



高等教育“十二五”规划教材

计算机组成原理 与体系结构

王庆荣 主 编
李金玉 毛艳艳 副主编



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

高等教育“十二五”规划教材

计算机组成原理与体系结构

王庆荣 主 编
李金玉 毛艳艳 副主编

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从计算机组成原理与体系结构的基本概念出发,系统地论述了计算机系统的基本组成、工作原理和设计方法,并从提高计算机性能的角度,分析和探讨了计算机体系结构的基本原理和设计方法。全书共分为七章,主要内容包括计算机系统概论、运算方法与运算器、存储系统、指令系统、中央处理器、输入/输出系统及高性能处理器。

本书结构清晰、内容翔实、实例具体、语言简练、通俗易懂,还包括大量习题,方便教学。本书可作为高等院校计算机及相关专业的教学用书,也可供相关科技人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与体系结构 / 王庆荣主编. —北京:北京交通大学出版社,2013.8
(高等教育“十二五”规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5121 - 1547 - 7



I. ① 计… II. ① 王… III. ① 计算机组成原理 - 高等学校 - 教材 ② 计算机体系结构 - 高等学校 - 教材 IV. ① TP30

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 172260 号

策划编辑:郭碧云 吴桂林 责任编辑:郭碧云

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

印 刷 者:北京时代华都印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:15 字数:374 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 5121 - 1547 - 7/TP·752

印 数:1 ~ 3 000 册 定价:29.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

本书系统地介绍了计算机的组成原理、逻辑实现、设计方法以及相互连接构成整机系统的有关问题，同时对计算机体系结构的基本概念、基本原理、基本结构和基本方法进行了介绍，并强调采用量化的分析方法，使读者能够更具体、实际地分析和理解计算机体系结构。通过对计算机各功能部件的逻辑组成、工作机制、程序设计的学习及实验，使学生建立较完备的计算机整机概念，掌握计算机组成的基本理论和方法。了解所用计算机硬件及使用软件扩大功能的实现方法，为后继课程及今后工作中解决实际问题打下良好的基础。并通过上机实验，使学生受到软硬件实验的初步训练，并培养学生分析问题和解决问题的能力，培养学生的创新意识、创新能力。

“计算机组成原理与体系结构”是计算机专业的核心专业基础课程。本课程主要讲授计算机系统的基本组成、工作原理和设计方法，并从提高计算机性能的角度，分析和探讨计算机体系结构的基本原理和设计方法，具有知识面广、内容多、更新快和学习难度大等特点。编者在多年讲授本课程的基础上，针对本课程的特点，精心编写了本书，着重突出以下几点。

- (1) 内容系统全面，基本概念清楚，可读性好。
- (2) 结构性强，通过对计算机组成原理的讲解力求使学生能够牢固建立计算机整机的概念。
- (3) 突出重点，体系结构重点讲述现代大多数计算机都采用的比较成熟的思想、结构和方法，避免面面俱到。
- (4) 选材得当，内容结构安排合理，注重各部分内容间的衔接，做到循序渐进，深入浅出。
- (5) 很好地把握内容的广度和深度，具有科学性和启发性。力求反映新知识、新技术，以适应计算机技术发展和变化快的需要。
- (6) 每章后的习题，重在使学生很好地掌握重点和难点知识。

本书由王庆荣主编，李金玉、毛艳艳副主编，其中，第1、第2、第3章由王庆荣编写，第4章由毛艳艳编写，第5、第6、第7章由李金玉编写，全书由王庆荣统稿和审定。在本书的编写过程中，查阅了大量的论文和图书资料，在此对上述文献资料的原作者表示衷心的感谢。北京交通大学出版社郭碧云等工作人员为本书的出版也付出了大量的心血，在此表示衷心的感谢。

