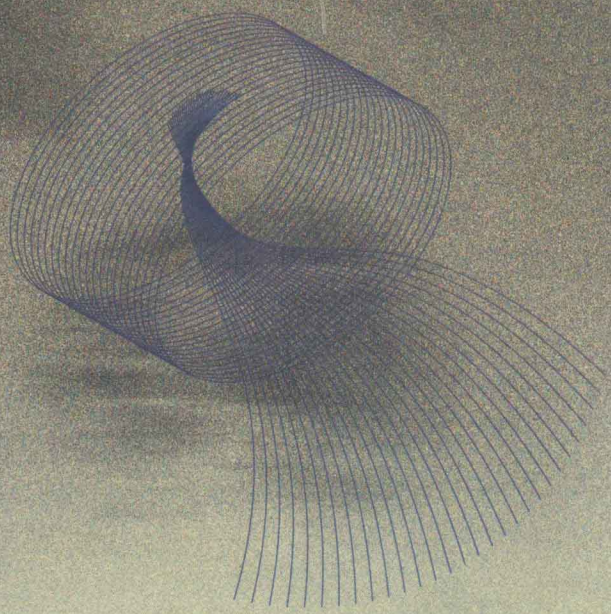
新世纪高等院校精品教材



计算机组成与设计

潘雪增　平玲娣　编著

浙江大學出版社

新世纪高等院校精品教材

计算机组成与设计

潘雪增　平玲娣　编著

浙江大學出版社

图书在版编目（CIP）数据

计算机组成与设计 / 潘雪增，平玲娣编著. —杭州：浙江大学出版社，2003.12
ISBN 7-308-03523-9

Ⅰ.计... Ⅱ.①潘...②平... Ⅲ.①计算机体系结构②电子计算机－设计 Ⅳ.TP30

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 105870 号

责任编辑 杜希武
封面设计 俞亚彤
出版发行 浙江大学出版社
（杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027）
（E-mail：zupress@mail.hz.zj.cn）
（网址：http://www.zjupress.com）
排　　版 浙江大学出版社电脑排版中心
印　　刷 浙江省良渚印刷厂
开　　本 787mm×1092mm 1/16
印　　张 22.5
字　　数 576 千
版 印 次 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷
印　　数 0001—3000
书　　号 ISBN 7-308-03523-9/TP·252
定　　价 32.00 元

内容简介

本书论述当代计算机的基本组成原理和设计 CPU 的方法，内容包括组成计算机的基本逻辑部件与定时方法；指令系统设计的基本原则，与对现代编译器的支持接口，CPU 的构成和控制器的设计技术方法，存储体系的构成原理和设计，以及输入输出系统设计等。书中的举例紧密结合当代计算机先进技术，取材先进、重点突出、叙述深入浅出。

本书可作为理工科大学生学习《计算机组成与设计》课程，或《计算机组成原理》课程的教科书，也可提供从事计算机设计或计算机系统设计的工程技术人员参考。

前　言

本书是为计算机专业的学生，和从事计算机事业的工程技术设计人员编写，本书的内容也适合于有点汇编语言或数字逻辑设计经验而需要进一步学习掌握现代计算机的基本组成结构和设计实现的科技工作者，或者有志于我国计算机事业进步的自学者，因此，也适合非计算机专业的学生使用。本书着重基本原理讲述，强调示例启发，力图贯彻少而精的宗旨。本书使读者通过大量先进的范例学习，掌握计算机系统成功设计的关键技术，包括决定计算机的能力、性能的主要因素。

现代计算机技术要求每一位计算机专业人员，既要懂硬件又要懂软件，因为硬件与软件在多个层次上交叉融合，相互影响。并且提供了理解计算机系统的基础框架(不管读者的兴趣在于计算机科学技术或电子工程设计，计算机组成和设计的主旋律都是相同的)。因此，本书特别强调在设计计算机硬件时与高层软件的接口，同时注重当代计算机原理的描述。传统上汇编语言单独讲述，本书则把汇编语言融入指令系统讲解，并且介绍指令系统时重点放在为设计 CPU 准备必要知识，即为设计服务，这有别于以前大多数《计算机组成原理》的教材。

全书共分七章，第一章是计算机概论，主要介绍计算机的五大功能构成：输入、输出、存储器、数据通路(运算器)和控制器。控制器和数据通路合在一起，有时称为处理器或 CPU。同时包括计算机的层次抽象结构、软件分类，大规模集成电路的制造技术及过程。还包括计算机的技术年代划分，计算机发展历史，体系结构演变等。

