

高等院校计算机教育系列教材

0110 01 101 10 0 1
010 0101 010 011 01 0
0101100 01 01 010 0
011 01 01 010 0 01
010 0 010 100 0 00 10
100110101
010 0101 01
010 00 0
010
01 1
0001
0 0 1
01 0
0 0
001
0 10
0101



计算机组成 原理与系统结构

封超 编著

- 知识点新，突出实践教学，强化能力培养
- 理论知识+感性认识+动手实践，完美结合
- 内容简明扼要，突出知识要点
- 以实用为宗旨，实例丰富，用实例引导读者模仿学习

赠送
电子课件

清华大学出版社

高等院校计算机教育系列教材

计算机组成原理与系统结构

封 超 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容包括计算机中数据的表示,基本的运算方法与运算器的构成,中央处理器的指令系统、寻址方式及控制器等基础知识,以及构成计算机的其他组成部件(如总线、存储器、输入/输出技术与设备)。

本书共分为9章,第1章绪论主要介绍计算机的发展史以及计算机的基本组成和分类,第2章全面介绍计算机中的数据表示方法,包括数据编码、非数值数据的编码和检错与纠错编码。第3章包括定点数的运算方法、算术逻辑单元和浮点运算的方法。第4章着重讲解指令格式、存储及寻址方式、指令系统和精简指令集计算机。第5章讲解CPU的结构、指令系统设计、CPU执行指令的过程和CPU的部件设计等内容。第6章介绍流水线技术,包括流水线的性能分析、流水线中的相关、指令级并行和其他有关技术。第7章包括存储器的分类、主存储器、高速缓冲存储器、虚拟存储器等内容。第8章介绍输入/输出基本原理、中断方式、直接存储器存取、通道方式。第9章包括多机互连网络、对称多处理机系统、分布式共享存储器多机系统和多机系统其他结构形式等内容。综观全书,既有宏观的指导,也有微观细节的介绍;既有生动的实例讲解,也有典型经验的分享。

本书内容充实、简明扼要、重点突出,涵盖了计算机组成与结构的基本内容,并增加了一些新的内容。本书可作为高校理工科专业“计算机组成原理”或“计算机组成与系统结构”课程的教科书,也可作为从事计算机行业的一般工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与系统结构/封超编著. --北京:清华大学出版社,2012
(高等院校计算机教育系列教材)
ISBN 978-7-302-29619-5

I. ①计… II. ①封… 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. ①TP30

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第176932号

责任编辑:汤涌涛
封面设计:刘孝琼
责任校对:李玉萍
责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:24 字 数:583千字

版 次:2012年9月第1版 印 次:2012年9月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00元

前 言

本书是将“计算机组成原理”和“计算机系统结构”两门课的教材内容整合在一起构成的。原因在于先前的两门课的内容在许多地方是重复的，同时在新的教学计划中所分配的教学时间比较少，分成两门课实施起来困难较大，合成一门课更加适合于教学需求。

本书共分为 9 章，第 1 章绪论主要介绍计算机的发展史以及计算机的基本组成和分类，为后面章节做好铺垫。第 2 章全面介绍计算机中的数据表示方法，包括数据编码、非数值数据的编码和检错与纠错编码。第 3 章包括定点数的运算方法、算术逻辑单元和浮点运算的方法。第 4 章着重讲解指令格式、存储及寻址方式、指令系统和精简指令集计算机。第 5 章讲解 CPU 的结构、指令系统设计、CPU 执行指令的过程和 CPU 的部件设计等内容。第 6 章介绍流水线技术，包括流水线的性能分析、流水线中的相关、指令级并行和其他有关技术。第 7 章包括存储器的分类、主存储器、高速缓冲存储器、虚拟存储器等内容。第 8 章介绍输入/输出基本原理、中断方式、直接存储器存取、通道方式。第 9 章包括多机互连网络、对称多处理机系统、分布式共享存储器多机系统和多机系统其他结构形式等内容。综观全书，既有宏观的指导，也有微观细节的介绍；既有生动的实例讲解，也有典型经验的分享。