由于计算机技术本身尚在快速发展过程中，且编者水平有限，还存在许多不尽如人意的地方，衷心希望读者提出宝贵的意见和建议。

编 者
2013年5月

目 录

第1章 计算机系统概论	1	2.4.2 直接补码并行乘法	42
1.1 计算机的分类及应用	1	2.5 定点除法运算	45
1.1.1 计算机的分类	1	2.5.1 原码除法算法原理	45
1.1.2 数字电子计算机的应用	2	2.5.2 阵列除法器	46
1.2 计算机系统	3	2.6 定点运算器的组成	49
1.2.1 计算机的硬件组成	3	2.6.1 多功能算术/逻辑运算单元 (ALU)	
1.2.2 计算机的软件系统	6	49
1.2.3 计算机系统的层次结构	8	2.6.2 内部总线	54
1.3 计算机体系结构	9	2.6.3 定点运算器的基本结构	54
1.3.1 计算机体系结构的基本概念	9	2.7 浮点运算方法和浮点运算器	56
1.3.2 计算机体系结构的分类	10	2.7.1 浮点加法、减法运算	56
1.3.3 计算机体系结构、组成和实现	11	2.7.2 浮点乘法、除法运算	58
1.4 计算机系统设计和评价的		2.7.3 浮点运算器	60
基本原则	13	本章小结	63
1.4.1 计算机系统设计的定量原理	13	习题	63
1.4.2 计算机系统的性能评价	16	第3章 存储系统	65
本章小结	19	3.1 存储器概述	65
习题	20	3.1.1 存储器分类	65
第2章 运算方法与运算器	21	3.1.2 存储器的分级	66
2.1 运算器概述	21	3.1.3 主存储器的技术指标	67
2.2 数据与文字的表达方法	22	3.2 随机读写存储器	68
2.2.1 数据格式	22	3.2.1 SRAM 存储器	68
2.2.2 数的机器码表示	25	3.2.2 DRAM 存储器	72
2.2.3 字符的表达方法	29	3.3 只读存储器	78
2.2.4 汉字的表达方法	29	3.4 存储器容量的扩充	79
2.3 定点加法、减法运算	31	3.5 提高存储器系统性能的技术	84
2.3.1 补码加法、减法	31	3.5.1 双端口存储器	84
2.3.2 溢出的概念及判别逻辑	32	3.5.2 多模块交叉存储器	86
2.3.3 基本的二进制加法/减法器	34	3.5.3 相联存储器	87
2.4 定点乘法运算	36	3.5.4 高速缓冲存储器 (Cache)	88
2.4.1 补原码并行乘法	36	3.5.5 虚拟存储器	96

本章小结	101	5.4.1 微程序控制原理	139
习题	101	5.4.2 微程序设计技术	147
第4章 指令系统	103	5.5 硬连线控制器	151
4.1 指令系统的发展与性能要求	103	5.6 流水线 CPU	154
4.1.1 指令系统的发展	103	5.6.1 重叠执行	154
4.1.2 对指令系统性能的要求	104	5.6.2 流水线 CPU 的工作原理	156
4.2 指令格式	104	5.6.3 流水线 CPU 的结构	160
4.2.1 操作码	105	5.6.4 流水线的性能分析	161
4.2.2 地址码	105	5.6.5 流水线中的主要问题	167
4.2.3 指令字长度	107	本章小结	170
4.2.4 指令助记符	107	习题	170
4.3 指令和数据的寻址方式	108	第6章 输入/输出系统	173
4.3.1 指令的寻址方式	108	6.1 概述	173
4.3.2 操作数寻址方式	109	6.1.1 主机与外设间的连接模式	173
4.4 典型指令	113	6.1.2 总线的基本概念	175
4.4.1 指令的分类	113	6.1.3 接口的功能及分类	177
4.4.2 复杂指令系统计算机	115	6.1.4 信息交换方式	179
4.4.3 精简指令系统计算机	116	6.2 程序中中断方式	180
本章小结	118	6.2.1 有关中断的各种概念	180
习题	118	6.2.2 中断方式的典型应用	182
第5章 中央处理器	121	6.2.3 中断过程	182
5.1 CPU 的功能和组成	121	6.2.4 程序中中断方式的基本接口	189
5.1.1 CPU 的功能	121	6.3 DMA 方式	190
5.1.2 CPU 的基本组成	121	6.3.1 DMA 的基本概念	190
5.1.3 CPU 中的主要寄存器	123	6.3.2 DMA 传送方式	190
5.1.4 操作控制器与时序产生器	124	6.3.3 基本的 DMA 控制器	192
5.2 指令周期	125	6.3.4 选择型和多路型 DMA 控制器	195
5.2.1 指令周期的基本概念	125	6.4 通道方式	196
5.2.2 MOV 指令的指令周期	127	6.4.1 通道的功能	196
5.2.3 LAD 指令的指令周期	129	6.4.2 通道的类型	197
5.2.4 ADD 指令的指令周期	130	6.4.3 通道结构的发展	199
5.2.5 STO 指令的指令周期	130	6.5 通用 I/O 标准接口	199
5.2.6 JMP 指令的指令周期	132	6.5.1 并行 I/O 标准接口 SCSI	199
5.2.7 用方框图语言表示指令周期	134	6.5.2 串行 I/O 标准接口 IEEE 1394	200
5.3 时序产生器和控制方式	136	本章小结	203
5.3.1 时序信号的作用和体制	136	习题	204
5.3.2 时序信号产生器	137	第7章 高性能处理机	205
5.3.3 控制方式	138	7.1 超标量处理机和超流水线	
5.4 微程序控制器	139	处理机	205

7.1.1 超标量处理机	205	7.4 多处理机	223
7.1.2 超流水线处理机	207	7.4.1 多处理机的基本结构	223
7.1.3 超标量超流水线处理机	208	7.4.2 多处理机系统的特点	224
7.2 向量处理机	208	7.4.3 多处理机性能模型	225
7.2.1 向量处理方式	209	7.4.4 多处理机的 Cache 一致性	227
7.2.2 向量处理机的结构	210	本章小结	231
7.3 并行处理机	219	习题	231
7.3.1 并行处理机的结构	219	参考文献	232
7.3.2 并行处理机的特点	221		

