

高等院校精品课程系列教材·省级

# 计算机组成原理

马洪连 ©主编

王健 王立明 李大奎 丁男 李彤 ©编著



*Principles of Computer  
Organization*



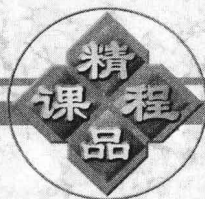
机械工业出版社  
China Machine Press

高等院校精品课程系列教材·省级

# 计算机组成原理

马洪连 ©主编

王健 王立明 李大奎 丁男 李彤 ©编著



*Principles of Computer  
Organization*



机械工业出版社  
China Machine Press

本书按照教育部考试中心颁发的“全国计算机学科专业基础综合考试大纲”的要求，系统介绍了计算机单机系统的组成结构和工作原理。本书分为7章，主要内容包括：计算机系统概述、计算机中数据信息的表示和运算、存储系统、指令系统、中央处理单元 CPU、总线、输入/输出系统。

本书内容充实而又力求精练、重点突出，体现出基础性、时代性和系统性的特色。书中概念清晰、语言通俗易懂、实例丰富，涵盖了计算机组成原理的基本内容并增加了一些当前计算机系统结构技术发展的新内容。每章都提供了大量典型的习题，并配有部分答案供读者练习和参考。

本书可作为高等院校计算机及相关专业的“计算机组成原理”课程教材、计算机专业研究生入学考试的复习用书，也可以作为成人自学考试用书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

## 图书在版编目（CIP）数据

计算机组成原理 / 马洪连主编. —北京：机械工业出版社，2011.3  
(高等院校精品课程系列教材)

ISBN 978-7-111-33364-7

I. 计… II. 马… 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（2011）第 019261 号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：李 荣

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2011 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·12.5 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-33364-7

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88378991；88361066

购书热线：(010) 68326294；88379649；68995259

投稿热线：(010) 88379604

读者信箱：hzsj@hzbook.com

# 前 言

本书针对“计算机科学与技术”学科方向，以全国硕士研究生入学统一考试中“计算机组成原理”综合考试大纲为依据，在参考国内外著名高校使用的教材和文献的基础上，结合作者多年相关课程的教学经验编写而成。

计算机组成原理是计算机各专业的核心主干课程，本书在编写过程中考虑到该课程的特点，力求做到选材新颖，组织严密，富于系统性、先进性和科学性，内容覆盖大纲中所有的知识点，同时，注重学生的实际情况，深入浅出，联系实际，不仅让学生学懂学会，还给出大量例题和习题让学生学练结合，以达到举一反三、事半功倍的学习效果。通过本教材的学习，学生能够比较系统地掌握计算机的组成结构和工作原理，能够运用所学的基本原理和方法分析、判断和解决相关理论和实际问题。

本书适合作为高等院校计算机及相关专业的“计算机组成原理”课程教材、计算机专业研究生入学考试的复习用书，也可以作为成人自学考试用书。

本书由马洪连负责策划、内容安排和统稿，王健、王立明、李大奎、丁男、李彤参加了各章的编写工作。

本书在编写过程中参阅了许多教材，得到了机械工业出版社华章公司的支持。在此，谨向书后所列参考文献的各位作者以及给予我们支持和帮助的编辑、领导和同事表示诚挚的谢意。

由于笔者经验和水平的限制，书中如出现疏漏或不适宜的内容，希望读者给予批评指正，在此表示感谢。

编 者

2011年1月于大连

# 教学建议

本课程课堂讲授学时数建议为 56~64。

## 第 1 章 计算机系统概述 (建议 2 学时)

本章为概述性内容, 要求理解计算机及其发展历史, 计算机硬件、软件组成及其系统层次结构, 计算机性能指标、分类及工作特点等。

## 第 2 章 计算机中数据信息的表示和运算 (建议 12~14 学时)

本章要求灵活应用进位计数制、码制及其相互转换, 以及字符信息在机器中的表示; 理解校验码的原理及应用, 以及定点数、浮点数的表示原理和算术逻辑单元的基本功能及组成结构; 掌握定点数、浮点数运算、溢出与判断方法。

## 第 3 章 存储系统 (建议 12~14 学时)

本章要求正确理解存储系统的基本概念、二级存储层次结构, 掌握主存的组成结构和扩展技术; 理解 Cache 的工作原理和性能指标, 掌握 Cache 与主存之间的地址映像和地址变换方法, 并能使用多种替换算法实现块的替换; 正确理解虚拟存储器和辅助存储器的基本概念、存储器管理方式及工作原理。

## 第 4 章 指令系统 (建议 4 学时)

本章要求理解计算机指令系统的基本概念、指令格式、常见的寻址方式与指令类型等, 以及设计一台计算机的指令系统应考虑的主要因素; 理解扩展操作码的技术应用; 掌握操作数的寻址方式及其有效地址的计算; 了解 CISC 和 RISC 的基本概念。

