

计算机组织与结构

华中工学院

邹海明 韩世强 沈 品 编



电子工业出版社



计算机组织与结构

华中工学院 邹海明
 韩世强 编
 沈 品

电子工业出版社

内 容 提 要

本书专门介绍计算机硬件系统。全书分为十章。第一章简述现代计算机系统的概念；第二章讨论机器内部数据的表示；第三、四章系统地介绍运算器和存储器组织与结构；第五、六、七章讨论指令系统和CPU结构，重点描述指令的执行过程以及CPU的设计；第八、九章讨论计算机与外部设备的输入输出控制组织；第十章系统地介绍VAX-11/780机的主要结构和特征。

本书是计算机专业的教科书，也可以作为从事计算工作的科技人员的参考书。

计算机组织与结构

邹海明 韩世强 沈品 编

责任编辑 吴明卒

*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京顺新印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：18.5 字数：450.2 千字

1986年11月第1版 1997年1月第5次印刷

印数：32100—37100册 定价：18.00元

ISBN7-5053-1494-7/T·P·270

前 言

本教材系由高等学校《计算机与自动控制》专业教材编审委员会《计算机》教材编审小组评选审定，并推荐出版。

该教材由华中工学院邹海明、韩世强、沈品编写，上海交通大学谢志良教授担任主审。编审者均依据《计算机》编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为70~90学时，其主要内容是讨论计算机的组织与结构以及在硬件与软件功能分配中最基本的硬件系统。计算机组织是指计算机主要部件的类型、数量、组成方式、控制方式和信息流动方式，以及它们之间互相连接构成的系统。计算机结构是指从硬与软件的交界面所看到的计算机概念结构和功能特性。本书将组织与结构融汇在一起，立足于现代计算机结构的高度，讲清楚计算机的组织，使读者在阅读本书后能掌握计算机硬件系统的组成和工作原理，以及计算机结构的基本概貌。

本教材的初稿写于1982年，曾在三届学生的教学实践中使用。在此基础上根据大纲的要求进行了修改和增删。编写时注意从当前较为流行而又先进的技术中吸取有关内容，加深对基本概念的阐述，力求取材新颖，内容丰富。使用本教材时重点讲清楚各功能部件的工作原理；讲清楚它们相互连接构成的系统；讲清楚最基本的概念，而不急于过多地联系这些概念的物理实现，不去过细地描述机器内部的操作过程，注重使学生建立一个完整系统的整机概念。第十章介绍当代著名的超级小型机VAX-11/180机，可以留给学生自学，组织讨论，培养学生独立地掌握先进机种的能力。

本教材由邹海明编写第一章，邹海明、韩世强编写第二、三章，韩世强编写第四、五、六、八、九章，沈品编写第七、十章，石万章、李克才同志也参加了本书初稿的工作。参加审阅工作的还有上海交通大学左孝陵、杜象元，南京工学院唐肖光，福州大学吴文钰，南京大学黄炳生、史九林，华东师范大学叶俊生，武汉大学张德向，上海工业大学张吉锋，蔡端亮，同济大学陆晚青，上海科技大学李焕润等，他们为本书提出许多宝贵意见。这里谨向他们表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些错误和缺点，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1985年4月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 计算机系统	(1)
1.2 计算机的硬件系统	(2)
1.3 计算机的软件系统	(6)
第二章 数据的表示	(11)
2.1 数值数据	(11)
2.2 编码系统	(21)
2.3 非数值数据	(29)
2.4 数据的单位和长度	(30)
2.5 数据的传送方式和差错校正	(32)
第三章 运算器组织	(35)
3.1 快速加法器设计	(35)
3.2 带符号数的加减法	(42)
3.3 数据通路	(45)
3.4 定点乘法运算	(51)
3.5 定点除法运算	(58)
3.6 浮点运算	(61)
3.7 十进制整数的加减法运算	(64)
第四章 存储器组织	(67)
4.1 存储器的基本概念	(67)
4.2 主存储器的基本结构和操作	(70)
4.3 半导体随机存储器	(76)
4.4 只读存储器	(89)
4.5 多模块存储器和双口存储器	(91)
4.6 高速缓冲存储器	(94)
4.7 虚拟存储器	(98)
第五章 寻址技术和指令系统	(102)
5.1 指令的结构格式	(102)
5.2 基本寻址方式	(111)
5.3 寄存器寻址方式	(113)
5.4 扩展寻址方式	(118)
5.5 指令的类型	(123)
第六章 中央处理机组织	(134)
6.1 中央处理机组成和操作	(134)
6.2 CPU控制流程	(138)
6.3 指令的执行	(140)
6.4 同步和异步控制方式	(148)

6.5	组合逻辑和PLA控制	(150)
6.6	重叠原理与流水线方式	(154)
第七章	微程序设计	(161)
7.1	微程序设计的基本概念	(161)
7.2	微程序计算机的结构和控制	(163)
7.3	微指令格式分析	(177)
7.4	微程序设计技术的应用	(180)
第八章	程序控制输入输出组织	(187)
8.1	几种典型外围设备的特性	(187)
8.2	基本术语和概念	(191)
8.3	程序直接控制数据传送	(196)
8.4	程序中断控制数据传送	(198)
8.5	中断服务程序	(211)
8.6	中断优先权的动态分配	(214)
第九章	输入输出处理机组织	(217)
9.1	大容量磁存储器	(217)
9.2	直接存储器访问(DMA)通道	(225)
9.3	输入输出处理机结构	(230)
9.4	IOP操作原理	(237)
9.5	典型程序实例	(243)
第十章	VAX-11/780 系统组织与结构	(246)
10.1	系统概况	(246)
10.2	指令系统	(249)
10.3	中央处理机	(260)
10.4	处理机进程结构	(272)
10.5	异常和中断	(275)
10.6	存储器子系统	(277)
10.7	总线系统-同步底板互连SBI	(283)
10.8	输入输出子系统	(285)

