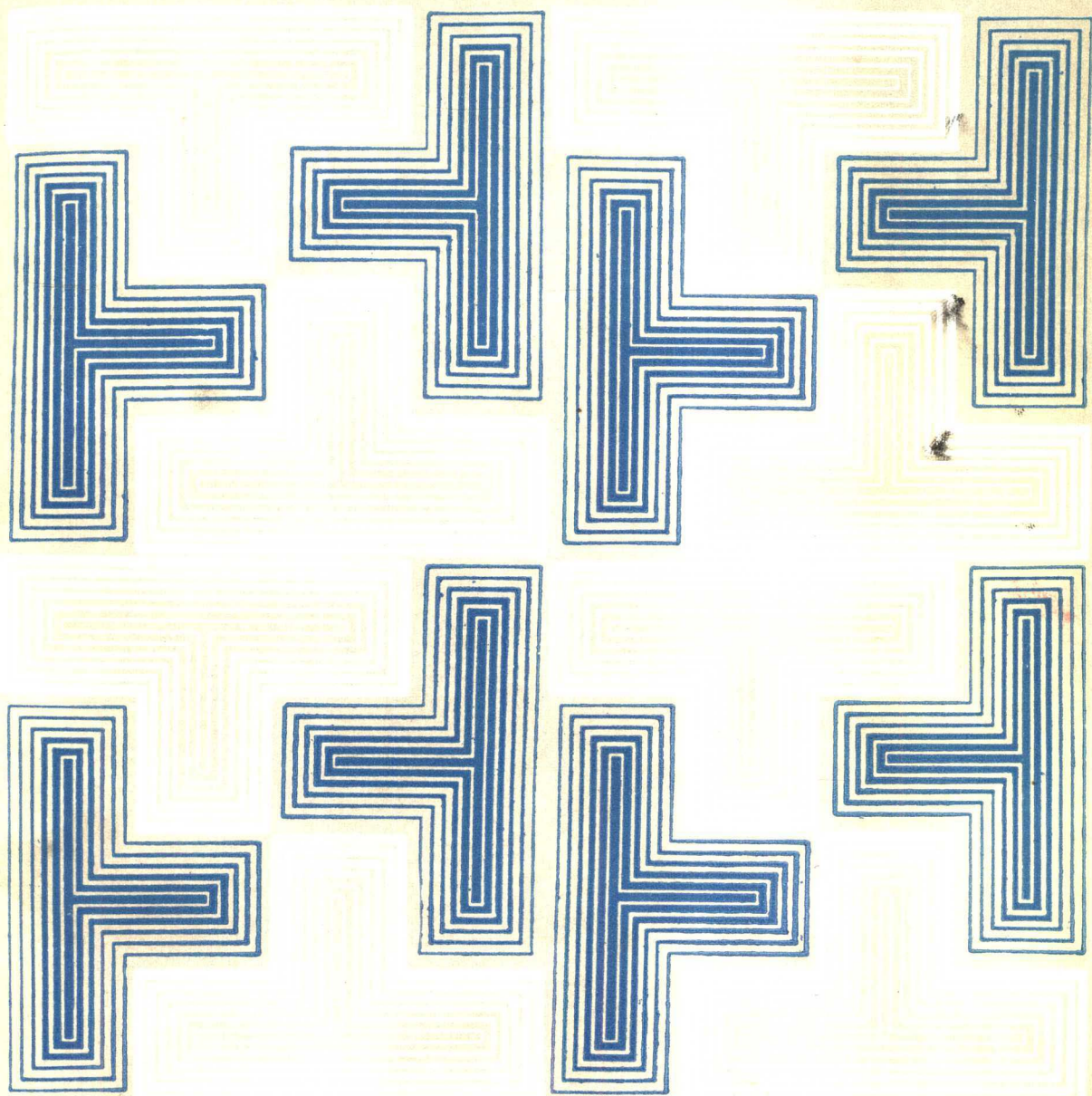


计算机组成原理

鞠 九 滨 编



中央广播电视大学出版社

计算机组成原理

鞠九滨 编

中央广播电视大学出版社

计算机组成原理

鞠九滨 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

文字六〇三厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 千字 449

1988 年 4 月第 1 版 1988 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—15,000

定价: 3.65 元

ISBN 7-304-00173-9/TP·8

内 容 提 要

本书介绍现代计算机硬件系统的组成和工作原理。全书共分八章。第一章概述计算机硬件的基本功能部件及其动作原理,计算机性能指标、分类、发展概况。第二章介绍运算器的组成方法以及基本运算方法。第三章介绍指令格式、寻址方式和指令类型,以及 Z-80、VAX-11 指令系统和 RISC 技术。第四章介绍中央处理机的组成,指令执行过程及其控制方式,操作控制器的组成,Z-80/CPU。第五章介绍半导体存储器的组成,扩大主存容量和提高主存操作速度的技术。第六章和第七章介绍几种典型外部设备的工作原理、用途,以及控制方法。最后一章展望计算机硬件发展趋势。每章末都有习题。

