

● 高等学校21世纪计算机教材

计算机 组成原理

毛爱华 编著



冶金工业出版社

TP303
M330:1

高等学校 21 世纪计算机教材

计算机组成原理

毛爱华 编著

北京
冶金工业出版社

2004

内 容 简 介

本书为结合国内、外教材特色的新式教材，既保留了国内教材阐述理论清晰易懂的特色，又吸收了国外教材紧密联系实际的特点，同时还新增了当下各种流行产品与实用技术的相关内容。

本书共分为 11 章，主要介绍了计算机系统的相关知识、计算机部件与总线、主存储器的相关知识、外部存储器、输入输出系统、计算机运算、指令集系统、CPU 的结构和功能、控制器的功能与实现、并行处理以及微型计算机的硬件组成。

本书内容丰富、概念清晰、语言通俗易懂、实例典型，具有较强地实用性和先进性。本书不仅可以作为各大中专院校相关专业和计算机基础培训班的教材，也可作为相关专业工程技术人员和自学者的学习和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成原理 / 毛爱华编著. —北京：冶金工业出版社，2004.1

ISBN 7-5024-3407-0

I. 计... II. 毛... III. 计算机体系结构
IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 111798 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009)

责任编辑 程志宏

湛江蓝星南华印务公司印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2004 年 1 月第 1 版，2004 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16； 29.5 印张； 685 千字； 462 页； 1-5000 册

49.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010) 64044283 传真：(010) 64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号 (100711) 电话：(010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题，本社发行部负责退换)

前 言

一、本书背景

《计算机组成原理》是计算机学科的基础教材之一，在以往国内出版的这类教材中，主要是以介绍计算机的组成和结构原理为主，且内容陈旧、结构僵化、跟不上产品的更新，从而致使教材脱离实际应用、缺乏吸引力。

针对以上存在的问题，作者重新编写了《计算机组成原理》，试图在风格和内容上有所改进，让读者有耳目一新的感觉。本书以介绍计算机组成原理为目的，主要介绍了计算机组成和结构中基本部件的构造和组织方式，采用从大框架入手、层层细化的叙述方式，将计算机的组成和结构分成几个大的模块，然后又将大模块细分成小模块逐步深入阐述。本书在介绍计算机组成部件的基础上，还介绍了计算机工作性能提高的几种技术和组织方式，最后从产品的角度，同时结合相关原理阐述了计算机各组成部件的相关知识，以加深读者的认识。

二、本书结构

本书共分为 11 章，其具体结构安排如下：

第 1 章：计算机系统概述。主要介绍了计算机的基本概念、计算机的组成单元、计算机的结构与组织、计算机的性能指标、计算机的发展史、计算机的应用及计算机的展望。

第 2 章：计算机部件与总线。主要介绍了计算机的部件、计算机部件的功能、计算机部件的互连、总线互连、总线的分类、总线的结构、总线的设计、总线性能参数和标准及 PCI 总线。

第 3 章：主存储器概述。主要介绍了存储器的相关知识、主存储器、主存储器的容量扩展与纠错、高速存储器及 DRAM 的新发展。

第 4 章：外部存储器。主要介绍了外部存储器的相关知识、磁记录原理、硬磁盘存储器、磁盘阵列存储器、软磁盘存储器、光盘存储器、磁带及 U 盘闪存。

第 5 章：输入/输出系统。主要介绍了输入/输出系统的知识、I/O 模块、程序查询、I/O 中断、存储器直接存取方式、I/O 通道方式、外部接口及外部设备。

第 6 章：计算机运算。主要介绍了无符号数和有符号数、数的定点与浮点表示、定点算术运算、浮点算术运算及算术逻辑单元。

第 7 章：指令集系统。主要介绍了机器指令的特征、格式与类型，还介绍了指令的操作数类型和操作类型、寻址方式、指令格式、RISC 精简指令集及多媒体指令集。

第 8 章：CPU 的结构和功能。主要介绍了 CPU 的结构、指令周期、指令流水、超标量处理器及 Pentium 处理器。

第 9 章：控制器的功能与实现。主要介绍了微操作命令、控制单元的功能、组合逻辑式控制器及微程序式控制。

第 10 章：并行处理。主要介绍了多处理、多处理机系统中的 Cache 一致性、向量计算

及并行处理机。

第 11 章：微型计算机的硬件组成。主要介绍了主板、CPU、内存、硬盘、声卡、显示卡、显示器、光驱、CD-R 光盘和刻录机、软盘和软盘驱动器、电源、机箱、键盘与鼠标、打印机、扫描仪、调制解调器及不间断电源。

