

21 世纪高等学校规划教材

计算机组成原理

刘红玲 主 编
李应兴 邵晓根 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21 世纪高等学校规划教材

计算机组成原理

刘红玲 主 编
李应兴 邵晓根 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内容提要

本书系统地介绍了计算机硬件系统的工作原理和组成结构,包括运算器、控制器、存储器、输入/输出系统及计算机中数据表示与运算的基础知识。全书共分8章,第1、2章介绍计算机的基础知识;第3~8章讲述计算机各个组成部分的工作原理和设计方法。

本书既注意基本概念和基本原理的介绍,又特别强调实际应用,在每个关键知识点都给出了详细的应用实例。全书内容由浅入深,每章都附有大量的习题,为读者提供较多的练习机会。

本书是江苏省立项建设精品教材,可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,也可供非计算机专业和计算机工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 刘红玲主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-7259-4

I. 计… II. 刘… 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 (2008) 第 128775 号

丛 书 名: 21 世纪高等学校规划教材

书 名: 计算机组成原理

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市三里河路 6 号

邮政编码: 100044

电 话: (010) 68362602

传 真: (010) 68316497, 88383619

服务电话: (010) 58383411

传 真: (010) 58383267

E-mail: infopower@cepp.com.cn

印 刷: 北京市同江印刷厂印刷

开本尺寸: 185mm×260mm 印 张: 18.5 字 数: 418 千字

书 号: ISBN 978-7-5083-7259-4

版 次: 2008 年 8 月北京第 1 版

印 次: 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 0001—3000 册

定 价: 29.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

《计算机组成原理》是计算机科学与计算机工程学科中“计算机结构与组织”知识领域的课程,主要讲述计算机硬件系统的工作原理和组成结构,包括运算器、控制器、存储器、输入/输出系统及计算机中数据表示与运算的基础知识。它的特点是涉及的知识面广,内容多,更新快,在课程体系中起着承上启下的作用。

与传统的计算机组成原理教材相比,本书既注意基本概念和基本原理的介绍,又特别强调实际应用,对于每个关键的知识点都给出了详细的应用实例,如主存储器的组织、控制器的设计等。这样既避免了理论与实际应用脱节,又突出了应用能力培养的教学目标。在内容的选取上,以够用为度,难度适中。

全书共分为8章,主要内容如下:

第1章计算机系统概论,主要介绍了计算机系统的组成、特点、主要性能指标、层次结构及应用概况。

第2章计算机中的数据表示,介绍非数值型数据和数值型数据的计算机表示及数据正确性校验方面的知识,为后续各章的学习打下基础。

第3章运算方法和运算器,从运算方法出发,讲述计算机中各种运算的实现原理及运算器的组成。

第4章存储系统,在介绍半导体存储器芯片工作原理的基础上,重点讲述计算机主存储器的构成、组织和控制。同时还介绍了各种存储器组成的计算机存储系统,包括高速缓冲存储器、虚拟存储器等的工作原理。

第5章指令系统,介绍寻址方式、指令格式、种类和指令系统的构成及CISC和RISC指令的特点。

第6章中央处理器,在介绍CPU的组成、功能,控制器的构成、工作原理,时序系统 and 控制方式的基础上,重点讲述了微程序控制器和组合逻辑控制器的设计原理和设计方法。

第7章计算机的输入/输出系统,讨论了计算机输入/输出系统的组成、与CPU的接口方式及常用的总线。

第8章计算机的外部设备,讲述常用外部设备的工作原理以及与主机的连接方式,包括键盘、鼠标、显示和打印设备及辅助存储器。

本书是一本实用性较强的专业基础课教材,可作为高等学校计算机及相关专业的计算机组成原理课程用书,参考学时为56~72,可根据课程目标对内容进行适当的取舍。

本书由刘红玲主编,其中第5、6章由徐州工程学院刘红玲编写,第2、7章由徐州工程学院邵晓根编写,第3、4章由西北民族大学李应兴编写,第1、8章由徐州空军学院秦敬辉编写,孙金萍参与了第7.2、7.3和7.4节的编写,全书由刘红玲统稿、定稿。

