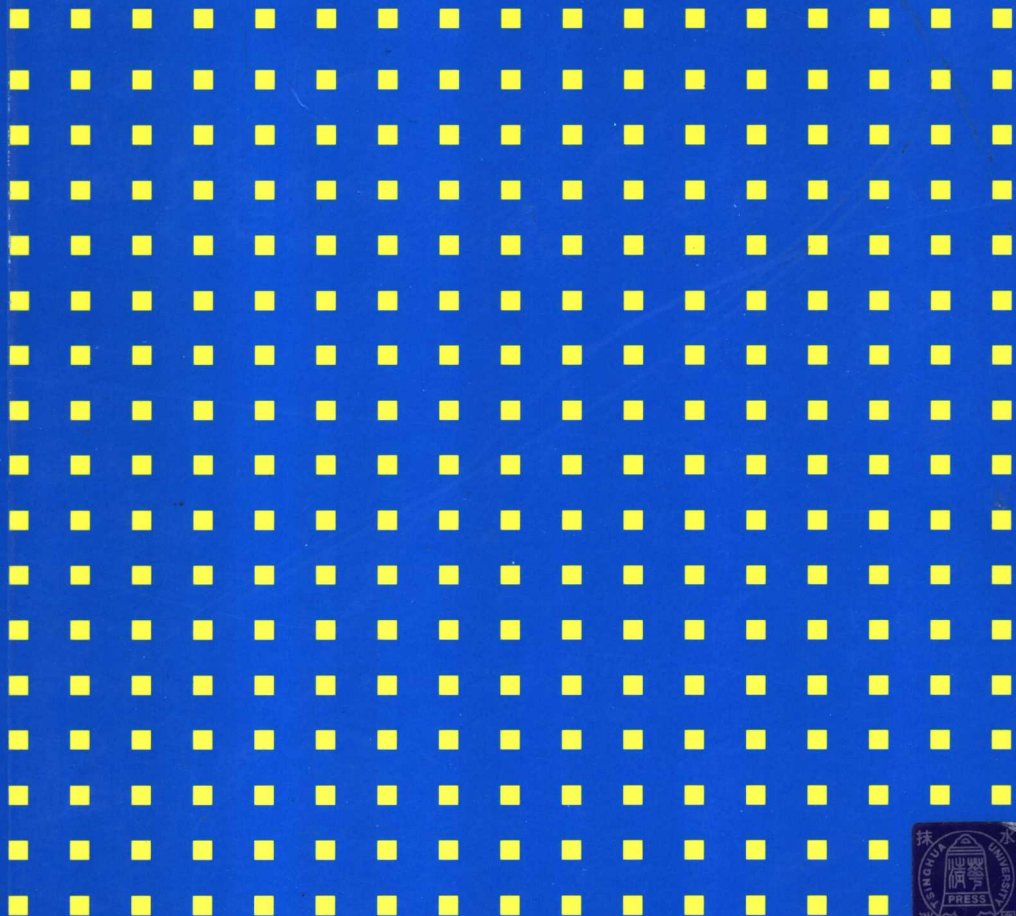


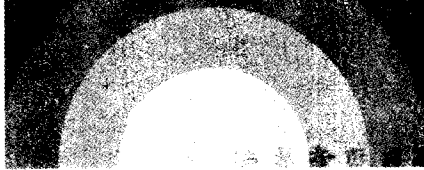
高等学校计算机专业教材精选·计算机原理

计算机组成原理 (第三版)

李文兵 主编



清华大学出版社



高等学校计算机专业教材精选·计算机原理

计算机组成原理

(第三版)

李文兵 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书按基础、组成、系统 3 个层次介绍计算机组成原理。基础部分的内容包括绪论、常用进制制、机器数的表示、机器数的运算方法、编码及校验码、逻辑代数与逻辑门、组合逻辑电路的解析与设计；组成部分包括基本器件、总线、主存储器、运算器、指令系统、控制器；系统部分包括存储体系结构、外部存储器、输入输出设备、主机与外设的数据传送方式。

本书内容充实，结构合理，重点突出，深入浅出，通俗易懂，例题丰富，图文并茂，每章后都附有习题。为便于教学，还出版了配套教材《计算机组成原理题解与实验指导》，以及电子教案。