附录 A：可编程逻辑器件 PLD。

附录 B：Max+PlusII 软件。

附录 C：数值系统。

附录 D：ASCII 码。

三、本书特点

本书内容丰富、概念清晰、语言通俗易懂、实例新颖，具有较强地实用性。本书各章末均配有习题，同时书末还附有参考答案，以供读者参考。

四、适用对象

本书既可作为各大中专院校相关专业和计算机基础培训班的教材，也可作为相关专业工程技术人员和自学者的学习和参考用书。

读者如有意见或建议可发 E-mail 至：**service@cnbook.net**，也可到相关网站进行探讨，网址 **http://www.cnbook.net**。

由于作者水平有限，编写时间仓促，书中错漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

目 录

第1章 计算机系统概述1	2.3 计算机部件的互连.....35
1.1 计算机的基本概念.....1	2.4 总线互连.....37
1.1.1 计算机硬件与软件.....1	2.5 总线的分类.....38
1.1.2 计算机的层次结构.....2	2.5.1 片总线.....38
1.1.3 冯·诺依曼计算机.....3	2.5.2 内部总线.....38
1.2 计算机的组成单元.....3	2.5.3 外部总线.....40
1.3 计算机的结构与组织.....4	2.6 总线的结构.....40
1.4 计算机的性能指标.....6	2.6.1 单总线结构.....40
1.4.1 机器字长.....6	2.6.2 多总线结构.....41
1.4.2 寄存器容量.....6	2.7 总线的设计.....42
1.4.3 运算速度.....7	2.7.1 总线信号线的类型.....42
1.5 计算机的发展史.....8	2.7.2 总线的时序.....43
1.5.1 第一代: 真空管计算机.....8	2.7.3 总线的仲裁.....44
1.5.2 第二代: 晶体管计算机.....11	2.7.4 总线数据的传输类型.....46
1.5.3 第三代: 集成电路计算机.....11	2.7.5 总线的带宽.....47
1.5.4 第三代之后.....13	2.8 总线性能参数和标准.....47
1.6 计算机的应用.....16	2.8.1 S-100 总线.....48
1.6.1 科学计算方面.....16	2.8.2 MultiBus 总线.....49
1.6.2 数据处理方面.....17	2.8.3 PC/XT 总线.....49
1.6.3 实时控制方面.....17	2.8.4 ISA 总线.....51
1.6.4 计算机辅助技术方面.....18	2.8.5 MCA 总线.....52
1.6.5 网络的应用.....20	2.8.6 EISA 总线.....52
1.6.6 多媒体技术应用.....22	2.8.7 VESA 总线.....53
1.6.7 人工智能.....23	2.8.8 PCI 总线.....55
1.7 计算机的展望.....24	2.8.9 AGP 总线.....57
小结.....26	2.8.10 IEEE 1394 总线.....60
综合练习一.....26	2.8.11 USB 总线.....61
一、选择题.....26	2.8.12 PCI-X 总线.....63
二、填空题.....26	2.8.13 EV6 总线.....64
三、思考题.....27	2.8.14 NGIO 总线.....64
第2章 计算机部件与总线28	2.9 PCI 总线.....65
2.1 计算机的部件.....28	2.9.1 PCI 局部总线的特征.....66
2.2 计算机部件的功能.....29	2.9.2 PCI 的接插件.....66
2.2.1 CPU 与存储器的功能.....29	2.9.3 PCI 总线信号.....67
2.2.2 I/O 的功能.....35	2.9.4 PCI 总线的命令.....69
	2.9.5 PCI 总线的数据传输.....70

2.9.6 PCI 总线的仲裁	71
小结	72
综合练习二	72
一、选择题	72
二、填空题	73
三、思考题	74

第3章 主存储器概述

3.1 存储器简介	75
3.1.1 存储器的主要技术指标	75
3.1.2 存储器的分类	76
3.1.3 存储器的层次结构	79
3.2 主存储器	80
3.2.1 半导体随机存储器 RAM	81
3.2.2 半导体 RAM 的基本结构	86
3.2.3 静态 MOS RAM 芯片举例	88
3.2.4 动态 MOS RAM 芯片举例	90
3.2.5 动态 RAM 的刷新	91
3.2.6 半导体随机只读存储器 ROM	93
3.3 主存储器的容量扩展与纠错	96
3.3.1 芯片的封装	96
3.3.2 主存储器容量扩展	97
3.3.3 主存储器的纠错	99
3.4 高速存储器 (Cache)	102
3.4.1 Cache 简介	102
3.4.2 Cache 的设计指标	103
3.4.3 Pentium 的 Cache	109
3.5 DRAM 的新发展	111
3.5.1 EDRAM	112
3.5.2 CDRAM	112
3.5.3 SDRAM	113
3.5.4 RDRAM	114
3.5.5 DDR DRAM	114
3.5.6 虚拟通道存储器 VCM	114
3.5.7 快速循环动态存储器 FCRAM	115
小结	115
综合练习三	115
一、选择题	115
二、填空题	116
三、思考题	117