第1章

计算机系统概论

本章先说明计算机的分类、特点及应用，然后采用自上而下的方法，简要地介绍硬件、软件的概念和组成，最后介绍计算机体系结构基本概念、计算机系统设计和评价的基本原则。

1.1 计算机的分类及应用

1.1.1 计算机的分类

电子计算机从总体上来说分为两大类，即电子模拟计算机和电子数字计算机。模拟计算机以连续变化的模拟量进行处理和运算，而数字计算机以离散化的数字量进行处理和运算。

电子模拟计算机由于精度和解题能力都有限，所以应用范围较小。而电子数字计算机则与模拟计算机不同，它是以近似于人类的“思维过程”来进行工作的，所以有人把它叫作电脑。它的发明和发展是20世纪人类最伟大的科学技术成就之一，也是现代科学技术发展水平的主要标志。习惯上所称的电子计算机，一般是指现在广泛应用的电子数字计算机。

数字计算机进一步又可分为专用计算机和通用计算机。专用和通用是根据计算机的效率、速度、价格、运行的经济性和适应性来划分的。专用机是最有效、最经济和最快速的计算机，但是它的适应性很差。通用计算机适应性很强，但是牺牲了效率、速度和经济性。

通用计算机又可分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机六类，它们的区别在于体积、简易性、功率损耗、性能指标、数据存储容量、指令系统规模和机器价格等，如图1-1所示。一般来说，巨型计算机主要用于科学计算，其运算速度在每秒万亿次以上，数据存储容量很大，结构复杂，价格昂贵。而单片计算机是只用一片集成电路做成的

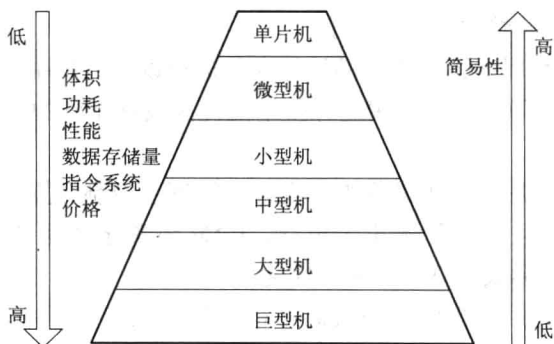


图1-1 单片机、微型机、小型机、中型机、大型机、巨型机之间的区别

计算机,体积小,结构简单,性能指标较低,价格便宜。介于巨型机和单片机之间的是大型机、中型机、小型机和微型机,它们的结构规模和性能指标依次递减。但是随着超大规模集成电路的迅速发展,微型机、小型机和中型机彼此之间的概念也在发生变化,因为今天的小型机可能就是明天的微型机,而今天的微型机可能就是明天的单片机。专用计算机是针对某一任务设计的计算机,一般来说,其结构要比通用机简单。目前已经出现了多种型号的单片专用机,用于测试或控制。

1.1.2 数字电子计算机的应用

计算机之所以发展迅速,其生命力在于它的广泛应用。目前,计算机的应用范围几乎涉及人类社会的所有领域:从国民经济各部门到个人家庭生活,从军事部门到民事部门,从科学教育到文化艺术,从生产领域到消费娱乐,无一不是计算机应用的天下。对于如此广泛的应用,这里不可能一一介绍,下面归纳成八个方面来叙述。

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领域,也是应用得较广泛的领域,例如数学、化学、原子能、天文学、地球物理学、生物学等基础科学的研究,以及航天飞行、飞机设计、桥梁设计、水力发电、地质找矿等方面的大量计算。

计算机在科学计算和工程设计中的应用,不仅减轻了大量烦琐的计算工作量,更重要的是,一些以往无法解决、无法及时解决或无法精确解决的问题得到了圆满的解决。

2. 实时控制

计算机在工业测量和控制方面的应用已十分成熟和广泛,广泛应用于工业、农业、科学技术、国防以至我们日常生活等各个领域。在测量和测试领域,计算机主要起两个作用:第一,对测量和测试设备本身进行控制;第二,采集数据并进行处理。

3. 信息处理

信息处理又称为数据处理,是指计算机用于处理生产、经济活动、社会和科学研究中获得的大量信息。

计算机发展初期,仅仅用于数值计算。后来应用范围逐渐发展到非数值计算领域,可用来处理文字、表格、图像、声音等各类信息。

4. 计算机辅助技术

计算机辅助技术包含计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助教学(CAI)等。

计算机辅助设计是利用计算机来帮助设计人员进行设计。其中有机机械CAD、建筑CAD、服装CAD以及电子电路CAD等。使用这种技术能提高设计工作的自动化程度,节省人力和时间。