本书可用作高等院校计算机专业教材,也可作为其它有关专业师生和科技人员的参考书。

前 言

本书是为中央广播电视大学计算机应用专业编写的教材。按照该专业教学大纲,学员在学完电路分析、数字电子技术基础等有关基础课后学习本课。本课计划学时数为54。后继课有汇编语言和微机接口及应用两门课程。限于当前电大的实验设备主要是Z-80微机系统,这两门后继课的内容均以Z-80微机为主,所以本课在介绍计算机组成的一般原理时,主要介绍Z-80的基本组成,为后继课打好基础。

本课程不同于微机原理课。本课程介绍现代计算机广泛采用的一般的组成原理,并不限于某一种特定机型。这些一般性的原理可为任何机型采用,目前主要反映在小型机中,超级微机逐渐也采用这些原理。有些原理是以前的小型机,甚至大型机所采用的。计算机组成的技术和所使用的元器件、部件更新很快,使得原来不能应用于小型机和微型机的某些大中型机所使用的技术,现在已可能被小型机和超级微型机所采用,相反的情况也有。虽然组成计算机的最基本的方法变动相对地慢一些,但是基本原理本身也在逐渐变动中。有人估计,计算机科学与技术的知识“半衰期”为五年。也就是说,目前的计算机知识在十年以后绝大部分将为新内容所取代。这是有一定道理的。

本书根据上述思想组织材料,尽量反映当前最新的技术与原理。在介绍每个基本部件时力争反映最新的内容。最后一章还对计算机硬件的发展作简短的回顾和展望。

编写本书的另一个指导思想,是要突出计算机组成的功能级部件。计算机硬件系统由主机和外部设备组成;主机由中央处理机和主存贮器组成;中央处理机由运算器和控制器等部件组成。因此先介绍主机,后介绍外部设备;先介绍中央处理机,后介绍主存贮器;先介绍运算器,后介绍控制器。介绍时既注意到各功能部件的组成与工作原理,又注意到各功能部件之间的联系。整机概念的建立无疑是本课程的主要目的之一,这必须在充分了解各功能级部件的组成与动作原理基础上,清楚地懂得它们之间的关系才能达到。

本书由吉林工业大学吴治衡教授主审,他仔细审阅了本书,提出很多重要意见,编者表示感谢。由于时间紧迫,一定还有很多错误和不当之处,敬请读者指正。

鞠九滨

吉林大学计算机系

1987年8月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 计算机的基本功能部件	(1)
1.2 计算机的基本操作.....	(3)
1.3 总线结构.....	(4)
1.4 计算机系统的组成.....	(6)
1.5 计算机性能指标与分类	(9)
1.6 计算机发展简史.....	(11)
习题	(13)
第二章 运算器	(14)
2.1 数和字符的表示方法	(14)
2.2 算术逻辑部件(ALU).....	(21)
2.3 定点加减运算	(34)
2.4 定点乘法运算	(40)
2.5 定点除法运算	(45)
2.6 浮点数运算	(48)
习题	(52)
第三章 指令系统	(55)
3.1 指令格式	(55)
3.2 寻址方式	(61)
3.3 指令类型	(66)
3.4 Z-80 指令系统	(67)
3.5 VAX-11 指令系统.....	(76)
3.6 简化指令系统	(87)
习题	(91)
第四章 中央处理机	(93)
4.1 中央处理机的组成	(93)
4.2 中央处理机的基本操作	(96)
4.3 控制方式与时序	(102)
4.4 组合逻辑控制器	(104)
4.5 微程序控制器	(111)
4.6 Z-80 中央处理机	(120)
4.7 Z-80/CPU 的时序与控制.....	(125)
习题	(130)
第五章 主存贮器	(131)
5.1 基本概念	(131)
5.2 半导体随机存贮器芯片.....	(134)

5.3	用半导体 RAM 片子组成主存储器	(142)
5.4	半导体只读存储器	(147)
5.5	微处理器与存储器的连接	(149)
5.6	多模块存储器与交叉存取	(156)
5.7	高速缓冲存储器	(158)
5.8	虚拟存储器	(163)
	习题	(169)
第六章	外部设备	(171)
6.1	磁盘系统	(171)
6.2	磁带系统	(183)
6.3	CRT 终端	(185)
6.4	图形设备	(194)
6.5	打印机	(195)
6.6	智能终端	(200)
6.7	汉字输入/输出设备	(203)
	习题	(205)
第七章	输入输出控制	(206)
7.1	I/O 设备的寻址	(206)
7.2	简单程序控制的数据传送	(209)
7.3	同步	(211)
7.4	中断处理	(216)
7.5	Z-80 中断系统	(224)
7.6	直接访问存储器 (DMA)	(231)
7.7	I/O 通道	(240)
7.8	I/O 接口	(249)
7.9	标准 I/O 总线	(258)
7.10	I/O 接口小结	(267)
	习题	(268)
第八章	发展趋势	(270)
8.1	计算机的基础器件	(270)
8.2	微型计算机	(274)
8.3	巨型机	(276)
	主要参考文献	(279)
	附录	(280)
附录 1	Z-80 指令功能表	(280)
附录 2	Z-80 指令的机器周期表	(294)
附录 3	S-100(IEEE 696)总线表	(299)
附录 4	多总线(IEEE 796)表	(302)
附录 5	RS-232C 接口标准及常用信号表	(303)
附录 6	IEEE 488 总线表	(304)
附录 7	中英文名词对照表	(305)