第二章为缺乏数字电路设计基础知识的读者而写，也为虽然学过数字逻辑设计而已生疏的读者复习准备，如果已掌握了这方面知识的读者可以跳过这一章，教学过程中，可以视实际情况而决定是否选择讲授。

第三章讲述机器语言——即计算机指令系统，它是计算机硬件与高层编译系统的接口，也是程序员观点所见到的计算机体系结构，着重介绍设计指令系统的基本准则，及当代计算机发明的存储程序的概念和原理。

第四章讲述计算机算术运算，及各类运算器的设计算法和实现技术。二进数数在计算机中的各种表示，包指表示为指令，有符号整数、无符号整数、浮点数等；机器数与算术概念的数的主要差别是计算机中的字长有限，因而它的精度也有限。

第五章讲述处理器的设计原理及实现技术，包括CPU的有限状态机与微程序控制设计技术，具有挑战性的CPU中断事件处理的设计方法，逻辑方程、真值表的表示，PLA的结构化设计等。

第六章讲述多级存储体系结构，包括多级Cache设计原理，虚拟存储系统及设计技术，重点是地址映射变换技术，快查表设计技术，存储体系的框架技术。

第七章讲述输入输出系统，重点讲述与处理器及外部设备的接口技术，还包括I/O系统的性能评价，I/O设备的行为特征，接口的组成，总线协议，I/O设备数据传输的控制方式，以及I/O系统的系统设计技术，设计I/O系统的定量分析方法。

本书提供中文课件，有助于教师上课备课，也便于学生课后复习，更能帮助自我学习.

本书的第一、二、三、四章由潘雪增编写，第五、六、七章由平玲娣编写，参加本书整理的还有潘虎负责完成第一、三章的初稿编写，崔可参加第二章的初稿编写，张玲玲参加第四、五章的初稿编写，姜励参加过第六、七章的初稿编写，全书由潘雪增统稿。

参加本书编写的都是浙江大学计算机学院的教师，作者在不同程度上从事过多年到几十年有关计算机的教学、设计和研制工作。

希望广大读者、同行以及使用本教科书的师生给我们提出宝贵的意见。

潘雪增

2003年10月

目　录

第1章

计算机组成及其技术概论

1.1 引 言

计算机的飞速发展所引起的信息革命被人们称作第三次社会大变革，其影响远远超过了以前的农业革命和工业革命。它对科学产生了巨大的影响，现在出现了一种新型的科学研究，就是计算机科学家同理论科学家、实验科学家一起合作，共同开发天文学、生物学、化学、物理等学科的新的前沿领域。

计算机革命仍在继续。计算机的成本在不断降低，而它的普及程度也在不断提高。过去很多在经济上不可行的应用，现在也逐一实现了。譬如下面的应用，在不久前曾经属于“计算机科学幻想”，如今已是很常见的了。

1. 自动出纳机(automatic teller machines, ATM)：这是一种置于银行墙上，用来分发和收集现金的计算机。这在20世纪50年代是无法想象的，因为那时候最便宜的计算机也要值50万美元以上，并且有一辆汽车那么大。

2. 汽车计算机(computers in automobiles)：由计算机对汽车进行控制，这在过去也是无法理解的。直到20世纪80年代早期，由于微处理器的性能取得了突破性的进展，价格也大幅度下降，它才成为可能。计算机减少了汽车的污染，通过引擎控制提高了燃料利用率，通过防止危险刹车增加了安全系数，并能在撞车时迅速弹出气袋来保护乘车人员。

3. 膝上型计算机(laptop computers)：过去的人做梦也想不到，计算机的发展会产生可以让我们随身携带的膝上型计算机，使我们几乎可以在任何地方使用计算机。

4. 人类基因工程(human genome project)：现在绘制人类DNA序列所需计算机设备的成本将高达几百万美元，再往前推几十年，其成本可能是该价值的10倍甚至100倍以上，那时是没人会考虑这个项目的。

5. 万维网(World Wide Web, WWW)：现在网络正在改变我们的生活。利用网络，我们可以实现资源共享、分发新闻、发送鲜花、在线购物、遨游世界、聊天交友等等。