第4章 外部存储器

4.1 外部存储器介绍	118
4.2 磁记录原理	118
4.2.1 磁表面存储器的写/读操作	119
4.2.2 磁表面存储器的技术指标	119
4.2.3 磁表面存储器的记录方式	121
4.2.4 记录方式的评价指标	122
4.3 硬磁盘存储器	123
4.3.1 硬磁盘存储器的分类	123
4.3.2 硬盘驱动器	124
4.3.3 硬盘控制器	125
4.3.4 盘片	125
4.3.5 硬盘的磁道记录格式	125
4.3.6 硬盘的分区	127
4.3.7 硬盘及其接口的发展史	129
4.4 磁盘阵列存储器	132
4.5 软磁盘存储器	133
4.5.1 软盘片	134
4.5.2 软盘的记录格式	135
4.5.3 软盘驱动器和控制器	136
4.6 光盘存储器	136
4.6.1 CD-ROM	137
4.6.2 WORM	139
4.6.3 可擦写光盘	139
4.6.4 DVD-ROM	140
4.7 磁带	142
4.8 U 盘闪存	142
小结	143
综合练习四	144
一、选择题	144
二、填空题	144
三、思考题	145

第5章 输入/输出系统

5.1 输入/输出系统简介	146
5.1.1 输入/输出系统的发展	146
5.1.2 输入/输出系统的组成	147
5.2 I/O 模块	148
5.3 程序查询	150

5.3.1 程序查询流程	150	6.3.3 定点乘法运算	219
5.3.2 程序查询方式的接口电路	152	6.3.4 定点除法运算	231
5.4 I/O 中断	153	6.4 浮点算术运算	239
5.4.1 中断处理过程	153	6.4.1 浮点加减运算	239
5.4.2 I/O 中断结构举例	155	6.4.2 浮点乘除运算	243
5.5 存储器直接存取 (DMA) 方式	157	6.4.3 浮点数运算的硬件配置	248
5.5.1 DMA 方式的特点	157	6.5 算术逻辑单元 (ALU)	248
5.5.2 DMA 接口的组成	159	6.5.1 ALU 电路	248
5.5.3 DMA 的工作过程	160	6.5.2 并行加法和进位链	248
5.6 I/O 通道方式	161	6.5.3 算术逻辑运算单元 (SN74181)	254
5.6.1 通道的功能	162	6.5.4 运算器	256
5.6.2 通道指令和程序	162	小结	258
5.6.3 通道的工作过程	164	综合练习六	259
5.6.4 I/O 通道的类型	165	一、选择题	259
5.7 外部接口	165	二、填空题	259
5.7.1 外部接口的类型	165	三、思考题	260
5.7.2 接口的连接方式	166	第 7 章 指令集系统	262
5.7.3 SCSI 接口	166	7.1 机器指令的特征、格式及类型	262
5.8 外部设备	171	7.1.1 机器指令的特征	262
5.8.1 输入设备	171	7.1.2 指令格式	262
5.8.2 输出设备	180	7.1.3 指令的类型	265
5.8.3 其他外部设备	193	7.2 指令的操作数类型和操作类型	266
小结	196	7.2.1 指令的操作数类型	266
综合练习五	196	7.2.2 Pentium 数据类型	267
一、选择题	196	7.2.3 指令操作类型	267
二、填空题	197	7.2.4 Pentium 操作类型	272
三、思考题	198	7.3 寻址方式	274
第 6 章 计算机运算	199	7.3.1 指令寻址	274
6.1 无符号数和有符号数	199	7.3.2 数据寻址	275
6.1.1 无符号数	199	7.3.3 Pentium 的寻址方式	281
6.1.2 有符号数	199	7.4 指令格式	282
6.2 数的定点与浮点表示	206	7.4.1 指令格式的各种因素	282
6.2.1 定点表示法	207	7.4.2 PDP-8	284
6.2.2 浮点表示法	207	7.4.3 PDP-11	284
6.2.3 应用实例	210	7.4.4 Pentium 指令格式	285
6.2.4 浮点数的 IEEE 标准	211	7.5 RISC 精简指令集	286
6.3 定点算术运算	212	7.5.1 RISC 简介	286
6.3.1 移位运算	212	7.5.2 RISC 的特征	288
6.3.2 定点加法与减法运算	214	7.6 多媒体指令集	291

