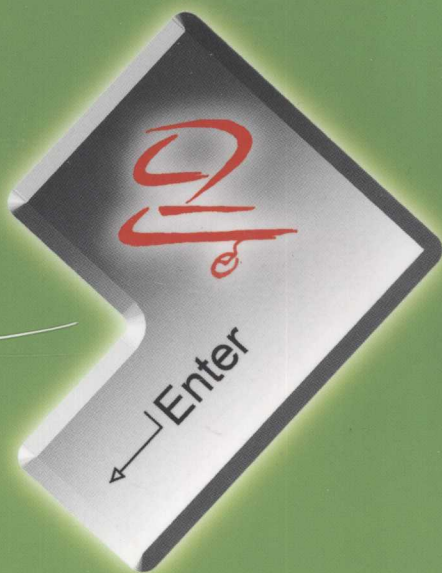


高等院校

计算机技术系列教材



# 计算机组成原理与设计

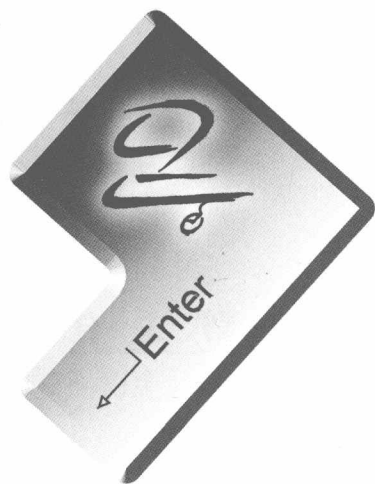
■ 魏媛媛 高晓清 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等院校  
计算机技术系列教材



# 计算机组成原理与设计

■ 魏媛媛 高晓清 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与设计/魏媛媛,高晓清编著. —武汉:武汉大学出版社,  
2008. 10

高等院校计算机技术系列教材

ISBN 978-7-307-06523-9

I. 计… II. ①魏… ②高… 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 143844 号

责任编辑:杨 华 黄 斌 责任校对:黄添生 版式设计:詹锦玲

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

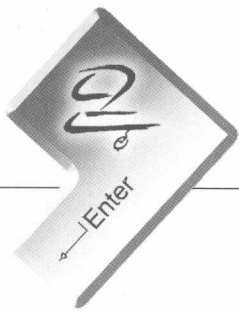
印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:461千字 插页:1

版次:2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-06523-9/TP·311 定价:32.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



# 高等院校计算机技术系列教材 编委会

---

## 主任

魏长华

## 副主任

朱定华 金汉均

## 委员

(按姓氏笔画为序)

王敬华 王淑礼 汪金友 吴黎兵 张晓春

杜威 倪永军 姚春荣 胡新和 胡艳蓉

岑柏兹 曾志 鲍琼 戴上平 魏敏

魏媛媛

# 信息安全系列教材书目

密码学引论（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	张焕国等
计算机网络管理实用教程	张沪寅等
网络安全	黄传河等
信息安全综合实验教程	张焕国等
信息隐藏技术实验教程	王丽娜等
信息隐藏技术与应用	王丽娜等
网络多媒体信息安全保密技术	王丽娜等
信息安全法教程	麦永浩等
计算机病毒分析与对抗	傅建明等
网络程序设计	郭学理等
操作系统安全	贾春福等
模式识别	钟 珞等
密码学教程	张福泰等
信息安全数学基础	李继国等
计算机取证技术	陈 龙等
电子商务信息安全技术	代春艳等
信息安全基础	武金木等
网络伦理	徐云峰
网络安全	丁建立等
数据库安全	刘 晖等
信息安全管理	王春东等
信息对抗理论与方法	吴晓平等
信息安全导论	王丽娜等
信息安全工程	赵俊阁等



## 前 言

“计算机组成原理与设计”是大学计算机专业的一门核心专业基础课程，该课程在教学上具有知识面广、内容多、难度大、知识更新速度快的特点。本书是作者根据多年从事“计算机组成原理”课程的理论教学和实践教学经验编写而成的，以理论知识的掌握和实践能力的训练为目标，并考虑了本课程教学中的难点和要点，融入其发展新趋势。本书内容全面，概念清晰，具有合理的知识结构体系。除此之外，还特别注重实践与理论相结合，每一章节都有与之相关的实例和分析，对实际能力的培养将有所帮助。

