

计算机组成原理

(第三版)

- ◆ 计算机概论
- ◆ 计算机中的数据表示
- ◆ 运算方法和运算器
- ◆ 存储器及存储系统
- ◆ 指令系统
- ◆ 中央处理器
- ◆ 总线系统
- ◆ 输入输出系统
- ◆ 计算机外部设备
- ◆ 计算机系统及发展



石磊 主编

卫琳 石云 王战红 副主编



清华大学出版社

高等学校计算机应用规划教材

计算机组成原理(第三版)

石磊 主编

卫琳 石云 王战红 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机的基本组成和工作原理。全书共分 10 章, 主要内容包括计算机概论、计算机中的数据表示、运算方法和运算器、存储器及存储系统、指令系统、中央处理器、总线系统、输入输出系统、计算机外部设备和计算机系统及发展等。

本书结构清晰、内容翔实、系统性较强, 内容覆盖了教育部“高等学校计算机科学与技术专业规范”对本课程所列知识体系中的全部知识点, 各部分内容由浅入深、相互独立, 配有大量例题和习题, 便于读者自学。

本书可以作为高等院校计算机及相关专业“计算机组成原理”课程的教材, 也可供从事计算机工作的工程技术人员参考。

本书每章的电子教案和习题答案可以到 <http://www.tupwk.com.cn/downpage/index.asp> 网站下载。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 石磊 主编. —3 版. —北京: 清华大学出版社, 2012.3

(高等学校计算机应用规划教材)

ISBN 978-7-302-27973-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 011521 号

责任编辑: 胡辰浩 袁建华

封面设计: 牛艳敏

版式设计: 康 博

责任校对: 邱晓玉

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62796045

印 刷 者: 北京季蜂印刷有限公司

装 订 者: 三河市兴旺装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 23.25 字 数: 580 千字

版 次: 2012 年 2 月第 3 版 印 次: 2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000

定 价: 36.00 元

前 言

“计算机组成原理”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。

本书第二版自 2006 年出版发行以来,受到广大读者欢迎。为了适应当前计算机科学技术的迅速发展,同时参考了近几年研究生入学考试“计算机组成原理”的复习大纲,我们对《计算机组成原理》一书进行了修订。再版保持了第二版的框架和风格,但与第二版相比,进行了必要的调整、删减,补充了一些新的内容,增加了新的概念和新的技术。

概括起来,本书具有以下主要特点:

- 结构清晰、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。
- 将计算机的数据表示单列一章,系统地介绍了如何将处理对象(信息)表示成数据,数据在计算机中如何表示等问题,使学生从数据流动的角度来学习计算机组成的原理,加深对本书的理解。
- 力图反映新技术、新动向,以适应计算机技术的发展需要。根据目前课程设置和教学特点,本书增加了计算机系统及发展这一内容。
- 配有大量习题及近三年考研真题,为读者提供较多的理解相关知识和练习的机会,并提供了每章习题的参考答案,便于读者自学。

本书共分 10 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。第 9 章对计算机的外部设备进行了讨论。第 10 章对计算机的系统和未来计算机技术的发展做了一些介绍。总的学时建议为 80 学时左右为宜。

本书由石磊主编,卫琳、石云、王战红为副主编,其中第 1、4、10 章由石磊执笔,第 2、5 章由卫琳执笔,第 7、8 章由石云执笔,第 3、6、9 章由王战红执笔,全书由石磊总纂。在本书编写过程中,陶永才、石育澄、景京、代琳娜、张龙涛、张宁宁、周梦雪、贾伟伟、任国明、郑曼等付出了努力,在此一并向他们表示感谢。

在本书出版过程中,清华大学出版社的老师对书稿提出了许多宝贵意见。同时,在编写本书的过程中参考了相关文献,在此向这些文献的作者深表感谢。由于时间较紧,书中难免有错误与不足之处,恳请专家和广大读者批评指正。我们的联系方式信箱为: huchenhao@263.net, 电话是: 010-62796045。

作 者

2011 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 计算机的发展与应用	1
1.1.1 计算机的发展简史	2
1.1.2 计算机的应用	3
1.2 计算机系统的组成	4
1.2.1 计算机的硬件系统	5
1.2.2 计算机的软件系统	6
1.2.3 硬件与软件的逻辑等价性	7
1.2.4 计算机系统的层次结构	8
1.3 计算机的特点和性能指标	10
1.3.1 计算机的工作特点	10
1.3.2 计算机的主要性能指标	10
1.3.3 计算机的分类	11
1.4 多媒体技术	12
1.4.1 多媒体技术的发展	12
1.4.2 多媒体技术要解决的主要问题	12
1.4.3 多媒体计算机(MPC)	13
1.5 本章小结	15
1.6 习题	15