第一章 概 论

本章首先回顾人类社会计算工具和仪器,其中包括电子计算机本身的发展过程,从而证实建立在现代科学技术基础上的现代计算机系统是人类知识和智慧的产物。然后介绍计算机系统的两大组成部分,即硬件系统和软件系统,简要讨论了它们的基本组成、功能特性、以及电子计算机的简单工作原理,为阅读后续章节提供一个初步的概貌和常用的基本名词术语。结尾还略述了计算机系统硬件和软件的相互关系,使读者能从整体观点去研究计算机的组织与结构。

1.1 计算机系统

计数和计算就象语言一样迫切地为人类社会所需要。早在文明开发之前的原始社会就有结绳和垒石计数之说。公元十世纪我国劳动人民在早期的算筹、珠盘基础上发明了至今仍流传世界的计算工具——算盘,并为之配置了“口诀”。电子计算机与它相比,算盘就好比它的硬件,“口诀”就相当于它的程序和算法软件。算盘的发明推动了数字式计算工具的发展。

十七世纪出现了计算尺。随后,各种机械的和电的模拟计算机、数字计算仪器不断出现。法国人巴斯卡尔(Blaise Pascal)发明了机械式十进制系统台式数字计算机;英国人巴贝治(Charles Babbage)发明了差分机;美国人斯蒂比次(George Stibies)和艾肯(Howard Aiken)发明了机电式自动计算机;德国人楚泽(Konrad Zaye)也制成了类似的机器。

世界上第一台电子数字计算机是于1946年2月15日在美国宾夕法尼亚大学莫希里(John Manchly)提出的“高速电子管计算装置”方案的基础上诞生的。它命名为“埃尼阿克(ENIAC)”,其运算速度为每秒5千次。这是计算机科学技术发展史上一个重要的里程碑,它奠定了现代计算机发展的科学基础,开创了科学技术发展的新时代——电子计算机时代。

从第一台电子计算机诞生到今天,计算机的发展已经历了四代。第一代是它的婴儿时期,其主要特征是:主机采用电子管器件,应用以科学计算为主,软件技术采用机器语言、符号语言编程。第二代机的主要特征是:主机采用半导体器件,应用领域扩大到数据处理,软件采用算法语言(高级语言)编程,并且出现了操作系统,计算机向系列化发展。第三代机的主要特征是:主机采用集成电路器件,软件技术发展 to 操作系统普及,软件工程兴起,应用领域广泛,终端设备(包括远程终端)迅速发展。今天正处于电子计算机发展中的第四代,大规模集成电路已成为计算机的主要器件,目前正在向超大规模集成电路迈进,应用领域已遍及各行各业,其中已要求计算机的功能向智能化方向发展。多机系统的研究成果使各种多处理机系统、分布式系统及计算机网络大量出现。软件工程的进展

大大地丰富了计算机系统的各种软件。专家们预计,在不远的将来,集成光路、超导器件以及电子仿生等新技术可能进入计算机,将会出现光学计算机、超导计算机和人工智能计算机等。总之,电子计算机将不断地更新换代,计算机科学技术将以后浪推前浪,一浪更比一浪高的奔腾姿态,发展到一个更高的阶段。

四十年的经历,电子计算机的组织与结构发生了很大的变化。与第一台计算机相比,现代计算机已发展为一个由软件和硬件组成的计算机系统。从它的功能来看,计算机能实现的操作不仅是简单的加法和移位操作,而且可以对各种数据类型进行各种算术的、逻辑的、以及各种控制的操作;机器的指令已由少数几条发展到功能丰富而完整的指令系统,以适应各种应用的需要和系统软件的配置。从计算机的组成角度看,现代计算机增添了许多新的功能部件,如通用寄存器组、堆栈、中断系统、总线、高速缓冲存储器、辅助存储器、各种新颖的输入输出设备及其接口、通道、外围处理机、通讯控制器、通讯设备、显示终端、远程终端等;计算机系统的结构由原来的以中央处理机为中心的结构发展到以总线为中心的结构和以存储器为中心的结构,由原来的单机结构发展到各种形式的多机结构,从而大大提高了系统的效率。从它的性能来看,主机的运算速度已由原来的每秒5千次增加到每秒1亿次以上;主机的存储容量已达到几兆或几十兆字节;计算机的可靠性大大增加。从软件来看,现代计算机从没有系统软件发展到具有庞大的软件系统,如面向机器的汇编语言,面向各种问题的高级语言,功能很强的操作系统,方便用户的各种服务性程序,数据库管理系统,计算机网络软件等。人们不再靠手工操纵计算机了,系统软件实现了计算机运行的自动化。