本书介绍了单处理器计算机系统的组成结构和工作原理以及初步设计基础。第1章主要介绍计算机系统结构的概况，从计算机的应用、分类，到计算机系统的结构组成，再到计算机未来可能的发展趋势等，都做了清晰的描述，然后用一个微型机的实例使读者对计算机的认知更加具体化。第2章主要介绍计算机中的重要运算部件——运算器的组成原理和基本设计方法，详细叙述各种信息在计算机中的表达方式、运算方法，基本运算器的组织和设计原理，IA-32架构下的浮点运算部件，Inter SSE2的浮点体系结构。第3章主要介绍层次结构存储器的组成、设计原理和方法，详细描述存储器的各种分类和主存的性能指标，存储子系统的层次结构，介绍主存储器的组织与设计方法，高速缓存Cache和虚拟存储器的原理，另用一个实例介绍了Pentium P4和AMD Opteron存储器的层次结构。第4章重点介绍计算机指令系统中的指令分类、指令格式、寻址方式，以及RISC和CISC的概念和区别。也用一个实例介绍Inter X86指令系统和ARM指令系统。第5章详细介绍处理器的工作原理和基本设计方法。主要介绍计算机处理器的功能、组成和时序控制方法以及控制器设计的各种方法，以几种典型的处理器作为实例介绍各种不同CPU的结构。第6章总线与输入输出系统主要介绍各种总线，以及总线与系统的连接和通信方法，各种外设以及外设接口与系统的信息交换方式，最后介绍一个典型外设——数码相机。

本书每章节末都安排了适量的习题，读者可以通过各章的习题对已完成的内容做一个测试，以巩固和强化学习效果。

本书前三章由魏媛媛编写，第4、5、6章由高晓清编写。魏长华教授担任主审，给予了本书热情的关心和指导，提出了许多宝贵的建议。责任编辑杨华对本书的编写给予了热情的指导和帮助。本书在编写过程中还得到了武汉科技学院计算机科学学院院长和老师们的关心和支持，谨向他们表示诚挚的感谢。

现代计算机技术的发展速度异常迅猛，高等院校计算机科学与技术的教学面临着越来越大的挑战，本书力图在教师知识传授和学生能力提高方面做出努力，对书中的错误和不足，恳切希望广大读者批评指正。

作者

2008年5月





## 目 录

77	.....	运算器原理与设计	2.3.1	1
79	.....	观察显示器	2.3.2	3
83	.....	UJA 鼠标	2.3.3	7
89	.....	计算机的层次结构	2.4	16
87	.....	计算机系统的层次结构	2.4.1	16
87	.....	IA-32 的层次结构	2.4.1	17
90	.....	Intel SSE2 指令集	2.4.2	18
<b>第 1 章 计算机系统结构概述</b> ..... 1				
10	1.1	概述		1
	1.1.1	计算机的应用		1
99	1.1.2	计算机的类型、特征和性能指标		3
99	1.2	计算机系统的组成		7
99	1.2.1	计算机系统的硬件组成		7
99	1.2.2	计算机系统的软件组成		13
99	1.3	计算机的层次结构		16
99	1.3.1	计算机系统的层次结构		16
99	1.3.2	软硬件在逻辑上的等价性		17
101	1.4	未来计算机的发展趋势		18
111	1.4.1	计算机的发展概况		18
116	1.4.2	计算机发展总趋势		21
116	1.5	实例:打开计算机机箱		23
123	1.5.1	剖析鼠标		23
130	1.5.2	观察显示器		24
130	1.5.3	打开机箱		24
141		本章小结		27
146		习题 1		27
<b>第 2 章 运算器原理与设计</b> ..... 28				
146	2.1	信息在计算机中的表示		28
130	2.1.1	数的表示		28
162	2.1.2	非数值数据的表示方法		43
162	2.1.3	数据校验码		46
152	2.2	算术逻辑运算基础		51
152	2.2.1	定点数的加减法		51
152	2.2.2	定点乘法运算		56
152	2.2.3	定点除法运算		65
152	2.2.4	浮点数的四则运算		69
152	2.2.5	逻辑运算		74
152	2.3	ALU 原理、组织和设计		77