第 2 章 计算机中的数据表示	19
2.1 数据信息的表示	20
2.2 进位计数制	21
2.2.1 进位基数和位的权数	21
2.2.2 二进制数制	22
2.2.3 八进制数制	22
2.2.4 十六进制数制	22
2.2.5 数制之间的相互转换	23
2.3 定点数和浮点数	26
2.3.1 定点数表示法	26

2.3.2 浮点数表示法	27
2.3.3 定点数表示法和浮点数表示法的比较	28
2.3.4 计算机中数的表示单位和机器字长	28
2.4 带符号数的表示方法	29
2.4.1 机器数的原码表示法	29
2.4.2 机器数的补码表示法	30
2.4.3 机器数的反码表示法	36
2.4.4 机器数的移码表示法	36
2.4.5 各种编码的比较	38
2.5 十进制数据表示	38
2.5.1 二—十进制编码原理	38
2.5.2 二—十进制有权码	39
2.5.3 二—十进制无权码	40
2.6 字符编码	41
2.6.1 ASCII 码	41
2.6.2 EBCDIC 码	42
2.6.3 汉字的表示	42
2.7 数据校验码	43
2.7.1 奇偶校验码	43
2.7.2 海明校验码	44
2.7.3 循环冗余校验码	47
2.8 本章小结	49
2.9 习题	50

第 3 章 运算方法和运算器	53
3.1 定点数的加减运算	53
3.1.1 原码加减运算	53
3.1.2 补码加减运算	54
3.1.3 基本的二进制加法/减法器	55
3.1.4 加法运算及其加速方法	57

3.2 定点乘法运算	61	4.5 存储保护	134
3.2.1 原码一位乘法	61	4.5.1 存储区域保护	134
3.2.2 补码一位乘法	64	4.5.2 访问方式保护	135
3.2.3 补码两位乘法	66	4.6 本章小结	136
3.2.4 阵列乘法器	68	4.7 习题	137
3.3 定点除法运算	69	第5章 指令系统	145
3.3.1 原码一位除法	69	5.1 指令系统的发展与性能	145
3.3.2 补码一位除法	73	5.1.1 指令系统的发展	145
3.3.3 阵列除法器	74	5.1.2 指令系统的性能要求	147
3.4 定点运算器的组成和结构	74	5.2 指令的格式	148
3.4.1 运算器与其他部件的关系	75	5.2.1 指令操作码与地址码	148
3.4.2 定点运算器的功能和组成	75	5.2.2 指令字长与扩展方法	151
3.5 浮点算术运算方法和浮点 运算器	82	5.2.3 指令格式举例	153
3.5.1 浮点加减运算	82	5.3 寻址方式	155
3.5.2 浮点乘除运算	85	5.3.1 指令的寻址方式	155
3.5.3 浮点运算器实例	86	5.3.2 操作数的寻址方式	156
3.6 本章小结	87	5.4 指令的分类与高级语言	161
3.7 习题	88	5.4.1 指令系统的分类	161
第4章 存储器及存储系统	93	5.4.2 指令系统与高级语言	164
4.1 存储器概述	94	5.5 典型指令系统	165
4.1.1 存储器的分类	95	5.5.1 PDP-11 和 VAX-11 系列机指令系统	165
4.1.2 存储器的分级结构	97	5.5.2 Pentium II 计算机的指令 系统	167
4.2 主存储器	98	5.6 本章小结	170
4.2.1 主存储器技术指标	98	5.7 习题	170
4.2.2 主存储器基本组成	100	第6章 中央处理器	177
4.2.3 主存储器基本操作	101	6.1 CPU 的总体结构	178
4.3 半导体存储器芯片	102	6.1.1 CPU 的功能与组成	178
4.3.1 SRAM 存储器	102	6.1.2 操作控制器与时序产生器	181
4.3.2 DRAM 存储器	107	6.2 指令的执行与时序产生器	181
4.3.3 只读存储器和闪速存储器	110	6.2.1 指令周期	181
4.4 主存储器组织	114	6.2.2 时序产生器	190
4.4.1 存储器与 CPU 的连接	114	6.2.3 CPU 的控制方式	192
4.4.2 高速缓冲存储器	118	6.3 微程序设计技术与微程序 控制器	193
4.4.3 多体交叉存储器	123	6.3.1 微程序设计技术	193
4.4.4 虚拟存储器	125		
4.4.5 提高主存读写速度的技术	131		