本书以现代计算机系统为背景,叙述计算机的组织与结构。首先向读者解释一下本书所指的计算机组织与结构的含义。计算机组织(Computer organization)是指计算机主要部件的类型、数量、组成方式、控制方式和信息流动方式及其相互连接构成的系统。它主要研究数据和指令的组织,基本运算的算法,数据的存取、传送和加工处理,数据流和指令流的控制方式等。计算机结构(Computer architecture)是指从计算机硬件系统和软件系统的交界面所看到的计算机系统的概念性结构和功能特性。它主要研究计算机系统软件和硬件的功能分配以及如何最佳、最合理地实现分配给硬件的功能。通常在确定计算机加工的数据类型、指令的功能和种类、中断系统、输入输出的连接方式,通讯接口等各个方面都存在着软、硬件功能分配问题。哪些功能由软件实现,哪些功能由硬件实现以及如何选择最佳、最合理的逻辑构造去实现分配给硬件的功能等都是计算机结构要研究的问题。

综上所述,我们将计算机系统的概念性构造及其功能特性称为计算机结构,而把这种构造和功能的实现称为计算机组织。

本书将组织与结构融合在一起叙述。立足于现代计算机结构的高度,讲清楚计算机的组织,使读者在阅读本书后既掌握了计算机硬件系统的组成和工作原理,又了解到计算机结构的基本概貌。

1.2 计算机的硬件系统

什么是计算机硬件呢?所谓硬件(Hardware)是指计算机系统使用的电子线路和物理装置。它们是看得见的实体,如中央处理机、存储器、外部设备及总线等。它们组成了

计算机的硬件系统，这个硬件系统是计算机的物质基础。

图 1-1 是现代计算机系统硬件的基本结构框图。由于计算机系统的多样性，大、中、小和微型等机种在硬件配置上差别很大，因此，图 1-1 只是代表目前流行的计算机系统共有的基本硬件配置情况。

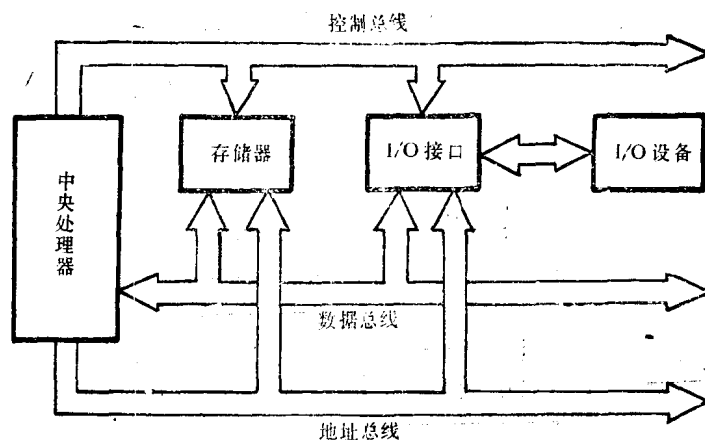


图 1-1 计算机硬件系统的基本配置

下面按框图分别介绍各组成部分，叙述它们的基本功能、结构及工作原理。

1. 存储器 (Memory)

存储器的主要功能是存放程序和数据。程序是计算机操作的依据，数据往往是机器操作的对象。机器为了实现自动计算，这些大量的信息必须预先存放在机内的某个地方，这个地方就是存储器。存储器的基本结构如图 1-2 所示，它由五部分组成。第一部分叫做存储体，由贮存信息的介质组成，它的主要功能是存储信息。存储介质随着技术的进步而有所不同，七十年代中期以前存储体的主要介质是磁心，当今绝大多数计算机采用半导体器件作为存储介质。存储体被划分为许多小单元，每个单元的长度随具体的机器而有所不同。有些机器的存储单元长度为八个二进制位（称为一个字节），即存储单元可存放一个字节信息。有些机器则可存放两个字节（十六个二进制位）、四个字节（三十二个二进制位）信息。存储单元按某种顺序编号，每个单元有且仅有一个编号。通常将这个编号叫做存储单元的地址。人们可以从一个指定的地址中获得相应存储单元内的信息，这叫做按地址存取信息。存储器所占有的存储单元的总数叫做存储容量。存储容量随机器的大小和用户的要求而定。对于存储容量较大的机器，为了便于对存储器进行管理，往往将它划分为若干区、段、页，进行分层分级管理，以便按地址能迅速查到相应的存储单元。

存储器的第二个组成部分叫做地址译码器。它的功能是将地址码进行翻译，然后找到与地址码所对应的那个存储单元，为与那个存储单元交换信息创造条件。

存储器的第三部分叫做读写控制电路。它的功能主要是确定交换信息的方式，是读还是写，然后按规定的方式具体地实现某种操作。存储器与外界交换信息的方式有两种：一种方式叫做写入（或存入），即将外界要求保存的信息写到指定的存储单元内；另一种方式叫做读出（或取出），即将指定的某个存储单元的内容读出并送出。