## 第 5 章 中央处理单元 CPU (建议 10~12 学时)

本章所涉及的内容是全书的重点和难点部分, 要正确理解中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU) 的功能、组成和时序控制方式; 当给定某机型的具体组成结构后, 能够写出执行指令的微操作序列和所需要的控制信号; 掌握微程序控制的基本原理、微程序设计技术, 以及两种控制器的设计方法; 同时, 能够正确了解 CPU 的流水线技术。

## 第 6 章 总线 (建议 4 学时)

总线作为现代通用计算机的一个构件, 在计算机组成中占有非常重要的位置, 了解和学习总线的概念、信息传输、管理思路对我们掌握计算机中资源共享的理念有很大的帮助。

## 第 7 章 输入/输出系统 (建议 12~14 学时)

计算机的输入/输出系统 (简称 I/O 系统), 通常包括外围 (输入/输出) 设备、I/O 接口通道和相关编程软件。本章要了解计算机外围设备的组成和基本工作原理; 理解 I/O 接口的功能、编址方法、运行原理及运行方式; 掌握 CPU 与外设的信息交换及其控制方式的基本概念和工作原理, 尤其是程序中断和直接存储器访问方式。

# 目 录

前言	
教学建议	
第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机发展历程	1
1.1.1 古代计算阶段	1
1.1.2 现代计算阶段	2
1.2 计算机层次结构	2
1.2.1 计算机硬件基本组成及特点	2
1.2.2 计算机的软件及其分类	3
1.2.3 计算机系统的层次结构	4
1.3 计算机的分类及应用	5
1.3.1 计算机的分类	5
1.3.2 计算机的应用领域	7
1.4 计算机性能指标	8
习题 1	9
第 2 章 计算机中数据信息的表示和运算	11
2.1 数制与编码	11
2.1.1 进位计数制及其转换	11
2.1.2 数值数据的编码与表示	14
2.1.3 校验码	21
2.2 定点数的表示和运算	24
2.2.1 定点数的表示	24
2.2.2 定点数的运算	25
2.3 浮点数的表示和运算	35
2.3.1 浮点数的表示	35
2.3.2 浮点数的运算	38
2.4 算术逻辑单元 ALU	40
2.4.1 串行进位加法器和并行进位加法器	40
2.4.2 多功能算术逻辑部件的结构	42
习题 2	43
第 3 章 存储系统	49
3.1 存储系统概述	49
3.1.1 存储器的性能指标	49
3.1.2 存储器分类	50
3.1.3 存储系统的层次化结构	50
3.2 主存储器	51
3.2.1 主存储器概述	51
3.2.2 半导体随机存取存储器 RAM	52
3.2.3 半导体只读存储器 ROM	56
3.2.4 主容量的扩展方式	57
3.3 高速缓冲存储器 Cache	63
3.3.1 Cache 的组成原理	63
3.3.2 Cache 的地址映像方式	64
3.3.3 Cache 的替换算法	70
3.3.4 Cache 的更新(写)策略	71
3.3.5 分体存储体系结构(哈佛体系结构)	71
3.4 其他形式的高速存储器	71
3.4.1 双端口存储器	72
3.4.2 多模块交叉形式存储器	73
3.4.3 相联存储器	74
3.5 虚拟存储器系统	74
3.5.1 虚拟存储器概述	75
3.5.2 虚拟存储器的管理方式与存储保护	75
3.5.3 虚拟存储器的工作过程	79
3.6 辅助存储器	80
3.6.1 辅助存储器概述	80
3.6.2 磁表面存储器	81
3.6.3 光盘存储器	85
3.6.4 U 盘存储器	86
习题 3	87
第 4 章 指令系统	93
4.1 指令系统概述	93



4.1.1 指令与指令系统	93	5.4 指令流水线	133
4.1.2 指令系统的性能要求	94	5.4.1 指令流水线概述	133
4.2 指令格式	94	5.4.2 流水线基本工作原理	134
4.2.1 地址码字段的格式	95	5.4.3 流水线中的相关问题	135
4.2.2 操作码字段的格式	97	5.4.4 超标量流水线技术	136
4.2.3 数据在存储器中的存放 方式	98	习题 5	136
4.3 寻址方式	99	<b>第 6 章 总线</b>	143
4.3.1 立即数寻址	100	6.1 总线概述	143
4.3.2 寄存器寻址	100	6.1.1 总线的基本概念	143
4.3.3 直接寻址	101	6.1.2 系统总线的结构	144
4.3.4 寄存器间接寻址	101	6.1.3 总线的主要性能指标	145
4.3.5 存储器间接寻址	102	6.1.4 典型的总线标准	146
4.3.6 变址寻址	102	6.2 总线信息传输	147
4.3.7 基址寻址	103	6.2.1 总线的操作	147
4.3.8 相对寻址	104	6.2.2 信息传输方式	147
4.3.9 堆栈寻址	105	6.2.3 总线定时方式	148
4.4 指令的类型	106	6.3 总线仲裁	150
4.4.1 数据传送类指令	106	6.3.1 总线仲裁的概念	150
4.4.2 算术/逻辑运算类指令	106	6.3.2 总线仲裁方式	150
4.4.3 程序控制类指令	107	习题 6	153
4.4.4 输入/输出类指令	107	<b>第 7 章 输入/输出系统</b>	156
4.4.5 其他指令	107	7.1 外围设备	156
4.5 指令格式举例	107	7.1.1 输入/输出设备概述	156
4.6 常用指令系统	109	7.1.2 常用输入设备	157
4.6.1 复杂指令系统计算机	109	7.1.3 常用输出设备	158
4.6.2 精简指令系统计算机	109	7.2 输入/输出接口	163
习题 4	110	7.2.1 I/O 接口的基本功能	163
<b>第 5 章 中央处理单元 CPU</b>	114	7.2.2 I/O 接口电路的分类与 基本组成	164
5.1 CPU 的功能和基本结构	114	7.2.3 I/O 端口的编址方式	166
5.1.1 CPU 的功能和性能	114	7.3 输入/输出信息传送控制方式	167
5.1.2 CPU 的基本组成结构	115	7.3.1 程序直接传送方式	167
5.1.3 时序系统和时序控制方式	116	7.3.2 程序中断传送方式	167
5.2 指令的执行过程	118	7.3.3 直接存储器存取 (DMA) 方式	174
5.2.1 概述	118	7.3.4 I/O 通道控制方式和外围 处理机方式	177
5.2.2 具体执行过程	119	习题 7	179
5.3 控制器的组成和工作原理	122	习题答案	184
5.3.1 控制器概述	122	参考文献	193
5.3.2 微程序控制器	122		
5.3.3 组合逻辑控制器	131		