本书是计算机及其相关专业的“计算机组成原理”课的教材，适用于理工科大学、师范类院校、电视大学、高等职业技术大学、高等教育自学考试，还可以作为软件水平考试的硬件辅导教材和考研参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/李文兵主编. —3 版. —北京：清华大学出版社，2006. 12

(高等学校计算机专业教材精选·计算机原理)

ISBN 7-302-13546-0

I. 计… II. 李… 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(2006)第 086809 号

责任编辑：范素珍

责任印制：孟凡玉

出版发行：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机：010-62770175

投稿咨询：010-62772015

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮购热线：010-62786544

客户服务：010-62776969

印 装 者：山东鸿杰印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：24 字 数：566 千字

版 次：2006 年 12 月第 3 版 印 次：2006 年 12 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-13546-0/TP·8494

印 数：1~4000

定 价：29.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题，请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话：010-62770177 转 3103 产品编号：021373-01

出版说明

我国高等学校计算机教育近年来迅猛发展,活学活用计算机知识解决实际问题,已经成为当代大学生的必备能力。

时代的进步与社会的发展对高等学校计算机教育的质量提出了更高、更新的要求。现在,很多高等学校都在积极探索符合自身特点的教学模式,涌现出一大批非常优秀的精品课程。

为了适应社会的需求,满足计算机教育的发展需要,清华大学出版社在进行了大量调查研究的基础上,组织编写了《高等学校计算机专业教材精选》。本套教材从全国各高校的优秀计算机教材中精挑细选了一批很有代表性且特色鲜明的计算机精品教材,把作者们对各自所授计算机课程的独特理解和先进经验推荐给全国师生。

本系列教材特点如下。

(1) 编写目的明确。本套教材主要面向广大高校的计算机专业学生,使学生通过本套教材,学习计算机科学与技术方面的基本理论和基本知识,接受应用计算机解决实际问题的基本训练。

(2) 注意编写理念。本套教材作者群为各校相应课程的主讲,有一定经验积累,且编写思路清晰,有独特的教学思路和指导思想,其教学经验要求具有推广价值。本套教材中不乏各类精品课配套教材,并力图努力把不同学校的教学特点反映到每本教材中。

(3) 理论知识与实践相结合。本套教材贯彻从实践中来到实践中去的原则,书中的许多必须掌握的理论都将结合实例来讲,同时注重培养学生分析、解决问题的能力,满足社会用人要求。

(4) 易教易用,合理适当。本套教材编写时注意结合教学实际的课时数,把握教材的篇幅。同时,对一些知识点按教育部教学指导委员会的最新精神进行合理取舍与难易控制。

(5) 注重教材的立体化配套。大多数教材都将配套教师用课件、习题及其解答,学生上机实验指导、教学网站等辅助教学资源,方便教学。

随着本套教材陆续出版,相信能够得到广大读者的认可和支持,为我国计算机教材建设及计算机教学水平的提高,为计算机教育事业的发展作出应有的贡献。

清华大学出版社
2006年11月

第三版前言

承蒙广大同仁的厚爱,本书从1997年7月第一版问世,2002年6月第二版出版,2004年获第六届全国高校出版社优秀畅销书一等奖,到2006年5月,已印刷了25次。为了进一步跟踪发展,完善体系,改进结构,更好地适应教学,在清华大学出版社的大力支持下,根据作者对计算机体系结构新近的发展及成果的研究和教学体验,对本书进行修订。

为把本教材做好做精,以求完美,本次修订做了较大改动,重点放在如下几个方面。

(1) 跟踪发展。结合新概念、新结构、新技术和应用普遍的机型、设备、器件,介绍计算机组成及其原理。为此,对第二版内容做了一定的删改。

(2) 改进结构。为便于教学,从第二版原15章结构中分离出总线和外部存储器两章,形成了第三版的17章结构。

(3) 根据第二版的教学体验,对一些学员较难理解的概念和技术,在第三版中又做了更深入的说明,使本书的可读性又有所提高。

在本次修订工作中,孙振寰负责第1章;张凤珊负责第6章;李海迎负责第8章;郝玲、朱维仲负责第10章;霍媛媛负责第12章;王玉华、黄硕之负责第15章;贾雯、李海恩负责第16章;其余章由李文兵负责。全书由李文兵统稿。