7.6.1 MMX 指令集	291	9.1.2 间址周期	328
7.6.2 SSE 指令集	291	9.1.3 执行周期	328
7.6.3 3DNow! 指令集	292	9.1.4 中断周期	330
小结	292	9.2 控制单元的功能	331
综合练习七	293	9.2.1 控制单元的功能特性	331
一、选择题	293	9.2.2 控制信号举例	332
二、填空题	293	9.2.3 多级时序系统	335
三、思考题	294	9.2.4 控制方式	336
第 8 章 CPU 的结构和功能	295	9.2.5 Intel 8085	338
8.1 CPU 的结构	295	9.3 组合逻辑式控制器	341
8.1.1 CPU 的结构框图	295	9.3.1 控制器输入	341
8.1.2 CPU 寄存器的组织	296	9.3.2 微操作的节拍	342
8.2 指令周期	300	9.3.3 控制器逻辑设计和实现	345
8.2.1 间接周期	300	9.4 微程序式控制	346
8.2.2 数据流	301	9.4.1 微程序式控制的思想	346
8.3 指令流水	302	9.4.2 微指令	347
8.3.1 流水线策略	303	9.4.3 微指令格式	347
8.3.2 限制流水线性能的因素	305	9.4.4 微指令的编码方式	349
8.3.3 转移指令的处理	306	9.4.5 微程序控制器工作原理	350
8.3.4 Intel 80486 流水线	309	9.4.6 微地址的形成方法	352
8.4 超标量处理器	310	9.4.7 静态微程序和动态微程序	352
8.4.1 超标量和超流水	311	9.4.8 毫微程序设计	353
8.4.2 超标量的限制	312	9.4.9 微程序设计语言	353
8.4.3 超标量的设计	313	9.4.10 组合逻辑式控制器设计和微程 序式控制器设计的比较	354
8.4.4 寄存器重命名	316	小结	355
8.4.5 机器并行性	317	综合练习九	355
8.4.6 转移预测	318	一、选择题	355
8.5 Pentium 处理器	318	二、填空题	355
8.5.1 寄存器组织	318	三、思考题	356
8.5.2 中断处理	321	第 10 章 并行处理	357
小结	323	10.1 多处理	357
综合练习八	323	10.1.1 多处理机的组织结构	358
一、选择题	323	10.1.2 多处理操作系统	360
二、填空题	324	10.1.3 IBM System/370 多处理机系统	361
三、思考题	324	10.1.4 IBM 3033 多处理机系统	363
第 9 章 控制器的功能与实现	326	10.2 多处理机系统中的 Cache 一致性	364
9.1 微操作命令	326	10.2.1 软件方法	364
9.1.1 取址周期	326	10.2.2 硬件方法	364

10.3 向量计算	365	11.8 光驱	407
10.3.1 向量计算的实现	366	11.8.1 光驱的原理	408
10.3.2 IBM 3090 向量组织	369	11.8.2 光驱的相关参数	408
10.4 并行处理机	373	11.8.3 光驱的安装	409
10.4.1 并行处理机的类型	374	11.9 CD-R 光盘和刻录机	409
10.4.2 多处理机	375	11.9.1 CD-R 光盘	409
10.4.3 多计算机	376	11.9.2 刻录机	410
小结	377	11.10 软盘和软盘驱动器	411
综合练习十	377	11.11 电源	412
一、选择题	377	11.11.1 电源的结构	412
二、填空题	377	11.11.2 电源类型	413
三、思考题	378	11.11.3 电源的技术指标	414
第 11 章 微型计算机的硬件组成	379	11.11.4 主流电源产品	415
11.1 主板	379	11.12 机箱	416
11.1.1 CPU 插槽	379	11.12.1 机箱的种类	416
11.1.2 内存插槽	382	11.12.2 机箱的性能	417
11.1.3 总线	383	11.12.3 机箱的选购标准	418
11.1.4 接口	383	11.13 键盘和鼠标	418
11.1.5 BIOS、CMOS 芯片和控制芯片	385	11.14 打印机	420
11.1.6 缓存	387	11.14.1 打印机类型	420
11.1.7 跳线	388	11.14.2 打印机的维护	422
11.2 CPU	389	11.15 扫描仪	423
11.2.1 CPU 的发展史	389	11.16 调制解调器 (MODEM)	426
11.2.2 常见的几款 CPU	391	11.16.1 调制解调器的分类	426
11.3 内存	394	11.16.2 MODEM 性能指标	428
11.4 硬盘	395	11.17 不间断电源 (UPS)	428
11.4.1 硬盘的类型	396	小结	429
11.4.2 硬盘的参数	397	综合练习十一	430
11.4.3 硬盘的结构	397	一、选择题	430
11.4.4 硬盘的跳线	398	二、填空题	430
11.5 声卡	399	三、思考题	431
11.6 显示卡	401	附录 A 可编程逻辑器件 PLD	432
11.6.1 显存	402	附录 B Max+PlusII 软件	434
11.6.2 3D 显示卡	403	附录 C 数值系统	435
11.6.3 常见的显卡	403	C.1 各种进位制的对应关系	435
11.7 显示器	404	C.2 各种进位制之间的转换	436
11.7.1 显示器的分类	404	C.2.1 二进制转换成十进制	436
11.7.2 显示器的相关技术指标	405	C.2.2 十进制转换成二进制	436
11.7.3 显示器的安全与环保标准	406		