本书为江苏省立项建设精品教材，在编写过程中，我们参考了立项评审专家提出的建议，中国电力出版社给予了大力支持，在此表示感谢！

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请专家、同行及广大读者批评指正。

编 者

2008 年 4 月

目 录

前 言

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展及其应用	1
1.2 计算机系统的组成	4
1.3 计算机的分类和主要性能指标	9
1.4 计算机系统的层次结构	11
1.5 计算机组成、体系结构及计算机组成原理研究的内容	12
习题	13
第 2 章 计算机中的数据表示	14
2.1 数据、信息	14
2.2 数值数据的表示	15
2.3 机器数的定点表示与浮点表示	21
2.4 非数值数据的表示	27
2.5 十进制数和数串的表示	31
2.6 现代微型机系统中的数据表示举例	33
2.7 数据校验码	35
习题	42
第 3 章 运算方法和运算器	44
3.1 定点补码加减法运算及其实现	44
3.2 定点乘法运算及其实现	49
3.3 定点除法运算及其实现	59
3.4 浮点数的算术运算	65
3.5 逻辑运算	69
3.6 运算器的组成与结构	71
习题	84
第 4 章 存储系统	87
4.1 概述	87
4.2 半导体存储器	90
4.3 主存储器的组成与控制	103
4.4 并行存储器	115
4.5 高速缓冲存储器	119
4.6 虚拟存储系统	127

习题.....	134
第 5 章 指令系统	138
5.1 指令系统概述	138
5.2 指令的格式	140
5.3 寻址方式	145
5.4 指令类型	151
5.5 指令系统举例	155
习题	158
第 6 章 中央处理器	161
6.1 中央处理器的总体结构	161
6.2 控制器的组成和设计方法	165
6.3 时序系统与控制方式	169
6.4 组合逻辑控制器	184
6.5 微程序设计技术和微程序控制器	190
6.6 CPU 新技术	201
6.7 CPU 举例	207
习题	211
第 7 章 计算机的输入 / 输出系统	215
7.1 输入 / 输出系统概述	215
7.2 计算机总线	217
7.3 输入 / 输出接口	222
7.4 I/O 端口的编址方式和数据传送控制方式	226
7.5 程序查询方式	228
7.6 程序中断方式	230
7.7 DMA 方式	240
7.8 通道方式	245
习题	247
第 8 章 计算机的外部设备	249
8.1 概述	249
8.2 输入设备	251
8.3 显示设备	256
8.4 打印设备	265
8.5 磁介质存储设备	269
8.6 光盘存储器	279
8.7 新型辅助存储器	283
习题	286
参考文献	288

第 1 章 计算机系统概论

计算机，顾名思义就是用于计算的工具。电子计算机从总体上来说可以分为两大类：电子模拟计算机和电子数字计算机。电子模拟计算机中处理的信息是时间上连续变化的物理量，运算的过程也是连续的；而电子数字计算机中处理的信息是时间上离散的数字量。今天我们所讲的计算机都是指电子数字计算机。因此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，不需要人工直接干预，能够自动、高速、准确地对各种信息进行存储和处理的工具，是一种由硬件和软件组成的复杂自动化设备。

计算机是 20 世纪人类最重要的科学技术发明之一，它的诞生、发展和应用彻底改变了人类社会的生产和生活方式。本章在简要介绍计算机的发展、应用、分类的基础上，重点介绍冯·诺依曼型计算机的基本组成、各部件的工作原理和结构特点，同时说明了本课程要研究的主要内容。

1.1 计算机的发展及其应用

1.1.1 计算机的发展

随着社会的进步和生产力的发展，人类用于计算的工具经历了从简单到复杂，从低级到高级的发展过程，在人类的文明史上相继产生了诸如算盘、计算尺、手摇机械计算机和电动式机械计算机等计算工具。

人类历史上第一台真正的电子计算机产生于 1946 年 2 月，美国宾夕法尼亚大学摩尔学院与美国军方阿伯丁弹道实验室试制成功一台电子数字积分和计算机（Electronic Numerical Integrator And Calculator, ENIAC）。ENIAC 是一个庞然大物，它共用了 18 000 多个电子管，重达 30t，占地面积 170m²，功耗为 150kW，每秒可做 5000 次加法运算。但 ENIAC 有两个致命的弱点：一是它的存储容量小，只能存储 20 个字长为 10 位的十进制数，因此计算程序需要靠外部的开关、继电器和插线来设置，准备时间大大超过实际计算时间；二是使用的电子管太多，功耗大，容易出故障，工作可靠性差。尽管如此，作为人类历史上的第一台电子数字计算机，还是取得了划时代的发展，奠定了现代计算机发展的理论基础。

在 ENIAC 研制的同时，以美籍匈牙利数学家冯·诺依曼（John von Neumann）为首的研制小组提出了“存储程序控制”的计算机结构，并开始了存储程序控制的计算机 EDVAC（Electronic Discrete Variable Automatic Computer）的研制。由于种种原因，EDVAC 直到 1951 年才问世。而吸收了冯·诺依曼的设计思想，由英国剑桥大学研制的 EDSAC（Electronic Delay Storage Automatic Computer）则先于它两年诞生，成为事实上的第一台存储程序结构的计算机。