计算机辅助制造是利用计算机进行生产设备的管理、控制和操作的过程。

CAM与CAD密切相关。CAD侧重于设计,CAM侧重于产品的生产过程。现在通常把CAD和CAM放在一起,形成CAD/CAM一体化。

计算机辅助测试是利用计算机帮助人们进行各种测试工作。采用CAT系统可快速自动完成参数的测试和形成报告结果,还可分类和筛选产品。

计算机辅助教学是利用计算机帮助教师和学生进行课程内容的教学和测验。学生可以通

过人机对话的方式学习有关章节的内容并回答计算机给出的问题,计算机可以判断学生的回答是否正确,学生还可通过一系列测验逐步深入学习某课程。教师利用 CAI 系统指导学生的学习、命题和阅卷等。

5. 办公自动化

办公自动化系统是以支持办公自动化为目的的一个信息系统,如日程管理、电子邮政、电子会议、文档管理、统计报表等,它们能辅助管理和决策。

6. 家用电器

计算机不仅在国民经济各部门发挥着越来越大的作用,而且已涌入到日常生活,特别是家用电器中。

目前,人们不仅使用各种类型的个人计算机,而且将单片机广泛应用于微波炉、磁带录音机、自动洗衣机、煤气用定时器、家用空调设备控制器、电子式缝纫机、电子玩具、游戏机等。21 世纪,国际互连网络和计算机控制的设备将广泛应用于家庭。

7. 人工智能

人工智能,又称“智能模拟”,简单地说,就是使计算机能够模仿人的高级思维活动。人工智能的研究课题是多种多样的,如计算机学习、景物分析、模拟人的思维过程、机器人等。

人工智能研究中最有成效的应该是“机器人”。智能机器人会自己识别控制对象和工作环境,作出判断和决策,直接领会人的口令和意图,能避开障碍物,适应环境条件的变化,灵活机动地完成控制任务与信息处理任务。

8. 计算机网络

计算机网络是计算机技术与通信技术的结合。利用网络将不同地域、不同类型的计算机连接起来以达到资源共享。现在人们已经从计算机网络上获得了很大的便利和益处。

1.2 计算机系统

1.2.1 计算机的硬件组成

绝大多数计算机都是根据冯·诺依曼计算机体系结构的思想来设计的,故具有共同的基本配置,即由五大部件组成:运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备,其中核心部件是运算器。这种硬件结构也可称为冯·诺依曼结构,如图 1-2 所示。

计算机各部件之间的联系是通过两股信息流动而实现的,宽的一股代表**数据流**,窄的代表**控制流**。数据由输入设备输入至运算器,再存于存储器中,在运算处理过程中,数据从存储器读入运算器进行运算,运算的中间结果存入存储器,或由运算器经输出设备输出。指令也以数据形式存于存储器中,运算时指令由存储器送入控制器,由控制器产生控制流控制数据流的流向并控制各部件的工作,对数据流进行加工处理。

以总线型结构计算机来说明其硬件组成:运算器、控制器、存储器、输入/输出接口、输入/输出设备、系统总线。

1. 运算器

运算器是完成二进制编码的算术或逻辑运算的部件。运算器由累加器（用符号 A 表示）、通用寄存器（用符号 B 表示）和算术逻辑单元（用符号 ALU 表示）组成，其结构如图 1-3 所示，其核心是算术逻辑单元。

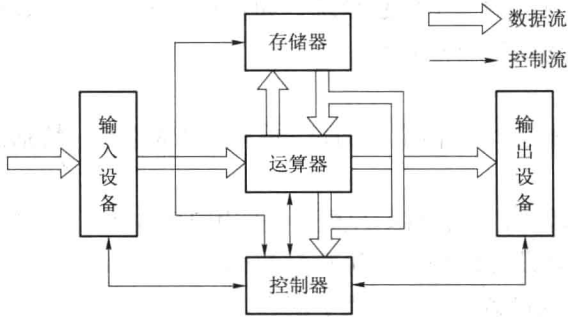


图 1-2 计算机硬件的基本组成

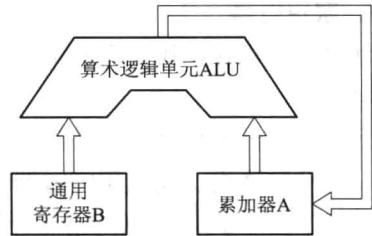


图 1-3 运算器结构示意图

通用寄存器 B 用于暂存参加运算的一个操作数，此操作数来自总线。现代计算机的运算器有多个寄存器，称之为通用寄存器组。

累加器 A 是特殊的寄存器，它既能接收来自总线的二进制信息作为参加运算的一个操作数，向算术逻辑单元 ALU 输送，又能存储由 ALU 运算的中间结果和最后结果。

算术逻辑单元由加法器及控制门等逻辑电路组成，以完成 A 和 B 中的数据的各种算术与逻辑运算。

运算器一次运算二进制数的位数，称为字长，它是计算机的重要性能指标。常用的计算机字长有 8 位、16 位、32 位及 64 位。寄存器、累加器的长度应与 ALU 的字长相等。