6.3.2 微程序控制器	200	7.4.1 InfiniBand 的体系结构	245
6.4 硬布线控制器与门阵列控制器	202	7.4.2 InfiniBand 的通信协议	246
6.4.1 硬布线控制器	202	7.5 本章小结	248
6.4.2 PLA 逻辑控制原理	203	7.6 习题	249
6.5 传统 CPU	203	第 8 章 输入输出系统	251
6.5.1 Intel 8088 CPU	204	8.1 信息交换的控制方式	252
6.5.2 IBM 370 系列 CPU	205	8.1.1 外部设备与主机的连接方式	252
6.6 流水 CPU	207	8.1.2 外部设备的编址方式	253
6.6.1 并行处理技术	207	8.1.3 I/O 组织与外设接口	254
6.6.2 流水 CPU 的结构	207	8.2 程序查询方式	257
6.6.3 流水线的主要问题	210	8.2.1 程序查询输入输出方式	257
6.7 RISC CPU	213	8.2.2 程序查询方式的接口	258
6.7.1 RISC 机器的特点	213	8.3 程序中断方式	258
6.7.2 RISC CPU 实例	214	8.3.1 中断的基本概念	258
6.8 CPU 新技术	215	8.3.2 CPU 响应中断的条件	260
6.8.1 多媒体 CPU MMX 技术	215	8.3.3 中断处理	263
6.8.2 超线程技术	216	8.3.4 单级中断与多级中断	264
6.8.3 双核与多核技术	217	8.3.5 程序中断方式的基本接口	268
6.8.4 未来 CPU 的发展趋势	219	8.4 DMA 方式	269
6.9 本章小结	219	8.4.1 DMA 的基本概念	269
6.10 习题	220	8.4.2 DMA 传输方式	269
第 7 章 总线系统	225	8.4.3 基本的 DMA 控制器	271
7.1 总线的概念和结构	225	8.4.4 选择型和多路型 DMA 控制器	274
7.1.1 总线的基本概念	226	8.5 I/O 通道方式	275
7.1.2 总线的连接方式	228	8.5.1 通道的基本概念	275
7.1.3 总线的内部结构	231	8.5.2 通道的类型	276
7.1.4 总线结构举例	233	8.5.3 通道结构的发展	278
7.2 总线的控制、数据传输和接口	234	8.6 通用 I/O 接口标准	278
7.2.1 总线的控制	235	8.6.1 并行 I/O 标准接口 SCSI	278
7.2.2 总线的数据传输方式	238	8.6.2 串行 I/O 标准接口 IEEE 1394	279
7.2.3 总线的接口	239	8.7 本章小结	281
7.3 常用总线举例	241	8.8 习题	282
7.3.1 总线结构类型	241	第 9 章 计算机外部设备	287
7.3.2 标准接口类型	244	9.1 计算机外部设备概述	288
7.4 InfiniBand 标准	245		

9.1.1 外部设备的一般功能 及分类	288	9.7 新型辅助存储器	334
9.1.2 外部设备的特点	290	9.7.1 大容量可移动存储器	334
9.2 输入设备	291	9.7.2 闪存卡和 USB 电子盘	335
9.2.1 键盘	291	9.8 通信与网络设备	336
9.2.2 鼠标	291	9.8.1 调制解调器	336
9.2.3 扫描仪	292	9.8.2 网络接口卡	338
9.2.4 数码相机	293	9.8.3 网络互联设备	339
9.2.5 其他输入设备	294	9.9 本章小结	341
9.3 打印输出设备	296	9.10 习题	342
9.3.1 点阵针式打印机	296	第 10 章 计算机系统及发展	345
9.3.2 激光打印机	298	10.1 计算机系统基本概念	345
9.3.3 喷墨打印机	300	10.1.1 计算机系统结构定义	346
9.3.4 彩色热感应式打印机	301	10.1.2 计算机组成与实现	346
9.4 显示设备	302	10.1.3 计算机系统的分类	347
9.4.1 CRT 显示器	304	10.1.4 如何提高计算机系统 的运算速度	348
9.4.2 液晶显示设备	310	10.1.5 开放系统	348
9.4.3 其他显示技术	312	10.2 并行计算机系统	349
9.5 磁表面存储器	313	10.2.1 片内并行	350
9.5.1 磁记录原理与记录方式	313	10.2.2 协处理器	354
9.5.2 软磁盘存储器	318	10.2.3 多计算机系统	355
9.5.3 硬盘存储器	322	10.2.4 网络计算	357
9.5.4 磁盘阵列	328	10.3 新一代计算机	359
9.6 光盘存储器	330	10.4 本章小结	362
9.6.1 光盘存储器类型	331	10.5 习题	362
9.6.2 只读型光盘存储器	332	参考文献	363
9.6.3 一次写入型光盘存储器	333		
9.6.4 磁光盘存储器	334		