2.3.1	运算器的基本结构	77
2.3.2	加法器及其进位系统	79
2.3.3	集成电路构成 ALU	83
2.3.4	运算器 ALU 设计	85
2.4	实例:IA-32 中的浮点部件	87
2.4.1	IA-32 的浮点系统结构	87
2.4.2	Intel SSE2 浮点体系结构	90
	本章小结	90
	习题 2	91
第 3 章	层次结构的存储器组织和设计	93
3.1	概述	93
3.1.1	存储系统的层次结构	93
3.1.2	存储器分类	95
3.1.3	主存储器的性能指标	97
3.2	半导体存储器和存储芯片	98
3.2.1	SRAM 存储元和芯片	98
3.2.2	动态 MOS 存储元和芯片	104
3.2.3	只读存储器芯片	111
3.3	主存储器系统设计	116
3.3.1	高性能存储器	116
3.3.2	主存系统组织设计	123
3.4	层次结构的存储系统组织	130
3.4.1	高速缓存 Cache	130
3.4.2	虚拟存储器	141
3.5	实例: Intel Pentium P4 和 AMD Opteron 的存储器层次结构	146
3.5.1	Intel Pentium P4 和 AMD Opteron 的层次结构存储器	146
3.5.2	减少缺失损失的技术	148
	本章小结	149
	习题 3	150
第 4 章	指令系统	152
4.1	指令功能和类型	152
4.1.1	概述	152
4.1.2	数据传送类指令	153
4.1.3	输入/输出指令	153
4.1.4	算术运算类指令	153
4.1.5	逻辑运算类指令	154
4.1.6	程序转移控制类指令	154







045	4.1.7 处理机控制类指令	155
	4.1.8 其他指令	155
045	4.2 指令格式	156
045	4.2.1 指令字长	157
045	4.2.2 操作码	158
045	4.2.3 地址码	158
045	4.3 寻址方式	160
045	4.3.1 指令的寻址方式	160
045	4.3.2 操作数寻址方式	160
045	4.4 RISC 与 CISC 指令系统	163
045	4.4.1 CISC 的特点	164
045	4.4.2 RISC 结构采用的基本技术	164
045	4.4.3 经典 CISC 和纯 RISC 体系结构的比较	166
045	4.5 实例: Intel x86 指令系统	166
045	4.5.1 Intel x86 指令系统特点	166
045	4.5.2 Intel x86 指令系统简介	167
045	4.6 实例: ARM 指令系统	171
045	4.6.1 ARM 指令系统的特点	172
045	4.6.2 ARM 指令系统简介	172
045	本章小结	179
045	习题 4	179
045		插文参考
	<b>第 5 章 中央处理器原理与设计</b>	182
	5.1 处理器工作原理	182
	5.1.1 处理器的功能	182
	5.1.2 处理器组成	183
	5.1.3 指令周期	186
	5.1.4 时序产生器	196
	5.1.5 时序控制方式	198
	5.1.6 利用流水线提高处理器性能	199
	5.2 控制器设计方法	204
	5.2.1 硬布线逻辑控制器设计	204
	5.2.2 微程序控制器设计	210
	5.2.3 可编程逻辑设计	223
	5.3 实例:典型的处理器	230
	5.3.1 INTEL 8086/80286/80386/80486 处理器	230
	5.3.2 INTEL Pentium 系列处理器	234
	5.3.3 ARM 处理器	236
	本章小结	240