C.2.3 二进制和八进制、十六进制之间的转换.....	437
------------------------------	-----

附录 D ASCII 码.....439

D.1 非压缩型	440
D.2 压缩型.....	440

参考答案.....441

第1章.....	441
第2章.....	442

第3章.....	445
第4章.....	447
第5章.....	449
第6章.....	451
第7章.....	452
第8章.....	454
第9章.....	456
第10章.....	458
第11章.....	460

第 1 章 计算机系统概述

在介绍计算机的组成原理之前,首先需要对计算机系统有一个整体的认识。初步了解计算机系统及概念,有利于后面章节的学习,同时也对计算机的发展、应用和前景有一个全面的了解。

1.1 计算机的基本概念

要了解计算机系统,首先要了解计算机系统中的一些基本的概念。

1.1.1 计算机硬件与软件

简单地说,计算机系统由硬件和软件两个部分组成。

(1) 计算机硬件指的是计算机的实体组成部分,由各种电子器材、光电设备等具体物质组成。这部分既看得到也摸得着,例如主机和各种外设设备。

(2) 计算机软件是发挥计算机功能,让计算机正常工作的程序。这些程序由程序员事先编好,储存在主存和各种辅助存储器上,例如 RAM 和 ROM 存储器,磁盘和光盘等存储介质。这些程序由代码组成,通常由计算机运行发挥作用,并非具体实物。软件是计算机的灵魂,没有软件光有硬件的裸机是无法投入工作的。

计算机软件都是由某种语言编写的。计算机的语言有机器语言、汇编语言和高级语言。机器语言是最低级的语言,它可以由计算机硬件直接识别。这种语言对程序员的要求比较高,不但要了解计算机的硬件结构,还要掌握机器指令的二进制编码格式。但这通常是很困难做到的,因此直接采用机器语言来编写程序难度非常大;汇编语言是指由汇编程序识别的语言,用汇编语言编写的程序只有被汇编程序翻译成机器语言后才能被机器执行。由于汇编语言与机器的硬件存在一定关系,汇编语言程序能较好地发挥硬件的功能,同时这也要求程序员对硬件有一定的了解;高级语言是屏蔽了硬件具体实现细节的语言,根据应用领域的不同,高级语言也有多种。目前全世界高级语言的数量达到上百种。根据其编译执行的方式不同,大体可以分成两类:

(1) 会话型高级语言。由其解释程序将其解释成机器语言,每解释一个语句,计算机就执行一个语句,人机之间建立一种会话的关系。例如 BASIC 语言就是会话型的高级语言。

(2) 编译型高级语言。由其解释程序将其全部解释成机器语言之后,再交给计算机执行。例如 FORTRAN 语言、COBOL 语言、PASCAL 语言和 C 语言都是编译型的高级语言。

高级语言由于与硬件的具体实现细节无关,所以高级语言编写的程序可以在不同类型的机器上运行,即高级语言程序具有极高的可移植性。这也是高级语言的最大优点。

计算机的软件按照面向的对象不同又可以分成两类:系统软件和应用软件。

(1) 系统软件顾名思义就是用于实现系统功能、管理系统的软件。这类软件面向系统。系统软件管理整个计算机系统,合理分配系统资源,确保计算机正确高效地运行。系

统软件有：操作系统程序、系统服务程序、汇编程序、高级语言的编译或解释程序、故障诊断程序、数据库管理程序等。

(2) 应用软件指的是面向用户，根据用户的特殊要求编制的应用程序。这类软件通常实现用户的某类需求。例如安装在操作系统下的各类应用软件，用于企业的各种资源管理、数据处理的软件。

1.1.2 计算机的层次结构

在计算机中硬件和软件的关系密切，硬件和软件在逻辑功能上是等效的。计算机系统内由硬件实现的功能也可以由软件来实现；反过来，由软件实现的功能同时也可以由硬件来实现。所以在计算机系统中如何分配硬件和软件的功能，使之最佳地工作是非常重要的。