第1章 概论

本章提要

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明创造之一，它的诞生、发展和应用是科学技术的卓越成就，也是技术革命的基础，对人类社会产生了巨大而深远的影响，并改变着人们的生活方式。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。

本章的主要内容有：

- 计算机的发展与应用
 - 计算机的发展简史
 - 计算机的应用
- 计算机系统的组成
 - 硬件系统组成
 - 软件系统组成
 - 计算机系统层次结构
- 计算机的特点和性能指标
 - 计算机的工作特点
 - 计算机的性能指标
 - 计算机的分类
- 多媒体技术
 - 多媒体技术发展
 - 多媒体技术的主要问题
 - 多媒体计算机

1.1 计算机的发展与应用

电子计算机的诞生和发展是 20 世纪最重大的科学技术成就之一。回顾 20 世纪的科技发展史，人们会深刻地体会到计算机的诞生和广泛应用对工作和生活所产生的深远影响。

计算机,顾名思义就是用于计算的工具。但是,今天这里所说的计算机(Computer)实际上是指电子数字计算机(Digital Computer)。计算机的一个比较确切的定义是: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。

和其他机器设备一样,计算机首先是一个工具。但和其他增强人的体力的机器设备不一样,计算机是增强人的脑力的工具,俗称“电脑”。计算机主要增强的是人的记忆、计算、逻辑判断和信息处理的能力,而人类所独有的智慧水平,计算机是远远达不到的。掌握计算机首先应该熟练地掌握它的使用,然后才进一步掌握其工作原理。当然,本书所要求的是后者,它是一个计算机科学工作者深入学习计算机技术的基础。

1.1.1 计算机的发展简史

世界上第一台真正的全自动电子数字式计算机是 1946 年美国研制成功的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)。这台计算机共用了 18000 多个电子管,占地 170m^2 ,总重量为 30 吨,耗电 140kw,每秒能做 5000 次加减运算。与 ENIAC 计算机研制的同时,冯·诺依曼与莫尔小组研制 EDVAC(Electronic Discrete Variable Automatic Computer)计算机,它采用了存储程序方案。

ENIAC 计算机虽然有许多明显的不足,它的功能也远不及现在的一台普通微型计算机,但它的诞生宣告了电子计算机时代的到来。在随后的几十年中,计算机的发展突飞猛进,经历了电子管、晶体管、集成电路、超大规模集成电路、甚大规模集成电路五个阶段,计算机的体积越来越小,功能越来越强,价格越来越低,应用越来越广泛。

1. 第一代计算机

第一代计算机从第一台计算机 ENIAC 问世到 20 世纪 50 年代末。这一时期计算机的主要特征是使用电子管作为电子器件,软件还处于初始阶段,使用机器语言与符号语言编制程序。

第一代计算机是计算机发展的初级阶段,其体积比较大,运算速度也比较低,存储容量不大。为了解决一个问题,所编制的程序也很复杂。这一代计算机主要用于科学计算。

2. 第二代计算机

第二代计算机是从 50 年代末到 60 年代初。这一时期计算机的主要特征是使用晶体管作为电子器件,在软件方面开始使用计算机高级语言,为更多的人学习和使用计算机铺平了道路。

这一代计算机的体积大大减小,具有重量轻、寿命长、耗电少、运算速度快和存储容量比较大等优点。因此,这一代计算机不仅用于科学计算,还用于数据处理和事务处理,并逐渐用于工业控制。

3. 第三代计算机

第三代计算机是从 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代初期。这一时期计算机的主要

特征是使用中、小规模集成电路(MSI, SSD)作为电子器件。在这一时期,操作系统的出现使计算机的功能越来越强,应用范围越来越广。

使用中、小规模集成电路制成的计算机,其体积与功耗都进一步减小,可靠性和运算速度等指标也得到了进一步提高,并且为计算机的小型化、微型化提供了良好的条件。在这一时期,计算机不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理和自动控制等领域,出现了计算机技术与通信技术相结合的管理信息系统,可用于生产管理、交通管理和情报检索等领域。

4. 第四代计算机

第四代计算机是指用大规模与超大规模集成电路(LSI, VLSI)作为电子器件制成的计算机。这一代计算机各种性能都有了大幅度的提高,应用软件也越来越丰富,应用涉及国民经济的各个领域,已经在办公自动化、数据库管理、图像识别、语音识别和专家系统等众多领域大显身手,并且进入了家庭。