存储器的另外两个部件分别叫做地址总线和数据总线。地址总线为地址译码器提供地

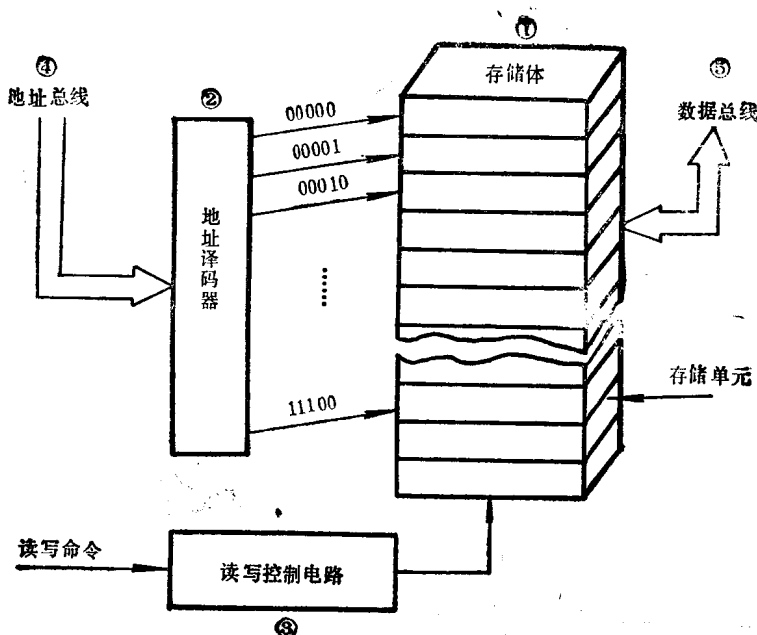


图1-2 存储器结构框图

址码。地址译码器根据这个地址码去寻找相应的存储单元。数据总线用于接纳或者发送被交换的信息，例如要存入某个单元的信息，都是首先将它发送到数据总线上，然后将它写入相应的单元中。有关存储器的详细描述将在第四章中介绍。

2. 中央处理机CPU (Central Processing Unit)

图1-3是一个简化了的中央处理机基本结构框图。如果略去在存储器中已讲过的地址总线 and 数据总线部件，则中央处理机将包括算术及逻辑部件、数据寄存器、程序计数器、地址寄存器、指令译码器、操作控制器（或控制存储器）等部件。尚需指出，现代计算机系统的中央处理机还包括中断处理部件、指令缓冲器、超高速缓冲存储器、堆栈等，这些在图中均未画出。

硬件系统的功能是逐条执行存放在存储器中的用机器语言（即机器代码）表达的指令。例如，“将两数相加”可以是一条机器指令，“求两数的逻辑乘”、“将某数向左移若干位”、“将某数送入打印缓冲区”、“按某种条件转移”等都可以是机器的指令。一定的机器具有相应的可执行指令的集合，叫做该机器的指令系统。本书第五章将对指令系统作详细的叙述。

计算机硬件系统最终只能执行由机器代码表达的指令集，即机器语言程序。它在被执行之前必须首先装入存储器内，然后，在运行时将它逐条取出，按顺序加以执行。正因为如此，人们更确切地称当前流行的计算机为存储程序式电子计算机。

有了这些概念后，现在再来介绍CPU内各部件的主要功能。

（1）数据寄存器 它们可以是一组（若干个）寄存器，用于暂存即将参加某种操作的数据，例如，寄存参与算术运算的数据、运算的中间结果以及某种控制用信息等等。

（2）指令译码器 指令译码器的主要作用是将即将执行的某一条指令的编码翻译成相应的操作控制信号，为执行并完成该指令的动作做好准备。

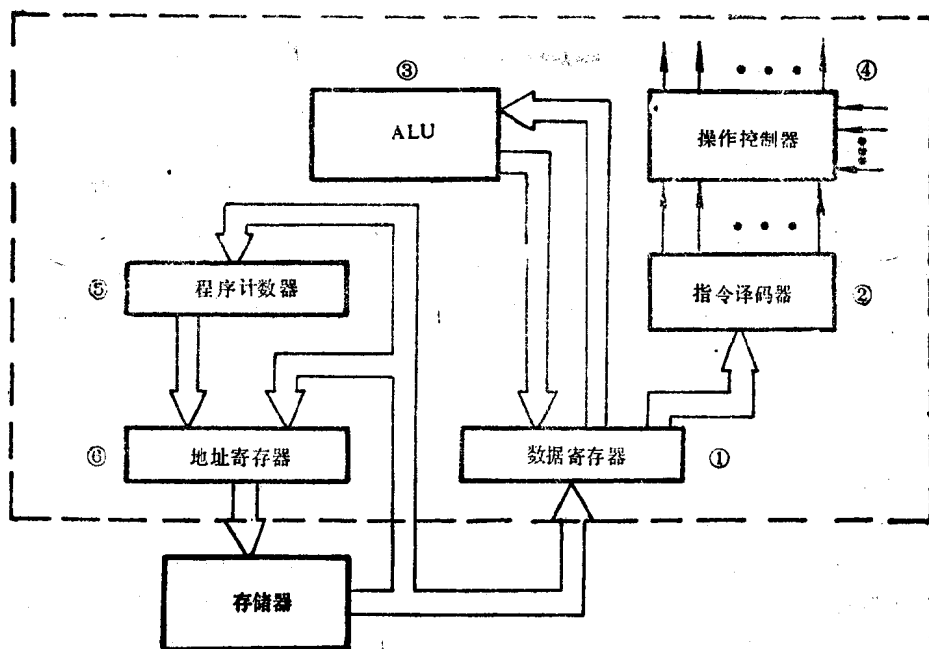


图1-3 中央处理机结构框图

(3) 算术逻辑部件 (ALU) 它的功能是实施各种算术的和逻辑的运算, 例如, 加、减、乘、除、移位、逻辑乘等等。ALU 内最主要的构成部分是加法器、进位线路和移位线路。它们的细节将在第三章中叙述。