2. 存储器

存储器的主要功能是存放程序和数据。不管是程序还是数据，在存储器中都是用二进制的形式表示，统称为信息。

目前，计算机采用半导体器件来存储信息。数字计算机的最小信息单位称为位（bit），即一个二进制代码。能存储一位二进制代码的器件称为存储元。

通常，CPU 向存储器送入或从存储器取出信息时，不能存取单个的“位”，而是用 B（字节）和 W（字）等较大的信息单位来工作。一个字节由 8 位二进制位组成，而一个字则至少由一个以上的字节组成。通常把组成一个字的二进制位数叫做字长。

在存储器中把保存一个字节的 8 位触发器称为一个存储单元。存储器是由许多存储单元组成的。每个存储单元对应一个编号，用二进制编码表示，称为存储单元地址。向存储器中存数或者从存储器中取数，都要将给定的地址进行译码，找到相应的存储单元。存储单元的地址只有一个，固定不变，而存储在存储单元中的信息是可以更换的。图 1-4 所示为存储器的结构示意图。

存储器所有存储单元的总数称为存储器的存储容量，通常用单位 KB，MB（1B=1 个字节=8 位二进制代码）来表示。存储容量越大，表示计算机记忆储存的信息就越多。

半导体存储器的存储容量有限，计算机中又配备了存储容量更大的磁盘存储器和光盘存储器，称为外存储器。相对而言，半导体存储器称为内存储器，简称内存。

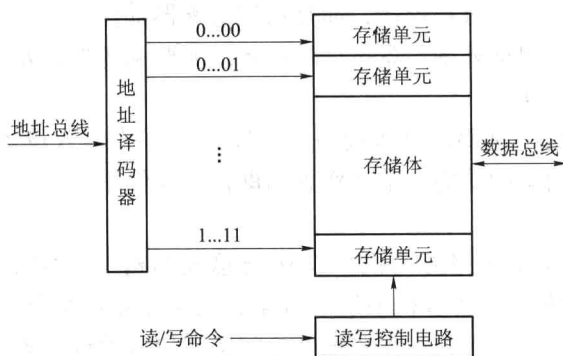


图 1-4 存储器的结构示意图

3. 控制器

控制器是全机的指挥中心，它控制各部件动作，使整个机器连续、有条不紊地运行。控制器工作的实质就是解释程序。

控制器每次从存储器读取一条指令，经过分析译码，产生一串操作命令，发向各个部件，进行相应的操作。接着从存储器取出下一条指令，再执行这条指令，依次类推。通常把取指令的一段时间叫作取指周期，而把执行指令的一段时间叫作执行周期。因此，控制器反复交替地处在取指周期与执行周期之中，直至程序执行完毕，如图 1-5 所示。

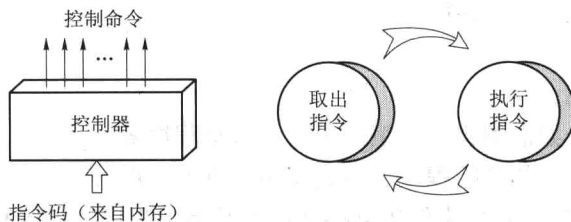


图 1-5 控制器功能示意

在早期的计算机术语中，通常把运算器和控制器合在一起称为中央处理器，简称 CPU，而将 CPU 和存储器等设备合在一起称为主机。

4. 输入/输出接口

外设种类繁多且速度各异，因而它们不能直接同高速工作的主机相连接，而必须通过输入/输出接口部件与主机相联系。输入/输出接口的作用相当于一个转换器，它可以保证外围设备按计算机系统特性所要求的形式发送或接收信息。

5. 输入/输出设备

输入设备是变换输入形式的部件，它将人们的信息形式变换成计算机能接收并识别的信息形式。目前常用的输入设备是键盘、鼠标、数字扫描仪及模/数转换器等。

输出设备是变换计算机输出信息形式的部件。它将计算机运算结果的二进制信息转换成人或设备能接收和识别的形式，如字符、文字、图形、图像、声音等。目前广为使用的输出设备有激光打印机、绘图仪、CRT 显示器等。

计算机的输入/输出设备通常为外围设备。这些外围设备种类繁多且速度各异，因而它

们不能直接地同高速工作的主机相连接，而是通过适配器部件与主机联系。适配器的作用相当于一个转换器。它可以保证外围设备按计算机系统所要求的形式发送或接收信息，使主机和外围设备并行协调地工作。

