



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

计算机 组成原理

主编◎陈芳信



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

计算机组成原理

主 编 陈芳信
副主编 郭乐江 雷 军
参 编 马艳春 秦利波

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

全书共分8章,主要包括计算机系统的概论、计算机信息的表示、运算器、存储系统、指令系统、中央处理器、总线系统、输入输出系统和外部设备等。

本书可作为高等教育以及高职高专、远程教育计算机相关专业课程的教材,同时适合计算机相关专业进修提高的人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/陈芳信主编. —北京:冶金工业出版社,2013.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6358-8

I. ①计… II. ①陈… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第139338号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6358-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2013年7月第1版,2013年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15印张; 351千字; 231页

29.80元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是计算机科学与技术学科的一门重要专业基础课程。许多院校都将它定为核心课程和考研课程。其主要内容是计算机各个主要组成系统部件的基本组成和工作原理,它的特点是知识面广、内容多、难度大、更新快,在基础课与专业课之间起着承上启下的重要作用。

本书的理念在于向读者回答两个 what,即计算机的组成有些什么?各部分的作用是什么?在回答两个 what 之后,向读者提出了一个 how,即如何设计呢?概括起来,本书具有以下主要特点:

(1) 内容翔实。

对计算机主要部件的基本概念、基本组成和基本原理进行了较详细的描述,也涉及它们的应用,做到理论联系实际。

(2) 结构合理。

以组成为主线,使读者从信息的连接角度来学习计算机组成的原理,加深对本书的理解。

(3) 贴近考研。

配有大量习题及近三年考研真题,较多地为读者提供理解相关知识和练习的机会,将每章的知识点、习题以及参考答案单列,成为《计算机组成原理习题集》一书,便于读者考研复习。

本书共分 8 章。第 1、2 章介绍计算机的概论、数据表示。第 3~8 章介绍计算机的各个子系统(运算系统、存储系统、中央处理系统、总线系统和输入输出系统)的基本原理。总的学时建议为 40 学时左右为宜。

本书陈芳信为主编,郭乐江、雷军为副主编,马艳春、秦利波参与了本书的编写工作,全书由陈芳信统稿。在本书编写过程中,参考了机关资料,在此对作者们表示感谢。

由于时间较紧,书中若有不妥之处,恳请专家和广大读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月



目 录

1	计算机系统概述	(1)
1.1	计算机的产生与发展	(1)
1.2	计算机的基本组成和层次结构	(4)
1.3	计算机系统的层次结构	(10)
1.4	计算机系统的分类	(12)
1.5	计算机的性能指标	(14)
1.6	计算机的特点及应用	(20)
2	计算机中的信息表示	(23)
2.1	数值数据的表示	(23)
2.2	非数值数据的编码	(37)
2.3	检错与纠错编码	(40)
3	运算方法和运算器	(50)
3.1	定点数运算	(50)
3.2	定点运算器的组成和结构	(67)
3.3	浮点运算	(69)
4	存储器层次结构	(75)
4.1	存储系统概述	(75)
4.2	半导体存储器	(79)
4.3	主存储器	(88)
4.4	高速缓冲存储器	(98)
4.5	虚拟存储器	(107)
5	指令系统	(111)
5.1	指令系统的性能要求	(111)
5.2	指令格式	(112)
5.3	指令设计	(116)
5.4	寻址方式	(123)
5.5	指令系统	(132)
5.6	精简指令集计算机	(137)
6	中央处理器	(140)



6.1	CPU 的总体结构	(140)
6.2	指令周期	(146)
6.3	时序信号和时序产生器	(148)
6.4	硬布线控制器	(150)
6.5	微程序控制器	(153)
6.6	指令流水线	(160)
6.7	多核处理器的基本概念	(173)
7.1	总线概述	(176)
7.2	总线仲裁	(182)
7.3	总线的定时	(185)
7.3	总线标准	(186)
8	输入/输出系统	(190)
8.1	I/O 系统概述	(190)
8.2	计算机外部设备	(196)
8.3	I/O 编址方式	(216)
8.4	I/O 同步控制方式	(217)
	参考文献	(226)