# 第 1 章

## 计算机系统概述

本章为概述性内容，主要讲述计算机及其发展历史，计算机硬件、软件组成及其系统层次结构，计算机性能指标、分类及工作特点等内容。

### 1.1 计算机发展历程

计算机作为人类社会和科学研究活动的重要计算工具，其经历了漫长的发展历程。纵观人类生产活动发展的历史，计算工具的发展伴随人类生产活动的发展而发展。远古人类的生产活动发展缓慢而漫长，计算工具的发展也经历了漫长的萌芽和孕育过程。随着生产技术和理论的发展，计算工具也出现了各种形式，同时也积累了一定的计算理论，在生产过程中工具的形态逐步得到完善，计算理论也随之成熟定型。

人类的生产过程可以划分为传统生产阶段和现代生产阶段。计算工具的发展也可以划分为古代计算阶段和现代计算阶段。另外，人类的计算工具从存在的形态和使用的方法上可以分为物理存在和逻辑存在，二者缺一不可。计算工具的物理存在指的是计算使用的实物，比如计算尺、算盘等，而逻辑存在则指的是计算过程中使用的操作方法、计算技巧、计算规程等。从现代计算机的角度看，计算工具的物理存在就是计算机硬件，逻辑存在就是计算机软件。硬件是计算机的物质基础，没有硬件计算机将不复存在；软件的作用是发挥计算机功能，没有软件计算机就无法投入使用。硬件和软件的关系如同电影机和电影胶片的关系。

#### 1.1.1 古代计算阶段

人类早期的生产活动主要是原始的打猎和采集活动，这时的生产活动需要对劳动成果进行统计，以便进行原始的按劳分配。在这个时期计算要求比较简单，而东西方人类先祖采用了不同的方式作为计算工具的发展起点。

珠算盘最早可能萌芽于汉代，定型于南北朝。它利用进位制记数，通过拨动算珠进行运算。打算盘必须记住一套口诀，口诀相当于算盘的“软件”。算盘本身还可以存储数字，使用起来的确很方便，它帮助中国古代数学家取得了不少重大的科技成果，在人类计算工具史上具有重要的地位。



15 世纪以后,随着天文、航海的发展,计算工作日趋繁重,迫切需要探求新的计算方法并改进计算工具。1630 年,英国数学家奥特雷德使用当时流行的对数刻度尺做乘法运算,突然萌生了一个念头,这个设想导致了“机械化”计算尺的诞生。直到 20 世纪五六十年代,计算尺仍然是工科大学学生的一种计算工具。

凝聚着许许多多科学家和能工巧匠智慧的早期计算工具,在不同的历史阶段发挥过巨大作用,但也将随着科学发展而逐渐消亡,最终完成它们的历史使命。

### 1.1.2 现代计算阶段

现代计算工具的典型特征在于它的计算理论和架构模型,计算理论包括二进制计算方法、布尔代数理论,架构模型则是指冯·诺依曼计算机模型。世界上公认的第一台现代电子计算机是 1946 年诞生于美国宾夕法尼亚大学的“埃尼阿克”(ENIAC)。它占地面积达 170 平方米,重达 30 吨,在 1 秒钟内进行了 5000 次加法运算和 500 次乘法运算,这比当时最快的继电器计算机的运算速度要快 1000 多倍。

从第一台电子数字计算机的诞生开始,依照组成计算机硬件的元、器件划分,可以把计算机的发展大致分为四个阶段,也可以用“代”来进行表示。

第一代电子管计算机占统治地位的时间大约在 20 世纪 40 年代中期到 20 世纪 50 年代末期。其特点是硬件技术以电子管为基础,外部设备有磁鼓、卡片机、纸带穿孔机等。程序设计方面,以手编机器码程序为主。