外存储器也是计算机中重要的外围设备，它既可以作为输入设备，也可以作为输出设备。此外，它还有存储信息的功能，常常作为辅助存储器使用。

6. 系统总线

计算机硬件之间的连接线路分为网状结构与总线结构。绝大多数计算机都采用总线（BUS）结构。系统总线是构成计算机系统的骨架，是多个系统部件之间进行数据传送的公共通路。借助系统总线，计算机在各系统部件之间实现传送地址、数据和控制信息的操作。

1.2.2 计算机的软件系统

假如计算机只有硬件，它是个“死”东西。那么计算机靠什么东西才能变“活”，从而高速自动地完成各种运算呢？这就是我们前面讲过的计算程序。因为它是无形的东西，所以称为软件或软设备。利用电子计算机进行计算、控制或做其他工作时，需要有各种用途的程序。

所谓**软件**是指为运行、维护、管理、应用计算机所编制的所有程序及文档的总和。

计算机软件一般分为两大类：一类叫系统软件，一类叫应用软件。

系统软件用来简化程序设计，简化使用方法，提高计算机的使用效率，发挥和扩大计算机的功能及用途。它包括以下四类：

- ① 操作系统；
- ② 数据库管理系统；
- ③ 语言处理程序，如汇编程序、编译程序、解释程序等；
- ④ 各种服务性程序，如诊断程序、排错程序、练习程序等。

应用软件是用户利用计算机来解决某些问题而编制的程序，如工程设计程序、数据处理程序、自动控制程序、企业管理程序、情报检索程序、科学计算程序等。随着计算机的广泛应用，这类程序的种类越来越多。

1. 操作系统

操作系统是管理计算机资源（如处理器、内存、外部设备和各种编译、应用程序）和自动调度用户的作业程序，使多个用户能有效地共用一套计算机系统的软件。操作系统的出现，使计算机的使用效率成倍地提高，并且为用户提供了方便的使用手段和令人满意的服务质量。概括起来，操作系统具有三大功能：管理计算机硬、软件资源，使之有效应用；组织协调计算机的运行，以增强系统的处理能力；提供人机接口，为用户提供方便。

具体地说，操作系统具有如下几方面的功能：作业管理、资源管理、中断处理、I/O 处理、调度、错误处理、保护和保密处理、记账等。

根据不同的使用环境要求，操作系统目前大致分为批处理操作系统、分时操作系统、网络操作系统、实时操作系统等多种。

1) 批处理操作系统

欲处理的作业按批连续进入系统，程序一旦进入计算机，用户就不能再接触它，除非运行完毕。这有利于提高效率，但不便于程序的调度和人机对话。目前大部分的计算中心都采

用这种系统。

2) 分时操作系统

允许系统同时为许多用户服务，一般采用时间片轮转的方式向用户轮流分配机时，对用户来说，感觉不到有几个用户同时在使用一台计算机。

3) 实时操作系统

实时操作系统中用户分优先级别，对不同级别的用户有不同的响应方式。实时操作系统要求响应速度快、性能好，常用于计算机控制过程。

4) 网络操作系统

计算机网络将分布在不同地理位置的计算机连接起来，网络操作系统用于对多台计算机及其设备之间的通信进行有效地监护管理，因此，网络操作系统除具有一般操作系统功能外，还有专门用于网络的网络管理模块。

常用的操作系统有 DOS、Windows、OS/2、UNIX 等，网络操作系统有 NetWare、Windows NT 等。

2. 数据库管理系统

数据库就是由实现有组织地、动态地存储大量相关数据，方便多用户访问的计算机软硬件资源组成的系统。数据库和数据管理软件一起，组成了数据库管理系统。

目前有 3 种类型的数据库管理系统，分别为层次数据库、网状数据库和关系数据库，其中，关系数据库使用最为方便，故得到了广泛的应用。

3. 语言处理程序

常用的语言处理程序有机器语言、汇编语言、算法语言、编译程序和解释程序等。

在早期的计算机中，人们是直接用**机器语言**（即机器指令代码）来编写程序的，这种用机器语言书写的程序，计算机完全可以“识别”并能直接执行，所以又叫作目的程序。

机器语言是由二进制代码组成的，难懂难记，并且它依赖于计算机的硬件结构，不同类型的计算机其机器语言不同，这些情况大大限制了计算机的使用。

为了编写程序方便和提高机器的使用效率，人们用一些约定的文字、符号和数字按规定的格式来表示各种不同的指令，然后再用这些特殊符号表示的指令来编写程序，这就是所谓的**汇编语言**。对人来讲，符号语言简单直观，便于记忆，比二进制数表示的机器语言方便许多。但计算机不认识这些文字、数字、符号，为此，人们创造了汇编程序，它是一种将符号语言表示的程序（称为汇编源程序）翻译成用机器语言表示的目的程序的软件。

所谓**算法语言**，是指按实际需要规定好的一套基本符号及由这套基本符号构成程序的规则。算法语言比较接近数学语言，它直观通用，与具体机器无关，只要稍加学习就能掌握，便于推广使用计算机。有影响的算法语言如 BASIC, FORTRAN, C, C++, Java 等。