1971年到1990年,作为第四代计算机重要产品的微型计算机得到了飞速的发展,对计算机的普及起到了决定性的作用。

5. 第五代计算机

第五代计算机是指用甚大规模集成电路(ULSI)作为电子器件制成的计算机。1990年后,计算机进入第五代,其主要标志有两个:一个是单片集成电路规模达100万晶体管以上;另一个是超标量技术的成熟和广泛应用。

计算机的应用有力地推动了国民经济的发展和科学技术的进步,同时也对计算机技术提出了更高的要求,从而促进了计算机的进一步发展。一方面,以超大规模集成电路为基础,未来的计算机将向巨型化、微型化、网络化与智能化的方向发展。其中“巨型化”并非指计算机的体积大,而是指计算机的运算速度更高、存储容量更大、功能更强。另外一方面,新一代计算机将基于更新的光电子元件、超导电子元件或生物电子元件。光电子计算机由于传输的是光信号,其处理速度将得到大大提高,体积也会缩小;超导器件功耗极低,散热极少,其集成度是任何半导体芯片都无可比拟的;而生物电脑则利用遗传工程方法,以生物化学反应模拟人的机能处理大量复杂信息。

1.1.2 计算机的应用

由于计算机具有高速、自动化和存储大量信息的优势,还具有很强的推理和判断能力,因此,计算机已经被广泛应用于各个领域,并且仍然呈上升和扩展趋势。通常,计算机的应用可概括为以下几个方面。

1. 科学计算

早期的计算机主要用于科学计算。目前,科学计算仍然是计算机的一个重要应用领域。由于计算机具有很高的运算速度和运算精度,使得过去用手工无法完成的计算变为可能。随着计算机技术的发展,计算机的计算能力越来越强,计算速度越来越快,计算精度也越来越高。利用计算机进行数值计算,可以节省大量时间、人力和物力。

2. 过程检测与控制

利用计算机对工业生产过程中的某些信号自动进行检测,并把检测到的数据存入计算机,再根据需要对这些数据进行处理,这样的系统称为计算机检测系统。但一般来说,实际的工业生产过程是一个连续的过程,往往既需要用计算机进行检测,又需要用计算机进行控制。例如:在化工、电力和冶金等生产过程中,用计算机自动采集各种参数,监测并及时控制生产设备的工作状态;在导弹、卫星的发射中,用计算机随时精确地控制飞行轨道与姿态;在热处理加工中,用计算机随时检测与控制炉窑的温度;在对人有害的工作场所,用计算机来监控机器人自动工作等。特别是微型计算机进入仪器仪表后所构成的智能化仪器仪表,将工业自动化推向了一个更高的水平。利用计算机进行控制,可以节省劳动力、减轻劳动强度、提高劳动生产效率,并且还可以节省生产原料、减少能源消耗、降低生产成本。

3. 信息管理

信息管理是目前计算机应用最广泛的一个领域。所谓信息管理,是指利用计算机来加工、管理和操作任何形式的数据资料,如企业管理、物资管理、报表统计、账目计算和信息情报检索等。当今社会是一个信息化的社会,计算机用于信息管理,为办公自动化、管理自动化和社会自动化创造了最有利的条件。国内外大量的机构已经建立了自己的管理信息系统(MIS);一些生产企业开始采用制造资源规划软件(MRP);商业流通领域则逐步使用电子信息交换系统(EDI),即所谓的无纸贸易。

4. 计算机辅助系统

计算机用于辅助设计、辅助制造和辅助教学等方面,统称为计算机辅助系统。计算机辅助设计(CAD)是指利用计算机来帮助设计人员进行工程设计,以提高设计工作的自动化程度,节省人力和物力。用计算机进行辅助设计,不仅速度快,而且质量高,为缩短产品的开发周期与提高产品质量创造了有利条件。计算机辅助制造(CAM)是指利用计算机进行生产设备的管理、控制与操作,从而提高产品质量、降低生产成本以及缩短生产周期,并且还大大改善了工作人员的工作条件。计算机辅助教学(CAI)是指利用计算机帮助学习的系统,它将教学内容、教学方法以及学习情况等信息存储在计算机中,使学生能够轻松自如地从中学到所需要的知识。

1.2 计算机系统的组成

计算机系统是由计算机硬件和计算机软件组成的。计算机硬件(Hardware)是指构成计算机的所有实体部件的集合,通常这些部件由电路(电子元件)、机械元件等物理部件组成。它们都是看得见摸得着的物体。软件(Software)主要是一系列按照特定顺序组织的计算机数据和指令的集合。1983年,IEEE对软件给出了一个较为全面的定义:软件是计算机程序、方法和规范及其相应的文档以及在计算机上运行时所必需的数据。软件是相对于机器硬件而言的。