第二代晶体管电子计算机诞生于 20 世纪 60 年代,晶体管的出现拉开了计算机飞速发展的序幕。世界上第一台晶体管计算机是贝尔实验室为美国空军研制的。1962 年,我国第一台自行设计、自行制造的晶体管计算机,运算速度达每秒 10 万次以上。

第三代电子数字计算机的鼎盛时期在 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代初期。它是使用集成电路、大容量内存和外存、分时技术及其他新技术的计算机,也称为“集成电路计算机”。该代计算机运算速度达到每秒几百万到几千万次。

第四代电子数字计算机是从 20 世纪 70 年代初人们开始使用大规模集成电路和其他更先进技术制造的计算机,这个时期的电子数字计算机也称为“大规模集成电路计算机”。这代计算机的使用从 20 世纪 70 年代延续到 20 世纪 80 年代,它与第三代计算机相比,在工艺上采用大规模集成电路,在性能上有较大的发展。

从集成电路出现以来,人们在制造工艺上进行了深入的研究与开发,制造能力越来越强,这导致计算机的性能越来越高,计算能力越来越强,为计算机从结构上进行改进提供了丰富的可能性。目前使用的哈佛结构计算机与冯·诺依曼计算机模型结构有了较大差别,在生产、生活中取得了广泛的应用。关于哈佛结构计算机的介绍,详见 3.3.5 节。

## 1.2 计算机层次结构

本节将介绍计算机硬件的基本组成及特点、计算机的软件及分类和计算机系统的层次结构。

### 1.2.1 计算机硬件基本组成及特点

初期的计算机模型称作冯·诺依曼计算机模型,它的硬件部分是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个功能部件组成。最初的冯·诺依曼计算机模型如图 1-1 所示,图中的虚线是控制器输出控制信号的控制总线,实线表示各部件之间输送数据信息和地址信

息的总线。

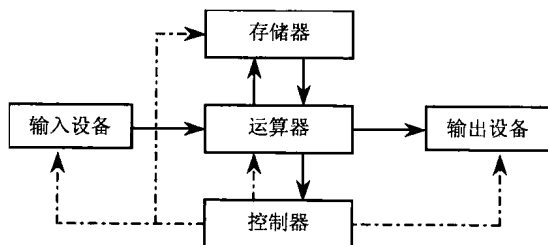


图 1-1 冯·诺依曼模型结构框图

计算机模型中的运算器用来完成数据的暂存、变换、逻辑运算和算术运算功能。控制器完成对计算机各部件协同运行的指挥控制，保证了指令按照预定次序、步骤执行，并且能够处理各种紧急事件。存储器则是用来存放计算机运行过程中所要执行的指令代码和所需数据。输入设备的主要功能是向计算机系统输送用户操作指令、程序和数据。输出设备则把计算机系统的运行结果输出给用户。输入/输出设备完成了计算机系统和计算机用户的交流任务。

冯·诺依曼计算机模型体系结构属于典型的单指令流单数据流的系统，其结构特点主要体现在如下六个方面：

1) 计算机内部以运算器为中心，输入/输出设备与存储器之间的数据传送都要途经运算器。同时，各部分的操作及其相互之间的联系都要由控制器集中控制。

2) 采用存储器程序原理，将程序和数据事先存放在存储器中，运行时顺序取出指令一条条地执行。存储器按地址访问，它是一个顺序、线性编址的一维空间，每个单元的位数是固定的。

3) 指令在存储器中基本是按其执行顺序依次存储，由指令计数器指明要执行的指令在存储器中的地址。一般情况下，每执行完一条指令，指令计数器自动增加一个固定值，也可以根据运算结果改变指令计数器的值来变更其执行顺序。

4) 指令由操作码和地址码两部分组成。操作码指明本指令的操作类型，地址码指明本指令在存储器中的地址。操作数的数据类型由操作码指明，操作数本身不能判定出它是何种数据类型。例如，是定点数、浮点数、十进制数、双精度数、逻辑数，还是字符串等。

5) 数据以二进制编码，并采用二进制运算。

6) 软件与硬件完全分开，硬件结构采用固定性逻辑，依靠不同的软件来适应不同的应用需要。

## 1.2.2 计算机的软件及其分类

计算机系统本身的资源分为两类，即硬件资源和软件资源。软件资源主要完成的任务其一是解决计算机自身资源管理问题，其二是完成计算机语言和机器语言转换问题，其三是完成用户的一般任务。通常将完成计算机自身资源管理的软件和语言翻译软件称为系统软件，而将完成用户一般任务的软件称为应用软件。系统软件包括管理系统资源的操作系统软件，各类语言解释和翻译软件，数据库管理系统，网络软件以及一些系统服务程序。应用软件包括按用户任务需求编制的各种程序。