第一章 概 论

电子计算机有两大类：电子模拟计算机和电子数字计算机。模拟式电子计算机所处理的电信号在时间上是连续的，称为模拟量。例如，用电信号的幅值去模拟数值或某一物理量大小。而数字式电子计算机所处理的电信号在时间上是断续的，称为数字量。电子数字计算机就是一种快速电子计算装置，它接受数字化的“输入”信息，按照存放在它的“存贮器”中的“程序”对该信息进行处理，然后产生“输出”信息。

采用数字化信息有很多好处。首先是其表示的数值的范围和精度没有限制（只要设备的代价允许）；数字化信息还能用各种存贮器和寄存器保存，使数字计算机可具有极大的存贮容量；数字信息可用来表示各种物理量和逻辑变量、文字符号和图形等。因而数字计算机除了可以进行数值计算外还能进行逻辑加工，具有广泛的功能。

由于数字式电子计算机具有这些明显的优点，已成为信息处理装置的主流，通常所说的电子计算机都是指数字式电子计算机，除非特殊说明者例外。本书只讨论数字式电子计算机。

本章将介绍一些基本概念以及有关术语。

1.1 计算机的基本功能部件

现代计算机在规模、运算速度和价格等方面差别很大，但其基本原理却大体一样。存贮程序的概念，最初由冯·诺依曼等人提出。冯·诺依曼结构由五个在功能上独立的主要部件组成：输入设备、主存贮器、算术逻辑部件或运算器、输出设备和控制器。如图 1.1.1 所示。

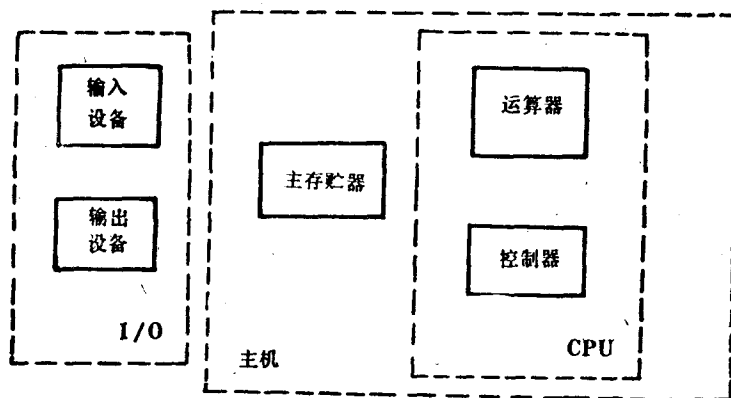


图 1.1.1 计算机基本功能部件

输入设备从操作员、某些机电设备或是经过数字通信线路连接到该计算机上的其他计算机

接受原始的数据和控制信息,并将它变为计算机能识别的信息。这些信息存放到主存储器中(目前主要由半导体元件组成)准备使用,或者立即由运算器执行所希望的操作(加、减、乘、除等)。操作步骤也用一些代码表示,存放在主存储器中。最后,运算结果通过输出设备打印、显示或控制。所有这些动作均由控制器协调。图中并未画出这五个部件之间的连接,连接方法很多,本书中很多地方将进行讨论。

通常把运算器(ALU)跟主要控制电路合起来称作中央处理部件(CPU)或简单称做处理器(处理机)。“中央”一词用以指出在给定的计算机中大多数控制功能是集中在一个单一部件中。现代系统经常包含很多处理机,每一个处理机执行一个指定的功能。

主存储器也称**内存**,是能以电子速度操作的快速存储器。程序执行期间,程序及数据存放在主存储器中。主存储器包含一大批半导体存储单元,每个单元能存储一位二进制(比特)信息。这些单元很少是逐个单独读出和写入的,而是成组地被处理,这组单元称为一个“字”。一个字由一个或几个字节组成,每个字节由8位二进制信息组成。

为便于访问主存储器中的每个字,给每个字的位置起个不同的名字,这些名字是识别相邻字的一些编号,称作**地址**。根据所指定的地址,发出一条命令并启动存储或检索过程,就可以对某个指定的字进行访问。

通常把每个字的位数称为该计算机的**字长**。数据在计算机内通常以字、多倍字、半字或更小单位为单位进行操作,典型的存储器访问仅读出或写入数据的一个字。

处理器与主存储器合起来称作**主机**。

输入和输出设备通常合称为外部设备(简称**外设**)或输入——输出设备(I/O设备)。很多标准设备同时具有输入和输出功能。最简单的例子就是我们经常碰到的阴极射线管(CRT)终端,它包含一个用于输入的键盘和一个用于输出的CRT显示器。我们必须强调,在设备内部输入和输出功能是分开的。因此,尽管操作员把它们联系在一起视为同一设备,但计算机则把它们视为两个不同的设备。

外部设备包括**辅助存储器**,也叫**外存储器**。由于主存储器比较贵,在需要存储大量数据时,有些数据并不需频繁访问,则可放入辅助存储器,例如磁盘和磁带存储器中。为了方便起见,把输入计算机的信息分成两类:**指令和数据**。指令是明确的命令,它的功能是:

管理信息在计算机内部以及计算机与其I/O设备之间的传送;

指定要完成的算术与逻辑操作。

完成一个任务的一组指令称为**程序**。通常的操作方式是先把一个(或几个)程序存放到存储器中,然后处理机从存储器中读取构成该程序的指令并执行所要求的操作。在正常情况下,按指令存入的顺序依次执行指令,当要求进行程序转移时,可以离开正常的次序。这样,除了由于操作员或连接到此机的数字设备进行干预外,计算机的实际动作完全由事先存入的程序来控制。

数据包括编码的字符和数字,用作指令的操作数。如果某个程序要由其他程序进行处理,也可以把被处理的程序看成数据。

由计算机处理的信息必须以适当的格式编码。由于目前大多数硬件(电子电路和机电设备)

所用的电路只有两个自然稳定状态,即接通和断开状态,故采用二进制编码。这就是说,每一个数字、电文符号或指令,都可编码为一串二进制数字(比特)。每一位数字取两个可能的数值。数字通常用二进制记数法表示,有时也用二—十进制编码格式。

字母和数字字符也用二进制编码表示。计算机的操作可归纳如下:

通过输入部件接受信息(程序和数据),并传送到存储器;

在程序控制下,从存储器中取出信息并送到运算器进行处理;

处理后的信息通过输出部件从计算机输出;

机器内部的所有活动都在控制器的控制下进行。

1.2 计算机的基本操作

上一节已说明,计算机内的动作是由指令控制的。为了完成一给定任务,把一组指令所构成的程序存入主存储器,指令逐条地从主存储器取到处理器进行规定的操作。所以计算机的工作过程就是不断地取指令、执行指令的过程。为了传送主存与处理器之间的信息,首先把要访问的存储地址送存储器,并发送一个相应的控制信号,然后把数据存入存储器或从中读取。

图 1.2.1 表明了主存储器与处理器的连接方式。CPU 中的运算器 ALU 是主要的处理部件。CPU 还包含一些寄存器,用来暂存数据。其中有两个寄存器特别重要:指令寄存器(IR)存放正在执行的指令,其输出用于控制线路,为实际处理电路提供执行该指令所需的定时信号;程序计数器 PC 也是个寄存器,控制程序执行顺序,它含有当前正在执行的指令的存储器地址。在当前指令的执行过程中,PC 的内容要更新,指向下一条要执行的指令的地址。

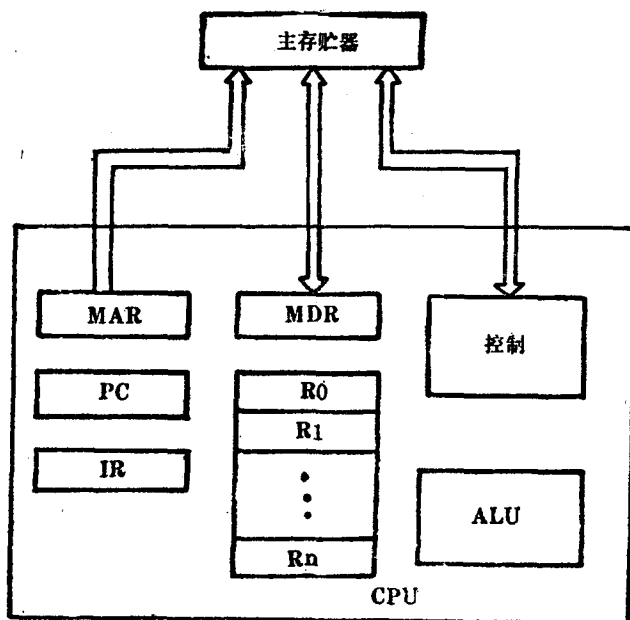


图 1.2.1 CPU 与主存的连接

除了 IR 和 PC 之外通常还有另外一些通用寄存器 $R_0 \sim R_n$ 。

还有两个寄存器有助于实现与主存的通信,就是存储器地址寄存器(MAR)和存储器数据寄存器(MDR)。MAR 寄存要放入或读出的数据的存储器地址;MDR 则寄存写入到该地址的数据或从该地址读出的数据。

现在研究某些典型的操作步骤。程序通常利用输入设备进入主存。程序的执行是从设定 PC 开始,PC 指向程序的第一条指令。PC 内容送到 MAR,并把一个读控制信号送到存储器。经过一段时间,从存储器读出要访问的字(即程序的第一条指令),并送至 MDR,再从 MDR 送至 IR,进行译码并执行。

如果指令包含要由 ALU 完成的操作,就必须获得所需的操作数。如果操作数存放在存储器中(也可能放在处理器的通用寄存器中),就需要把它的地址送到 MAR,并发动一个读周期把此数取出来,操作数从存储器读到 MDR 后,再从 MDR 送到 ALU。以此方式取出一个或多个操作数之后,ALU 就可执行要求的操作了。如果操作结果要保存到存储器中,就必须把结果送到 MDR,把存放此结果的地址送到 MAR,发动一个写周期。此时,PC 的内容加 1,指向下一条指令的地址。这样,一旦执行完当前指令,就可以开始取新的指令。