1.2.1 计算机的硬件系统

尽管计算机已经发展了五代,有各种规模和类型,但是当前的计算机仍然遵循冯·诺依曼早期提出的基本原理运行。冯·诺依曼原理的基本思想是:

- 采用二进制形式表示数据和指令。指令由操作码和地址码组成。
- 将程序和数据存放在存储器中,使计算机在工作时从存储器取出指令加以执行,自动完成计算任务。这就是“存储程序”和“程序控制”(简称存储程序控制)的概念。
- 指令的执行是顺序的,即一般按照指令在存储器中存放的顺序执行,程序分支由转移指令实现。
- 计算机由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成,并规定了五部分的基本功能。

冯·诺依曼原理的基本思想奠定了现代计算机的基本架构,并开创了程序设计的时代。采用这一思想设计的计算机被称为冯·诺依曼机,它有五大组成部件,如图 1-1 所示。原始的冯·诺依曼机在结构上是以运算器为中心的,但演变到现在,电子数字计算机已经转向以存储器为中心。

在计算机的五大部件中,运算器和控制器是信息处理的中心部件,所以它们合称为“中央处理单元”(Central Processing Unit, CPU)。存储器、运算器和控制器在信息处理中起主要作用,是计算机硬件的主体部分,通常被称为“主机”。而输入(Input)设备和输出(Output)设备统称为“外部设备”,简称为外设或 I/O 设备。

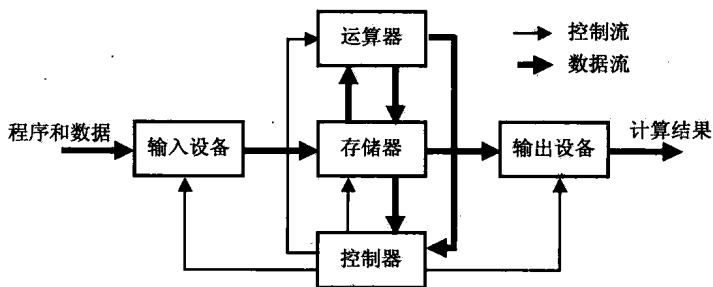


图 1-1 计算机的组成部件

(1) 存储器

存储器(Memory)是用来存放数据和程序的部件。对存储器的基本操作是按照要求向指定位置存入(写入)或取出(读出)信息。存储器是一个很大的信息储存库,被划分成许多存储单元,每个单元通常可存放一个数据或一条指令。为了区分和识别各个单元,并按指定位置进行存取,给每个存储单元编排了一个唯一对应的编号,称为“存储单元地址”(Address)。存储器所具有的存储空间大小(即所包含的存储单元总数)称为存储容量。

通常存储器可分为两大类:主存储器和辅助存储器。主存储器能直接和运算器、控制器交换信息,它的存取时间短但容量不够大;由于主存储器通常与运算器、控制器形成一体组成主机,所以也称为内存储器。辅助存储器不直接和运算器、控制器交换信息,而是作为主存的补充和后援,它的存取时间长但容量极大;由于辅助存储器常以外设的形式独立于主机

存在, 所以也称为外存储器。

主存储器主要由存储体、存储器地址寄存器(Memory Address Register, MAR)、存储器数据寄存器(Memory Data Register, MDR)以及读写控制线路构成。

(2) 运算器

运算器是对信息进行运算处理的部件。它的主要功能是对二进制编码进行算术(加减乘除)和逻辑(与或非)运算。运算器的核心是算术逻辑运算单元(Arithmetic Logic Unit, ALU)。运算器的性能是影响整个计算机性能的重要因素, 精度和速度是运算器重要的性能指标。

(3) 控制器

控制器是整个计算机的控制核心。它的主要功能是读取指令、翻译指令代码并向计算机各部分发出控制信号, 以便执行指令。当一条指令执行完以后, 控制器会自动地去取下一条将要执行的指令, 依次重复上述过程直到整个程序执行完毕。

(4) 输入设备

人们编写的程序和原始数据是经输入设备传输到计算机中的。输入设备能将程序和数据转换成计算机内部能够识别和接受的信息方式, 并顺序地把它们送入存储器中。输入设备有许多种, 例如键盘、鼠标、扫描仪和光电输入机等。

(5) 输出设备

输出设备将计算机处理的结果以人们能接受的或其他机器能接受的形式送出。输出设备同样有许多种, 例如显示器、打印机和绘图仪等。

由图 1-1 可知, 计算机各部件之间的联系是通过两种信息流实现的。粗线代表数据流, 细线代表指令流。数据由输入设备输入, 存入存储器中; 在运算过程中, 数据从存储器读出, 并送入运算器进行处理; 处理的结果再存入存储器, 或经输出设备输出; 而这一切则是由控制器执行存于存储器的指令实现的。