1 计算机系统概述

20 世纪,人类社会的标志性成果之一就是发明了电子计算机,它将人类社会带入了信息时代。计算机问世以来,随之不断发展,尤其是因特网的出现,人们的生活已发生了天翻地覆的变化。计算机已成为大家工作和生活不可缺少的工具之一。目前,以高性能计算机为基础的计算科学已经成为继理论科学和实验科学之后人类科学研究的第三大支柱。越来越多的人希望了解、学习并掌握计算机相关知识。本章将介绍计算机的概念和组成等方面的基本内容,目的在于使读者对计算机有一个总体概念,以便于学习后续各章内容。

计算机是一种以电子器件为基础的,不需人的直接干预,能够对各种数字化信息进行快速算术运算和逻辑运算的工具,是一个由硬件、软件组成的复杂的自动化设备。计算机组成的任务就是依据计算机系统结构分配给硬件子系统的功能,研究硬件子系统各组成部分的内部构造和相互联系,以实现机器指令级的各种功能和特性。也可以说,计算机组成是计算机系统结构的逻辑实现。为了全部掌握计算机组成的内容,本书首先从计算机的产生和发展开始叙述。

1.1 计算机的产生与发展

1.1.1 发展经历

在远古时期,人们就学会用石头、木棒、刻痕或结绳来延长自己的记忆。人类的祖先发明的算盘以及后来工程技术人员广泛使用的计算尺都提高了人们的计算能力。这些计算工具都有一个共同特点,那就是机器要由人按照一定的步骤来操作,每一步运算都要由操作者供给操作数,决定进行什么样的操作并安排计算结果。

1854 年,英国数学家布尔出版了《布尔代数》,奠定了计算机采用二进制进行信息的表示与运算的理论基础。英国数学家图灵在名为“关于可计算的数及其对判定问题的应用”的学术论文中提出了“图灵机”的计算模型,为现代计算机奠定了理论模型。

1946 年 2 月 14 日,为了解决新武器的弹道问题中许多复杂计算,世界上第一台电子数字积分器和计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)在美国宾夕法尼亚大学诞生,这是人类文明史上的一个重要里程碑。从此,电子计算机把人类从繁重的脑力计算和烦琐的数据处理工作中解放出来,使人们能够将更多的时间和精力投入到具有创造性的工作



中去。

电子计算机的发展归纳起来可以说经历了四代,目前正在向着第五代计算机发展。

(1)第一代电子计算机(1946—1954)是电子管计算机。它的特征是采用电子管作为逻辑元件,能够处理的数据类型只有定点数,用机器语言或汇编语言来编制程序。其应用仅仅局限于科学计算。

第一台电子计算机 ENIAC 是由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院的物理教授莫克利和工程师埃克特领导的科研小组研制成功的。它使用了约 18800 只电子管和 1500 个继电器,重达 30 吨,功耗为 150kW,占地面积约 170 m²。采用十进制数据表示形式,计算速度只有约 5000 次加减运算/秒。然而 ENIAC 在 1946 年 2 月正式试算时就创造了奇迹:用短于炮弹实际飞行的时间,求出了 16 英寸海军炮的弹道。其次此阶段形成的存储程序控制的计算机设计方案和冯·诺依曼计算机体系结构,成为后来计算机的设计基础。

(2)第二代电子计算机(1955~1964)是晶体管计算机。它的特征是采用晶体管代替电子管作为逻辑元件;用磁芯作为主存储器;采用磁带、磁鼓、纸带、卡片穿孔机和阅读机作为输入/输出设备。软件方面有了很大发展,相继出现了 Algol, COBOL 等一系列高级程序设计语言。更难能可贵的是,产生了系列机的萌芽,出现了高速大型机系统。

第二代电子计算机中,具有代表性的机器有 IBM 公司生产的 36 位计算机 IBM 7030 和美国数字设备公司(DEC)公司生产的 16 位计算机 PDP-1。与第一代电子计算机相比,第二代电子计算机具有体积小、重量轻、耗电低、可靠性高等优点,计算速度可达到几千到几万次加法运算/秒。