本书着重说明计算机组成与系统结构中的基本原理、基本概念和基本方法，以便读者在学完本书之后，能够牢固地掌握基础知识。本书并不注重具体工程问题的实现细节，其软硬件解决方案留待“微型计算机原理及接口技术”课去解决。

本书可作为高校理工科专业“计算机组成原理”或“计算机组成原理与系统结构”课程的教科书，也可作为从事计算机行业的一般工程技术人员的参考书。

在本书的编写过程中，作者努力将基本概念及基本方法阐述清楚，简明扼要，通俗易懂，重点突出，同时融作者多年教学实践中的体会与心得。尽管做了努力，但由于水平有限，错误及不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1	3.1.2 乘法运算	61
1.1 计算机的发展史	2	3.1.3 除法运算	69
1.1.1 发展经历	2	3.2 算术逻辑单元	74
1.1.2 摩尔定律	3	3.2.1 单元电路	74
1.2 计算机的基本组成	5	3.2.2 算术单元	77
1.2.1 硬件系统	5	3.2.3 运算器的结构	79
1.2.2 软件系统	8	3.3 浮点运算	80
1.3 计算机的分层组织结构	9	3.3.1 浮点加减运算	80
1.3.1 计算机分层结构形式	9	3.3.2 浮点乘除运算	83
1.3.2 计算机系统结构、 组成与实现	10	3.3.3 浮点运算的实现	86
1.4 计算机的分类及性能描述	12	3.4 课后练习	86
1.4.1 计算机的分类	12	第 4 章 指令系统	91
1.4.2 计算机的性能描述	14	4.1 指令格式	92
1.5 课后练习	21	4.1.1 概述	92
第 2 章 计算机中的数据表示	23	4.1.2 指令信息及格式	93
2.1 数据编码	24	4.1.3 指令设计	95
2.1.1 数值数据的编码	24	4.2 存储及寻址方式	99
2.1.2 数据的浮点表示	31	4.2.1 主存中的数据存储方式	99
2.1.3 BCD 码	37	4.2.2 寻址方式	99
2.2 非数值数据的编码	39	4.3 指令系统	108
2.2.1 ASCII 码	39	4.3.1 传送指令	108
2.2.2 汉字编码	41	4.3.2 算术运算指令	109
2.3 检错与纠错编码	44	4.3.3 逻辑运算指令	112
2.3.1 奇偶校验码	44	4.3.4 移位及循环移位指令	113
2.3.2 海明码	45	4.3.5 程序控制指令	114
2.3.3 循环冗余校验码	47	4.3.6 处理器控制指令	116
2.4 课后练习	49	4.3.7 串操作指令	116
第 3 章 运算方法与运算器	52	4.3.8 位操作指令	117
3.1 定点数运算	53	4.3.9 其他指令	118
3.1.1 加减运算	53	4.4 精简指令集计算机	118
		4.4.1 指令系统的从简到繁	118
		4.4.2 精简指令集计算机的 由来及特点	119