(4) 操作控制器 根据指令译码器的输出去实际完成这条指令的动作, 这就是操作控制器的功能。然而, 一台机器含有各种不同功能的指令, 它们在执行过程中需要采取的动作也是各不相同的。因此, 操作控制器必须对每条指令的动作和步骤进行组合, 产生出实现整个指令系统所需要的全部动作的控制信号。操作控制器的输入信号主要来自指令译码器、时钟以及某些部件现有状态的反馈信息。它的输出将是指挥其他部件动作的一系列控制信号。有关操作控制器的详细内容将在第六、七两章中介绍。

(5) 程序计数器 程序计数器又称指令地址计数器。它的功能是存放当前要执行的指令地址。计算机通常按顺序逐条地执行指令。当有某种需要时, 也可以跳到一个指定的地址开始顺序地执行指令。在通常情况下, 每执行完一条指令, 它自动加“1”。当要求下一条指令从某个地址开始时, 可以强制指令地址计数器形成这个地址码, 于是, 下一条指令就可从新地址顺序执行下去。

(6) 地址寄存器 它是存储器地址总线上的地址的发源地。无论是可执行指令的地址或者算术和逻辑运算及其他指令中所涉及的操作数地址, 都是经由地址寄存器发往地址总线的。

从图 1-1 中不难看出, CPU 是计算机硬件系统的核心部分。它与其他各部件不仅有地址信息与数据信息方面的交换联结, 而且还有控制信息与状态信息方面的交换联结。由 CPU 发布各种控制信息到各部件, 控制各部件的动作。正如中央处理机这个名称所表示的那样, 它是集中统一处理整个硬件系统的关键性部件, 也可以认为是指挥硬件系统工作的首脑机构。

3. 输入输出设备

输入输出设备简称 I/O 设备, 是人与计算机直接对话的设备, 是人-机的桥梁。输入设备的任务是将人们要求计算机处理的数据、字符、文字、图形、图象、语言以及程序本身等各种形式的信息, 转换成为计算机可接受的编码形式后, 存入某种存储器内。输出设备的作用则是将经过计算机处理后的结果或者中间结果, 以人们希望的形式, 例如印刷、显示、绘图、照相、语音等形式表达出来。由于人们对 I/O 设备的要求往往是多种多样的, 因此, 现代计算机系统往往带有较大数量的各种各样的输入输出设备。具体地讲解各种输入输出设备的构造与工作原理不是本书所叙述的范围, 有兴趣的读者可参阅有关资料。

4. 输入输出接口

输入输出接口简称 I/O 接口, 它是 I/O 设备与 CPU 之间的缓冲部件。从图 1-1 中可见 I/O 设备是通过 I/O 接口与 CPU 及存储器相连的。接口设备之所以需要是由于以下几方面原因: 一方面 I/O 设备往往含有相当数量的机械与电机、电气部分, 它们的工作速度与 CPU 或存储器有着很大的差距, 不可能直接匹配; 另一方面在表达信息的格式上, 两者也有不同的要求, 而且不同的外部设备表达信息的格式也各不相同, 因此, 需有一个中间转换过程。此外, 诸如 I/O 设备当前是否可供使用 (或者它正在工作)? CPU 要求调用某个设备的状态信息与控制信息, 也都是通过 I/O 设备接口沟通的。由此可见, I/O 接口也是 I/O 设备与 CPU 和存储器之间联系的桥梁。有关 I/O 接口更深入的讲述请见第八、九两章。

图 1-1 是作为说明计算机硬件系统的基本组成和工作原理用的, 具有一定的代表性。但是, 由于现代计算机的品种繁多, 各种新兴技术的发展又十分迅速, 计算机更新换代的周期越来越短, 光学、磁学、微电子学、仿生学等领域许多新技术的出现, 不断促使计算机的组织与结构发生新的改革, 因此, 很难给出一个代表一切机型和一切新技术的统一的结构框图, 务请读者注意到这一点。

1.3 计算机的软件系统

软件 (Software) 是指计算机系统中使用的各种程序, 它是看不见、摸不着的。当然, 程序可以表示在穿孔卡片、磁盘和磁带等各种物理介质上。但是, 它的本质是组织成程序的指令集合, 而不是物理介质本身。

指挥整个计算机硬件系统工作的程序集合就是软件系统。

图 1-4 给出了现代计算机系统的软件分类。整个软件系统按其功能可分为系统程序和应用程序两大部分。

系统程序 (又称系统软件) 的主要功能是对整个计算机系统 (其中包括软件系统本身) 进行调度、管理、监视及服务。早期的计算机没有系统程序, 用户使用计算机时, 只能用机器指令编制二进制代码程序。因此, 用户必须接受专门训练, 否则无法使用计算机。随着计算机内部结构越来越复杂, 运算速度越来越快, 整个机器的管理也就越来越复杂。如果还由用户在控制台上手工操作, 势必会使机器效率大大降低。系统程序的出现正是适应这种需要, 用户只需使用简便的语言或本业务的语言编写程序, 就能够在计算机系统上得到运行。它可以使系统的各种资源得到合理的调度和高效的使用。它可以监视系统