借再版机会,向清华大学出版社各部门和使用本书的师生表示衷心的感谢;欢迎广大师生选用本教材,以及配套教材《计算机组成原理题解与实验指导》;同时希望广大同仁和读者对本版及相关教材提出宝贵意见。

李文兵

2006年11月

第二版前言

为了使广大读者更好地学习“计算机组成原理”这门课,我们先后编写、出版了《计算机组成原理》(第二版)和《计算机组成原理题解与实验指导》。这两本教材如果能够与即将出版的《计算机组成原理 CAI》配合使用,就会取得更好的教学效果。

《计算机组成原理》(第二版)增加了逻辑代数与逻辑门和组合逻辑电路的解析与设计两章,主要是为在学习本课前没有学习过数字逻辑电路知识的学生设置的。对于具有数字逻辑电路知识的学生,这两章可以跳过。本书还增加了一些提高内容,这部分内容均在章节或标题前面标以*号,各学校可根据情况选学。

其他内容的修订基本遵循如下3条原则:

- (1) 尽量参照计算机发展的新技术、新产品以及新概念;
- (2) 尽量把学生想弄明白的问题交待清楚;
- (3) 尽量让学生把该课的主要内容、重点问题掌握住,为此,第二版又增加了一些相应的练习。

根据作者的教学体会,以本书作为教材,讲课安排76~80学时,实验安排24~27学时比较合适。

在本书第二版修订工作中,孙振寰负责第1章;李海迎负责第6章;张凤珊负责第8章;朱维仲负责第9章;桂建勋负责第11章;王玉华、鲍云松负责第14章;李海恩、苏枫负责第15章;其余章由李文兵负责。全书由李文兵统编。

感谢清华大学出版社对出版本书第二版的支持,感谢对本书提出鼓励和建议的学者与读者,并希望专家、学者以及广大读者对第二版提出宝贵意见和建议。

李文兵

2001年5月于天津

第一版前言

为了适应我国国民经济飞速发展的需要,计算机大专这个层次的人才的需求量在急剧增加。为提高大专的教学质量,根据作者长期教授计算机原理这门课的经验,特意为计算机专业大专班的计算机(组成)原理课,编著了《计算机组成原理》这本大专教材。

计算机原理是计算机专业基础课。本书可作为大专层次(包括计算机、自动化、电子、机械、精仪以及各类管理专业)的计算机原理课的教材。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,为学习专业课或相关课,为毕业后所从事的工作,打下既有一定的知识面,又有一定的专业深度的计算机应用基础。

计算机原理教材是根据具体机型来编写,还是脱开具体机型来编写,历来存在着两种看法及两种写法。可以说,两种写法各有千秋。现考虑到如下因素而采用脱开具体机型的写法。

- 计算机硬件及其技术发展迅猛,就具体机型来写,不易博采诸家之长;
- 就具体机型来写,容易使该课成为具体机型的硬件系统分析课,不能体现该课的专业基础性的特点;
- 计算机硬件技术发展至今,日臻完备,已具备脱开具体机型而写的硬件条件。

作者充分利用了计算机硬件发展成果,采取了脱开具体机型的写法。本书反映了当代计算机硬件发展的先进技术与成果。

本书由李文兵编写第2、3、4、5、8、10、11章;孙振寰编写第1章;张凤珊编写第6章;朱维仲编写第7章;桂建勋编写第9章;鲍云松编写第12章;苏枫编写第13章。全书由李文兵统稿。