4.5 课后练习	120	6.5 其他有关技术	202
第 5 章 中央处理器	123	6.5.1 超标量处理机	202
5.1 CPU 的结构	124	6.5.2 超流水线处理机	203
5.1.1 CPU 的功能	124	6.5.3 超标量超流水线处理机	204
5.1.2 构成 CPU 的主要部件	124	6.5.4 超长指令字处理机	205
5.2 指令系统设计	127	6.6 课后练习	206
5.2.1 设计 CPU 的寻址方式	127	第 7 章 存储系统	208
5.2.2 指令的设计	128	7.1 存储系统概述	209
5.3 CPU 执行指令的过程	132	7.1.1 存储系统的层次结构	209
5.3.1 指令时序	132	7.1.2 存储器的分类	209
5.3.2 指令执行过程分析	135	7.1.3 存储器的性能指标	210
5.4 CPU 的部件设计	142	7.2 主存储器	212
5.4.1 熟悉部件的回顾	142	7.2.1 随机读写存储器	212
5.4.2 指令执行的详细说明	144	7.2.2 只读存储器	223
5.4.3 组合逻辑控制器设计	148	7.2.3 动态读写存储器	228
5.4.4 微程序控制器设计	150	7.2.4 主存储器校验	235
5.5 课后练习	163	7.2.5 其他存储器	240
第 6 章 流水线技术	166	7.3 高速缓冲存储器	244
6.1 概述	167	7.3.1 工作原理	245
6.1.1 流水线概述	167	7.3.2 替换算法	251
6.1.2 流水线的分类	169	7.3.3 主存与 Cache 内容的一致性问题	252
6.2 流水线的性能分析	172	7.3.4 Cache 性能分析	253
6.2.1 吞吐率	172	7.3.5 Pentium 的 Cache	255
6.2.2 加速比	175	7.4 虚拟存储器	256
6.2.3 效率	176	7.4.1 虚拟存储器的概念	256
6.3 流水线中的相关	178	7.4.2 虚拟存储器的管理	256
6.3.1 概述	178	7.4.3 几点说明	260
6.3.2 结构相关	179	7.4.4 Pentium 虚拟存储器	261
6.3.3 数据相关	181	7.5 课后练习	262
6.3.4 控制相关	183	第 8 章 输入/输出系统	265
6.3.5 流水线的中断处理	189	8.1 总线	266
6.3.6 带成功开销的流水线性能	191	8.1.1 概述	266
6.4 指令级并行	191	8.1.2 总线的信息传送	268
6.4.1 指令级并行概述	191	8.1.3 典型总线介绍	272
6.4.2 提高指令级并行的方法	193		

8.2 输入/输出基本原理	280	9.2.2 静态互连网络	328
8.2.1 外部设备	280	9.2.3 动态互连网络	332
8.2.2 程序控制输入/输出技术	302	9.3 对称多处理机系统	343
8.3 中断方式	306	9.3.1 对称多处理机的构成	343
8.3.1 中断的基本概念	306	9.3.2 多机系统的性能分析	346
8.3.2 中断优先级控制	309	9.3.3 对称多处理机系统 Cache 的 一致性	348
8.4 直接存储器存取	311	9.3.4 多处理机系统的 调度与负载平衡	355
8.4.1 DMA 概述	311	9.4 分布式共享存储器多机系统	361
8.4.2 DMA 的一般过程	313	9.4.1 分布式共享存储器多机 系统的结构	361
8.5 通道方式	314	9.4.2 CC-NUMA 系统	362
8.5.1 通道方式的特点	314	9.5 多机系统其他结构形式	364
8.5.2 通道的类型	315	9.5.1 大规模并行处理系统	364
8.5.3 通道的发展	315	9.5.2 集群系统	365
8.6 课后练习	316	9.5.3 向量处理机	368
第 9 章 多机系统	318	9.5.4 高性能计算机的发展	370
9.1 概述	319	9.6 课后练习	374
9.1.1 并行处理	319		
9.1.2 并行计算机分类	319		
9.2 多机互连网络	324		
9.2.1 互连函数	324		

第1章

绪论

本章主要描述计算机的发展历程和计算机的构成及性能，使读者在开始了解全书内容之前，首先对计算机有一个概念上的认识。

1.1 计算机的发展史

电子计算机的发明,无疑是人类科学技术发展史上最伟大的发明之一。计算机的出现深刻地影响了人类的精神文明和物质文明的发展。

在 20 世纪 70 年代前,电子计算机包括电子模拟计算机和电子数字计算机。前者是由模拟电子器件(如模拟加法器、减法器、乘法器、除法等)构成的,它早已完成了其历史使命,再无人提及。因此,本书中所讲述的是电子数字计算机,简称计算机。电子数字计算机是指能对用离散逻辑符号表示的数据或信息进行自动处理的电子装置。