计算机技术的发展已经影响到社会的各个方面。硬件的发展允许程序员编出很多精彩的实用软件，也使得计算机更加普及。如今，人们对计算机应用又提出了新的科学幻想，如电子图书馆、无货币社会、自动信息高速公路，以及计算机的完全普及(真正意义上的无所不在，到处都有计算机，人们不再需要携带计算机)。

让用户尽快得到结果，是软件开发成功的一个关键因素。在20世纪60和70年代，计算

机性能的一个主要制约因素是其主存储器的大小。因而那时的程序员常常遵循一个简单的信条:在最小的主存储空间内使程序快速执行。但近年来,计算机设计和存储技术的发展已使主存的容量得到很大提高,存储容量的限制大大降低。程序员应当懂得现在的存储器模型和以前的简单模型的区别,以及存储器的层次性和处理器的并行性。要编出有竞争力的各类软件,程序员应该增强对计算机组织结构的理解和认识。

本书将介绍计算机的内部组织结构、软件层次和硬件层次。

本章是全书的基础,主要介绍一些基本概念和思想,并对软硬件的主要组成部分以及集成电路技术进行阐述。

1.2 计算机语言与软件系统

同电子机器进行交流,我们需要发送电信号。机器能理解的最简单的信号是开(on)和关(off),可以用数字 1 和 0 来表示,这样的机器语言可以看作是二进制数(binary number),并把机器语言字母表中的每个字母称为二进制数字(binary digit)或二进制位(binary bit)。计算机是受人们的命令控制的,每个命令称为一条指令(instruction)。指令是计算机能理解的二进制位的组合,可以看作数字(numbers)。例如,位序列 1000110010100000 告诉计算机把两个数加起来。用数字来表示指令和数据,是计算的一个基础。在第三章里,我们将阐明用数字来表示指令和数据的原因。

最早的程序员通过二进制数来和计算机交流,但这样做非常枯燥、繁琐,他们很快发明了更接近人类思考方式的符号。起初这些符号是手工翻译成二进制数的,这样仍然很麻烦。后来有人发明了把符号表达式翻译成二进制数的程序,称为汇编器(assembler),它能把一条指令从符号翻译成二进制数。例如,程序员写下

```
add A, B
```

汇编器会把它翻译成

```
1000110010100000
```

这条指令告诉计算机把两个数 A 和 B 加起来。上面这种符号式的语言,被称为汇编语言(assembly language),这个名称一直沿用到现在。

虽然这是一个很大的进步,但是对于比较复杂的问题,如模拟流体流动、结算账簿等,汇编语言就很难解决了。因为汇编语言要求每一行只写一条指令,使得程序员必须像机器一样思考,限制了程序员的思维空间。

于是人们开始思考:既然我们能够设计汇编器把汇编语言翻译成二进制指令以简化编程,为什么不能写一个程序把更高级的符号翻译成汇编语言呢?

接着人们又发明了一种称为编译器(compiler)的程序,它可以接受更自然的符号,把它翻译成汇编语言。它所编译的语言称为高级编程语言(high-level programming language)。高级编程语言的广泛使用减轻了程序员的工作量,大大提高了软件开发的效率。例如,程序员要把 A 和 B 两个数加起来时,可以写出这样的高级语言表达式:

```
A + B
```

编译器通过编译把它转变成汇编语言:

```
add A, B
```

汇编器再把它转变成二进制指令:

1000110010100000

图 1.1 显示了上述程序和语言之间的关系。

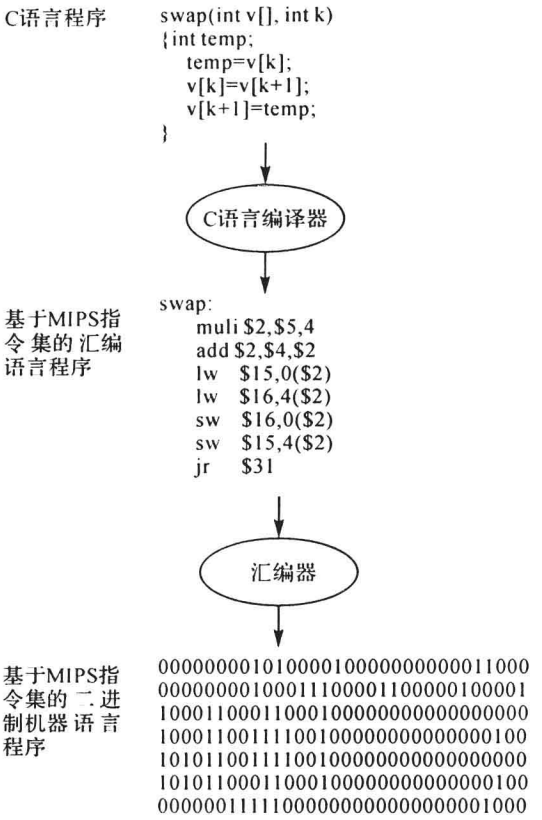


图 1.1　对 C 语言程序进行编译和汇编的过程

运用高级语言编程的主要优点是：

第一，程序员可以用更自然的思考方式编程，使用英语单词和数学符号来书写，这样的程序看上去更像文章，而不是像密码文(如图 1.1 所示的机器代码)。此外，高级语言可以根据需要而设计，如 Fortran 用于科学计算，Cobol 用于商业数据处理，Lisp 用于符号处理。我们熟知的 C 语言具有广泛的用途，一般用于应用软件开发，也可以用于系统程序设计。

第二，提高了编程效率。和汇编语言相比较而言，高级语言的一个优点是简练，表达同一个意思使用的代码行数较少，从而大大节省了编程时间。

第三，高级语言使程序独立于具体的计算机开发环境，因为编译器和汇编器会把高级语言的程序转变成任意特定机器的二进制指令。

鉴于此，现在人们编程普遍使用高级语言，很少用到汇编语言，只对时间和空间有特别要求的场合，例如操作系统的内核，一些监控程序等才用。

随着编程技术的成熟，人们发现，重复使用已经编好的程序比从头做起要高效得多。因此，人们开始把潜在可能广泛使用的程序汇聚成库，称为子程序库(subroutine library)。其中最早的子程序之一就是输入输出数据的子程序，例如控制打印机的子程序，它要确保打印之前打印机中有纸。这类 I/O 软件还控制其他输入输出设备，如磁盘、磁带和显示器等。

人们发现，如果有一个单独的程序来管理、监视其他所有程序的运行，程序的运行效率会

更高。所有被管理的程序排成队列，一个程序执行完毕，管理程序就立刻启动队列中的下一个程序，从而避免了延迟。人们把输入输出子程序库放入管理程序中，成为我们现在所说的操作系统(operating system)的基础。操作系统就是为运行在计算机上的各种程序管理资源的一组程序。

软件可以按照其用途来分类。提供普遍有用的服务的软件称为系统软件(system software)，它们是针对程序员开发的。操作系统、编译器、汇编器都属于系统软件。相反，应用软件(application software)，或者叫做应用程序，则是针对计算机用户开发的，如电子制表软件、CAD 软件、文本编辑器等等。图 1.2 显示了软件和硬件的传统分类法。

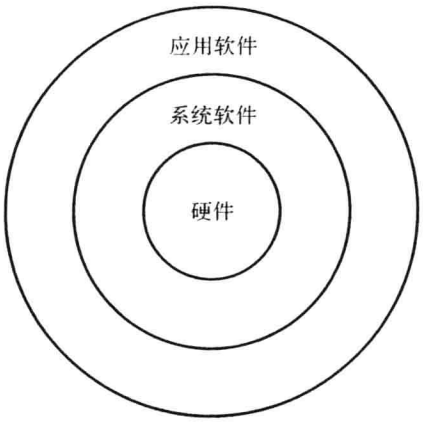


图 1.2 软件和硬件的层次结构简化视图

这种简化视图还存在问题。即我们是否真的能把编译器放在图 1.2 的系统软件层？编译器既能产生应用层次的软件，又能产生系统层次的软件，程序在运行时就不再需要编译器了。图 1.3 显示了一个更现实的系统分类法。它说明软件不是由单一层次的程序组成的，而是由很多程序组成，每个程序可能建立在另一个程序之上。就像一条粗绳的线头，每次你仔细观察分出来的一个线头，就会发现它是由很多更细的小线头组成的。软件的分类也是这样。