计算机的语言分为三个级别：机器语言、汇编语言和高级语言。使用机器语言编写的程序可以被计算机的硬件直接识别和运行。但由于其二进制代码难以记忆，故机器语言不常被

应用。汇编语言是对计算机的机器语言进行符号化处理，并增加一些为方便程序设计的扩展功能。汇编语言的优点是指令的二进制代码符号化后便于记忆、理解和使用。但是采用汇编语言编写的程序须经过汇编软件后，才能将一条汇编语句对应转换为一条计算机的机器语言被计算机的硬件识别和执行。另外，在汇编语言系统中由于增加了诸如程序结构特性方面的支持、子程序参数变换方面的支持，方便了编程。高级语言又称为算法语言，侧重于描述解决实际问题所用的算法，更多的是为方便程序设计人员写出自己解决问题的处理方案和解题过程的程序。高级语言通常需要经过一个称为编译程序的软件编译成机器语言，或者先编译成汇编语言程序之后，再经过汇编操作得到机器语言程序，才能够在计算机上执行。也可以由一个叫做解释执行程序的软件对高级语言程序的每条语句进行逐条解释并控制其执行来完成整个高级语言程序的执行过程。

### 1.2.3 计算机系统的层次结构

人们在编程的过程中，通常在遇到一个较大的任务时可以采用“分而治之”的策略。一般先将问题分成若干模块把问题小型化，然后把各个模块的设计问题拿出来逐个单独解决。在工作中，每个模块完成一个特定的工作，而每个模块只需要知道其他模块的接口和使用方法即可，不必知道其他细节。计算机的设计者在解决计算机底层硬件与高级应用之间的衔接时也采用了类似的思路。

通过抽象原则，可以设想计算机系统是由若干层次构成的，而每一层就是一个具备特定功能的假想机器，通常也称为虚拟计算机(virtual machine)。每层虚拟机执行它自己的指令集，在必要的时候调用低层的虚拟机来完成任务。通过计算机组成原理的学习，可以充分地理解机内各层次结构的任务以及相互之间的关系。目前被普遍接受的一种现代计算机层次结构如表 1-1 所示。

表 1-1 现代计算机层次结构及各层功能

层次序号	层次名称	工作内容
第五层	高级语言层	C++、Java、FORTRAN 等
第四层	汇编语言层	汇编代码
第三层	操作系统软件层	操作系统、库代码
第二层	指令系统层	指令架构
第一层	微体系结构层	微代码和硬件连线
第零层	数字逻辑层	电路、逻辑门等

表中第五层高级语言层是由各种高级语言组成的，诸如 C、C++、FORTRAN、Lisp、Pascal 等。这些语言必须翻译或解释成机器能够理解的语言才能够执行，编译语言是先翻译成汇编语言然后再汇编成机器语言才能被机器执行。

第四层汇编语言层包含了一些汇编语言。汇编语言到机器语言的翻译则是一对一的翻译，也就是说，一条汇编语言指令直接对应一条机器语言指令。

第三层操作系统软件层是用来处理计算机操作系统指令的。这一层负责多道程序、内存保护、进程同步和其他一些重要功能。通常汇编语言到机器语言的翻译不加修改地通过这一层。

第二层指令系统层，由能被特定结构的计算机系统识别的机器语言组成。在硬连线的计算机上，使用机器语言编写的程序可以不经过解释或编译直接被电子逻辑器件所执行。

第一层微体系结构层是控制器，控制器保证指令的正常译码执行以及将数据在正确的时间送到正确的地点。控制器逐次解释上一个层级传递给它的机器指令，并根据解释结果控制应该发生的动作。

第零层是数字逻辑层，在这一层包含了构成计算机系统的物理元、器件，例如逻辑门和连接电路等。

计算机系统是一个非常复杂的系统，它由硬件系统和软件系统两大部分组成。读者必须清楚地认识到硬件和软件各自在计算机系统中的地位和作用以及它们相互之间的依存关系。硬件是指计算机的实体部分。它由看得见摸得着的各种电子元器件及各类光、电、机设备的实物组成，包括主机、外设等。软件是由人们事先编制成的具有各类特殊功能的信息或程序组成的，通常把这些软件存储于RAM、ROM、磁盘、光盘等各类存储器中。

硬件必须依靠软件来发挥其自身的各种功能及提高自身的工作效率。软件甚至还能使硬件发挥类似人脑思维的功能。计算机系统倘若失去了软件，其硬件将一筹莫展，犹如人类失去了大脑。而软件必须依托硬件的支撑才能真正施展其才华，一旦失去了硬件，犹如人类失去了躯体，软件也毫无意义。因此，计算机系统的软、硬件互依互存，互相发展，缺一不可。

计算机中有些功能既可以用硬件实现，处理速度要高一些；也可以用软件实现，会降低成本。目前为了提高机器的速度，通常把某些原来用软件实现的功能改为用硬件来实现。

## 1.3 计算机的分类及应用

本节将介绍计算机的各种分类以及计算机的应用领域。

### 1.3.1 计算机的分类

计算机发展到今天已是种类繁多并表现出各自不同的特点，我们可以从不同的角度对计算机进行分类。

按计算机信息的表示形式和对信息的处理方式，计算机分为数字计算机、模拟计算机和混合计算机。数字计算机所处理的数据都是以0和1表示的二进制数字，是不连续的离散数字量，具有运算速度快、准确、存储量大等优点，因此适用于科学计算、信息处理、过程控制和人工智能等领域。模拟计算机所处理的信息是连续变化的电信号，一般称为模拟量。例如，电压、电流、温度等都是模拟量。模拟计算机在模拟计算和控制系统中应用较多。混合计算机则是集数字计算机和模拟计算机的优点于一身。