用算法语言编写的程序称为源程序。但是，这种源程序如同汇编源程序一样，是不能由机器直接识别和执行的，也必须翻译为机器语言。通常采用下面两种方法。

编译程序可把源程序翻译成目的程序，然后机器执行目的程序，得出计算结果。目的程序一般不能独立运行，还需要一种叫作运行系统的辅助程序来帮助。通常，把编译程序和运行系统合称为编译系统。

解释程序是可逐条解释并立即执行源程序的语句，它不是将源程序的全部指令一起翻译，编出目的程序后再执行，而是直接逐一解释语句并得出计算结果。

4. 服务性程序

服务性程序提供各种运行所需的服务，是一种辅助计算机工作的程序。例如：用于程序的装入、连接、编辑及调试用的装入程序、连接程序、编辑程序及调试程序；又如，诊断故障程序、纠错程序、监督程序。此外，还有数制转换程序等为系统提供更多实用功能的服务性程序。

1.2.3 计算机系统的层次结构

1. 多级组成的计算机系统

计算机系统存在着层次结构，从功能上看，现代计算机系统可分为五个层次级别，每一层都能进行程序设计，如图 1-6 所示。

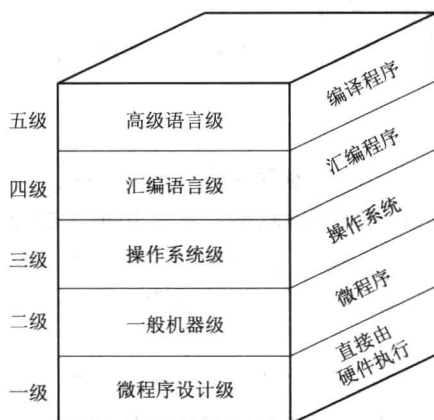


图 1-6 计算机系统的层次结构

第一级是微程序设计级。这是一个实在的硬件级，它由机器硬件直接执行微指令。如果某一个应用程序直接用微指令来编写，那么可在这一级上运行应用程序。

第二级是一般机器级，也称为机器语言级，它由微程序解释机器指令系统。这一级也是硬件级。

第三级是操作系统级，它由操作系统程序实现。这些操作系统由机器指令和广义指令组成，广义指令是操作系统定义和解释的软件指令，所以这一级也称为混合级。

第四级是汇编语言级，它给程序人员提供一种符号形式语言，以减少程序编写的复杂性。这一级由汇编程序支持和执行。如果应用程序采用汇编语言编写，则机器必须要有这一级的功能；如果应用程序不采用汇编语言编写，则这一级可以不要。

第五级是高级语言级，它是面向用户的，为方便用户编写应用程序而设置的。这一级由各种高级语言编译程序支持和执行。

计算机系统各层次之间的关系十分紧密，上层是下层的扩展，下层是上层的基础。除第一级外，其他各级都得到它下面级的支持，同时也受到运行在下面各级上的程序的支持。第一级到第三级编写程序采用的语言，基本上是二进制数字化语言，机器执行和解释容易。第四、第五两级编写程序所采用的语言是符号语言，用英文字母和符号来表示程序，因而便于大多数不了解硬件的人们使用计算机。

2. 软件与硬件的逻辑等价性

随着大规模集成电路技术的发展和软件硬化的趋势，计算机系统软、硬件界限已经变得模糊了。因为任何操作可以由软件来实现，也可以由硬件来实现；任何指令的执行可以由硬件来完成，也可以由软件来完成。

对于某一功能，是采用硬件方案还是软件方案，取决于器件价格、速度、可靠性、存储容量、变更周期等因素。

当研制一台计算机时，设计者必须明确分配每一级的任务，确定哪些情况使用硬件，哪些情况使用软件，而硬件始终放在最低级。

就目前而言，一些计算机的特点是，把原来明显地在一般机器级通过编制程序实现的操作，如整数乘除法指令、浮点运算指令、处理字符串指令等，改为直接由硬件完成。

首先，随着大规模集成电路和计算机体系结构的发展，实体硬件的功能范围不断在扩大。第一级和第二级的边界范围，要向第三级乃至更高级扩展。这是因为容量大、价格低、体积小、可以改写的只读存储器提供了软件固化的良好物质手段。现在已经可以把许多复杂的、常用的程序制作成所谓**固件**。就它的功能来说，是软件；但从形态来说，又是硬件。其次，目前在一片硅单晶芯片上制作复杂的逻辑电路已经是实际可行的，这就为扩大指令的功能提供了物质基础，因此本来通过软件手段来实现的某种功能，现在可以通过硬件来直接解释执行。进一步的发展，就是设计所谓面向高级语言的计算机。这样的计算机，可以通过硬件直接解释执行高级语言的语句而不需要先经过编译程序的处理。传统的软件部分，今后完全有可能“固化”甚至“硬化”。