计算机系统的层次结构既是分配软硬件功能的一种模式描述，也是分析计算机系统的较好的方法。目前计算机系统层次结构分为六层，如图 1-1 所示。

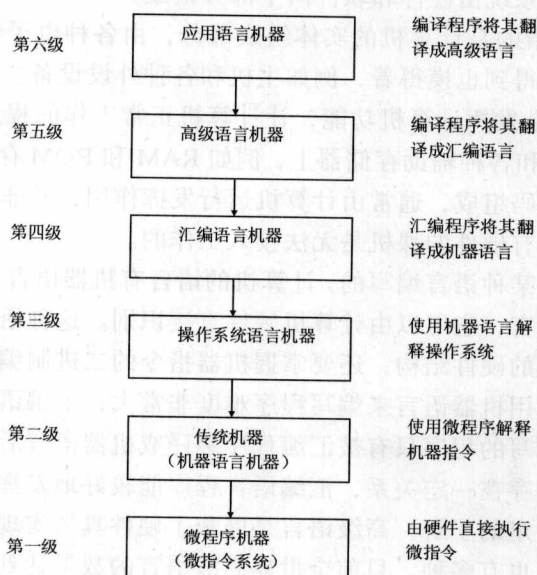


图 1-1 计算机的六层层次结构

微指令系统是在采用了微程序控制方式的计算机系统中用来解释微程序指令的。它不是每个计算机系统都有的，只存在于采用了微程序的计算机中。每条机器指令对应一个微程序，所以指令的执行过程就是微程序的执行过程。微程序控制可以让计算机控制部件整齐规范，便于设计和修改，所以比较受欢迎。

传统机器即为各种硬件组成的裸机，只能识别机器语言，不能立刻运行程序指令。

操作系统语言机器由管理计算机内部资源的各种系统软件组成。随着计算机的飞速发展，操作系统的愈来愈强，逐渐成为系统软件的核心。早期的操作系统用汇编语言编写，代码工作量非常大，现在众多的操作系统都由高级语言编写，设计的效率和周期都有了极大的提高。操作系统也朝着方便用户和更加人性化的方向发展，传统机器需在操作系统的管理下才能投入运行。

汇编语言机器使用汇编程序翻译成机器语言，用户用汇编语言编写的程序可以在计算

机上运行。

高级语言机器在高级语言的编译程序或者解释程序的翻译后变成汇编语言（或其他中间代码），所以用户用高级语言编写的程序也可以在计算机上运行。

应用语言机器指的是计算机具体应用到各领域中，根据不同的需求，用高级语言编写的专用程序。通常这些专用的程序也称为“应用软件包”。例如酒店管理系统软件包、飞机订票系统软件包、银行管理系统软件包。

从上面可以看出，在计算机层次结构的六层结构中，最下面的两层属于硬件，其他四层为软件，这反映了计算机软件的发展的过程。但是随着超大规模的集成电路的发展，一些软件的功能也可以由硬件来实现，例如在目前的操作系统中，部分的软件功能已由硬件来实现。当然这将极大地提高原有系统的性能。

1.1.3 冯·诺依曼计算机

1945年数学家冯·诺依曼和他的同事们在研究EDVAC机的过程中提出了一个影响计算机结构至今的新概念，这个新概念就是“存储程序”。以“存储程序”为基础构建的计算机被称之为冯·诺依曼机。冯氏体系计算机的主要特点为：

- (1) 计算机由五大部分组成：存储器、控制器、运算器、输入和输出设备。
- (2) 指令和数据都采用二进制表示。
- (3) 指令和数据都存放在存储器中，可以按地址访问。
- (4) 指令由操作码和地址码两部分组成：操作码表示所要进行的操作，地址码表示操作数的地址。

(5) 指令在存储器中按顺序存放，也按顺序执行，但是若有特殊要求可以设置条件改变指令的执行顺序。

(6) 计算机以运算器为中心，存储器和输入输出设备的数据传送要通过运算器来完成。

到现在为止，所使用的计算机绝大部分都是冯氏计算机，计算机的发展仍然没有脱离冯氏体系概念。当然，科学家也试图研究出新的体系概念的计算机，如生物计算机、神经元计算机等，并且已取得很大的成果。