(3)第三代电子计算机(1965~1974)是集成电路计算机。它的特征是采用小规模集成电路代替分立的晶体管元件;由多层印制电路板及磁芯存储器构成;控制单元设计开始采用微程序控制技术。在软件方面,高级语言迅速发展并出现了分时操作系统。在这个时期,计算机产品形成了通用化、系列化和标准化,其的应用领域也开始向国民经济各个部门及军事领域渗透。

具有代表性的第三代计算机有:IBM 公司的大型计算机 360 系列,DEC 公司的 DEC PDP ~8 等。它们的计算速度可达到几百万次运算/秒,甚至几千万次运算/秒。

(4)第四代电子计算机(1975~1990)是超大规模集成电路计算机,用超大规模集成电路构成的半导体存储器作为主存储器。这一时期计算机的性能有了快速提高,由美国人西蒙·克雷创办的克雷(CRAY)公司于 1976 年推出了世界上首台计算速度超过 1 亿次/秒的超级计算机 Cray-1。

在这一时期,微细加工技术的发展、超净环境的实现,以及超纯材料的研制成功均推动着超大规模集成技术的发展,于是出现了依赖于这种技术的微型计算机、单片机等。

在硬件发展的同时,这一代计算机的软件也飞速发展,出现了许多著名的操作系统,如 DOS, WINDOWS, UNIX 等。



这一时期出现了一些典型的计算机,如 IBM3090 等。而应用最多的还是个人计算机,如 PC、苹果机等。

(5)第 5 代电子计算机(1991 年以后)是高性能智能计算机,即采用超大规模、超高速集成电路构成的计算机。在结构上,计算机已从单处理器向多处理器发展,即使是微型机也采用多核处理器,目前常见的是双核处理器和四核处理器。用这样的多核处理器构成计算机可获得很高的性能。此前英特尔公司作出的一块芯片中内含 80 个核的多核处理器,用这样的一块 80 核处理器芯片构成的计算机的运算速度已超过每秒 1 万亿次。

可以想象,若用几百几千甚至上万块双核(或更多核)处理器芯片构成一台计算机,如集群系统,那么该计算机系统的性能将是非常高的。例如,目前用这种思路做出来的计算机系统,其运算速度可达到每秒 1600 万亿次。

第 5 代计算机不仅在速度等性能上不断提高,而且也更加人性化,包括能听、会看、会说、会思等。同时第 5 代计算机的发展必定对软件提出更高的要求,因此也必然会促使包括操作系统、应用软件等在内的各种软件的快速发展。

1.1.2 摩尔定律

1965 年 4 月,《电子学》杂志刊登了戈登·摩尔(Gordon Moore)的一篇文章。在文章中他预言:到 1975 年,可以将 6.5 万个晶体管的元件集成在一块芯片上,制成高度复杂的集成电路。尽管当时听起来天荒地谈。但其精华——预测集成电路芯片内可集成的元件数量差不多每年可增加一倍,在后来的技术发展过程中被证明是正确的。

现在,人们将“摩尔定律”描述为:集成电路上可容纳晶体管数目。约每 18 个月翻一番,性能也提升一倍,而价格将下降一半。

从根本上讲,摩尔定律是一种自我激励的机制,它让人们无法抗拒,并努力追赶。从人们认识摩尔定律开始,无论是英特尔公司、摩托罗拉公司还是其他的半导体器件公司,无一不是不断地努力去实现摩尔定律,不断地推出集成度更高的产品。在 20 世纪 90 年代中期,英特尔利用 350nm 技术制造出集成度达 120 万的 80486。但很快,线宽就逐渐发展到 250nm,130nm,90nm,45nm。今天的半导体工业界已经可以用 45nm 的生产线制造处理器、DRAM 等器件。

可以看到,新技术、新材料的出现,使芯片的集成度进一步提高成为可能。尽管集成度不可能无限地增加下去,但人们预计今后 10 年、20 年甚至 30 年,芯片的制造依旧会继续遵循摩尔定律。摩尔定律将会继续激励人们向更高的高度攀登。



