机(Digital Computer)与模拟计算机(Analog Computer)两大类。

一、数字计算机和模拟计算机

一般说来,表示数和量有两种方式:一是用数值来表示的数字方式,称为计数型;二是用连续的物理量来表示的模拟方式,称为相似型。用数字方式表示数的计算机称为数字计算机或数字型计算机,或数字式计算机。在数字计算机中,用脉冲的编码表示数字,根据脉冲编码进行计算。算盘可以看作是最原始的数字计算机。采用长度、电压、电流等模拟量进行计算的计算机叫做模拟计算机,或相似型计算机。计算尺可以看作是最简单的模拟计算机。计算尺用长度来表示数量,靠长度的增减进行计算。数字计算机和模拟计算机的比较见表 1-1。

表 1-1 数字计算机和模拟计算机的比较

比较内容	数字计算机	模拟计算机
输入形式	编码(表示数值、文字)	物理量(长度、电压、电流)
输出形式	编码(表示数值、文字、符号)	曲线
运算形式	四则运算(加法是基本) 逐次运算为原则	积分、四则运算(积分是基本) 并行运算为原则
编程	必要	基本不要
对象	通用	专用 解微分方程 模拟自动控制

用模拟计算机解微分方程,能并行运算,比数字计算机速度快,但因其精度和通用性都很差,所以通常用来作特殊用途的计算机。

二、数字计算机的组成

一般说来,数字计算机由如下五部分组成:

- (1) 记忆数据、指令的存储器;
- (2) 执行算术、逻辑运算的运算器;
- (3) 分析指令、控制其他装置的控制装置;
- (4) 从外部输入信息的输入设备;

(5) 把信息显示出来或记录下来的输出设备。

这五部分之间的关系,如图1-5所示。

输入设备和输出设备合称为输入输出设备,也可记作 I/O 设备。

该图所示的计算机结构是 1945 年由匈牙利出生的德国人约翰·冯·诺依曼(John-Von Neumann)提出的,故人们把这种结构的计算机称为冯·诺依曼机。该机有如下特点:

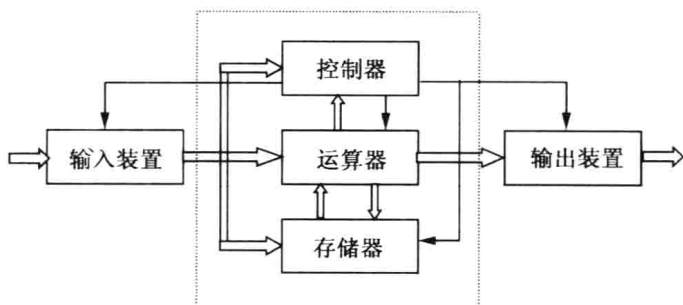


图 1-5

(1) 采用二进制表示数据和指令。

(2) 整个系统以运算器为中心,由五部分组成,控制器集中控制整个系统。

(3) 存储器线性编址,按址访问其单元,单元的位数固定。存储器用以存放指令和数据。

(4) 指令在存储器中按其执行顺序存储。指令由操作码和地址码组成,由程序计数器(PC:Program Counter)指明将要执行的下一条指令的地址。

可以说,冯·诺依曼机奠定了现代计算机的结构。但是,在现代计算机里,这五部分并非是独立存在的。随着微电子技术的发展,现在的计算机产品一般是把控制器和运算器集成于一个芯片之中,叫做中央处理器(CPU:Central Processing Unit)。其中的运算器既能进行算术运算,又能进行逻辑运算,故称为算术逻辑运算部件(ALU:Arithmetic and Logic Unit)。现代计算机一般是由中央处理器、主存储器和外围装置(PU:Peripheral Unit)组成的。外围的装置也叫做外部设备,简称外设。外设是通过接口或通道与中央处理器连接的。

中央处理器加上主存储器,习惯上称为主机,是分析指令、执行指令的装置。主存储器在主机内或主机板上,是主要的、重要的存储器,简称为主存,也叫内存。外设是指输出输入设备和辅助存储器(也称外存),输入数据的键盘、输出数据的显示器以及操作软件所使用的鼠标器,习惯上称为终端。

三、中央处理器的分类

根据 CPU 的运算功能和制作技术,CPU 可分为以下三类。

1. 定点机和浮点机

根据计算机的运算功能,人们把计算机分为两类:一类是只能进行定点运算

的定点机；一类是进行浮点运算的浮点机。现代计算机一般都具有浮点运算功能,计算机实现浮点运算功能的设计方法有以下两种：

(1) 除 CPU 外,再增加一个专门的进行浮点运算的协处理器(FPU)。在这种计算机里,CPU 只能做定点运算,而浮点运算要在 FPU 中进行。这类的 CPU 见表 1-2。