自第一台电子计算机 ENIAC 诞生以来的 60 多年时间里,计算机的性能发生了重大的变化,人们习惯把计算机的发展历史分“代”,其实分代并没有统一的标准。常常按计算机所采用的微电子器件,把计算机分成以下几代。

第一代(1946 年—1957 年):电子管计算机。这一阶段的计算机采用电子管为主要逻辑元件,硬件较简单,只能进行定点的算术运算,运算的速度是每秒几千次至每秒几万次;软件主要采用机器语言编写程序(目标程序)和用汇编语言编写的源程序,源程序再经汇编程序翻译成机器语言的目标程序。此时的计算机主要用于科学计算和工程计算,具有代表性的计算机是冯·诺依曼与他的同事们设计的存储程序计算机 EDVAC 及 IBM 公司开发的用于科学计算的大型计算机 IBM-701。

第二代(1958 年—1964 年):晶体管计算机。这一阶段的计算机采用晶体管作为元器件,硬件能够实现浮点算术运算,运算速度提高到每秒几万次至每秒几十万次。软件采用子程序库、批处理管理程序,高级语言得到迅速发展,产生了 FORTRAN、ALGOL 和 COBOL 等一系列高级程序设计语言,简化了计算机程序设计。这一时代的计算机主要用于科学计算和事务处理,并在过程控制中得到初步使用。具有代表性的计算机是 1960 年 IBM 研制的 IBM-7090。

第三代(1965 年—1973 年):集成电路计算机。这一阶段的计算机早期采用的是小规模的集成电路(Small Scale Integration, SSI),后来采用了中规模集成电路(Middle Scale Integration, MSI)和大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI),使用半导体存储器代替了磁心存储器,中央处理器采用了微程序控制技术、流水线结构以及高速缓冲存储器 Cache;软件逐渐完善,操作系统日益成熟,功能不断增强,分时操作系统、会话式语言等多种高级语言都相继得到新的发展。运算速度可达到每秒几十万次到每秒几百万次,运算精度高,存储容量大,稳定性好,体积更加小型化,整机性能比第二代计算机又有很大的提高。这一时期的计算机在科学计算、数据处理和工业过程控制等方面都得到了较为广泛的应用。具有代表性的产品如 IBM-360 系列机、CDC-6000 等。

第四代(1974 年—1985 年):(超)大规模集成电路计算机。这一阶段的计算机使用超大规模集成电路(Very LSI, VLSI)和极大规模集成电路(Ultra SI, USI)为主要功能部件。在软件方面,发展了数据库系统、分布式操作系统及通信软件等。1971 年以来出现了多种不同类型的巨、大、中和小型计算机系统。而且自 20 世纪 70 年代初开始,微型计算机异军突起,各种各样的微机及兼容机相继问世。与此同时,计算机网络技术也得到了迅速发展,使计算机的应用领域变得十分广泛,几乎深入到了人们生产、生活的各个角落。第四代计算机的运算速度可达每秒几千万次到每秒若干亿次,具有更高的运算精度、更大的存储容量、更小的体积、更好的稳定性。

第五代(1986 年至今):新一代计算机。所谓新一代计算机,是指采用了巨大规模集成电路,计算机从数值计算过渡到以知识推理为主,并允许用户使用自然语言,运算速度提高到每秒几亿次以上。软件得到进一步的发展,计算机语言向着标准化、模块化、产品化方向发展,并最终向着自然语言方向发展,且能自动生成程序。

总之,从 1946 年计算机诞生以来,大约每 5~8 年,计算机的运算速度可提高 10 倍,

可靠性可提高 10 倍, 体积可缩小至原来的 $1/10$, 而成本降低为原来的 $1/10$ 。自 20 世纪 70 年代以来, 计算机的产量以每年 25% 以上的速度递增。

1.1.2 计算机的应用

计算机虽然仅仅只有 60 多年的发展历史, 但已被广泛地应用于工业、农业、国防、科研、教育、商业、医疗、通信及日常生活的各个领域。其应用可简要归纳为以下几个方面。

(1) 科学计算。科学研究和工程技术计算领域, 是计算机应用最早的一个领域, 也是应用最广的领域。例如, 数学、物理学、化学、天文学、生物学等基础科学的研究, 以及航天飞行、飞机设计、地质勘探、水力发电、天气预报等方面的大量计算都要用到计算机。