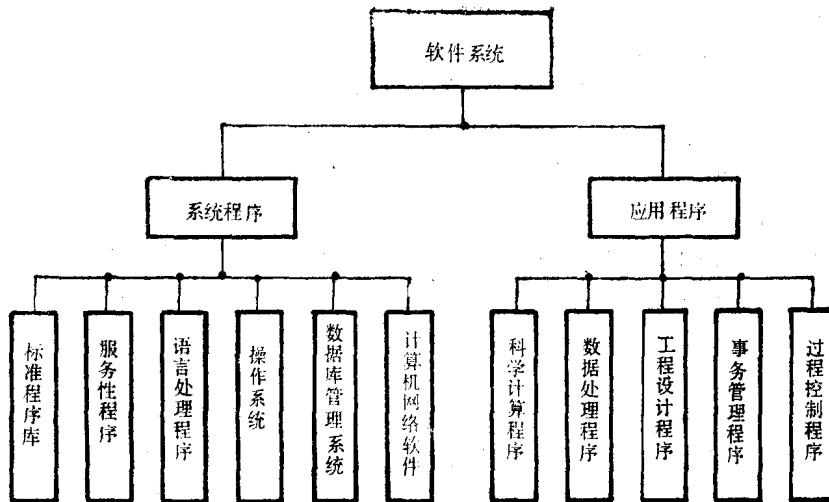


图1-4 现代计算机系统软件的分类

的运行状态，一旦出现故障，能自动保存现场信息不受破坏，并且能立即诊断出故障部位。它还可以帮助用户调试程序，查找程序中的错误等。

应用程序也称应用软件，它是计算机用户在各自的业务系统中开发和使用的各种程序。应用程序通常都是针对某个具体问题而编制的，种类繁多，名目不一，例如：天气预报中的数据处理、建筑业中的薄壳或框架设计、企业的成本核算、工厂的仓库管理、炼钢生产过程控制、辅助教学……等。在这些应用领域里，均可以借助于计算机处理，得到满意的结果。

现代计算机系统不能没有系统软件，否则，用户无法有效地使用计算机。现代计算机系统也不能没有应用软件，否则，它等于一台仪器设备。只有运行应用程序，计算机才能真正发挥效能。

下面我们将扼要介绍各类系统软件的基本功能和用途。有关它的细节可参阅有关的参考书。

1. 标准程序库

标准程序库是指存放常用的按标准格式编写的程序仓库。这些程序一般包括求解初等函数、线性方程组、常微分方程、数值积分……等计算程序。在许多应用领域内几乎经常要碰到这类问题的计算。事先将这些程序放入库中，用户编程时，便可从中选出需要的程序编入自己的程序中。例如：计算方程式的根：

$$\log y + \sqrt{y} - 6 = 0$$

可以从标准程序库中选出求对数标准子程序、开平方标准子程序及函数求根标准程序，将它们装配起来，就可得到求解此方程的程序。

入库的程序是经过反复加工、按标准格式编制的。每个库程序都有使用说明，用户可根据需要方便地选用。标准程序库通常存放在外存储器。需要使用某个库程序时，首先从库中调出，存放到内存，当运行到要调用它的程序时，即可调用。

2. 语言处理程序

语言处理程序是翻译计算机的各种语言而设置的一组程序。它的主要功能是对用户使

用的各种语言进行处理，使计算机系统最终能完成用户以各种语言所描述的任务。

要计算机做事，必须有程序。程序是由指令组成的。指令就是计算机的语言，即机器语言 (Machine Language)。用机器语言编写的程序计算机可以直接“理解”并执行。然而，前面已提到，用机器语言编写程序不仅要受专门训练，而且编制出来的程序也难读难懂，调试时不容易发现错误。

汇编语言是一种将机器语言符号化的语言。它用形象、直观、便于记忆的字母、符号来代替数字编码的机器指令。然而，用它编写的程序计算机不能直接识别，必须通过翻译将它转换成机器语言程序后才能“理解”并执行。完成这种翻译功能的程序叫做汇编程序。

算法语言 (Algorithmic Language) 是一种能表达解题算法的面向应用问题的语言。这种语言比汇编语言更直观、简便，它可以使用户迅速准确地编写出解题程序。与汇编语言相比，它是一种高级语言。然而，计算机也不能直接识别它，同样也需要借助于编译程序。目前已研制出许多面向各种应用问题的算法语言，如ALGOL、FORTRAN、COBOL、PASCAL……等。各种不同的算法语言对应的编译程序也是不同的。有的算法语言是通过对语言进行解释的方法使计算机“理解”并执行的，如BASIC语言。这种具有解释功能的程序叫做解释程序。

通常将用汇编语言或某种算法语言编写的程序称为源程序。经翻译或解释得到的机器代码程序称为目标程序。翻译汇编语言程序的程序叫汇编程序或汇编器 (Assembler)。翻译算法语言程序的程序叫编译程序或编译器 (Compiler)。解释算法语言程序的程序叫解释程序或解释器 (Interpreter)。汇编程序、编译程序和解释程序统称语言处理程序。由此可见，语言处理程序用两种不同途径实现其功能；一种是先将用户源程序经编译器或汇编器翻译成目标程序，即机器语言程序，然后由计算机执行，从而完成给定的任务；一种是计算机借助于解释器对用户源程序边解释边执行，从而完成给定的任务。