1.3 计算机体系结构

1.3.1 计算机体系结构的基本概念

计算机体系结构（Computer Architecture）是 Amdahl 等人在 1964 年介绍 IBM360 时提出来的，指程序员所看到的一个计算机系统的属性，即概念性结构和功能特性，这实际上是计算机系统的外特性。

按照计算机层次结构，不同程序设计者所看到的计算机具有不同的属性。在计算机技术中，一种本来存在的事物或属性，从某种角度看却好像不存在，这称为**透明性**。通常，在一个计算机系统中，低层机器级的概念性结构和功能特性，对高级语言程序员来说是透明的。例如，使用高级语言的程序员所看到的计算机属性主要是软件子系统和固件子系统的属性，包括程序语言及操作系统、数据库管理系统、网络软件等用户界面。又如，IBM370 系列机的 CPU 都具有相同的基本指令系统，指令的解释过程在不同档次机器中的处理方式不相同，但对程序设计者而言，所看到的数据形式都是相同的，即 32 位字长。同样，对于不同档次的机器，在组成与实现时，数据通路宽度（数据总线）可以分别采用 8 位、16 位、32 位或 64 位，但对于程序员而言，数据总线宽度是透明的，即在设计程序时不需要考虑数据总线宽度的位数。

Amdahl 等人提出的体系结构定义中的程序设计者是指机器语言或编译程序设计者所看

到的计算机属性,是硬件子系统的概念结构及其功能特性。计算机体系结构主要研究硬件和软件功能的划分,确定硬件和软件的界面,即哪些功能应划分给硬件子系统完成,哪些功能应划分到软件子系统中完成。这其中最重要的问题都直接和计算机的指令系统有关,例如计算机的字长,计算机硬件能够直接识别和处理的数据类型及其表示、存储、读写方式,指令系统的组成,指令类别、格式和功能,支持的寻址方式,存储器、输入/输出设备和 CPU 之间数据传送的方式和控制,也包括中断的类型和处理流程,对各种运行异常或者出错的检测和处理方案等,这些都是程序设计人员想要编写出高质量程序并确保其正常运行必须深入了解的计算机属性。

对于目前的通用型机器,计算机体系结构(传统机器程序员所看到的属性)一般包括:

- ① 机器内的数据表示,包括硬件能直接识别和处理的数据类型和格式等;
- ② 寻址方式,包括最小寻址单位、寻址方式的种类、寻址方式的表示和地址计算等;
- ③ 寄存器组织,包括操作数寄存器、变址寄存器、控制寄存器及某些专用寄存器的定义、数量和使用约定等;
- ④ 指令系统,包括机器指令的操作类型和格式、指令间的排序方式和控制机构等;
- ⑤ 存储系统,包括最小编址单位、编址方式、主存容量和最大可编址空间等;
- ⑥ 中断机构,包括中断的类型、中断分级、中断处理程序的功能和入口地址等;
- ⑦ 机器工作状态的定义及切换,如在管态,处理机可以使用系统的全部指令和全部资源,而在目态,处理机只能执行用户程序;
- ⑧ 输入/输出机构,包括输入/输出设备的连接方式、处理机/存储器与输入/输出设备间数据传送的方式与格式、传送的数据量及输入/输出操作的结束与出错标志等;
- ⑨ 信息保护,包括信息保护方式和硬件对信息保护的支持等。

1.3.2 计算机体系结构的分类

随着计算机体系结构的发展,出现了各种复杂程度不同、运算速度和处理能力各异的计算机系统,同时也出现了对计算机系统进行分类的各种方法。目前常用的是 M. J. Flynn 根据指令流和数据流数量进行分类的方法。

1966 年, M. J. Flynn 提出了指令流是机器执行的指令序列,数据流是由指令流调用的数据序列的定义。根据指令流和数据流数量可将计算机系统分成下列 4 类。

1. 单指令流单数据流

单指令流单数据流(SISD, Single Instruction Stream Single Data Stream)是传统的顺序处理的计算机,它通常由一个处理器和一个存储器组成。典型的 SISD 计算机每次只执行一条指令,每次从存储器只取或存一个数据。为了提高运算速度,有些 SISD 计算机设置了指令流水线和运算操作流水线,有些还设置了多个功能部件和多体交叉存储器。

2. 单指令流多数据流

单指令流多数据流(SIMD, Single Instruction Stream Multiple Data Stream)计算机通常由一个指令控制部件、多个处理器和多个存储器组成。各处理器和各存储器之间通过互连网络进行通信。在程序运行时由指令控制部件向各个处理器“播送”同一条指令,所有“活动的”处理器在同一时刻执行同样的指令,这就是单指令流(各处理器可由程序分别设置成“活动的”或“不活动的”,“不活动的”处理器不执行指令规定的操作);各“活动的”处