1.2.2 计算机的软件系统

计算机软件(Software)是指能使计算机工作的程序和程序运行时所需要的数据, 以及与这些程序和数据有关的文字说明和图表资料, 其中文字说明和图表资料又称为文档。软件也是计算机系统的重要组成部分。相对于计算机硬件而言, 软件是计算机的无形部分, 但它的作用很大。如果只有好的硬件, 没有好的软件, 计算机不可能显示出它的优越性能。

计算机软件可以分为系统软件和应用软件两大类。系统软件是指管理、监控和维护计算机资源(包括硬件和软件)的软件。系统软件为计算机使用提供最基本的功能, 但并不针对某一特定应用领域。而应用软件则恰好相反, 不同的应用软件根据用户和所服务的领域提供不同的功能。

目前常见的系统软件有操作系统、各种语言处理程序、数据库管理系统以及各种服务性程序等。

1. 操作系统

操作系统是最底层的系统软件, 它是对硬件系统功能的首次扩充, 也是其他系统软件和应用软件能够在计算机上运行的基础。

操作系统实际上是一组程序，它们用于统一管理计算机中的各种软、硬件资源，合理地组织计算机的工作流程，协调计算机系统各部分之间、系统与用户之间、用户与用户之间的关系。由此可见，操作系统在计算机系统中占有非常重要的地位。通常，操作系统具有5个方面的功能：存储管理、处理器管理、设备管理、文件管理和作业管理。

2. 语言处理程序

人们要利用计算机解决实际问题，首先要编制程序。程序设计语言就是用来编写程序的语言，它是人与计算机之间交换信息的渠道。

程序设计语言是软件系统的重要组成部分，而相应的各种语言处理程序属于系统软件。程序设计语言一般分为机器语言、汇编语言和高级语言三类。

机器语言是最底层的计算机语言。用机器语言编写的程序，计算机硬件可以直接识别。

汇编语言是为了便于理解与记忆，将机器语言用助记符号代替而形成的一种语言。

高级语言与具体的计算机硬件无关，其表达方式接近于被描述的问题，易为人们所接受和掌握。用高级语言编写程序要比低级语言容易得多，并大大简化了程序的编制和调试，使编程效率得到大幅度的提高。高级语言的显著特点是独立于具体的计算机硬件，通用性和可移植性好。

3. 数据库管理系统

随着计算机在信息处理、情报检索及各种管理系统中应用的发展，要求大量处理某些数据，建立和检索大量的表格。如果将这些数据和表格按一定的规律组织起来，可以使得这些数据和表格处理起来更方便，检索更迅速，用户使用更方便，于是出现了数据库。数据库就是相关数据的集合。数据库和管理数据库的软件构成数据库管理系统。

数据库管理系统目前有许多类型。例如关系数据库有 Access、Sybase、Oracle、SQL Server 和 DB2 等。

4. 服务程序

常见的服务程序有编辑程序、诊断程序和排错程序等。

应用软件是指除了系统软件以外的所有软件，它是用户利用计算机及其提供的系统软件为解决各种实际问题而编制的计算机程序。由于计算机已渗透到了各个领域，因此，应用软件是多种多样的。常见的应用软件有：用于科学计算的程序包，字处理软件，计算机辅助设计、辅助制造和辅助教学软件，图形软件等。例如文字处理软件 Word、WPS 和 Acrobat，报表处理软件 Excel，软件工具 Norton，绘图软件 AutoCAD、Photoshop 等。

1.2.3 硬件与软件的逻辑等价性

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。

例如,在早期计算机和低档微型机中,由硬件实现的指令较少,像乘法操作,就由一个子程序(软件)去实现;但是,如果用硬件线路直接完成速度很快。另一方面,由硬件线路直接完成的操作,也可以由控制器中微指令编制的微程序来实现,从而把某种功能从硬件转移到微程序上。另外,还可以把许多复杂的、常用的程序硬件化,制作成所谓的“固件”(Firmware)。固件是一种介于传统的软件和硬件之间的实体,功能上类似软件,但形态上又是硬件。对于程序员来说,通常并不关心究竟一条指令是如何实现的。

微程序是计算机硬件和软件相结合的重要形式。第三代以后的计算机大多采用了微程序控制方式,以保证计算机系统具有最大的兼容性和灵活性。用微指令编写的微程序从形式上看,与用机器指令编写的系统程序差不多。微程序深入到机器的硬件内部,以实现机器指令操作为目的,控制着信息在计算机各部件之间流动。微程序也基于存储程序的原理,把微程序存放在控制存储器中,所以也是借助软件方法实现计算机工作自动化的一种形式。