例如, 在天气预报领域, 人类在长期实践中总结并积累了大量有关天气预报的气象方程, 根据测量到的数据, 可以求解出未来的天气情况。由于求解气象方程的计算量很大, 若用人工计算, 要预报明天的天气, 数据计算的时间就要花费十几天乃至几个月, 因此天气预报无法实现。而利用计算机快速运算的特点就可以很好地解决这一难题, 为人类提供及时准确的天气预报信息。

(2) 自动控制。自动控制是涉及面极广的一门学科, 主要应用于国防、工业、农业以致人们日常生活的各个领域。据统计, 目前国内外大约 20% 的微型计算机用于生产过程的自动控制。廉价可靠、小体积的计算机给自动控制带来了强大的生命力。可以毫无疑问地说, 离开了以计算机为主要控制设备的控制系统, 就不是现代的自动控制系统。计算机在自动控制方面的应用, 大大减轻了人们的劳动强度, 极大地提高了生产力。

(3) 信息处理。信息是人类赖以生存和交际的媒介。当今世界的信息已成为人类的第三类资源。早期的计算机, 主要用于数值计算, 但是后来应用范围逐渐发展到非数值处理领域, 用来处理大量的文字、图像、声音等各类信息。而且随着计算机的发展, 信息处理的应用范围越来越广泛, 例如银行的自动柜员机、现金出纳机、电子存款等; 银行间利用计算机网络进行的资金转移; 邮局的电子传真、电子邮件。在管理应用方面, 有办公自动化、物资管理、人事管理等。计算机在信息处理方面的应用, 不仅节省了大量的人力物力, 在某些方面还为科学决策提供了准确的依据。

(4) 辅助设计和辅助制造。利用计算机进行辅助设计和辅助制造, 充分利用计算机的高速、精确等方面的优点。既大大提高了整个设计制造的速度, 又因在设计过程中利用计算机进行各种外形设计、内在性能模拟等措施, 从而使生产的产品最大程度地满足了客户的各种要求。

(5) 辅助教学和医疗。计算机广泛应用于教育, 被誉为“教育史上的第四次革命”。利用多媒体技术开发的计算机辅助教学 (CAI) 软件, 使以前黑板加粉笔的传统教育方法受到了冲击, CAI 课件可以把以前学生难以弄懂的知识, 通过图像、动画和声音的配合, 给学生更直观、更感性的形象, 大大提高了学习效率; 此外, 通过网络进行自主学习, 可以不受时间和地点的限制, 按照自己的实际情况确定学习的计划和进度, 这是当今社会人们进行终身学习的有利条件。在医疗卫生方面, 使用计算机的各种医疗设备, 如 CT 图像处理设备, 心、脑电图分析仪等, 为早期诊断疾病提供了强有力的手段。

(6) 家用电器。随着超大规模集成电路工艺的发展, 计算机, 特别是单片计算机在家用电器中的应用日益普遍, 如计算机控制的全自动洗衣机、智能空调机、游戏机等。计算机应用于家用电器, 使其智能化, 更方便人们的使用。例如, 智能空调机, 可以根据某用户常用的温度, 开机时自动设定为该温度。

(7) 人工智能。人工智能是指计算机具有模仿人的高级思维活动的的能力。例如下棋, 程序员把下棋的规则, 棋的布局、中盘及残局的对局方法编成程序输入计算机, 计算机就可按设定的各种方法与人对弈。具有人工智能的计算机具备文字、图像、语音识别功能, 还可以提供机器翻译功能等。

人工智能研究中的最大成就就是“机器人”, 当今世界上大量的“工业机器人”, 在生产线上或在高温、有毒、辐射、深水等环境下工作, 这些机器人的出色工作, 使人们逐步摆脱了恶劣的工作环境, 大大提高了工作效率。更高级的智能机器人, 还能对工作环境做出判断和决策, 能自动避开障碍物, 并适应环境条件的变化, 灵活机动地完成各种任务。

1.2 计算机系统的组成

1.2.1 冯·诺依曼 (Von Neumann) 计算机的特点

自计算机诞生 60 年以来, 新的技术和应用层出不穷, 计算机的性能发生了翻天覆地的变化, 但是计算机的基本体系结构和基本工作原理并没有太大改变, 仍然遵循冯·诺依曼于 1946 年 6 月在《关于电子计算装置逻辑结构初探》的报告中提出的“以二进制计数制、存储程序和程序控制”为核心的设计思想。

冯·诺依曼型计算机的特点可归纳如下:

(1) 采用二进制数表示指令和数据。计算机中采用二进制数表示指令和数据的好处主要有:

首先, 由于二进制数只有两个数字符号 1 和 0, 便于电子器件的表示。例如, 由两个晶体三极管等电子元件组成的双稳态电路、电容的充电和放电状态、电子开关的闭合与断开等, 都能方便地表示二进制数。

其次, 二进制数的运算规则简单, 容易用电子电路实现, 其运算的速度也快。例如, 实现两个一位二进制数相乘, 只需用一个二输入的与门电路即可实现。

最后, 二进制数是逻辑设计的便利工具。二进制数使用数字符号 1 和 0, 正好与逻辑推理的真和假相对应。因此, 采用二进制数便于计算机进行逻辑运算。计算机能进行逻辑运算, 具有逻辑判断能力, 是计算机得到广泛应用必备的功能。

(2) 存储程序控制。计算机是通过执行人们给出的指令序列来解决问题的机器。所谓指令, 就是要计算机执行某种操作的命令 (例如, 加法运算、无条件转移等)。而程序就是解决某一问题的指令序列。

存储程序控制是指人们将编制好的解题程序和要处理的原始数据预先存入到计算机的内存储器中 (称为存储程序)。计算机将存放在内存存储器的指令逐条取出执行, 执行过程中根据指令的性质对原始数据或者程序执行中产生的中间数据进行处理, 最终得到运算结

果。在整个程序执行过程中,指令的读取、译码和执行都是自动完成的,不需要人工干预。整个计算过程都是在程序的控制下自动进行的,这个过程称为程序控制。存储程序和程序控制统称为存储程序控制。

1.2.2 计算机的硬件系统

计算机的硬件是指计算机中的电子线路和物理装置。它们是看得见、摸得着的实体,是计算机的物质基础。冯·诺依曼体系结构的计算机硬件系统由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五大部分组成,它们之间通过系统总线连接在一起,如图 1-1 所示。

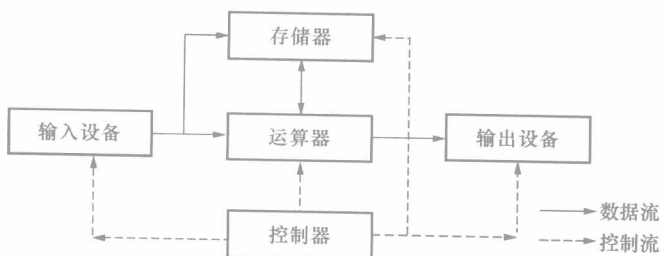


图 1-1 计算机系统的硬件组成示意图

1. 存储器

程序是计算机操作的依据,数据是计算和操作的对象。而存储器正是计算机中存放程序和数据的部件,它是计算机能够实现“存储程序控制”的基础。

在存储器中,以字节或者字作为基本编址单位,称为存储单元。每个存储单元对应一个地址编号,称为单元地址,地址编号以二(八或十六)进制数表示,从 0 开始。单元地址只有一个,是固定不变的,而存储在其中的内容是可以更换的。如图 1-2 所示为存储器的组成框图。

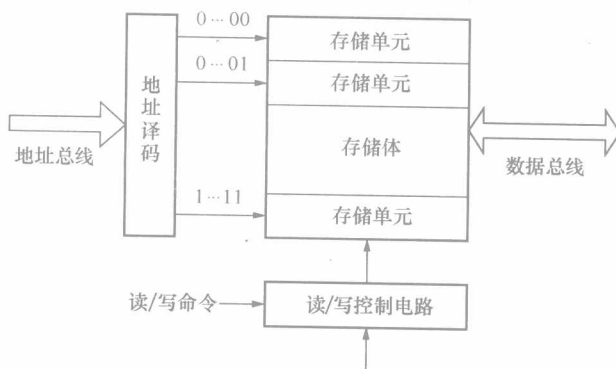


图 1-2 存储器的组成框图

向存储单元存入或取出信息,都称为访问(Access)存储器。访问存储器时,先由地址译码器将送来的单元地址进行译码,找到相应的存储单元,再由读/写控制电路确定访问存储器的方式,即取出(读)或存入(写),然后按规定的方式具体完成取出或存入的操作。

有关存储器的详细内容见第 4 章。

2. 运算器

运算器是对数据进行处理和运算的部件，主要由算术逻辑部件（ALU）、累加器和通用寄存器组及内部总线等组成。算术逻辑部件主要完成算术运算（+、-、 $\times$ 、 $\div$ 等操作）及逻辑运算（与、或、异或等操作）。通用寄存器组用来存放参加运算的数据、中间结果或地址。有关运算器的详细内容见第3章。