3. 服务性程序

服务性程序也称实用程序 (Utility Program)，是为系统提供各种服务性的手段而设置的一组程序。它的主要功能包括用户程序的装入、连接、编辑、查错和纠错；诊断硬件故障；二进制与十进制的数制转换；磁带、磁盘的复制；磁带文件整理等。

程序的装入是指在使用计算机时，首先必须将程序从机器的外部经由各种外部设备如卡片读入器、磁盘等装入内存，这个功能由装入程序 (Loader) 实现。装入程序自身必须首先装入内存。它的装入可编写一个引导装入程序，通过操作员控制面板上的手动开关，将引导装入程序打入内存，引导装入程序只有几条指令组成，通常用机器语言编写，故又叫绝对二进制装入程序。一旦装入程序进入内存之后，便可启动运行，从而将已编译为机器语言的目标程序装入内存。现代计算机中把引导装入程序，放在控制台系统的 ROM 中，只要拨动控制台面板上的加载引导开关即可。

程序的连接是指将若干个目标程序模块连接成单一程序的过程。在实际应用中，一个大的源程序常被分成若干个相对独立的程序模块，分别编译成相应的目标模块，这些独立的目标模块必须连成一个程序，才能投入运行。完成这个功能的程序叫连接程序 (Linker)。连接程序有时也和装入程序的功能组合在一起，称作连接装入程序。这种连接装入程序还可以将某些复合任务所需要的源程序和子程序连接为单一实体送给编译程序。

编辑程序是为用户编制源程序提供的一种编辑手段，它可以使用户方便地改错、删除或补充源程序。通常用户从键盘打入源程序，计算机将它显示在输出显示器的荧光屏上。借助于编辑程序，用户可以方便地通过键盘打入正确字符，完成需要的修改。

当用户程序在运行时发生错误或者根本没有输出时，查错和纠错程序可以帮助你排除由这些错误引起的故障。

数制转换程序可使用户直接用十进制数输入，由计算机自动转换成机内二进制数，以方便使用者。在某些高性能、高速度的计算机中已为这种转换设置机器指令，由硬件来实现。

诊断程序也是服务性程序的一种，用来诊断硬件的故障。当机器在运行中出现故障时，诊断程序被启动运行。它从执行指令的角度或从电路结构的角度查出机器的故障部位。诊断程序可用机器指令编写，在现代计算机中用汇编程序编写，而在采用微程序技术的机器中，可以用微指令编写诊断微程序，诊断的效果将更好。

4. 操作系统

操作系统是一组控制程序的总称。它用来控制和管理计算机的各种资源，实现计算机系统运行自动化。因此，它是系统软件中最核心的组成部分，它指挥整个计算机系统的各个部件（包括软件在内）协调一致的工作。它的主要任务有两个：一是管好计算机系统的全部资源，使它们都能充分发挥作用，不停地工作。所谓系统资源是组成计算机系统的各种功能部件，简称资源(Resorce)，如处理机、主存储器、各种外部设备、各种软件。二是为计算机系统和用户之间提供接口，使用户不必掌握直接使用计算机的那些操作，而用操作系统提供的功能去使用。操作系统将麻烦而又笨拙的用法经过加工，展现在用户面前的是一台功能很强，使用方便的计算机。

操作系统一般由以下几部分组成：

(1) 执行程序 也称监控程序(Monitor)，是操作系统的核心，用来控制和协调操作系统的其他部分。

(2) 调度程序 它有时是执行程序的一部分。它负责对作业进行调度（即分配中央处理机资源），并且为等待计算机资源的作业建立队列，加以管理。

(3) 中断处理和中断服务程序 它负责选择中断服务设备和处理由各中断源引起的事件。

(4) 设备处理程序 它负责中央处理机、内存和外部设备之间的数据传送和输入输出操作。

(5) 存储管理程序 它的作用是给程序分配内存，控制并实现程序在内存和外存之间的交换(Swapping)。

(6) 程序库管理程序 它的作用是及时检测对库程序的请求，控制对程序库的使用。

操作系统的规模可大可小，一台机器还可以配置不同类型的操作系统。常见的操作系统类型有：单用户操作系统，用于系统规模不大又要求完成较广泛的任务的场合；多用户操作系统（又称分时系统），用于多个用户需要同时使用计算机的场合；实时操作系统，用于自动化过程需快速响应以便保持正常操作的场合。

5. 数据库管理系统

数据库管理系统(Database Management Systems)，简称DBMS，是管理数据库的软

件,数据库是为适应大型企业的数据处理和信息管理的需要而在文件系统的基础上发展起来的。文件是一组相互关联的信息称为记录(Recorder)的集合,亦即文件描述具有相同性质的一组记录。对这些文件的组织和管理程序组成文件系统,它是操作系统的一个组成部分。然而用户各自建立的文件系统,其数据不能共享,造成大量重复,容易产生数据的不一致性,而且各个文件缺乏统一的管理机构。同时,程序和数据互相依赖,一旦数据结构改变,则与它有关的程序必须重编。数据库克服了上述的缺点,它具有数据不依赖程序,并可减少数据冗余性的优点,将有相互联系的文件按某种结构组织起来,允许用户逻辑地和抽象地处理数据,而不必涉及这些数据在计算机中是怎样存放的。数据库用一个单独的系统软件来集中管理所有的文件,实现数据共享,这就是数据库管理系统。