这充分说明软件和硬件是相辅相成的。一方面,硬件是软件的物质支柱,正是在硬件高度发展的基础上才有了软件的生存空间和活动场所;没有大容量的主存和辅存,大型软件将发挥不了作用;而没有软件的“裸机”也毫无用处,等于没有灵魂的人的躯壳。另一方面,软件和硬件相互融合、相互渗透、相互促进的趋势正越来越明显。不但硬件软化(微程序即是一例)可以增强系统功能和适应性,而且软件硬化能有效发挥硬件成本日益降低的优势。随着大规模集成电路技术的发展和软件硬化的趋势,软硬件之间明确的划分已经显得比较困难了。

1.2.4 计算机系统的层次结构

1. 多级组成的计算机系统

由于硬件设计师、软件程序员以及计算机用户都从不同的角度,以不同的语言来对待同一个计算机系统,所以,又可以把计算机系统看成是由多个不同的层次(级)的组合,每个层次都能进行程序设计,如图 1-2 所示(可以把硬件组成的实体看成第 0 层)。

- 第 1 层,微程序设计层。这是一个实在的硬件层,它由机器硬件直接执行微指令。它是计算机硬件设计师所见到的计算机。
- 第 2 层,机器语言层。这也是一个硬件层,它由微程序解释机器指令系统。
- 第 3 层,操作系统层。它由操作系统程序实现。这是计算机系统的操作者和管理员所见到的计算机系统。
- 第 4 层,汇编语言层。它给程序员提供一种符号形式的语言,以减少程序编写的复杂性。这一层由汇编程序支持和执行。
- 第 5 层,高级语言层。它面向用户,为方便用户编写应用程序而设置。这一层由各种高级语言编译程序支持和执行。

从图 1-2 中可以看出,除第 1 层外,其他各层都得到了它下层的支持。用层次的观点认识计算机,对于掌握计算机的组成结构和体系非常有帮助,而且,用这种层次结构设计计算机,对保证产生一个良好的系统结构也是很有帮助的。

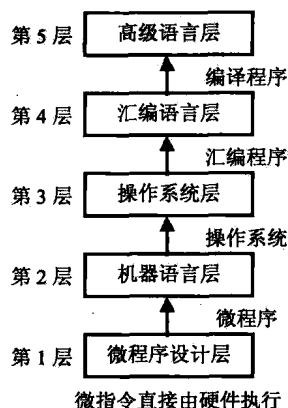


图 1-2 计算机系统的层次结构

2. 系列机与兼容性

计算机技术的发展非常迅速，随着元器件、集成电路以及生产能力的提高，新的高性能的计算机不断地被研制和生产出来。一组计算机若属于同一个系统结构，但在性能上由低档到高档形成一个系列，就组成一个计算机系列(family)。这一系列计算机(系列机)中的每个机型都具有相同的基本指令系统，相同的数据结构，相同的基本输入输出操作，支持相同的基本系统软件等。

系列机概念是为了保证软件的兼容性。软件兼容是指一个软件不经修改就能在不同机型上正确运行。之所以要保证软件的兼容性，是为了最大限度地保护人类的科研成果。这是因为软件编制的工作量是惊人的，在计算机广泛使用中所积累的大量软件是程序设计者辛劳的结晶，不能也不应当随意放弃。另一方面，在新机型上也要求很快地编制大量功能相近甚至相同的软件，这又要花费大量的人力、物力和时间，而且影响软件的发展与提高，所以，程序设计者希望所编的程序能长期使用。软件要求环境长期稳定，这样才能不断发展和提高软件的质量。

软件兼容存在以下两种情况：

- 软件的向上兼容性——指某档机原开发的软件可以不加修改便能在它的高档机上正确运行使用。
- 软件的向下兼容性——指某档机原开发的软件可以不加修改便能在它的低档机上正确运行使用。该情况下，软件向上兼容是不成问题的。在同一系列机内，不论高档机与低档机，所有机型上都能运行使用的软件，则是既能向上兼容又能向下兼容的。

这一兼容性思想在工业生产上还使得不同厂家可以采用不同的技术，生产出与某种计算机在软件上兼容的各种计算机，统称为这种机型的兼容机。兼容(Compatible)还是一个广泛的概念，包括软件兼容、硬件兼容和系统兼容等。兼容具有巨大的意义，兼容使计算机便于推广，兼容也使用户便于使用计算机。