习题 5 .....	240
<b>第 6 章 总线与输入/输出系统 .....</b>	<b>245</b>
6.1 总线系统 .....	245
6.1.1 总线结构形态与系统总线连接方式 .....	245
6.1.2 系统总线与 I/O 设备的信息传送方式 .....	248
6.1.3 系统总线的组成及功能 .....	249
6.1.4 总线的控制与通信 .....	250
6.2 总线实例 .....	254
6.2.1 PCI 总线 .....	254
6.2.2 USB 和 IEEE 1394 总线 .....	255
6.3 输入/输出系统 .....	257
6.3.1 输入/输出接口 .....	257
6.3.2 外围设备与 CPU 交换信息的方式 .....	259
6.4 常用外围设备 .....	275
6.4.1 基本的输入/输出设备 .....	276
6.4.2 硬盘外存储器 .....	286
6.5 实例:数码相机 .....	292
本章小结 .....	295
习题 6 .....	295
<b>参考文献 .....</b>	<b>298</b>



# 第1章 计算机系统结构概述

计算机是20世纪人类最伟大的发明之一，从第一台计算机于1946年诞生以来，计算机的应用已经渗透到社会生活的各个领域，成为人类工作和生活不可缺少的朋友和助手。计算机已由最初的计算工具，逐步成为适用于多种领域的信息处理设备，有力地推动着整个社会信息化水平的提高。

## 1.1 概述

计算机的世界是一个生机勃勃的信息世界，这个充满创新活力不同寻常的产业正在以惊人的速度发展。自20世纪40年代末出现电子计算机以来，这个产业的创新速度已经超越了任何其他领域。自农业革命和工业革命以后，计算机带来了人类的第三次革命，即信息革命，大大增强了人类智慧的力量，对我们的日常生活产生了深远的影响，同时改变了我们探索新知识的方法。

### 1.1.1 计算机的应用

#### 1. 科学计算

在科学技术及工程设计应用中，所遇到的各种数学问题的计算，统称为科学计算。计算机的应用，最早就是从这一领域开展的。电子计算机在科学计算和工程设计中大有作为，它不仅能减少复杂的计算工作量，而且解决了过去无法解决的或者不能及时解决的问题。

例如，人造卫星和洲际导弹发射后，正确制导入轨计算；高能物理中热核反应控制条件及能量计算；天文测量和天气预报的计算；等等。现代工程中，电站、桥梁、水坝、隧道等的最佳设计方案的选择，往往需要详细计算几十个甚至几百个方案，借助电子计算机可以节省大量的时间、人力的物力。

#### 2. 数据信息处理

信息是指由数据、信号等构成的内容。数据通常是指由描述事物的数字、字母和符号等组成的序列。数据信息处理是指对数据信息进行一系列的操作：对数据进行加工、分析、传送和存储及检测等。

企业管理、物资管理、资料图书管理、人事管理和业务管理等都是计算机信息处理的





应用领域。有人统计,使用计算机进行数据信息处理,在计算机应用中所占的比例已超过70%。

### 3. 自动控制

利用计算机对连续的工业生产过程进行控制,称为过程自动控制。被控制的对象可以是一台或一组机床、一条生产线、一个车间,甚至是整个工厂。利用计算机进行过程控制,对节省劳动力,减轻劳动强度,提高生产效率,降低能源消耗和成本,起着重要作用。当前自动化程度较高的生产设备都安装有计算机。计算机在过程控制中的作用有启停、巡回检测、自动调节、监视报警、记录报表,等等,使控制对象始终保持最佳工作状态。

据统计,目前全世界有将近20%的微型机被用于生产过程的控制,它应用于冶金、化工、电力、交通、机械等各个领域,还可以用一台或多台计算机与多台生产设备联合在一起组成生产流水线,甚至可以控制一个车间的生产运转,其经济效益和技术效果更加显著。例如,一台年产200万吨的标准带钢热轧机,如果人工控制,每星期的产量为500吨左右,而采用了计算机控制后,每周可以达到5万吨,生产效率提高了100倍。

### 4. 辅助设计

计算机辅助系统常见的有计算机辅助设计CAD(Computer Aided Design)、计算机辅助制造CAM(Computer Aided Manufacturing)、计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacture System)等。它将企业生产的各个环节视为一个整体,以充分的信息共享,促进制造系统和企业组织的优化运行。