按计算机的不同用途，计算机分为通用计算机（general purpose computer）和专用计算机（special purpose computer）。通用计算机广泛适用于一般科学运算、学术研究、工程设计和数据处理等，具有功能多、配置全、用途广、通用性强的特点，市场上销售的计算机多属于通用计算机。专用计算机是为适应某种特殊需要而设计的计算机，通常增强了某些特定功能，忽略一些次要要求，所以专用计算机能高速度、高效率地解决特定问题，具有功能单纯、使用面窄甚至专机专用的特点。模拟计算机通常都是专用计算机，在军事控制系统中被广泛地使用，如飞机的自动驾驶仪和坦克上的武器控制计算机。目前主要介绍通用数字计算机，日常所用的绝大多数计算机都是该类计算机。

按计算机的运算速度快慢、存储数据量的大小、功能的强弱，以及软硬件的配套规模等，计算机又可分为巨型机、大中型机、小型机、微型机、工作站与服务器等。

### 1. 巨型机

巨型机 (giant computer) 又称超级计算机 (super computer), 是指运算速度超过每秒 1 亿次的高性能计算机, 它是目前功能最强、速度最快、软硬件配套最齐备、价格最贵的计算机, 主要用于解决诸如气象、太空、能源、医药等尖端科学研究和战略武器研制中的复杂计算问题。

运算速度快是巨型机最突出的特点。例如, 美国 Cray 公司研制的 Cray 系列机中, Cray-Y-MP 运算速度为每秒 20 ~ 40 亿次, 我国自主生产研制的银河 III 巨型机为每秒 100 亿次, IBM 公司的 GF-11 可达每秒 115 亿次, 日本富士通研制了每秒可进行 3000 亿次科技运算的计算机。我国研制的曙光 4000A 运算速度可达每秒 10 万亿次, 到 2008 年 8 月 26 日, 由中国科学院计算技术研究所、曙光信息产业有限公司自主研发成功曙光 5000 系统峰值运算速度达到每秒 230 万亿次浮点运算。世界上只有少数几个国家能生产巨型机, 它的研制开发是一个国家综合国力和国防实力的体现。

### 2. 大中型机

大中型机 (large-scale computer and medium-scale computer) 也有很高的运算速度和很大的存储量并允许相当多的用户同时使用。当然它在量级上不及巨型计算机, 结构上也较巨型机简单些, 价格相对巨型机更便宜, 因此使用的范围较巨型机普遍, 是事务处理、商业处理、信息管理、大型数据库和数据通信的主要支柱。

大中型机通常像一个家族一样形成系列, 如 IBM370 系列、DEC 公司生产的 VAX8000 系列、日本富士通公司的 M-780 系列。同一系列的不同型号的计算机可以执行同一个软件, 称为软件兼容。

### 3. 小型机

小型机 (minicomputer) 具有体积小、价格低、性能价格比高等优点, 但其规模和运算速度比大中型机要差。它适用于中小企业、事业单位用于工业控制、数据采集、分析计算、企业管理以及科学计算等, 也可做巨型机或大中型机的辅助机。典型的小型机是美国 DEC 公司的 PDP 系列计算机、IBM 公司的 AS/400 系列计算机, 我国的 DJS-130 计算机等。

### 4. 微型机

微型计算机 (microcomputer) 简称微机, 是当今使用最普及、产量最大的一类计算机, 具有体积小、功耗低、成本少、灵活性大, 性能价格比明显地优于其他类型计算机, 因而得到了广泛应用。微型计算机可以按结构和性能划分为单片机、单板机、个人计算机等几种类型。

#### (1) 单片机

把微处理器、一定容量的存储器以及输入/输出接口电路等集成在一个芯片上, 就构成了单片机 (single chip computer)。由此可见单片机仅是一片特殊的、具有计算机功能的集成电路芯片。单片机体积小、功耗低、使用方便, 但存储容量较小, 一般用做专用机或用来控制高级仪表、家用电器等。

#### (2) 单板机

把微处理器、存储器、输入/输出接口电路安装在一块印刷电路板上, 就成为单板机 (single board computer)。一般在这块板上还有简易键盘、液晶或者数码管显示器以及外存储器接口等。单板机价格低廉且易于扩展, 广泛用于工业控制、微型机教学和实验, 或作为计算机控制网络的前端执行机。

### (3) 个人计算机

供单个用户使用的微型机一般称为个人计算机 (personal computer) 或 PC 机。它是目前用得最多的一种微型计算机。PC 配置有一个紧凑的机箱、显示器、键盘、打印机以及各种接口, 可分为台式微机和便携式微机。

### 5. 工作站

工作站 (workstation) 是介于 PC 机和小型机之间的高档微型计算机, 通常配备有大屏幕显示器和大容量存储器, 具有较高的运算速度和较强的网络通信能力, 有大型机或小型机的多任务和多用户功能, 同时兼有微型计算机操作便利和人机界面友好的特点。工作站的独到之处是具有很强的图形交互能力, 因此在工程设计领域得到广泛使用。SUN、HP、SGI 等公司都是著名的工作站生产厂家。