例如,某计算机用符号表示的一条指令

ADD LOCA, R0

其意义是:把主存中地址为 LOCA 的操作数与 CPU 中的寄存器 R0 中的数相加,结果放在 R0 中。这条指令需要分几步执行:先把指令从主存存储器中取出并送到处理器,然后从 LOCA 取出操作数并把它加到 R0 中去,最后把结果存放到 R0 中。

除了在主存存储器与处理器之间传送数据外,还应具备从输入设备接受数据以及把结果送往输出设备的能力,因此必须提供一些具有 I/O 传送能力的指令。

有时要改变程序的正常执行顺序。这往往是由于某些设备需要紧急服务。例如,某个计算机控制的工业过程中,监控设备检测到一个危险情况,为了迅速有效地处理这一情况,必须中断处理器正在执行的程序流。为此,该设备发出一个中断信号。中断是某个 I/O 设备的请求,要求处理器为其服务。处理器执行一个相应的中断服务程序为该设备提供所请求的服务。由于这种改变可能使处理器的内部状态变化,故在中断服务前,必须把处理器的状态保存在主存中。要保存的通常有 PC 内容、通用寄存器内容以及某些控制信息。中断处理程序一结束,就恢复处理器的状态,以便继续执行被中断的程序。

1.3 总线结构

到目前为止,我们已讨论了计算机各组成部分的功能特性。为了构成一个可使用的系统,必须用某种组织方式把各部分连接起来。连接的方法很多,我们考虑三种最常用的结构。

如果一台计算机想得到较高的操作速度,必须采用并行方式,也就是说,在某一给定时间内,所有部件都能处理一个完整的数据字,部件之间的数据传送采用并行方式,这意味着为了建

立必要的连接，需要大量的连线。这种具有某些共性的连线集合称为总线(BUS)。除了传递数据的连线外，还有一些作控制用的连线和地址线。因此总线包括数据线、地址线和控制线。能一次并行传送的数据位数叫作总线的通路宽度。

1.3.1 面向中央处理器的双总线

如图 1.3.1 所示，该系统具有面向中央处理器的双总线结构。一组总线连接中央处理器和主存储器，称为存贮总线。中央处理器通过这条总线从主存中取出指令和数据，并将处理结果通过此总线送回主存。另一组总线用于连接中央处理器与外部设备(经过外设接口)。这种连接比较简单，对输入/输出总线的传送速率要求相对低些。缺点是外部设备与主存之间要交换信息必须经过中央处理器，使能高速工作的中央处理器要花费大量时间来处理信息的输入和输出，降低了工作效率。

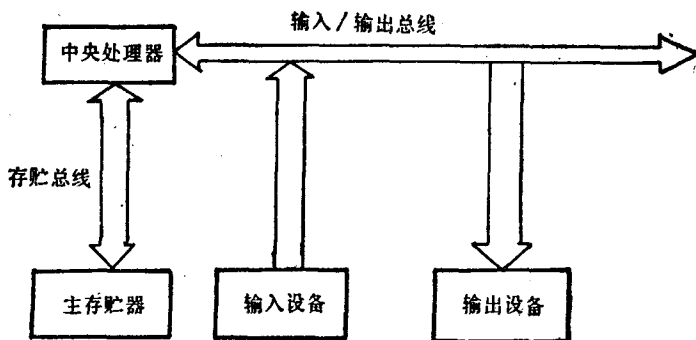


图 1.3.1 面向中央处理器的双总线

1.3.2 单总线结构

图 1.3.2 表示单总线结构，典型例子是 PDP-11 计算机的单总线结构。它使用一组总线连接所有部件，中央处理器与主存、外部设备之间，外部设备与主存之间，外部设备之间，都通过这一单总线交换信息。这种总线结构的优点是可将外部设备的寄存器与主存单元统一编址，中央处理机通过统一的传送指令象访问主存一样访问外部设备的寄存器，不仅控制方便，而且易于扩充系统所配置的外部设备。此外在外部设备与主存交换信息时，允许中央处理机继续做某些工作。单总线的缺点是，由于所有部件都挂在同一总线上，同一时刻只能允许一对设备相互传送数据，这就使信息传送的数率受到限制，否则将要求总线具有极高的传输速率。另外，单总线控制逻辑比专用的存贮总线控制逻辑复杂，中央处理机向主存存取信息可能比通过存贮总线存取要

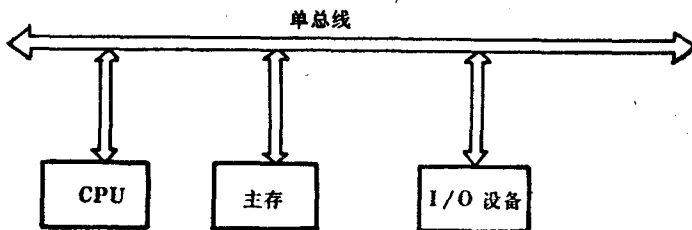


图 1.3.2 单总线

慢些,所以单总线广泛用于速度不是很高的小型计算机和微型计算机中。

1.3.3 面向存贮器的双总线

图 1.3.3 所示为面向存贮器的双总线结构。它保持了单总线结构的优点,所有部件都可以通过总线交换信息,而在中央处理机与主存之间又专门设置了一组高速的存贮总线,使中央处理机可通过专用总线与主存交换信息,速率高,并且减轻了总线负担,同时主存仍可通过总线与外部设备交换信息,不必经过中央处理机。这种结构吸取了前两种结构的优点,但要增加硬设备。