### 5. 人工智能

人工智能(Artificial Intelligence, AI)是研究用计算机软硬件系统来模拟人类某些智力行为(如感知、推理、学习和理解)的理论、技术和应用。其中最具代表性的、应用最成功的两个领域是专家系统和机器人。目前一些智能系统已经能够替代人的部分脑力劳动。

人工智能的研究课题多种多样,诸如自学习,自适应,自然语言的理解,计算机视觉和听觉等。智能计算机是人工智能研究的综合产物,有感知和理解周围环境,进行推理和操纵工具的能力,并能够通过学习适应周围环境,完成任务。在不允许人进入的场所,如高温,有放射性物质等,使用机器人有特殊意义。

### 6. 多媒体和网络

随着电子技术特别是通信和计算机技术的发展,人们已经有能力把文本、音频、视频、动画、图形和图像等各种媒体综合起来,构成一种全新的概念——多媒体(Multimedia)。多媒体技术是指利用计算机技术把各种信息媒体综合一体化,使它们建立起逻辑联系,并进行加工处理的技术。

将多媒体技术应用于教学领域,就成为多媒体教学,再加上网络,就是网络多媒体教学。多媒体教学很大程度地降低了教育成本,使更多的人可以接受到良好的现代化教育。



多媒体形式的教学活动,增加了教学活动中趣味性、知识性,使学生的学习更加灵活、生动和有效。在很多专业训练方面,也大量用到计算机。例如,用“飞行模拟器”来训练飞行员驾驶飞机。

网络技术的发展,把计算机的应用进一步深入到社会的各行各业,通过互联网可以实现信息查询、高速通信服务、电子教育、电子娱乐、电子商务、远程医疗和交通信息管理等。计算机的应用将推动信息社会更快地向前发展。

显然,计算机技术的进步几乎影响到人类生活的所有方面,硬件技术的进步允许程序员编制优秀实用的软件,并进一步促使计算机功能更加丰富、更加强大。

## 1.1.2 计算机的类型、特征和性能指标

### 1. 计算机的类型

从智能家用电器,到手机,到大型超级计算机,都使用了相近的硬件技术。但由于不同的应用有不同的设计需求,所以使用硬件技术的方式也有所不同,可以将之大致分为以下三个方面:

#### (1) 微型机

微型机的出现与发展,掀起了计算机普及的浪潮,利用4位处理器 Intel4004 组成的 MCS-4 是世界上第一台微型机,它于1971年问世。Intel8086 是最早开发成功的16位微处理器(1978年),以后开发的 Intel80286、80386 都与 Intel8086 兼容。1981年后32位微处理器相继问世,比较著名的有 Intel80386、Motorola68020、68030 等。Intel80386 片内集成了27.6万个晶体管,1990年 Intel80486 推向市场,集成度达到了120万个晶体管。32位微处理器采用过去大中型计算机的技术,因此它的性能可以达到20世纪70年代大中型计算机的水平。

20世纪70年代后期,兴起个人计算机热潮,最早出现的是 Apple II 微机,此后各种型号的微机大量涌现。1981年一向生产大中型计算机的 IBM 推出了 IBM PC 机,后来又推出了多种机型,由于具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格适中等特点,很快便成为微机市场的主流。

现在,微型机又被称为个人电脑、桌面电脑,通常包括图形显示设备、键盘、鼠标等。它强调以最小的代价为单一用户提供较高的性能,通常用来执行第三方软件,又称为商业软件包。个人电脑是目前最大的计算机市场之一,很多计算技术的革新都是由这一类计算机推动的。而它问世仅仅30余年的时间。

#### (2) 服务器

服务器是以往小型机、巨型机的现代形式,是用来运行大规模程序的计算机,为多个用户提供服务,并且通常多个用户同时使用。服务器最初用来承担大负载的任务,例如,单个科学或工程应用中的复杂的计算,或处理多个小任务。这些应用通常基于其他软件,例如数据库、模拟系统等,但会为了特定功能而有所调整。制造服务器的技术和制造个人电脑的技术相同,但是服务器需要拥有更多的功能:良好的扩展性能,较好的计算能力和输入输出能力,等等。随着应用领域的不同,服务器的性能可以用多种方式来衡量。可靠