感谢李大友教授对书稿进行了认真详尽的审阅并提出了宝贵的修改意见。

由于时间紧迫,教学条件及作者水平所限,错误和不妥之处在所难免,欢迎专家及广大师生提出宝贵意见。

李文兵

1996年7月于天津

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机硬件与软件	1
1.2 数字计算机的组成	3
1.3 微型计算机	8
1.4 计算机主要技术指标.....	11
1.5 计算机发展简史.....	14
习题	16
第 2 章 计算机常用进位制	19
2.1 进位制.....	19
2.2 常用进位制间的转换.....	23
习题	27
第 3 章 机器数的表示	29
3.1 机器数的特点.....	29
3.2 定点数的原码、反码和补码	33
3.3 变形码、移码和浮点数表示	37
3.4 机器数表示形式的变换.....	42
习题	46
第 4 章 机器数的运算方法	49
4.1 定点加减运算.....	49
4.2 定点原码乘法.....	52
* 4.3 定点补码乘法	54
4.4 定点原码除法.....	58
* 4.5 定点补码除法	62
4.6 浮点运算和逻辑运算.....	67
习题	69
第 5 章 编码及校验码	71
5.1 十进制数的编码.....	71
5.2 字符和汉字的编码.....	73
5.3 校验码.....	80

5.4 数据的存储	88
习题	91
*第6章 逻辑代数与逻辑门	93
6.1 逻辑代数的基本运算与基本逻辑门	93
6.2 常用逻辑门	95
6.3 逻辑代数的公式和变换规则	99
6.4 逻辑函数及其定理	101
6.5 逻辑函数的表示形式及其相互转换	105
6.6 逻辑函数的简化方法	110
习题	118
第7章 组合逻辑电路	120
7.1 组合逻辑电路的解析与设计	120
7.2 具有任意项的组合逻辑电路	123
7.3 具有多个输出端的组合逻辑电路	127
习题	131
第8章 计算机基本器件	132
8.1 触发器	132
8.2 寄存器	138
8.3 计数器	142
8.4 编码器和译码器	146
8.5 时钟发生器	149
习题	152
第9章 总线	153
9.1 总线原理及三态门	153
9.2 系统总线结构	157
9.3 总线标准	159
9.4 总线缓冲器与总线控制器	166
9.5 总线接口及其标准	170
习题	179
第10章 主存储器	180
10.1 存储器概述	180
10.2 静态读写存储器	184
10.3 静态RAM的组成	189

10.4	动态读写存储器	193
10.5	只读存储器	198
	习题	207
第 11 章	运算器	210
11.1	加法器	210
11.2	算术逻辑运算部件	213
11.3	定点运算器	217
11.4	浮点运算器	224
11.5	乘法器	230
* 11.6	重叠寄存器窗口技术	232
	习题	236
第 12 章	指令系统	237
12.1	指令格式与寻址方式	237
12.2	指令的种类	242
12.3	指令执行方式	249
	习题	253
第 13 章	控制器	258
13.1	控制器和指令的执行	258
13.2	组合逻辑控制器	261
13.3	PLA 控制器	265
* 13.4	PAL 控制器	268
13.5	微程序控制器原理	276
* 13.6	微程序控制器设计和毫微程序设计原理	280
	习题	285
第 14 章	存储体系结构	287
14.1	主存的多体组织	287
14.2	相连存储器	290
14.3	高速缓冲存储器	292
14.4	虚拟存储器	302
	习题	307
第 15 章	外部存储器	310
15.1	磁带存储器	310
15.2	磁盘存储器	314

15.3	冗余磁盘阵列	318
15.4	光盘存储器	323
	习题	327
第 16 章	输入输出设备	331
16.1	键盘	331
16.2	鼠标器及其类似输入设备	336
16.3	图像输入设备	337
16.4	显示器	339
16.5	行式打印机	343
16.6	激光打印机和喷墨打印机	348
	习题	351
第 17 章	主机与外设的数据传送方式	352
17.1	程序查询方式	352
17.2	程序中断方式	353
17.3	DMA 方式	359
17.4	通道方式	364
	习题	369
参考文献		371

第 1 章 绪 论

1.1 计算机硬件与软件

1. 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,是组成计算机的装置的统称。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的使用方法的信息。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和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。

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,是人为给命名的。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。