表 1-2 可带 FPU 的 PC 机

机 种	CPU	FPU
PC/XT	8088	8087
PC/AT	80286	80287
386 微机	80386	80387 或 80287

(2) 把浮点运算器集成到 CPU 中。在这种计算机中,只需要一片 CPU 就可进行浮点运算。这类的 CPU 有 80486 和 Pentium(80586)。在 80486 芯片内部包含有增强型 80387,即 FPU。由于 FPU 的功能有所增强,且是在 80486 内部,引线缩短,内部总线加宽,致使其处理器的速度要比 80387 提高了 3~5 倍。在 Pentium(80586)内包含有快速 FPU,该 FPU 共有 8 级流水线,其中前 5 级流水线与整数操作相同,而后 3 级是专用的。

2. 组合逻辑控制和微程序控制

计算机执行指令的原理是,把每条指令分解为若干个基本操作(也叫微操作),执行某条指令就产生相应的微操作控制信号。而每个微操作控制信号又控制相应门的打开或关闭,以完成该指令所需要的信息传送。由此可见,计算机执行指令的过程,就是生成微操作控制信号序列的过程。

微操作控制信号序列是在控制器内通过对指令的分析,在时标信号的作用下产生的。根据产生微操作控制信号原理的不同,控制器分为组合逻辑控制器和微程序控制器。

(1) 组合逻辑控制器。其设计思路:首先,分析每条指令,把每条指令分解为若干个基本操作(即微操作),根据微操作的先后顺序画出指令流程图;其次,把指令流程图中的微操作落实到指令周期的不同节拍中去,通常把这一工作叫做编排操作时间表;最后,对全部指令的操作时间表进行综合分析,列出每个微操作产生条件的逻辑表达式,并根据逻辑表达式画出微操作控制线路。这个微操作控制路线就是组合逻辑控制器中具体产生微操作控制信号的部件。

(2) 微程序控制器。其设计思想是,对应每一个微操作有一个微命令,也就是说,一条微命令能命令计算机的执行部件完成一项微操作。由若干个微命令组成一条微指令。微指令的格式如下所示：

微操作控制部分	顺序控制部分
---------	--------

其中,微操作控制部分是若干个微命令的集合;顺序控制部分是决定下一条微指令的地址。把若干个微指令有序地组合起来构成微程序,把这些微程序存放在控制存储器的只读存储器中。每条机器指令对应有一段微程序,从相应的微程序入口地址开始读并执行一段微程序,便完成相应的机器指令功能。

微程序控制器克服了组合逻辑控制器设计繁琐、难以修改、维护困难等缺点;但其速度,因受控制存储器的限制,不如组合逻辑控制器快。因此,尽管其设计思想早在 1950 年初就提出来了,但直到 20 世纪 60 年代出现了高速只读存储器后,才进入实用化的发展阶段。

使用组合逻辑控制器的计算机叫组合逻辑控制计算机,也称为硬布线计算机;使用微程序控制器的计算机叫微程序控制计算机,也称为微码控制计算机。

3. CISC 技术和 RISC 技术

根据 CPU 所采用的技术,计算机分为 CISC 计算机和 RISC 计算机。

(1) CISC 计算机(Complex Instruction Set Computer)。它是大规模集成电路(VLSI)发展的产物。随着 VLSI 的发展,硬件成本不断下降。为增加计算机的功能,缩小指令系统与高级语言之间的差异,以便于高级语言的编译和降低软件开发成本,于是产生了以增加指令条数和指令的复杂性为手段,旨在增加计算机的功能,这就是所谓的复杂指令系统计算机(CISC)。其典型产品有 DEC 公司的 VAX-11/780,它有 303 条指令,18 种寻址方式。

(2) RISC 计算机(Reduced Instruction Set Computer)。由于 CISC 计算机其指令系统庞杂,研制周期长,难以保证其正确性,且调试和维护都很困难,运行速度受到影响。于是,1975 年,IBM 公司便开始探讨指令系统的合理性问题,旨在提高计算机性能,主要是提高运行速度。这时,该公司的 John Cocke 提出了精简指令系统的想法。1982 年,加州伯克来大学、斯坦福大学、IBM 公司均研制出精简指令系统计算机的样机。1983 年,RISC 计算机就商品化了,典型产品有 IBM 公司的 IBM RT 机 118 条指令;HP 公司的精密结构计算机 HPPA,140 条指令;1987 年,Sun microsystem 公司的 SPARC 机,89 条指令。

由于 RISC 机是在 CISC 机的技术基础发展起来的,况且产品化的 RISC 机也不过是发展中的 RISC 技术的产品,因此,RISC 机与 CISC 机是相对而言的,RISC 机目前尚无严格的定义。纵观 RISC 机的发展,可以看出 RISC 机具有如下的一些特点:

① 硬件结构上:

- a CPU 中通用寄存器的数目相当多,多于 32 个;

- b 采用 Cache—主存—外存三级存储体系结构;
- c 采用流水线组织;
- d 采用组合逻辑控制器。

② 指令特点:

- a 指令少;
- b 指令简单,表现在长度固定,格式少,寻址方式简单;
- c 只有取数和存数两条指令能访问存储器;
- d 执行时间短,大部分指令在一个机器周期内即可完成。