性在服务器中占有十分重要的地位, 因为和微型机相比, 服务器崩溃的代价要大得多。

服务器的另一个极端就是超级计算机。目前一台超级计算机大约需要数十万个处理器, 数 GB 或者数 TB 的内存, 数 TB 或者数 PB 的外部存储设备。超级计算机一般用于高端科学和工程计算, 例如天气预报、石油勘探、蛋白质结构判定等大规模问题的研究和计算。

### (3) 嵌入式计算机

嵌入式计算机是计算机中最大的一类。它是集成在其他设备中的计算机, 用来执行一个预定的任务或是一个固定软件。其性能及其应用的领域跨越最广。嵌入式计算机包括用在洗衣机等智能家电中的处理器、手机、个人数字助手 (Personal Digital Assistant, PDA) 中的计算机、快译通、复读机、视频游戏机、数字电视中的计算机以及控制现代飞机及货船的处理器网络, 等等。

嵌入式计算机系统被设计用来完成单一或一组相关的应用, 通常被集成在硬件中, 作为一个整体系统使用。因此, 尽管存在大量的嵌入式计算机, 大部分用户并未真正意识到他们正在使用计算机!

嵌入式应用往往只有一个应用需求, 即在一个控制成本和功耗的前提下, 实现最低限度的性能要求。以手机为例: 处理器只要满足手机有限的功能要求即可。除此以外, 使功耗和成本最小化尤为重要。另外, 嵌入式计算机要保证高可靠性, 因为如果发生故障, 其后果小的可能制造混乱 (例如, 新买的数字电视无法正常接收信号), 大的可能产生灾难 (例如, 飞机或是汽车的控制失灵等)。在面向消费者的嵌入式计算机中, 如家用电器, 其可靠性主要通过“简化功能”来达到, 只要能够完成必须的功能, 并且完成得尽量完美就行了。在大型的嵌入式系统中, 常常采用在服务器中使用的冗余技术。

需要特别指出的是, 许多嵌入式处理器的设计都使用处理器核 (processor core), 即使用硬件描述语言 (例如 Verilog 或 VHDL) 描述的处理器, 并将处理器核和其他应用相关的硬件整合, 构建成一个单一的芯片。集成工具可以根据 Verilog 或 VHDL 描述生成芯片, 加之现代硅片的容量越来越大, 使专用处理器有很强的吸引力。由于处理器核可以集成到不同的半导体生产线, 这为制造商提供了灵活性。在过去的几年里, “处理器核”的使用飞速增长。

## 2. 计算机的特征

计算机能够得到广泛的应用是与它的特殊性能分不开的。这些特性是其他计算工具所不具备的。

### (1) 快速

电子计算机的第一个特性就是快速。计算机采用了高速电子元件, 这是快速处理信息的物质基础。计算机采用了存储程序的思想, 将要解决的问题和解决的方法及解决的步骤预先存入计算机。存储程序, 就是指将用指令序列描述的计算过程程序与原始数据一起存储在计算机中, 只要一启动, 计算机就能自动取出一条条指令并执行, 直到程序执行完成, 得到结果。因此, 存储程序技术, 使电子器件的快速性得到充分的发挥。

### (2) 通用

通用性是计算机的第二个特性。计算机处理的信息不仅是数值数据, 也可以是非数值



数据。非数值数据的内涵十分丰富，如语言、文字、图形、图像、声音等，这些信息都能用数字化编码表示。由于计算机具有基本计算和逻辑判断功能，因此，任何复杂的信息处理任务，都能分解成基本操作，编制出相应的程序。通过执行程序，进行判断和运算，最终完成任务。计算机可以配备各种程序，有计算机软件商提供的，也有用户自己编制的。程序越丰富，通用性越强。