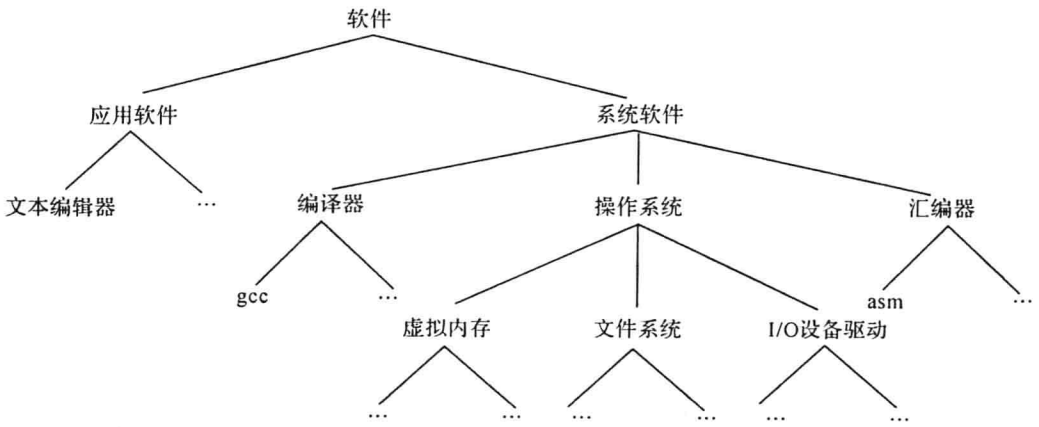


图 1.3 计算机软件分类示例

1.3　计算机硬件系统

一个典型的桌上型计算机包括键盘、鼠标、显示器，以及内装更多硬件的主机。此外还可能有打印机、扫描仪及其连接计算机的线路等。键盘、鼠标、扫描仪属于输入设备，显示器、打印机属于输出设备。输入的意思是把数据送入计算机，输出则是把计算结果送给用户。有些设备如网络线路，则提供输入、输出双向交流。

下面我们逐一介绍计算机的硬件系统。

1.3.1　鼠　标

首先谈谈鼠标。现在人们对鼠标已经习以为常了，但这种点击设备的想法是 30 多年前提出来的。美国人安格巴特于 1967 年展示了第一个有鼠标原型的系统。到了 20 世纪 80 年代，所有的工作站和很多个人计算机都使用了鼠标，基于图形显示和鼠标的新用户界面开始流行。

按照工作原理，鼠标分为机械式和光电式两种。这里介绍机械式鼠标，它装有一个大球，球和两个轮子接触，两个轮子分别是 X 轴方向和 Y 轴方向的。接下来有两种设计方案：一是轮子的转动使得机械计数器变化；二是使得一个槽形轮子转动，从而使得发光二极管照到一个光传感器上。不管是哪种方案，移动鼠标都会使大球滚动，从而转动 X 轴和 Y 轴轮子中的一个或两个，具体取决于鼠标移动的方向。虽然鼠标的接口有很多种类型，但转动每个轮子就会增减系统中某些计数器的值。这些计数器记录着鼠标移动的距离和方向。

1.3.2　图形显示器

接下来我们看看图形显示器。显示器有两种类型。一种是基于电视技术的光栅阴极射线管(raster Cathode Ray Tube, CRT)显示器，如图 1.4 所示，电子枪发出电子束，通过真空，射到荧光屏上。它一次扫描图像的一行，每秒扫描 30 - 75 次。在这样的刷新频率下，人们感觉不到屏幕的抖动。

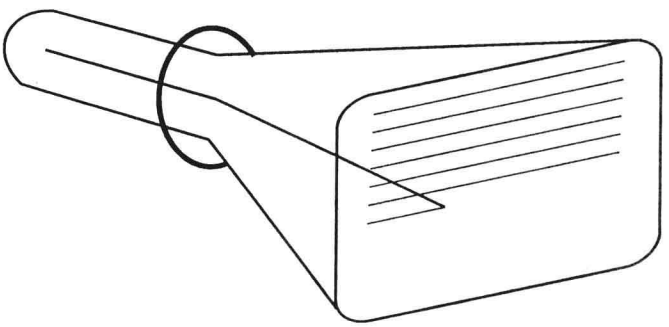


图 1.4　CRT 显示器

一幅图像的基本元素称为象素(pixel)，图像就是象素所组成的矩阵。象素可用位(bit)来表示，图像就是位的矩阵，称为位图(bit map)。屏幕的大小和分辨率决定了位图的大小，一般是 512×340 到 1560×1280 pixels(象素)。最简单的显示器每个象素只有一个位，可表示黑色或者白色。而支持 256 种不同黑白灰度的显示器(也叫灰度色标(gray-scale)显示器)，它的每个象素则需要 8 位。对于彩色显示器，三原色(红、蓝、绿)各使用 8 位，则每个象素总共 24 位，