1.2 计算机的组成单元

上节提到冯氏计算机主要由五个部分组成，传统计算机以运算器为中心，如图1-2所示。

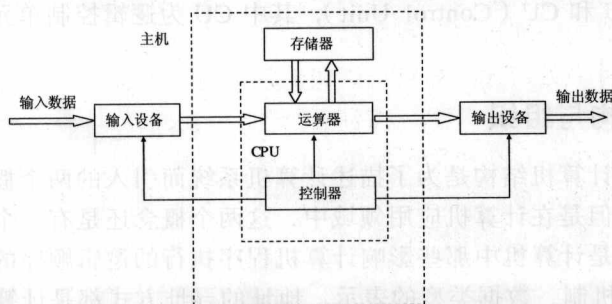


图 1-2 以运算器为中心的计算机结构图

图中实线为控制线，双实线为数据线。

随着计算机的发展，现代的计算机已发展为以存储器为中心，结构图如图 1-3 所示。

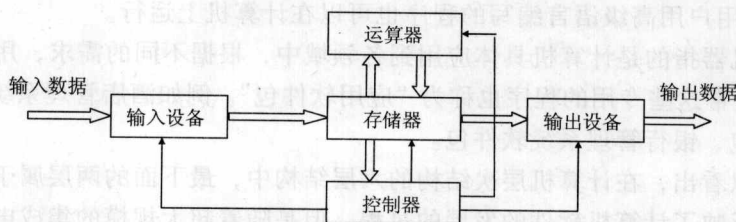


图 1-3 以存储器为中心的计算机结构图

下面详细介绍图中各部分：

(1) 运算器是用来完成算术运算和逻辑运算的部件，运算的中间结果暂存在运算器内。算术运算指的是加、减、乘、除四则运算，逻辑运算指的是对位的运算，运算器中有一个完成算术和逻辑运算的算术逻辑运算单元 ALU (Arithmetic Logic Unit)。除此之外，还要有存放参与运算的操作数和运算结果的寄存器。

(2) 存储器是用来存放程序和数据等各类信息的部件，存储器分为主存储器和辅助存储器。主存储器一般称为内存；辅助存储器有多种，如硬盘、光盘等。在计算机内运行的程序和数据一般存放在主存储器中，运算器从主存储器中调入程序和数据进行处理。辅助存储器可以增大计算机存储的容量；主存储器是计算机运算性能的一个重要指标，主存储器的容量越大，计算机的功能越强。

(3) 控制器是计算机的指挥中枢，用来控制程序和数据的运行并处理运算的结果，它向机内各个部件发出命令，调度支配各部件的行为，使之成为一个有机整体。

(4) 输入设备是用来向计算机输入信息的部件，它将外界信息转化为计算机能够识别接收的信息形式，常用输入设备有键盘和鼠标；由于数码电子的发展，现在也有很多的数码产品可以进行信息输入，如电子笔。

(5) 输出设备是用来完成计算机输出功能的部件，它将计算机的结果转化为人们熟悉的形式输出给用户。常用的输出设备有显示器、打印机等。

由于计算机的运算器和控制器关系非常之紧密，所以当大规模集成电路出现后，这两个部件被设计在同一块芯片上，即常说的 CPU，称之为中央处理器 (Central Processing Unit)。输入输出设备统称之为 I/O 设备 (Input/Output Equipment)。所以现代的计算机又可以视之为三大块组成：CPU、存储器和 I/O 设备，其中的 CPU 和存储器为主机部分。CPU 的核心部分是 ALU 和 CU (Control Unit)，其中 CU 为逻辑控制单元，用于控制计算机各部件的工作。

1.3 计算机的结构与组织

计算机的组织与计算机结构是为了描述计算机系统而引入的两个概念，目前这两个概念还很难准确定义，但是在计算机应用领域中，这两个概念还是有一个大概的描述。

计算机结构指的是计算机中那些影响计算机程序执行的逻辑顺序的系统属性。例如计算机的指令集、I/O 机制、数据类型的表示、地址的寻址方式都是计算机结构属性，它们对程序员是开放的，同时影响着程序的执行；计算机的组织指的是实现计算机结构属性的

具体单元以及这些单元之间连接方式。例如计算机硬件的实现细节、计算机的接口技术、计算机的控制等。

计算机的加减乘除四则运算的指令都属于计算机的结构属性，但是在计算机中如何实现这些指令则属于计算机组织属性，例如乘法运算既可以通过加法指令重复运算实现也可以通过乘法指令来实现。当然，至于选择哪种方式来实现，需要考虑实现的时间和空间代价，还有硬件实现的成本等因素。