### (3) 准确

计算机的准确性包括两个方面的含义：一是计算精度高；二是计算方法科学。由于计算机中的信息采用数字化编码形式，因此，计算精度取决于运算中数的位数，位数越多越精确。通常计算机有一个基本的运算位数，即计算机字长。对精度要求高的用户还可以提供双倍或多倍字长的计算。当然，计算精度还与计算方法有关，如果计算方法不当，是不能保证准确性的。计算方法由程序来体现，再加上高位数的计算功能，就能保证计算结果的准确性了。

### (4) 逻辑

逻辑判断和逻辑运算是计算机的基本功能之一，计算机内部有一个能执行算术逻辑运算的部件，通过执行能体现逻辑判断和逻辑运算的程序，使整个系统具有逻辑性。例如，计算机运行时，可以根据当前运算的结果或对外部设备现场测试的结果，进行判断，从而从多个分支的操作中自动选择一个分支，继续运行下去，直至得到正确的结果。

这4大特性是从计算机的外部角度来认识的，它们与计算机内部的固有特点相关，如图1-1表示了它们之间的关系。

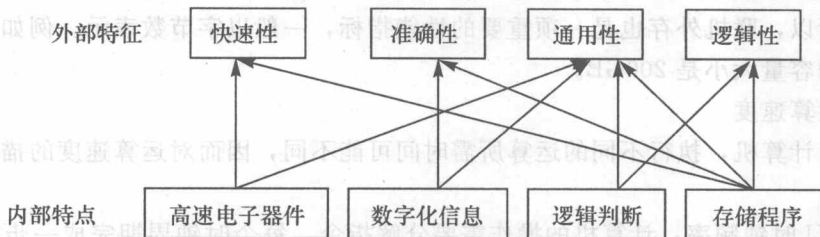


图 1-1 计算机外部特征和内部特点的对对应关系图

于是，现在可以得到数字电子计算机的完整的定义：数字电子计算机是一种能自动地、高速地对各种数字化信息进行算术和逻辑运算的电子设备。这里，自动的是指程序执行时，不再需要人的干预，程序能发出各种命令，控制计算机完成预定的操作任务。

## 3. 计算机的性能指标

对计算机系统性能进行评估是一件非常具有挑战性的事情。在如今的计算机系统中，软件的规模越来越大，复杂度越来越高，而硬件方面则采用了大量精心设计的、意在提高系统性能的新技术，因此对计算机系统的性能评估也变得越来越困难。事实上，不同类型的应用程序的运行效果只能反映不同的性能指标，而只有综合所有这些不同的性能指标，才有可能对计算机系统的整体性能作出恰当的评价。

评价计算机系统的性能有这样几个标准：





### (1) 基本字长

基本字长是指参与运算的数的基本位数，它标志计算机的精度。位数越多，精度越高，硬件成本越大，因为它决定寄存器、运算器、数据总线的位数。为了适应不同的需要，较好地协调计算精度和硬件成本之间的关系，在硬件上或者软件上允许变字长运算，例如双字长运算。

指令字长与数据字长之间虽然无绝对的固定关系，但是也有一定程度的对应关系。指令系统功能的强弱与基本字长有关，这一点在传统的小型机中较为明显。

一个字符可用 8 位二进制代码表示，称为一个字节。为了更灵活地处理字符信息，大多数计算机有全字长运算能力，且可以按照字节进行处理。

### (2) 主存容量

主存储器是 CPU 可以直接访问的存储器，需要执行的程序与需要处理的数据就放在主存中。主存容量大，运算速度就快，计算机的处理能力就强，当然硬件价格就高。

① 字节数。每个存储单元有 8 位，称为一个字节，相应地，可以用字节数来表示存储容量的大小。微型计算机多以字节为单位表示存储容量的大小。

② 单元数×位数。有些计算机的主存储器按字编址，即每个单元存放一个字，即采用注明存储器单元数和每个单元位数的方法来描述存储器的容量，例如：64K×16 位。

### (3) 外存容量

外存容量一般是指计算机系统中联机运行的外存储器容量。操作系统、编译程序和众多的软件资源往往存放在外存之中，需要使用时再调入主存运行。在批处理、多道程序方式中，也常常将各用户待执行的程序、数据以作业的形式先存放在外存中，再陆续调入主存运行。所以，联机外存也是一项重要的性能指标，一般以字节数表示。例如，目前个人电脑硬盘的容量大小是 200GB。