### 6. 服务器

随着计算机网络的普及和发展, 一种可供网络用户共享的高性能计算机应运而生, 这就是服务器 (server)。服务器一般具有大容量的存储设备和丰富的外部接口。运行网络操作系统要求较高的运行速度, 为此很多服务器都配置双 CPU。服务器常用于存放各类资源, 为网络用户提供丰富的资源共享服务。常见的资源服务器有域名解析 (Domain Name System, DNS) 服务器、电子邮件 (E-mail) 服务器、网页 (Web) 服务器、电子公告板 (Bulletin Board System, BBS) 服务器等。

## 1.3.2 计算机的应用领域

计算机的应用领域已渗透到社会的各行各业, 正在改变着传统的工作、学习和生活方式, 推动着社会的发展。计算机的主要应用领域表现在科学计算、数据处理、计算机辅助技术、过程控制、人工智能、网络应用六个主要方面。

### 1. 科学计算

科学计算是指利用计算机来完成科学研究和工程技术中提出的数学问题的计算。在现代科学技术工作中, 科学计算问题是大量和复杂的。利用计算机的高速计算、大存储容量和连续运算的能力, 可以实现人工无法解决的各种科学计算问题。例如, 建筑设计中为了确定构件尺寸, 通过弹性力学导出一系列复杂方程, 长期以来由于计算方法跟不上而一直无法求解。而计算机不但能求解这类方程, 并且引起弹性理论上的一次突破, 出现了有限元法。

### 2. 数据处理

数据处理是指对各种数据进行收集、存储、整理、分类、统计、加工、利用、传播等一系列活动的统称。据统计, 80%以上的计算机主要用于数据处理。数据处理工作量大、涉及面广, 决定了计算机应用的主导方向。目前, 数据处理已广泛地应用于办公自动化、企事业计算机辅助管理与决策、情报检索、图书管理、电影电视动画设计、会计电算化等各行各业。信息处理正在形成独立的产业, 多媒体技术使信息展现在人们面前的不仅是数字和文字, 也有声情并茂的声音和图像信息。

### 3. 计算机辅助技术

计算机辅助技术包括计算机辅助设计、计算机辅助制造和计算机辅助教学等。

#### (1) 计算机辅助设计

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 是利用计算机系统辅助设计人员进行工程或产品设计, 以实现最佳设计效果的一种技术。它已广泛地应用于飞机、汽车、机械、电

子、建筑和轻工等领域。例如，在电子计算机的设计过程中，利用 CAD 技术进行体系结构模拟、逻辑模拟、插件划分、自动布线等，从而大大提高了设计工作的自动化程度。又如，在建筑设计过程中，可以利用 CAD 技术进行力学计算、结构计算、绘制建筑图纸等，这样不但提高了设计速度，而且可以大大提高设计质量。

### (2) 计算机辅助制造

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 是利用计算机系统进行生产设备的管理、控制和操作的过程。例如，在产品的制造过程中，用计算机控制机器的运行，处理生产过程中所需的数据，控制和处理材料的流动以及对产品进行检测等。使用 CAM 技术可以提高产品质量，降低成本，缩短生产周期，提高生产率和改善劳动条件。

将 CAD 和 CAM 技术集成，实现设计生产自动化，这种技术称为计算机集成制造系统 (CIMS)。它的实现将真正做到无人化工厂 (或车间)。

### (3) 计算机辅助教学

计算机辅助教学 (Computer Aided Instruction, CAI) 是利用计算机系统使用课件来进行教学。课件可以用著作工具或高级语言来开发制作，它能引导学生循序渐进地学习，使学生轻松自如地从课件中学到所需要的知识。CAI 的主要特色是交互教育、个别指导和因人施教。

## 4. 过程控制

过程控制是利用计算机及时采集检测数据，按最优值迅速地对控制对象进行自动调节或自动控制。采用计算机进行过程控制，不仅可以大大提高控制的自动化水平，而且可以提高控制的及时性和准确性，从而改善劳动条件，提高产品质量及合格率。因此，计算机过程控制已在机械、冶金、石油、化工、纺织、水电、航天、交通等领域得到广泛的应用。

## 5. 人工智能 (或智能模拟)

人工智能是计算机模拟人类的智能活动，诸如感知、判断、理解、学习、问题求解和图像识别等。现在人工智能的研究已取得不少成果，有些已开始走向实用阶段。

## 6. 网络应用

计算机技术与现代通信技术的结合构成了计算机网络。计算机网络的建立，不仅解决了一个单位、一个地区、一个国家中计算机与计算机之间的通信，各种软、硬件资源的共享，也大大促进了国际间的文字、图像、视频和声音等各类数据的传输与处理。

## 1.4 计算机性能指标

从不同的侧面看计算机，能够凸显出计算机不同方面的特点，对这些特点进行综合就可以对计算机有一个全面的认识。这些不同的特点也构成了计算机的性能指标。计算机的时间性能指标如下：