由于相同的结构属性可以有不同的组织形式，所以在计算机的发展史中，常常可以看到生产计算机的厂商推出一系列型号的计算机，同一系列的计算机结构都相同只是组织不同而已。组织不同当然性能就有所不同，所以厂家在原来计算机的结构基础上通过改变组织提高性能，既可以增强市场的竞争力，同时又可以提高价格增加利润。例如 IBM 公司曾在 1964 年推出大型计算机或主机系统 IBM System/360 系列，并首次提出向上兼容的概念，这一系列机推出市场后大受欢迎。于是 IBM 在 360 体系的基础上，又推出了 IBM System/370 系列，这两个系列的体系结构相同，只是后者的性能改进了不少。由于这一系列机是向上兼容的，即与早先版本的产品兼容，使得软件商开发的软件产品可以在这些系列机上继续使用运行，这也使得软件商可以在原来的基础上不断完善推出更多更好的软件产品。兼容性计算机系列这个概念取得了巨大的成功，用户可以在原来的计算机的基础上增大内存和更换处理器来提高计算机的性能，并且不用在已开发的软件上再投资。因此 IBM System/370 系列又大获成功。随着电子技术的发展和用户对计算机的要求不断提高，IBM 在这一体系结构上演变发展了后来的许多系列。如图 1-4 所示，为 IBM 系列机体系结构的发展过程。

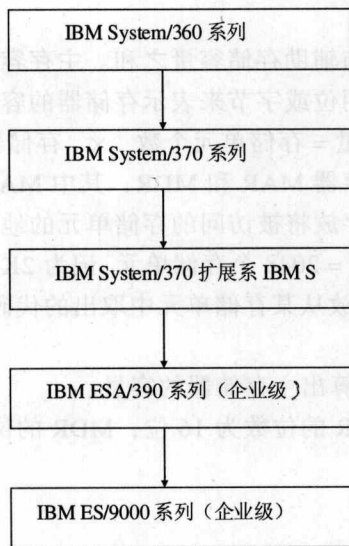


图 1-4 IBM 系列机体系结构发展图

但是在现代微型计算机的系统中，结构和组织越来越难区分，二者的关系越来越密切了。因为技术的更新往往不只给计算机的组织带来巨大的变化，而且也产生更丰富更强大的计算机结构。同时硬件技术的变革性发展使得兼容的周期也越来越短。例如现市场上流行的 DDR Ram 内存和前期流行的 SDRAM 内存二者使用的技术不同，导致不能兼容在同一台计算机中。所以伴随着技术的飞速发展，计算机的淘汰速度也是快得惊人。

1.4 计算机的性能指标

计算机的性能通常由以下几个指标来衡量。

1.4.1 机器字长

机器字长是指计算机的 CPU 能进行多少位二进制数的并行运算,其实也就是该计算机的运算器中有多少位。比如说某计算机的字长为 32 位,则表示该计算机每次能完成两个 32 位二进制数的计算。字长越长,能表示的数的范围就越大,运算精度就越高。因此计算机的字长影响计算机的性能。由于参与计算的操作数和运算的结果既可以放在运算器中的存储器内,也可以存放在主存储器中,所以机器的字长也称存储器的位数。通常字长的单位为位 (Bit),位是计算机中最小的信息单位,一个字节为 8 Bit,在现代计算机中一般用字节来表示机器的字长,机器的字长也一般都是 8 的倍数。

机器的字长直接影响到硬件的成本,也同时影响加法器、总线和存储器字长的位数。因此机器的字长与它的规模有一定的关系。早期的计算机根据机器字节的长度分为小型机、中型机、大型机和巨型机。其中小型机为 8~16 位,中型机为 16~32 位,大型机为 32~64 位,64 位以上的称为巨型机。随着计算的发展,许多在过去大型机和中型机中使用的技术逐渐应用到小型机上来,这种现象称之为“性能下移”。而且近年来这种现象越来越明显,自微机推出以来,微型计算机的机器字长已经从 1 位、4 位、8 位、16 位到 32 位,而且目前市场上的一些高端计算机已经是 64 位了。

1.4.2 寄存器容量

存储容量指的是主存容量与辅助存储容量之和。主存容量是由许多可以存放二进制代码的存储字构成的,因此可以用位或字节来表示存储器的容量:

$$\text{存储容量} = \text{存储单元个数} \times \text{存储器字长}$$

一般主存中都配备两个寄存器 MAR 和 MDR,其中 MAR (Memory Address Register) 为存储器的地址寄存器,用来存放将被访问的存储单元的地址,其位数对应存储单元的个数,例如 MAR 为 11 位,则有 $2^{11} = 2048$ 个存储单元,记为 2K;MDR (Memory Data Register) 为存储器的数据寄存器,用来存放从某存储单元中取出的代码或欲存入某存储单元的代码,它的位数等于存储器字长。

通过 MAR 和 MDR 可以计算出主存储器的容量。

例 1: 已知某计算机的 MAR 的位数为 16 位,MDR 的位数为 32 位,计算其主存储器的容量。

解:

MAR 的位数为 16 位

此存储器的存储单元为: $2^{16} = 65536$

(可以称之为 64K 内存)

MDR 的位数为 32 位

主存储器的容量 = 65536×32

$$= 2\text{M}$$