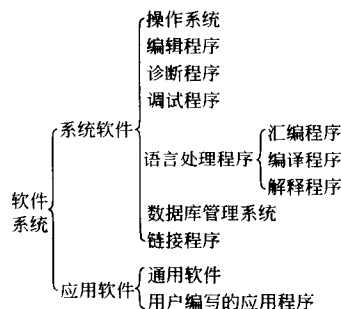


图 1.1 计算机软件系统的组成

2. 计算机程序和语言

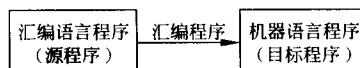
计算机程序是为解决给定问题,计算机所要执行的指令或语句的集合。

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叫机器语言,也叫机器码,用二进制表示。计算机所能认识的指令是指能直接指挥计算机硬件工作的命令,机器语言由此而得名。

使用机器语言编写程序,阅读程序,都非常困难。因此,目前一般不用机器语言编写程序。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(称做助记符)来编写的程序,称做符号语言。这种符号语言后来就发展成了汇编语言。因为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。

机器语言和汇编语言一样,同一个程序用在不同机种的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。

图 1.2 汇编语言转换成机器语言的过程

编译程序又称编译系统,俗称编译器,其功能是把用高级语言编写的源程序翻译成称做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语言;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,但从便于了解编译程序工作情况这一点来看,汇编语言中间输出是必要的。

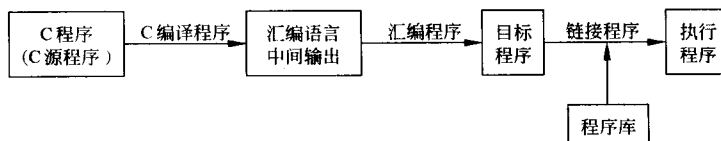


图 1.3 C 源程序变成可执行程序的过程

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。

3. 操作系统

人们通常把计算机的硬件称做是硬资源,而把计算机的软件称做是软资源,统称为计算机资源。人们又习惯把计算机资源分为 4 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 4 类资源的一组程序,以便使计算机资源更有效地发挥作用。

4. 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。从计算机系统层次结构来看,应明确 3 点。

- 指令系统是裸机与软件的接口。
- 计算机与其他电子设备不同。一般电器接上电源即可工作,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。
- 操作系统是用户与计算机硬件的接口,是用户的工作平台。

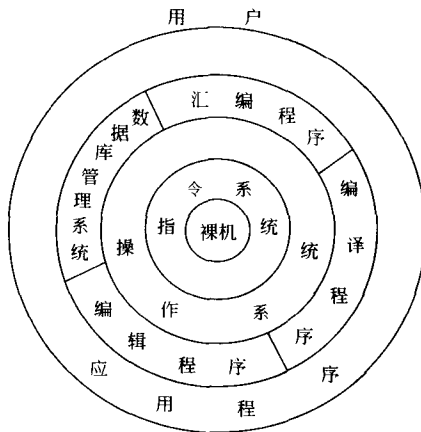


图 1.4 计算机系统的层次结构

1.2 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。

1. 数字计算机和模拟计算机

一般来说,表示数和量有两种方式。一是用数值表示的数字方式;二是用连续的物理量表示的模拟方式,分别称做计数型和相似型。用数字方式表示数的计算机称做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。算盘可以看做是最原始的数字计算机。使用长度、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。计算尺可以看做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,如表 1.1 所示。

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、电流等)
输出形式	编码(表示数字、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差,所以常用来作特殊用途的计算机。

2. 数字计算机的组成及特点

一般来说,数字计算机由如下 5 部分组成:

- 存储器 用来记忆数据、指令。
- 运算器 执行算术、逻辑运算。
- 控制器 分析指令、控制其他装置。
- 输入设备 用来从外部输入信息。
- 输出设备 用来把信息显示出来或记录下来。

这 5 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,也可叫做 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叫做冯·诺依曼机。该机有如下特点。

- 采用二进制表示数据和指令。
- 整个系统由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备 5 部分组成,以运算器为中心,由控制器集中控制整个系统。
- 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。
- 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(program counter, PC)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 5 部分并非是独立存在的。随着微电子技术的飞速发展,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(central processing unit, CPU)。现代计算机一般是由中央处理器、主存储器和外围装置(peripheral unit, PU)组成的。外围装置也叫外部设备,简称外设。外设是通过接口(interface)或通道(channel)与中央处理器连接的,如图 1.6 所示。