数据库管理系统的主要组成包括:描述用户数据结构和设备介质的语言,使用和操作数据库的命令,用于数据库装配、重组、更新和恢复等的实用程序以及数据库的运行控制程序等。数据库管理系统与操作系统的界面常常不很清楚。有些功能可以由操作系统完成,也可以由数据库管理系统完成,也可以双方各做一部分工作而组合起来完成。数据库管理系统需在操作系统支持下工作。但是,它是独立于操作系统的一个系统软件分支。

6. 计算机网络软件

计算机网络软件是为计算机网络配置的系统软件。所谓计算机网络(Computer Network)是指以互相能够共享资源(包括硬件、软件和数据)的方式联结起来,各自具备独立功能的计算机的集合。计算机网络软件负责对网络资源的组织和管理,实现相互之间的通信。

网络操作系统是网络软件的核心部分。它负责与网络中各台机器的操作系统相接,协调各用户与相应操作系统的交互作用,以获得所要求的功能。用于执行数据通讯系统基本处理任务的程序驻留在计算机内,通过网络操作系统与主计算机操作系统的数据管理设备相连,提供实际的远程处理设备接口,使网络用户可以拥有与本地用户完全相等的能力。

为了通讯双方交换信息必须约定一些共同的规则和步骤称为传输控制规程或数据通信规程,常称通信协议(Protocol)。现代计算机网络通信协议都采用层次结构,它集合了包括网络,物理链络、操作系统及用户进程(Process,即用户程序的一次执行过程)交换信息所规定的一些规则和约定。它是网络操作系统的关键部分。

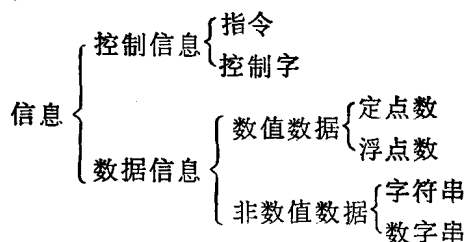
网络操作系统和执行数据通信系统基本处理任务的程序(亦可称为应用程序)组成了计算机网络软件。

综上所述,一个计算机系统是由许多硬、软功能部件,按照一定的组织与结构集合而成的。硬件是计算机系统的物质基础,只有配备了基本的硬件,才具备配置软件的条件。然而,软件的配置给计算机带来了生命的活力。因此,可以比喻为“硬件是基础,软件是灵魂”。

从功能的角度来看,软件和硬件又存在着互相补充的关系,一方没有实现的功能可由另一方来补足。因此,对于某个具体的功能来说,究竟是由硬件实现还是由软件实现存在着功能分配问题。如何合理分配软、硬件的功能是计算机系统总体结构的重要内容。本书侧重介绍组成现代计算机系统的基本硬件,其中包括为配置操作系统所必须提供的支持硬件。尚须指出,计算机的硬件系统与软件系统之间的分界面(Boundary)是随着计算机的发展而动态地变化的,务请读者注意。

第二章 数据的表示

计算机加工的对象是数据信息，而指挥计算机操作的是控制信息。因此，计算机内部的信息可分为两大类：



本章重点讨论数值数据的结构、含义、量纲和转换。

2.1 数值数据

在机器内部，数据的表示依赖于机器硬件电路的状态。数据采用什么表示形式，直接影响到计算机的结构和性能。在保证数值不变和工艺许可的条件下，尽量选用简单的数据表示形式，以提高机器的效率和通用性。

输入计算机的数据如果有确定的数值，能表示该数的大小，能在数轴上找到确定的点，这样的数据称为数值数据。

表示一个数值数据有三个要素：进位计数制、定点和浮点、数的编码表示。

2.1.1 数字系统

现代计算机几乎都采用二进制数字系统，然而人们习惯于使用十进制系统。为了协调人与机器所用进位制之间的差别，我们必须研究数字系统中各种进位制结构的特性，以及它们之间的相互转换，从中找出规律性的东西。

当基数为 R 时，凡是按“逢 R 进一”的进位计数制组成的数字序列，称为 R 进位计数制的数。这个数使用 $0 \sim (R-1)$ 个数字符号，例如，二进制数字系统，基数 $R=2$ ，使用的数字符号为0和1；十进制数字系统，基数 $R=10$ ，其数字符号包括0、1、…、8、9。

数的大小以“值”来表示。在数字序列中，一个数字符号处于不同的位置时，所含的值是不同的，这个值等于该数字符号乘上它所在位置的权。权是一个指数，底是进位基数 R ，幂是序号。数 X 和它的值 $V(X)$ 可用下列公式表示。

$$X = x_{n-1} x_{n-2} \cdots x_0 . x_{-1} x_{-2} \cdots x_{-m} \quad (2-1)$$

$$V(X) = \underbrace{\sum_{i=0}^{n-1} x_i R^i}_{\text{整数部分}} + \underbrace{\sum_{i=-1}^{-m} x_i R^i}_{\text{小数部分}}$$

这里 $V(X)$ 表示数 X 的值， R^i 是第 i 位的权， m 、 n 为正整数，在 x_0 与 x_{-1} 之间用小数点隔