1.2 计算机的基本组成和层次结构

1.2.1 计算机系统的组成

硬件(Hardware)和软件(Software)共同构成了一个完整的计算机系统。

硬件系统是指计算机的实体,由各种电子元件和各类光、电、机设备的实物组成,主要包括主机和外设,是人们看得见摸得着的物体。软件系统用 IEEE 对软件给出的定义来描述就是计算机的程序、方法、规范和相应的文档以及在计算机上运行时所必需的数据。

现代计算机不能简单地被认为是一种电子设备,而是一个十分复杂的软、硬件结合而成的整体。而且,在计算机系统中并没有一条明确的关于软件与硬件的分界线,没有一条硬性准则来明确指定什么必须由硬件完成,什么必须由软件来完成。因为,任何一个由软件所完成的操作也可以直接由硬件来实现,任何一条由硬件所执行的指令也能用软件来完成。这就是所谓的软件与硬件的逻辑等价。

1.2.2 计算机硬件系统

1.2.2.1 早期的冯·诺依曼计算机

冯·诺依曼计算机的精髓就是基于“存储程序”控制的计算机设计方案。那么什么是“存储程序”的思想呢?

“存储程序”的思想用一句话来表示就是计算机的用途和硬件完全分离。具体而言:硬件采用固定性逻辑,提供某些固定不变的功能,指令以代码的形式事先输入到计算机主存储器中,然后按其在存储器中的首地址执行程序的第一条指令,以后就按照该程序的设计要求顺序执行其他指令,直至程序执行结束。

这一思想体现了计算思维的核心概念—自动化。依照这个思想设计的“冯·诺依曼计算机”的特点如下:

(1)具备五大功能:数据存储、操作判断与控制、数据处理、数据输入与输出。对应的计算机由运算器(ALU)、控制器(CU)、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成,各部件的操作及其相互之间的联系如图 1-1 所示。

(2)数据和程序以二进制代码的形式不加区别地存放在存储器中,并以二进制形式进行运算,存放位置由地址指定,地址码也为二进制形式,存储器由一组一维排列、线性编址的存储单元组成,每个存储单元的位数是相等且固定的,存储单元按地址访问。

(3)程序由一条一条的指令有序排列而成,而指令由操作码和地址码两部分组成。操作码规定了该指令的操作类型(即功能),地址码指示存储操作数和运算结果的存储单元地址。操作

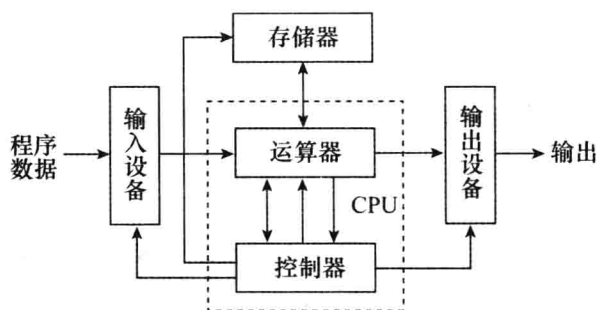


图 1-1 冯·诺依曼计算机结构

数的数据类型由操作码来规定,操作数可能是定点数、浮点数、双精度浮点数、十进制数、逻辑数、字符或字符串等。

(4)控制器根据存放在存储器中的指令序列即程序来工作,并由一个程序计数器(Program Counter, PC)控制指令的执行,每执行完一条指令,PC 就自动加 1,指向下一条指令的存储单元。控制器具有判断能力,能根据计算结果选择不同的动作流程,这种方式也称为控制流驱动方式。

1.2.2.2 现代计算机的组织结构

很明显,以算术逻辑运算单元为中心,输入/输出单元与存储器之间的数据传送都要经由算术逻辑运算单元,这必然使算术逻辑运算单元无法专注于运算,低速的输入/输出和高速的运算不得不相互等待,串行工作。因此,现代的计算机已被改进成以存储器为中心,如图 1-2 所示。这样,输入输出设备就可以与运算器并行工作,输入设备也可与输出设备并行工作,提高了设备的执行效率和利用率。同时也使计算机 5 个功能单元的互连更加简单。