1.1.1 发展经历

1. 第 0 代: 机械计算器

早在两千多年前,我们的祖先就发明了算盘,这是最简单实用的机械计算器。在漫长的历史中,算盘传遍了全世界,为人类社会的发展作出了巨大贡献。

近代,人们又发明了计算尺及手摇机械计算器。在电子计算机(机)普及之后,它们也逐步退出了历史的舞台。

2. 第 1 代: 电子管计算机

第 1 代计算机所处年代为 1946—1954 年。这一代计算机由电子管、电磁继电器等器件构成,主要使用机器语言编程,典型机器有 ENIAC、IBM701 等。

3. 第 2 代: 晶体管计算机

第 2 代计算机所处年代为 1955—1964 年。这一代计算机由晶体管、磁芯存储器等构成。在软件上有监控程序对计算机进行管理,并且开始使用高级语言编程。这个时期的计算机有很多种,如 IBM7030、Univac LARC 等。

4. 第 3 代: 集成电路计算机

第 3 代计算机所处年代为 1965—1974 年。这一代计算机由小规模及中规模集成电路芯片、多层印制电路板及磁芯存储器等构成。在软件上,高级语言迅速发展并出现了分时操作系统。在这个时期,计算机的应用领域不断扩展,开始向国民经济各个部门及军事领域渗透。典型机器如 IBM360、IBM370、DEC PDP-8 等。

5. 第 4 代: 超大规模集成电路计算机

1975—1990 年出现的是第 4 代计算机。这一代计算机利用大规模、超大规模集成电路构成,其主存也是由超大规模集成电路构成的半导体存储器实现的。这个时期的计算机在结构上有了很大的发展,在性能上有了很大的提高。

在这一时期,微细加工技术的发展、超净环境的实现,以及超纯材料的研制成功均推动着超大规模集成技术的发展,于是出现了依赖于这种技术的微型计算机、单片机等。

在硬件发展的同时,这一代计算机的软件也飞速发展,出现了许多著名的操作系统,

如 DOS、Windows、UNIX 等。

这一时期出现了一些典型的计算机，如 IBM3090、VAX9000 等。而这一时期应用最多也是最广的还是个人微型计算机，如 PC、苹果机等。

6. 第 5 代：高性能智能计算机

从 1991 年开始，进入了计算机发展的第 5 代，即采用超大规模、超高速集成电路构成的计算机。在结构上，计算机已从单处理器向多处理器发展，即使是微型机也采用多核处理器，目前常见的是双核处理器和四核处理器。用这样的多核处理器构成计算机可获得很高的性能。此前英特尔公司作出的一块芯片中内含 80 个核的多核处理器，用这样的一块 80 核处理器芯片构成的计算机的运算速度已超过每秒 1 万亿次。

可以想象，若用几百几千甚至上万块双核(或更多核)处理器芯片构成一台计算机，如集群系统，那么该计算机系统的性能将是非常高的。例如，目前用这种思路做出来的计算机系统，其运算速度可达到每秒 1600 万亿次。

第 5 代计算机不仅在速度等性能上不断提高，而且也更加人性化，包括能听、会看、会说等。

第 5 代计算机的发展必定对软件提出更高的要求，因此也必然会促使包括操作系统、应用软件等在内的各种软件的快速发展。

1.1.2 摩尔定律

1. 摩尔定律的由来

1965 年 4 月，《电子学》杂志刊登了戈登·摩尔(Gordon Moore)撰写的一篇文章。戈登·摩尔当时是飞兆半导体公司研发部门的主管。文章讲述了他如何将 50 个晶体管集成在一块芯片中，并且预言，到 1975 年，就可能将 6.5 万个这样的元件集成在一块芯片上，制成高度复杂的集成电路。

当时，集成电路问世才 6 年，摩尔的预测听起来不可思议。但那篇文章的核心思想——预测集成电路芯片内可集成的元件差不多每年可增加一倍——在后来的技术发展过程中被证明是正确的。现在，人们根据几十年走过的技术历程将“摩尔定律”描述为：集成电路芯片的集成度每 18 个月翻一番。经过了 40 多年，摩尔定律到今天依然有效，而且许多人确信该定律在未来很多年内仍将成立。