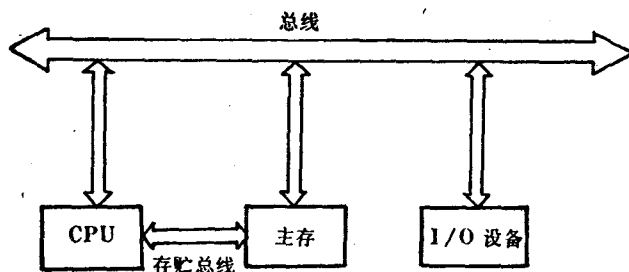


图 1.3.3 面向存贮器的双总线

总线结构的差别对计算机的性能有显著影响。但从概念上讲,它们与计算机的功能组成和基本操作原理无关。

信息在总线上的传送速度很难与总线所连接的全部设备的操作速度直接匹配。某些机电设备速度相当低,例如 CRT 终端和打印机。另一方面,如磁盘和磁带,其速度又相当高。主存贮器和处理机又以电子速度操作,成为计算机中速度最快的部分。由于这些设备必须通过总线进行通信,有必要提供一种有效的传送方法,使它不受慢速设备限制,并能解决处理机、主存贮器和外部设备之间在定时差别方面的问题。

一种常用的方法就是使设备带有缓冲寄存器,以便在传送期间保存信息。为了说明这种技术,现假设要把一个编码字符从处理器传送到字符打印机打印,处理器通过总线向打印机发送此字符。因为缓冲寄存器是一个电子寄存器,此传送所需时间极少,一旦信息装入缓冲寄存器,打印机就不需处理器干预而开始打印。此时总线和处理器不再被占用,可以释放进行其他活动。打印机开始打印其缓冲器中的字符,在打完之前不能再传送字符。总之,缓冲寄存器消除了各种处理器、主存和 I/O 设备等由于必须在一个完整的计算机系统中相互通信而产生的定时差别。这种寄存器防止高速处理器在连续的数据传送期间被慢速 I/O 设备所阻塞,这就允许处理器迅速地从一部件切换到另一部件,交叉地进行处理活动,使数据送到各种部件中去或从它们中取出来。

1.4 计算机系统的组成

一个完整的计算机系统由硬件和软件两部分组成。上节介绍的计算机的基本组成称为硬件,硬件是构成计算机的物理实体,可以摸得到,看得见,它是整个计算机系统的物质基础,也是

核心,因此又称为内核。软件是指各种程序及其说明文件。

1.4.1 软件

软件包括系统软件与应用软件。系统软件主要包括各种语言处理程序、操作系统和各种服务程序。

汇编语言 这是最基本的语言处理程序。早期的计算机都使用机器语言,即指令和数据都用二进制形式表示。用这种机器语言写的程序,计算机可以直接识别和执行。但用机器语言编程是非常麻烦的,而且常常出错,因此后来人们就使用符号文字化形式的语言来写,叫汇编语言。

但是用汇编语言写的程序(称作汇编语言源程序)不能被机器直接识别和执行,必须转变成机器指令代码(叫作机器语言目标程序)。能完成这种转变的工具叫作汇编程序。在机器上运行这种汇编程序时,用汇编语言写的源程序作为数据输入,汇编程序对它进行操作,产生等效的机器语言目标程序,如图 1.4.1 所示。



图 1.4.1 汇编程序的作用

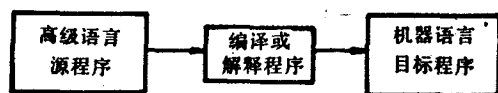


图 1.4.2 编译和解释程序的作用

高级语言 使用汇编语言仍很不方便,并且每种机器的汇编语言都不相同。使用类似英语语句的高级语言就方便得多,而且对各种机器都通用。例如非常普遍使用的 FORTRAN 语言(科学应用)和 PASCAL 语言(教学和研究应用)以及 BASIC 语言等。

使用高级语言编写的程序(源程序)也要经过转换变成机器可以识别和直接执行的机器语言,能完成这种转换工作的工具叫作编译程序。当机器运行这种程序时,把源程序作为输入,进行操作,最后变成机器语言目标程序,作为输出。(图 1.4.2)

还有一种工具称作解释程序。当机器运行它时,它从源程序中逐条取出语句,边解释(翻译)边执行,而不是把整个源程序翻译为目标程序然后再执行,例如 BASIC 语言常使用解释程序。

操作系统 这是一套程序模块,用来管理计算机系统的硬件和信息(包括程序和数据),使用户更方便地使用机器。它隐匿了硬件的复杂性并简化了用法。功能较强的计算机系统允许很多用户同时使用,这时有多个程序分时地在此计算机中运行,即某一段时间只能运行一个程序,不同的时间运行不同的程序。这种方式也要由操作系统进行管理。现代操作系统还可以提供很多服务,例如:

- 允许一个合法用户在计算机上登录;