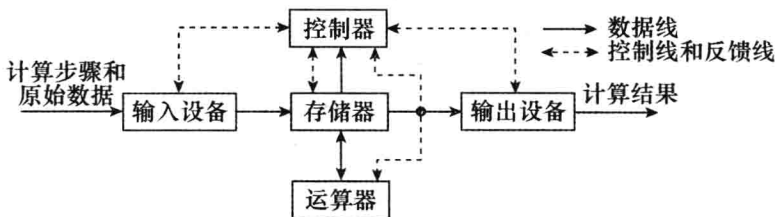


图 1-2 以存储器为中心计算机结构图

1.2.2.3 计算机的功能部件

传统的冯·诺依曼计算机和现代计算机的结构虽然不同,但功能部件是一致的,下面逐一介绍。

A 输入设备。

输入设备的作用就是将人们所熟悉的各种信息形式(如文字、符号、图象、图形和声音等)转换成计算机所能识别和处理的二进制数字形式,并存入计算机人。常见的输入设备有:键盘、鼠



标和扫描仪等。

B 输出设备。

输出设备是直接向人提供计算机运行结果的设备。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、音箱等。

C 存储器。

存储器是计算机的记忆装置,用来存放程序和数据。按其在计算机工作过程的作用不同,可分为主存储器(也称为内存储器)和辅助存储器(也称为外存储器)。

CPU 能够直接访问的存储器是主存储器(简称主存)。主存储器由许多存储单元组成,每个存储单元包含若干个存储元件,每个元件存储一位二进制代码“0”或“1”。故而存储单元可存储一串二进制代码,称这串代码为存储字,这串代码的位数称为存储字长,存储字长可以是一个字节(8bit)或者是字节的偶数倍。为了识别每个存储单元,从 0 号开始,给每个单元一个编号,这个编号称为存储单元的地址。主存储器的工作方式是按存储单元的地址进行存取的,这种存取方式也称为按地址存取方式。

主存的最基本组成可以简化为如图 1-3 所示的逻辑图。存储体存放二进制信息,地址寄存器(MAR)存放访存地址,经过地址译码后找到所选的存储单元。数据寄存器(MDR)是主存和其他部件的中介机构,用于暂存要从存储器中读或者写的信息,时序控制逻辑用于产生存储器操作所需的各种时序信号。MAR 的位数对应存储单元的个数,如 MAR 为 10 位则有 $2^{10} = 1024$ 个存储单元,记为 1kB。MDR 的位数和存储字长相等。

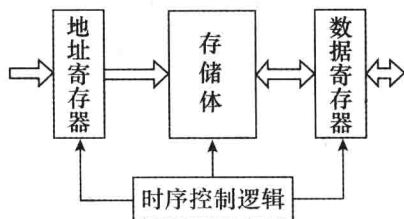


图 1-3 主存的逻辑图

计算机系统中另一个重要的硬件就是辅助存储器。常见的辅存有硬盘、光盘等。辅存的容量比主存的容量大得多,每位的平均价格也低得多,其的访问速度却明显慢于主存,处理器也不直接访问辅存,辅存中的信息只有装入主存后才能供处理器使用。

D 运算器和控制器

在具体实现时候,通常将运算器和控制器集成在一起,构成中央处理单元(CPU)。一般来说,一台计算机通常只拥有一个 CPU,但一台计算机也可以拥有多个 CPU,这样的计算机称为“并行计算机”或“高性能计算机”。

a CPU 的组成

CPU 是计算机系统的核心,由 ALU, CU 以及一些暂存单元—寄存器组成。



b ALU

ALU 主要完成算术运算和逻辑运算。包含若干通用寄存器来用于暂存操作数和中间结果,如累加器(ACC),乘商寄存器(MQ),操作数寄存器(X)、变址寄存器(IX),基址寄存器(BR),存放各种“标志(Flag)”的标志寄存器(FR)等,其中前 3 个寄存器是必须有的。在完成不同运算时,这 3 个寄存器所存放的操作数类别也各不相同。