③ 以简单有效的方式支持高级语言。RISC 机的流水线结构是编程可见的,编译程序必须能正确处理流水线的调度。

第三节 微型计算机

现在,微型计算机用户之多是任何机种都无法比拟的。因此,这里有必要介绍微型计算机的有关概念和情况。

一、微处理器、微型计算机和微型计算机系统

1. 微处理器

微处理器本身不是计算机,它是微型计算机的控制和处理部分,主要由算术逻辑运算部件、寄存器组、时序部件、控制部件,以及连接这几部分的内部总线组成。一般说来,微处理器本身可以直接用作微型计算机的中央处理机(CPU),但有的微处理器要外加时钟发生器和系统控制电路才能作为微型计算机的 CPU,如微处理器 8085 就是如此。微处理器有:

(1) 4 位微处理器: Intel4004,世界上第一个微处理器,1971 年 11 月由 Intel 公司制造,功能低,未推广。

(2) 8 位微处理器: 国内外广泛采用的 8 位微处理器有 Intel 8080、Z80、M6800。其中 Z80 产品在我国最为普及。

(3) 16 位微处理器: 最有名气的 16 位微处理器有 Z8000、MC6800、Intel 8086。在我国,8086 产品最受欢迎。

(4) 32 位微处理器: 有 Intel 公司的 80386、80486 和 80586(Pentium)。

2. 微型计算机

微型计算机除了包括作为 CPU 的微处理器之外,还包括存储器、输入终端的键盘和鼠标器,输出终端的显示器和其他配套装置。

3. 微型计算机系统

一台微型计算机配上各种外部设备以及软件系统,便构成了一个微型计算机系统。

三者的组成以及它们的相互关系,如图 1-6 所示。



图 1-6

二、微型计算机的分类

微型计算机种类繁多,有各种分法。

(1) 按字长来分,分为 8 位机、16 位机、32 位机。

(2) 按所用集成芯片数来分,分为单片机和多片机。

单片机是在一块芯片上,集成了一台微型计算机的几乎全部的主要部件,诸如 CPU、RAM、ROM、I/O 接口、定时/计数器。目前,国际上单片机的厂家主要有 Intel 公司、Motorola 公司和 Philips 公司等。

现在使用微型计算机,一般来说都是多片机。即使是单片机,也还需要一些外围芯片才能组成一台有实用价值的微型计算机。

(3) 按所用印刷电路板数来分,分为单板机和多板机。现在的微型计算机产品,一般都是多板机。在我国最普及的单板机要算 Z80 单板机,它是用 Z80 微处理器作为 CPU 的。

(4) 按所用微处理器分,有 286 机、386 机、486 机、586 机。它们分别是用 80286、80386、80486 及 80586 微处理器作为 CPU 的。

三、微型计算机的发展

从当前来看,微型计算机的发展主要表现在微处理器(CPU)、多媒体个人计算机(MPC)和网络计算机(NC)这三个方面(详细内容自查资料)。

第四节 计算机的主要技术指标

计算机技术性能是由体系结构、所用器件、外设配置以及软件资源等多方面因素决定的。因此,评价一台计算机的性能如何,要综合各项指标,不能仅凭一两项指标。计算机主要技术指标有字长、存储容量、运算速度和外设配置等。

一、字长

字长是指计算机能并行传送的最大二进制位数。巨型机字长一般为 64 位以上;中型机多为 32 位~64 位;小型机一般为 16 位~32 位;微型机为 8 位~32 位,目前 32 位居多。字长越长,运算精度就越高。

二、存储容量

存储容量是用户在购买计算机时所关注的一项重要指标。即使同一种计算机,存储容量的变化范围也很大,选机时要做好调查。需要强调的是,除了考虑内存、硬盘的容量外,在多媒体技术发展的今天,还要特别注意显示缓冲区的容量。因为该容量太小,会严重限制汉字、图形和图像的显示功能。

关于存储容量的计算单位,通常有两种用法:

(1) 用字节(Byte)作单位,记作 B。字节是字的若干份之一,即把一个字分成若干等份,其中的一份就是一个字节。例如,一个字若为 32 位,分成四等份,8 位就是一个字节。在微型计算机中,存储容量一般都是用字节作单位的。常用的单位有 KB、MB、GB、TB。目前,微型计算机的内存容量可达到 GB。

(2) 用二进制的位(bit)作单位。大中型计算机常用这种单位,有时用 $N \times W$ 位表示。

三、运算速度

运算速度可用每秒所能执行的指令条数表示,单位是条/秒,常用 MIPS (Million Instructions Per Second),即每秒执行百万条指令。由于不同的指令执行的时间不同,所以目前有三种计算执行速度的方法。

(1) 根据不同类型指令在计算机运行过程中出现的频率高低,乘以不同的系数,求得统计平均值。这时所指的运算速度是平均运算速度。

(2) 以特定的指令为标准计算运算速度,如 NOVA 机的运算速度为 50 万次/秒,是指其做定点加法运算的速度。

(3) 直接给出每条指令的实际执行时间或主频。目前,在微型计算机中主