1) 主频/时钟周期：CPU 的工作节拍与主时钟有关，主时钟的频率也习惯称为 CPU 的主频。其度量单位是 MHz (兆赫兹)、GHz (吉赫兹)。主频的倒数称为 CPU 时钟周期 ( $T$ )， $T=1/f$ ，度量单位是微秒、纳秒等。

2) CPU 执行时间：表示 CPU 执行一般程序所占用的 CPU 时间。

$$\text{CPU 执行时间} = \text{CPU 时钟周期数} \times \text{CPU 时钟周期}$$

3) CPI：表示执行某段程序中的一条指令所需的平均时钟周期数。

$$\text{CPI} = \text{程序所需总的时钟周期数} \div \text{程序包含的指令条数}$$



- 4) 吞吐量: 表征一台计算机在某一时间间隔内能够处理的信息量。
- 5) 响应时间: 表征从输入有效到系统产生响应之间的时间度量, 用时间单位来度量。
- 6) 存储器带宽: 单位时间内从存储器读出的二进制数信息量, 一般用字节数/秒表示。
- 常用的时间性能的计量单位有 MIPS、MFLOPS。

- MIPS: 每秒百万指令数, 即单位时间内执行的指令数。

$$\text{MIPS} = (\text{指令数}/10^6) / \text{程序执行时间}$$

- MFLOPS: 每秒百万次浮点操作次数, 用来衡量机器浮点操作的性能。

$$\text{MFLOPS} = (\text{执行浮点指令操作条数}/10^6) / \text{程序执行时间}$$

度量一台计算机空间的性能指标如下:

- 处理机字长: 指处理机运算器中一次能够完成二进制数运算的位数, 如 32 位、64 位。
- 总线宽度: 一般指 CPU 中运算器与存储器之间进行互连的内部总线位数。
- 存储器容量: 存储器中所有存储单元的总数目, 通常用 KB、MB、GB、TB 来表示。

另外, 还可以利用计算机系统利用率来衡量计算机综合性能指标。利用率是给定的时间间隔内系统被实际使用的时间所占的比率, 用百分比表示。其他的性能指标这里不再一一列举。

## 习 题 1

### 一、单项选择题

- 冯·诺依曼机工作方式的基本特点是\_\_\_\_\_。
  - 多指令流单数据流
  - 按地址访问并顺序执行指令
  - 堆栈操作
  - 存储器按内部选择地址
- 计算机经历了从器件角度划分的四代发展历程, 但从体系结构来看, 至今为止绝大多数计算机仍是\_\_\_\_\_式计算机。
  - 实时处理
  - 智能化
  - 并行
  - 冯·诺依曼
- 下列选项中不是冯·诺依曼计算机的最根本特征的是\_\_\_\_\_。
  - 以运算器为中心
  - 指令并行执行
  - 存储器按地址访问
  - 数据以二进制编码, 并采用二进制运算
- 计算机的外围设备是指\_\_\_\_\_。
  - 除了 CPU 和内存以外的其他设备
  - 外存储器
  - 远程通信设备
  - 输入/输出设备
- 完整的计算机系统包括\_\_\_\_\_。
  - 运算器、存储器、控制器
  - 外部设备和主机
  - 主机和实用程序
  - 配套的硬件设备和软件系统
- 至今为止, 计算机的所有信息仍以二进制方式表示的理由是\_\_\_\_\_。
  - 节约元件
  - 运算速度快
  - 由物理器件的性能决定
  - 信息处理方便
- 计算机硬件能直接执行的语言是\_\_\_\_\_。
  - 符号语言
  - 高级语言
  - 机器语言
  - 汇编语言

8. 下列说法中不正确的是\_\_\_\_\_。
- A. 部分由软件实现的操作也可以由硬件来完成
  - B. 在计算机系统的多级层次结构中, 汇编语言级和高级语言级是软件级, 其他三级都是硬件级
  - C. 在计算机系统中, 硬件是物质基础, 软件是解题灵魂
  - D. 面向高级语言的机器是可以实现的
9. 邮局对信件自动分拣, 使用的计算机技术是\_\_\_\_\_。
- A. 机器翻译
  - B. 模式识别
  - C. 机器证明
  - D. 自然语言理解
10. 下列程序中, 属于系统程序的是\_\_\_\_\_。
- A. 科学计算程序
  - B. 自动控制程序
  - C. 企事业管理程序
  - D. 操作系统
11. 关于 CPU 主频、CPI、MIPS、MFLOPS 说法正确的是\_\_\_\_\_。
- A. CPU 主频是指 CPU 系统执行指令的频率, CPI 是执行一条指令平均使用的频率
  - B. CPI 是执行一条指令平均使用 CPU 时钟的个数, MIPS 描述一条 CPU 指令
  - C. MIPS 是描述 CPU 执行指令的频率, MFLOPS 是计算机系统的浮点数指令
  - D. CPU 主频指 CPU 系统使用的时钟脉冲频率, CPI 是平均每条指令执行所需 CPU 时钟的个数

## 二、综合题

1. 机器语言、汇编语言、高级语言有何区别?
2. 什么是硬件? 什么是软件? 两者谁更重要? 为什么?
3. 什么是计算机系统? 简单说明计算机系统的层次结构。