3. 控制器

控制器是整个计算机的指挥控制中心，它根据指令的要求向计算机各个部件发出微操作控制信号，控制运算器、存储器以及输入/输出设备自动、有序、协调地进行工作。微操作控制信号指明了在什么时间、什么条件下执行什么操作，有些操作可同时进行，而有些操作则要依时间的先后进行。正是这些微操作控制信号控制着全机高速、有条不紊地工作。

控制器的主要功能有：

- （1）控制程序和原始数据输入到计算机内存。
- （2）控制运算器和内存等部件实现数据运算处理。
- （3）控制内存和外存之间的数据交换。
- （4）处理随机发生的事件。

控制器一般由指令部件、时序部件和微操作信号发生器等部分组成，如图1-3所示。

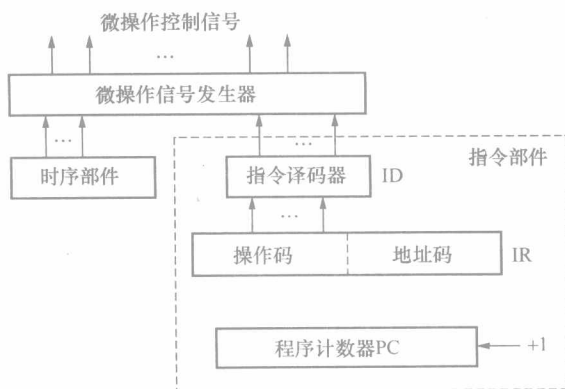


图 1-3 控制器组成框图

（1）指令部件。指令部件是指与指令有关的部件，包括程序计数器、指令寄存器和指令译码器。

计算机工作时，按事先安排好的顺序逐条从存储器取出并执行指令。为了使计算机能做到这一点，在计算机中设置了一个指令计数器（也称程序计数器 PC），用 PC 指明所要执行的指令在内存中的地址。为了能按顺序自动地指向下一条要执行的指令，在取出指令的同时，PC 中的计数值自动递增，始终等于下一条要执行的指令地址。

指令寄存器 IR，用来存放正在执行的指令代码。计算机从内存中取出的要执行的指令即存放在 IR 中。

不同的指令，其二进制代码也不同。为了能正确执行每条指令，还必须有一个指令译码器 ID，通过译码区分出不同的指令。

(2) 时序部件。时序部件用于产生计算机运行所需的时序信号。我们知道,要执行一条指令,首先必须把该指令从内存储器取出来,再经译码,然后加以执行。也就是说,计算机是严格按照时间的先后进行操作的,由于计算机的工作速度非常快,需要严格的定时,这种定时就是由时序部件产生的时序信号实现的。

(3) 微操作信号发生器。指令经指令译码器产生相应的控制电位,配合时序部件产生的时序信号,由微操作信号发生器产生执行指令所需的一系列微操作信号,并送到各功能部件,控制各部件按指令的要求进行操作,以实现指令的功能。

有关控制器的详细内容见第6章。

4. 输入/输出(I/O)设备

输入设备是将各种形式的输入信息转换为机器可识别的编码形式的设备,如键盘、鼠标等。

输出设备是将计算机的输出信息转换为人可接受的信息形式的设备,如显示器、打印机等。

而终端设备是指通过通信线路与主机连接的既可输入又可输出的设备,如键盘-CRT,光笔-CRT系统等。

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。实线代表数据流,虚线代表指令流。要运行一个程序,首先通过输入设备把程序连同必需的原始数据存入内存储器。控制器控制计算机从存储器中逐条读取指令,然后交由运算器执行,运算的结果可通过输出设备(如显示器)输出或者写入存储器中供其他指令使用。

现代计算机一般把运算器、控制器和其他一些部件集成在一起,称为中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)。把CPU和内存储器合称为主机,因为它们通常组装在一个主板上,承担计算机的主要计算任务。

输入设备和输出设备统称为输入/输出设备(I/O设备),也称为外部设备或外围设备,因为它们常常位于主机的外部。

1.2.3 计算机的软件系统

一个完整的计算机系统由硬件系统和软件系统组成。硬件是计算机系统的物质基础,软件是计算机的灵魂,解决任何实际问题都必须依靠相应的软件。没有软件的计算机称为“裸机”。

所谓“软件”是指计算机系统使用的各种程序和文档资料的总称,软件的主体是程序。

计算机软件一般来说可分为系统软件和应用软件两大类。

1. 系统软件

系统软件是使用和管理计算机系统的各种程序。系统软件主要用于简化程序设计、提高计算机的使用效率、充分发挥和扩大计算机的功能及用途。通常它包括操作系统、各种服务性程序、语言处理程序和数据库管理系统等。