- 管理在辅助存储器中放置的用户的数据和程序,保护其不被其他人所访问;

- 程序执行过程中如有差错,可打印出信息;

- 统计用户使用资源的情况,例如使用的终端时间、中央处理器时间等。

服务程序 也叫实用程序,它们或者被操作系统调用,或者是操作系统的一部分,内容很多。常见的服务程序如“编辑程序”,用来在程序的输入或调试过程中对所编程序进行修改;“诊断程

序”判定故障位置;“引导程序”将用户程序放到主存中指定的区域等。

应用程序 为了用计算机解决各种实际问题,必须编制相应的应用程序,例如各种科学计算程序、数据统计与处理程序、情报检索程序、企业管理程序和生产过程自动控制程序等。由于计算机已应用到几乎所有领域,因而应用程序将是多种多样、极其丰富的。

1.4.2 计算机系统结构模型

一个完整的计算机系统应由完善的硬件与软件组成,其模型好象是一个洋葱,如图 1.4.3 所示。

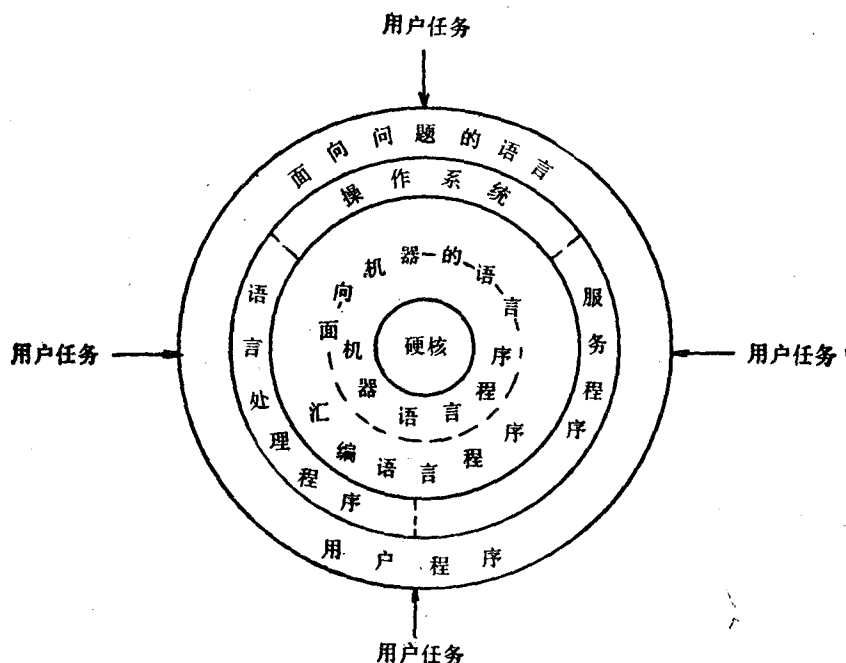


图 1.4.3 计算机系统结构模型

从外向内看,它表明了从用户提出任务到硬件执行的过程。用户提出任务,然后用面向问题即面向算法的高级语言编写程序,称为用户程序。在操作系统控制下调用系统的硬件与软件资源(例如编译程序),将用户程序翻译为机器语言程序。汇编语言虽然比机器代码语言高级些,但仍是与特定机器密切相关的语言,所以也属于面向机器的语言这一级。最后,一切程序都需要由硬件来实现,即“硬核”部分,也称为“裸机”。

1.4.3 硬件与软件的功能分配与逻辑上的等价

计算机系统的某些功能可以由硬件实现,也可由软件实现。例如乘法功能,可以设置硬件乘法器,指令系统中含有乘法指令;也可以只设置加减运算硬件,用程序实现乘法。哪些功能由硬件实现,哪些功能由软件实现,决定于所选定的设计目标、系统的性能价格比等,并与当时的技术水平有关。软、硬件可以互相转化,早期计算机依靠硬件实现各种基本功能。小型计算机的出现曾经形成一种简化硬件的趋势,即让硬件只完成较简单的指令系统功能,依靠软件实现更高一级

的功能,这就使得结构简单而功能较强的小型机得以实现,这是硬件软化。随着集成电路技术的发展,可以用比较小的代价由硬件来实现较强的功能,因此又出现了一种软件硬化的趋势,即将一部分原来由软件实现的功能(例如乘除运算、浮点运算)改由硬件实现,大大提高了运算速度。微程序设计技术的发展,使计算机内部结构和软、硬件的功能分配又出现了新动向。利用程序设计技巧和扩大微程序容量,可以使原来属于软件实现的一些功能由微程序来实现。微程序和其他一些固定不变的程序被存放在固定存储器中,称作“固件”。这样,软、硬件相互渗透,紧密结合,出现了所谓软件固化的趋势。

不管软、硬件如何转化,它们完成的功能是相同的。从程序员的角度看来,重要的是机器能执行哪些基本功能,以作为编程序的基本依据。因此我们说,硬件与软件在逻辑上是等价的。

1.4.4 为什么学习硬件

学习计算机的绝大多数人是为了应用计算机,主要使用软件。因此主要学习如何编写程序解决各种应用问题,以及系统软件本身如何工作,包括研究各种编程语言、数据的表示、创建有效的程序及其评价方法等。绝大多数人并不参加计算机的设计工作。那么为什么还要学习硬件?至少有以下一些理由:

(1) 很多程序员编写程序时虽然不必对硬件掌握得很好,但常常要很好地利用系统的组合。了解硬件有助于改进编程效率和质量。

(2) 不了解硬件很难完全掌握软件。相当多的软件是跟硬件有关系的。

(3) 计算机系统中包含很多子系统,例如终端及其他 I/O 设备,这些跟计算机用户直接有关系,用户至少要有个基本的了解。

(4) 很多程序员要使用所谓低级程序设计语言,必须对硬件有所了解。

1.5 计算机性能指标与分类

1.5.1 计算机基本性能指标

全面衡量一台计算机的性能要考虑多种指标,而且不同用途的计算机,其侧重面也不同。主要的性能指标有以下几方面:

字长 这是指参与运算的数的基本位数,它决定了寄存器、运算器和数据总线的位数,因而直接影响硬件的价格。字长标志着计算精度。为了适应不同需要并协调精度与造价,许多计算机允许变字长计算,例如半字长、全字长、双字长等。由于数和指令都放在主存储器中,字长与指令长度也往往有一个对应关系,因而指令系统功能的强弱程度可能与字长有关。计算机字长从 8 位、16 位、32 位到 64 位不等。

主存容量 以字为单位的计算机常用字数乘以字长来表明存储容量。以字节为单位的计算机则常以字节数表示容量。一个字节由 8 位二进制位组成。可直接访问的主存容量一般受地址码长度限制。由于字长是变化的,因此,现代计算机存储容量基本上以字节为单位。

运算速度 计算机执行不同的操作所需的时间可能不同,因而对计算速度存在不同的计算

方法。一般常用的方法是指在单位时间内执行指令的平均条数,如某机速度为 100 万次/秒,就是指该机在一秒钟内能平均执行 100 万条指令。应该注意,不要把运算速度作为衡量性能的唯一指标,还要考虑字长与处理功能等其他方面。

软、硬件配置 上述三项基本指标还不能全面表示一台计算机的好坏,还要看其整个软件和硬件配置情况,例如指令系统功能,外部设备配置情况,有无功能很强的操作系统和丰富的程序设计语言,以及其他支撑软件和必要的应用软件等。有些计算机系统为了维护的方便,还配有诊断程序。

平均无故障运行时间(MTBF) 所谓平均无故障运行时间是指在相当长的运行时间内,机器工作时间除以运行期间内的故障次数。这是一个统计值,用来表示计算机系统的可靠性。MTBF 越大,则表示可靠性越高。这个值显然与计算机本身的规模(包括元件数量)直接有关,现代微型机的 MTBF 可达几千小时,而主架机可能只有几十个小时,甚至几个小时。

性能价格比 这是一种用来衡量计算机产品优劣的概括性或综合性指标。这里所讲的性能,主要是指计算机的运算速度、主存贮器的容量和存取周期(进行连续存取操作所允许的最短时间间隔)、输入输出设备配置情况、计算机可靠性等。价格则指机器的售价。性能价格比要用专门的公式计算。性能价格比的值越大,表示该计算机越好。一般说来,微型机性能价格比高,超级小型机其次,主架机比较低,同系列计算机中新型号的性能价格比较高。

1.5.2 计算机按性能分类

计算机系统按性能指标可分为巨型机、大中型机、小型机和微型机系统四大类。但这是一种相对的、粗糙的分类方法,实际上很难确定一个标准,因为计算机性能随着技术的迅速发展而提高,早期的大型机性能还不如现代微型机的性能高。因此,按性能分类,只能就某一时期而言。

巨型机 这类机器是计算机中性能最好的,为少数部门的特殊需要而研制,数量不多。我国 1983 年研制成功的“银河”亿次机就属于此类。国防、气象、原子能等方面是巨型机的主要用户。巨型机字长不少于 64 位;速度约为每秒几亿次到几十亿次浮点运算;主存容量为几十兆到几百兆字节;具有高速 I/O 通道,每秒可传送几千万个数据;有很强功能的、效率很高的系统软件。

大中型机 这类计算机通用性最强,性能很好。字长 32~64 位。速度平均每秒几百万到几千万条指令。主存容量为几兆到十几兆字节。有丰富的外部设备和通信接口以及系统软件。磁盘容量几百兆到千兆字节。

大中型和巨型计算机又叫作主架计算机。

小型机与超级小型机 性能较好,价格便宜,应用范围广。字长 16~32 位,速度每秒几十万到几百万条指令,主存容量几兆字节,有一定数量的外部设备与通信接口,配有几种高级语言和汇编语言,有功能较强的操作系统。现代小型机向超级小型机发展,字长多为 32 位,主存容量多为几兆字节,辅助存贮器容量也达几百兆字节,软件系统更为完善。

微型机与超级微型机 在所有各类计算机中,这类计算机价格最便宜,应用最广泛,而且取代不少小型机,这种趋势还要发展下去。现在的超级微型机系统字长已可达 32 位,主存可达几兆字节,辅助存贮器(硬盘)容量可达几十兆甚至百兆以上字节,有些小型机也已微型化。由于采