例如,两个数相乘运算,将[ACC](设[ACC]表示累加器中的内容,其他同理)看做被乘数,先取出存放在主存 M 号地址单元中的乘数[M],将其送入乘商寄存器 MQ,再把被乘数送入 X 寄存器,并将 ACC 清 0,然后[X]和[MQ]相乘,结果(积)的高位保留在 ACC 中,低位保留在 MQ 中,其过程可描述为:

[M]→MQ

[ACC] →X

0→ACC

[X]×[MQ]→ACC//MQ 其中,//表示数据拼接。

“标志”的引入,主要用来表示和区分计算过程的某些状态是。例如,用“零标志(ZF)”表示运算的结果若为 0,则置 ZF 为 1,否则为 0;用符号标志(SF)表示运算的结果是否为负数。若是,则置 SF 为 1,否则为 0;用奇偶标志(PF)表示结果中 1 的个数是否为奇数,等等。这样,程序就可以根据这些标志位的值来选择不同的操作。而这些标志分别占据标志寄存器中的不同位置。

访问主存是 CPU 经常执行的操作,为此 CPU 内部设置了专门存放要访存储单元地址的寄存器 MAR;以及专门存放与主存交换数据的寄存器 MDR。它是主存和其他部件的中介机构,用于暂存要从存储器中读或者写的信息,有的文献称 MDR 为 MBR。MAR 的位数对应存储单元的个数,如 MAR 为 10 位则有 $2^{10}=1024$ 个存储单元,记为 1kB。MDR 的位数和存储器字长相等。

c CU

CU 是 CPU 的指挥机构,是计算机的中枢,由它指挥各部件自动、协调地工作。

首先控制器命令存储器读出一条指令,这称为取指过程,一个指令字中包含的二进制代码的位数称为指令字长;接着对该指令进行分析,指出指令要完成的操作,并按寻址特征指明操作数的地址,称为分析过程;最后根据操作数所在地址以及指令的操作码完成该操作,称为执行过程。

CU 由程序计数器 PC,存放当前指令的指令寄存器(IR)、解释指令的指令译码器(ID)、发出各种命令信号的控制信号发生器(CSG)及相应的控制逻辑电路组成。PC 用来存放当前欲执行指令的地址,它与主存的 MAR 之间有一条直接通路,且具有自动加 1 的功能,即可自动形成下一条指令的地址。IR 用来存放当前的指令,IR 的内容来自主存的 MDR。IR 中的操作码



(OP(IR))送至 CU,记作 $OP(IR) \rightarrow CU$;其地址码(Ad(IR))作为操作数的地址送至存储器的 MAR,记作 $Ad(IR) \rightarrow MAR$. CSG 用来分析当前指令所需完成的操作,并发出各种微操作命令序列,藉以控制所有被控对象。

说明:CPU 中的 IR, MAR 和 MDR 对各类程序员来说是透明的,即程序员感觉不到它们的存在。

1.2.3 计算机软件系统

1.2.3.1 计算机的语言

计算机是按人给它下达的任务来工作的,而人是通过将解题步骤编写成程序的形式来给计算机下达任务的。用来编写程序的符号系统就构成了人与计算机交流的语言即计算机语言。

A 机器语言

由于计算机是一种数字逻辑设备,它只能识别用二进制代码表示的信息,所以,最初的计算机语言是直接用二进制代码来表述的,这就是机器语言。机器语言的基本要素是机器指令(简称指令),每条指令用于给计算机下达一个基本操作任务,一个复杂的解题任务需要按一定的顺序执行多条指令才能完成。这种按一定顺序排列起来的指令序列就是程序。

B 汇编语言

机器语言的优点是程序执行速度快、占用存储空间小,缺点是语言难以掌握、程序调试和排错困难、需要掌握较多硬件知识。为了便于掌握和使用,人们将机器语言符号化,产生了汇编语言。汇编语言使用一些人容易掌握和使用的符号来表示每条指令,使编程和调试更加方便。但汇编语言的符号系统计算机不能直接理解,所以,需要一个转换器来将汇编语言程序转换成机器语言程序,这个转换器叫做汇编程序。