(1) 操作系统。随着计算机技术的日益发展,硬件资源越来越丰富,如何充分利用硬件的功能提高其工作效率,就成了摆在人们面前急需解决的问题,于是人们创造出了一种程序,叫做操作系统。操作系统是一套系统软件,用来管理计算机资源(如处理机、内存储器、各种外部设备和各种编译程序、应用程序)和自动调度用户的作业程序,从而使得多个用户能有效地共用一套计算机系统,大大提高了计算机的使用效率,并且方便用户使用计算机。操

作系统一般可分为批处理操作系统、分时操作系统、实时操作系统和网络操作系统。目前比较流行的操作系统有 Windows 系列操作系统、UNIX 操作系统和 Linux 操作系统。

(2) 语言处理程序。用于程序设计的语言,经历了机器语言、汇编语言到高级语言的发展过程。

早期的计算机,人们直接使用二进制表示的指令(机器语言)编写程序,用这种方法编写的程序能被机器直接识别并执行,人们把这种用机器语言编写的程序称为目的程序。机器语言编写的指令,其格式和代码所代表的含义都是硬性规定的,计算机硬件的逻辑电路要根据这些规定进行设计和组装,所以,制造出来的计算机只能识别根据这些规定编写的程序,这些程序是面向机器的,计算机执行效率较高,能够充分发挥计算机的速度性能,但对程序员来说,机器语言最大的缺点在于编写程序直观性差,阅读困难,修改、记忆和调试费力,而且程序缺乏通用性。

后来人们想出了用符号(助记符)来表示机器指令,即汇编语言。例如,用 ADD 表示加法指令、用 JMP 表示无条件转移指令等。汇编语言和机器语言一般是一一对应的,所以汇编语言也是与具体的计算机硬件有关的。由于汇编语言采用了助记符,因此,它比机器语言直观、便于记忆和理解,也比机器语言程序易于阅读和修改。但是计算机不能直接识别,必须使用“汇编程序”把汇编语言编写的程序(源程序)翻译成机器语言程序(目的程序)后才能被识别和执行。汇编语言仍是面向机器的语言,对于不同的机器仍然有不同的指令系统。

由于机器语言或汇编语言对机器的依赖性大,无论是使用机器语言还是汇编语言编写源程序,都不能离开具体的计算机指令系统,并且编制程序技术复杂,效率低下,开发出来的程序通用性差。为了从根本上解决程序设计语言对机器的依赖,使其独立于机器硬件系统,把面向机器的程序设计语言发展成为面向过程的程序设计语言,这种语言称为高级语言。

高级语言与具体的计算机硬件无关,表达方式接近人们对问题或求解过程的描述,通用性和可移植性好,便于理解和书写,易于人们的掌握和应用。目前,世界上已有几百种不同类型和功能的计算机高级语言,但其中应用广泛的只有十余种,如 BASIC、FORTRAN、C、C++、Java 等。

用高级语言编写的程序也称为源程序。源程序须变为目的程序才能执行。一种方法是把源程序通过解释系统加以解释执行,解释系统是一个预先编好的解释程序,可逐行解释并执行源程序,例如,早期的 BASIC 语言;另一种方法是把源程序“翻译”成目的程序,再由机器执行。完成翻译工作的程序称为编译程序。通过编译程序生成的目的程序的执行速度比逐行解释执行的程序快。

上述的汇编程序和编译程序都是语言处理程序,它们的任务就是将源程序翻译成目标程序。不同的源程序,对应着不同的语言处理程序。

(3) 数据库管理系统。信息时代需要计算机高速处理大批量的数据,于是出现了数据库。数据库就是实现有组织地、动态地存储大量相关数据,方便用户访问的计算机软硬件资源组成的系统。数据库和数据库管理软件一起组成了数据库管理系统。

数据库管理系统有各种类型,目前许多计算机都配有数据库管理系统,如 Foxpro、

Access、Oracle、SQL Server 等，而且各种数据库管理系统也在不断发展中。

2. 应用软件

应用软件是计算机用户为了解决各种实际应用问题而编制的程序，如自动控制程序、科学计算程序、企事业单位信息管理程序等。随着计算机的广泛应用，应用软件的种类和数量将越来越丰富。