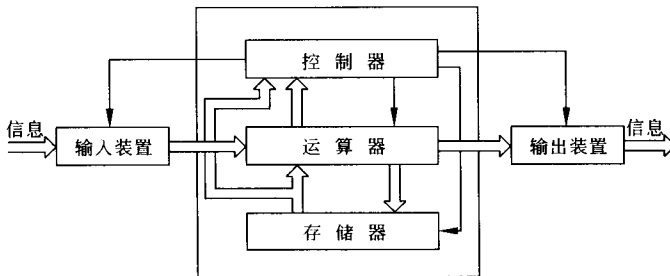


图 1.5 计算机组成(1)

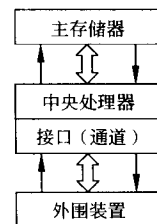


图 1.6 计算机组成(2)

中央处理器加上主存储器,习惯上称做主机。主存储器之所以叫这个名字,是因为它

在主机柜内或主机板上,也含有它是主要的、重要的存储器的意思,简称主存,也叫内存。外设是指输入输出设备和辅助存储器(也称外存),作为输入数据的键盘和作为输出数据的显示器连接在一起,再加上监控与管理程序,可作为独立的设备,习惯上称为终端。

3. 中央处理器的分类

这里,根据 CPU 的运算功能和制作技术,看一下 CPU 的分类。

(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。只能进行定点运算的计算机叫做定点机;而能进行浮点运算的计算机叫做浮点机。现代计算机一般都具有浮点运算功能,那么,现代计算机是如何实现浮点运算功能的呢?不外乎如下两种设计方法。

① 除 CPU 外,再增加一个专门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。这类计算机如表 1.2 所示。

表 1.2 可带 FPU 的 PC

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。这样的 CPU 有 80486 和 Pentium 系列。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,致使其处理速度要比 80387 提高 3~5 倍。在 Pentium 内包含有快速 FPU。该 FPU 共有 8 级流水线,其中前 5 级流水线是和整数操作相同,而后 3 级是专用的。该 FPU 与 486 不同,是完全重新设计的,对于常用的浮点加法、浮点乘法和浮点数装入操作,要比 486 的快 10 倍。

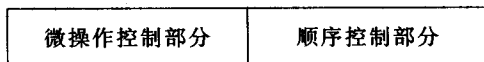
(2) 组合逻辑控制和微程序控制 计算机执行指令的原理是,把每条指令分解为若干个基本操作(也叫微操作),执行某条指令就是产生相应的微操作控制信号。而每个微操作控制信号又控制相应门的打开或关闭,以完成该指令所需要的信息传送。由此可见,计算机执行指令的过程,就是生成微操作控制信号序列的过程。

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的原理的不同,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 其设计思路是,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。这个微操作控制线路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：



其中微操作控制部分是若干微命令的集合；顺序控制部分用来决定下一条微指令的地址。把若干条微指令有序地组合起来构成微程序。把这些微程序存放在叫做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，以及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，于是便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的复杂指令系统计算机 (CISC)。其典型处理机产品如表 1.3 所示。

表 1.3 典型的 CISC 处理机产品

性 能	Intel i486	Motorola MC68040	NS32532
指令条数	157(32 位)	113(32 位)	63(32 位)
寻址方式(种)	12	18	9
ALU 字长	32	32	32
通用寄存器(个数)	8	16	8
cache 容量(KB)	8(指令和数据)	4(指令)+4(数据)	0.5(指令)+1(数据)
浮点部件	片内有加法器、乘法器、移位器和 8 个 FP 寄存器	片内有 3 个流水线段，8 个 80 位 FP 寄存器	片外的 FPU: NS32381 或 WTL3164
流水线段	5	6	4
存储器组织	段页式，每页 4KB，TLB 有 32 个入口	页式，每页 4KB~8KB，每个 ATC 有 64 个入口	页式，每页 4KB，64 个入口
工艺(μm)	CHMOS	0.8	1.25
时钟频率(MHz)	25/33	20/40	30
晶体管(个数)	1.2M	1.2M	370k
引脚	168	179	175
推出年份	1989	1990	1987

② RISC 计算机 (reduced instruction set computer) 由于 CISC 计算机其指令系统