C 高级语言

由于汇编语言与人所使用的自然语言之间仍然存在很大的语义差距,用汇编语言描述一些较为复杂的任务仍很困难。为此,人们又创造了多种高级计算机语言(简称高级语言)。目前常用的高级语言都以英语为基础,使用一些英语语句和单词来描述复杂的程序控制结构及处理功能,增强了对解题算法的描述能力,更接近人们的语言习惯,并且基本上不直接涉及计算机硬件概念,所以更容易掌握和使用。用任何一种高级语言编写的程序,都必须转换成机器语言程序,才能被计算机执行。完成这种转换任务的是一种特殊的程序—编译程序,每种高级语言都要配备自己的编译程序。

1.2.3.2 软件

计算机软件是各种计算机程序的统称。计算机的硬件系统使计算机有了工作的条件和能力,但计算机没有生命和意识,它不可能自主工作,而要靠人通过程序的形式为它安排好工作任



务,它才能被动地按程序规定的步骤进行工作。所以说,计算机的任何工作都离不开软件的支持。完整的、实际可工作的计算机系统,是计算机硬件系统和计算机软件系统有机结合的整体。

计算机软件一般分为两大类,即系统软件和应用软件。

A 应用软件

应用软件是人们为了用计算机完成一些具体工作而编写的程序。如科学计算程序、数据处理程序、自动控制程序、信息管理程序、工程设计程序等。

B 系统软件

应用软件在运行之前,需要从所用的某种语言转换为机器语言;在调试过程中,需要面对成千上万条指令进行查错和排错;在运行过程中,需要大量涉及对各种硬件资源如存储器、输入输出设备等的使用。如果所有这些工作都由应用软件设计者亲力而为,将极大地增加应用软件的设计难度和设计者的工作强度,也不能让设计者将精力集中在解决具体的应用问题上。为此,人们设计了各类工具软件来让计算机帮助完成这些繁杂的工作,这些工具软件统称为系统软件。

系统软件包括:

(1)操作系统。

操作系统是计算机最基本、最重要的系统软件,它负责管理和分配计算机系统的资源(如处理器、存储器、输入输出设备等)。有了操作系统,其他程序的设计者只需在程序中按规定的方式提出对系统资源的使用要求(如内存分配、输入、输出等),操作系统就能帮助它实现对所需资源的操作,无需它亲自处理对资源操作的细节。在支持多任务的计算机系统中,多个作业或进程竞争处理器,也是由操作系统完成调度的。

(2)各种服务性程序。

主要用来帮助人们进行计算机系统故障的诊断,以及软件的调试与排错,如诊断程序、排错程序等。

(3)编译程序、解释程序、汇编程序等。

主要用来将高级语言程序或汇编语言程序转换为机器语言程序。

(4)数据库管理系统。

主要用于帮助人们建立、管理、维护和使用各种数据文件。

显然,有了这些系统软件的帮助,人们可以更加方便、高效地使用计算机,也可以让计算机更好地发挥出它的功能和潜力。

注意:数据库管理系统(DBMS)和数据库系统(DBS)是有区别的,DBMS是位于用户和操作系统之间的一层数据管理软件,是系统软件,而DBS是指计算机系统中引入数据库后的系统,一般由数据库(DB)、数据库管理软件(DBMS)、数据库管理员(DBA)和应用系统构成。

1.2.4 计算机的工作过程

计算机的工作过程归纳起来可分为以下几个步骤:

(1)把程序和数据装入到主存储器中。

(2)从程序的起始地址运行程序。

(3)用程序的首地址从存储器中取出第一条指令,经过译码、执行步骤等控制计算机各功能部件协同运行,完成这条指令功能,并计算下一条指令的地址。

(4)用新得到的指令地址继续读出第二条指令并执行,直到程序结束为止;每一条指令都是在取指、译码和执行的循环过程中完成的。

下面以取数指令(即将指令地址码指示的存储单元中的操作数取出后送至运算器的 ACC 中)为例,其信息流程如下:

取指令: $PC \rightarrow MAR \rightarrow M \rightarrow MDR \rightarrow IR$ 。

分析指令: $OP \rightarrow CU$ 。

执行指令: $Ad \rightarrow MAR \rightarrow M \rightarrow MDR \rightarrow ACC$ 。

此外,每取完一条指令,还必须为取下条指令作准备,形成下一条指令的地址,即 $(PC)+1 \rightarrow PC$ 。

注意: $(PC)+1 \rightarrow PC$ 不能写为 $PC+1 \rightarrow PC$ 。

1.3 计算机系统的层次结构

1.3.1 多级组成的计算机系统

计算机系统是一个硬件和软件结合在一起的复杂系统。跟计算机打交道的人既有计算机的设计者,也有计算机的使用者,他们对计算机系统的认识程度是不一样的。即使同为计算机的使用者,由于工作的领域不同、使用计算机的功能不同或采用的程序设计语言不同,也会对计算机系统产生不同的认识。因此,人们对计算机系统的认识有着明显的层次特征,即在不同层次的人眼里,计算机系统有着不同的作用和组成,这就使同一个计算机系统有了多个层次的结构特征,如图 1-5 所示。

第 1 层是微程序设计层。这是一个实在的硬件层,通过微程序,控制信息在各部件之间的传送,由机器硬件直接执行微指令。这一层的工作需要设计者对计算机硬联逻辑的所有细节都十分熟悉才行,是计算机硬件设计者所见到的计算机。

第 2 层是机器语言程序员眼中的计算机,也就是实现机器指令系统功能的机器。机器指令能直接由控制器识别,但具体的操作控制由微程序解释来实现。这一层的机器语言程序员无需

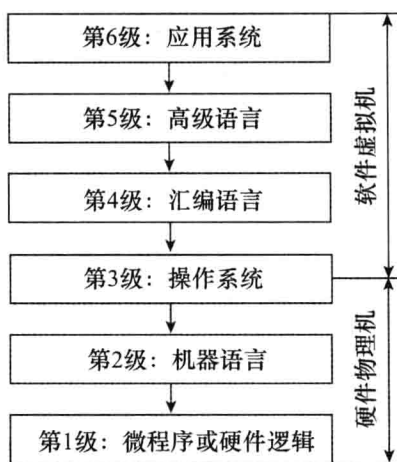


图 1-5 计算机系统的层次结构

了解硬联逻辑及其控制细节,只需掌握机器语言的各种组成成份及使用方法即可,也是一个硬件层。

第3层是操作系统层,是操作系统命的操作员者和管理者眼中的计算机,它可以被看作是各种操作系统命令的解释器。操作系统命令的功能是用第2层的机器指令编程实现的。因此,这一层上的设计者不仅要了解有关的硬件物理计算机,也要了解软件虚拟机。

第4层是汇编语言层。它给程序员提供了一种符号形式语言—汇编语言,但汇编语言指令不能直接为控制器识别,需要将其转换成对应的机器指令才行,而汇编程序的运行需要操作系统的支持。可见,这一层上的工作需要其下各层的支持才能完成。这一层的汇编语言程序员需要掌握寄存器、地址、寻址方式、I/O 端口等一些硬件系统的概念,但无需了解其下各层机器的结构及实现细节。

第5层是高级语言层。它是程序员眼中的计算机。用高级语言编写的程序,必须由各种高级语言的编译程序转换成机器语言程序才能执行,而编译程序的运行需要操作系统的支持。这一层的高级语言程序员基本不需要计算机硬件知识,他只要用某种高级语言编写出解题程序并输入计算机,其他工作就在其下各层机器的支持下自动完成。

从层次上讲,除第一层外,其他各层均得到了它下层的支持。从学科领域来讲,第1层至第2层是计算机组织与结构讨论的范畴,第3层以上则是纯软件的范畴。除第1层直接面对的是计算机的硬件实体外,其他各级机器均由软件实现,称为虚拟机器。第2层的地位是比较特殊的,它处于计算机硬件和软件的交界面。也就是说,计算机的硬件系统是围绕着实现机器语言指令系统的功能而设计,而机器语言是其他一切计算机语言的转换目标,是所有软件的实现基础。

1.3.2 层次结构透明性

在计算机领域中,站在某一类用户的角度,如果感觉不到某个事物或属性的存在,即“看”不