1.3 计算机的分类和主要性能指标

1.3.1 计算机的分类

计算机按功能划分，可分为通用计算机和专用计算机。通用计算机适应性强；专用计算机主要应用于某一个或某几个领域，是最有效、最经济、最快速的计算机，但通用性较差。

通用计算机又可分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机等。它们的区别在于体积、性能指标、指令系统规模和机器价格等不同。随着超大规模集成电路的快速发展，各种类型的计算机体积都在不断地缩小，各种机型的划分也在不断地变化，今天的大型机功能就是明天的中型机功能，而今天的小型机功能就是明天的微型机功能。因此，确切地给出它们的区别已没有可能，也没有必要。

一般来说，巨型计算机主要用于科学计算，它的运算速度快，性能极高，结构复杂，价格昂贵且体积庞大。世界上只有少数几个公司能够生产巨型机。如美国的克雷公司，它生产的 Cray 系列机都是著名的巨型机。我国研制成功的银河 I、II 和 III 型也都是巨型机。微型计算机具有体积小、功耗低、价格便宜、结构简单和容易操作的特点，应用最为广泛。其他机型则介于这两者之间。

1.3.2 计算机的主要性能指标

全面衡量一台计算机的性能需要考虑各种各样的指标，对于不同用途的计算机其侧重点也有所不同。

1. 字长

字长是指 CPU 同时处理参与算术或逻辑运算的二进制操作数的位数。字长的实质是指 CPU 内部寄存器、运算器、内部数据总线等部件的宽度。通常字长越长，表示数的精度越高，计算机的运算能力越强。字长越长，对计算机的硬件要求也越高，其硬件的成本也越高。现在微型计算机的字长已达 64 位。

2. 运算速度

运算速度是指计算机每秒钟执行指令的条数。从内存中取出一条指令并执行的时间称为指令周期，指令周期因指令的复杂程度不同而有长有短，根据每种指令在程序出现的概率乘以该指令周期，将各种指令计算得到的乘积累加，即可计算出指令的平均执行时间 T_m 。

$$T_m = \sum_{i=1}^n f_i \times t_i \quad (1.1)$$

式中, n 为指令的种类; f_i 为第 i 种指令出现的频度 (概率); t_i 为第 i 种指令的指令周期 (单位为 μs ——微秒)。

则计算机的平均运算速度为

$$V_m = 1/T_m \quad (1.2)$$

运算速度的单位是 MIPS (百万条指令每秒)。

3. 主频

主频又称主时钟频率, 是指 CPU 每秒产生的时钟脉冲数, 以 MHz (兆赫兹) 为单位。如 Pentium III / 550 的主频为 550MHz, Pentium 4/2.4G 的主频为 2.4GHz 等。频率越高, 执行每个基本操作的时间就越短, 计算机的运算速度就越高。但是只看 CPU 的时钟频率还不能直接看出机器每秒钟执行指令的数量。例如当代的迅驰、酷睿等双核、甚至多核处理器的主频不高, 但是运算速度很快。

4. 存储容量

存储容量主要包括主存储器的容量和外存储器的容量。主存储器的容量是指主存储器存储单元的总数, 若主存是按字节编址, 则具有 16 位地址码的计算机, 主存的最大装机容量是 2^{16} 字节, 即 64KB。

存储容量的单位有 B、KB、MB、GB 和 TB, 其中:

$$1\text{KB} = 2^{10}\text{B};$$

$$1\text{MB} = 2^{10}\text{KB} = 2^{20}\text{B};$$

$$1\text{GB} = 2^{10}\text{MB} = 2^{30}\text{B};$$

$$1\text{TB} = 2^{10}\text{GB} = 2^{40}\text{B}.$$

主存是 CPU 可直接访问的存储器, 主存的容量越大, 存储的信息越多, 计算机的解题功能就越强。

外存容量一般是指计算机系统中联机的外存储器的容量。外存存放暂不参与运行的程序和数据, 例如编译程序、操作系统及众多的用户程序等, 需要时再与主存成批交换信息。因此, 联机的外存容量也是一项重要的指标, 一般也以字节为单位。

5. 存取周期

存储器完成一次数据的读 (取) 或写 (存) 操作所需要的时间称为存储器的存取时间。存储器执行一次完整的读写操作所需要的时间称为存取周期, 即从存储器中连续取 (读) 或存 (写) 两个字所需的最小时间间隔。内存大都由大规模集成电路制成, 其存取周期目前为几纳秒 (ns)。

6. 系统总线传输速率

系统总线传输速率指单位时间内通过系统总线输入 / 输出数据的字节数, 它取决于系统总线中数据线宽度和总线周期。数据总线宽度越大, 数据传输性能越好。

7. 配置的软件及外围设备的种类

计算机的性能与系统配置的软件和外围设备的种类多少也有密切的关系。一般情况