### (4) 运算速度

同一台计算机，执行不同的运算所需时间可能不同，因而对运算速度的描述常采用不同方法。

① CPU 时钟频率：计算机的操作需要分解指令，每个时钟周期完成一步操作，所以时钟频率在很大程度上反映了 CPU 的速度。例如，酷睿 2 代双核处理器的时钟频率可以达到 2.8GHz。

② 每秒平均执行百万次指令数 (MIPS)：由于各种指令的执行时间不等，所以这种描述也是粗略的。通常一条指令能实现一次定点加减法运算，所以 MIPS 值大致相当于每秒钟能完成的定点加减法运算次数。

MIPS 实际上是一个描述指令执行速率的性能指标，速度越快的机器，MIPS 值也越高。

在用 MIPS 作为计算机性能比较的度量标准时，需要注意三个问题：首先，MIPS 指出了机器执行指令的速率，但是并没有考虑指令所完成的功能。不能用 MIPS 指标来比较指令集不同的计算机，因为同一程序在这些机器上的指令数量显然是不一样的。其次，即使是对于同一台机器，用不同的程序测出来的 MIPS 值也是不一样的。也就是说，同一台机器不可能对于所有的程序而言都只有同一个 MIPS 值。最后，也是最重要的一点，MIPS 值甚至有可能是和机器的性能成反比的。





因 外设的配置也是影响整个计算机系统性能的重要因素，所以在系统技术说明中常给出允许配置情况与实际配置情况，以方便进行相应的对比。

(6) 系统软件性能 作为一种硬件系统，允许配置的系统软件原则上是可以不断扩充的，但是增加软件的同时也有可能为计算机硬件系统带来负担和麻烦，因此，对计算机整机系统作评价的时候也要考虑该系统内安装的软件的实际情况。

以上六点对于判断一台计算机性能指标有一定的意义。但是，对计算机性能的评价是复杂的，在实际判断一台计算机的性能指标时，需要综合考虑各方面的因素。

就计算机系统的设计而言，性能与价格将永远是最重要的两个评价指标，同时还需要考虑其他一些因素，如能耗、可靠性以及可扩展性等。在这里我们只集中介绍了性能因素，但能够针对特定的市场情况综合平衡各种因素的设计才是最优的。

## 1.2 计算机系统的组成

### 1.2.1 计算机系统的硬件组成

#### 1. 存储程序与冯·诺依曼体制

世界上第一台计算机 ENIAC 的主要缺点：一是存储量太小，只能存 20 个字长为 10 位的十进制数；二是依靠线路连接的方式来编排程序，每次解题都要靠人工改接线路，准备时间大大超过实际计算时间。它的程序和数据是分开存储的。

与 ENIAC 计算机研制的同时，冯·诺依曼与莫尔小组合作研制 EDVAC 计算机，采用了存储程序的方案，其后开发的计算机都采用这种方式，称为冯·诺依曼计算机。冯·诺依曼的一篇文章概括了他的计算机结构设计思想，被后人称为冯·诺依曼思想，这是计算机发展史上的一个里程碑。直到现在，计算机体系结构发生了许多变化，但是存储程序的思想仍是大家普遍采用的原则。下面将冯·诺依曼计算机结构体制中到目前仍被广泛采用的几点原则归纳如下：

#### (1) 采用二进制形式表示数据和指令

数据和指令在代码的表示形式上并无区别，都是 0 和 1 组成的代码序列，只是各自的约定不同。采用二进制，使各种信息的数字化表示容易实现。

#### (2) 采用存储程序的方式

这是冯·诺依曼思想的核心内容。即是事先编制好程序（包括指令和数据），将程序存入主存储器中，计算机在运行程序时就能自动地、连续地从存储器中依次取出指令，并且按照指令要求加以执行。这是计算机能够高速自动运行的基础。计算机的工作体现为执行程序，计算机功能的扩展在很大程度上体现为存储程序的扩展。计算机的许多工作方式都是由此派生的。