摩尔的预言不仅对他本人，而且对整个社会而言都是意义深远的。后来摩尔与他人共同成立了英特尔公司，并通过他所开创的技术创造了无数的财富。

摩尔定律并不是一个物理定律(定律是放之四海而皆准的)，而是一种预言，但它鞭策工业界不断地改进，并努力去实现它。从根本上来讲，摩尔定律是一种自我激励的机制，它让人们无法抗拒，并努力追赶。从人们认识摩尔定律开始，无论是英特尔公司、摩托罗拉公司还是其他的半导体器件公司，无一不是在不断地努力去实现摩尔定律，不断地推出集成度更高的产品。在 20 世纪 90 年代中期，英特尔利用 350nm 技术制造出集成度达 120 万的 80486。但很快，线宽就逐渐发展到 250nm、180nm、130nm、90nm、65nm。今天，半导体工业界已经可以用 45nm 的生产线制造处理器、DRAM 等器件，处理器的集成度已超过 10 亿。根据摩尔定律，芯片的集成度还会迅速提高。有人曾经说过，集成度提

高 100 倍, 则相对价格可以降低 100 倍, 性能可提高 100 倍, 可靠性也可以提高 100 倍。当然, 也许不一定是 100 倍, 但是, 随着集成度的提高, 性能及可靠性会大大提高, 价格会大大降低, 这是毋庸置疑的。正是摩尔定律使得计算机获得了日新月异的发展。

归根结底, 40 多年的实践证明摩尔定律有利于工业的发展及人类的需求。直至今日, 半导体工业还是按照 DRAM 每 18 个月、微处理器每 24 个月集成度翻倍的规律发展着。

如果按照旧有方式制造电路, 即将晶体管、电阻器和电容器安装在电路板上构成电子设备, 那么个人计算机、移动电话、计算机辅助设计等都是不可能问世的。

2. 摩尔定律的未来

2004 年以后, 半导体工业无论在技术上还是成本上面临的挑战都越来越激烈, 各种关键问题综合在一起, 而且几乎需要同时得到解决。如硅片尺寸的继续扩大, 新材料、新工艺和新电路结构的采用都使得工业制造难度显著提高。同时为了实现以上的要求, 固定资产的投入必然加大, 这就导致电路成本急剧增加且工业的风险程度明显上升。

晶体管是处理数字信号的微电子开关, 其中栅极用来打开或闭合晶体管, 而栅极介质是用来将栅极从电流通道隔离出来的绝缘体底层。过去数十年来, 芯片厂商一直采用二氧化硅来做栅极介质, 采用多晶硅做栅电极。但是, 使用现有的材料, 晶体管的尺寸缩小几乎已达到极限, 如英特尔在其 65nm 工艺技术中, 已经成功地将二氧化硅栅介质的厚度缩小至 1.2nm(相当于 5 个原子的厚度), 但是栅介质的漏电流也随之迅速增加, 这就导致功耗和发热等问题日益严重, 让芯片厂商头痛不已。

在最近研发的处理器中, 随着刻蚀线宽从 65nm 过渡到 45nm, 晶体管的尺寸越来越小, 其漏电及功耗问题越来越严重, 性能和功耗之间的平衡也越来越困难。这是过去近十年里摩尔定律遇到的最大的技术难题, 这就引起了人们的疑虑: 芯片的集成度还能继续增加吗? 摩尔定律是否已走到了尽头?

为了顺利地实现处理器工艺由现在的 65nm 向 45nm 的转变, 英特尔采用了新的基于铪的高 K 绝缘体材料, 用以取代二氧化硅和多晶硅两种化合物, 从而可以大大地减少电流的泄漏。英特尔认为, 新材料和新技术的使用可以提升处理器芯片的性能, 并能达到降低功耗、减小噪声和降低成本的要求。由于 45nm 晶体管远小于上一代晶体管, 因此, 晶体管开关所需电量也大为减少, 使晶体管功耗大约降低了 30%, 栅漏电流减少到 1/10 以下。随着晶体管新材料的改进, 既可以通过大幅提升 CPU 主频来实现更高性能, 也可以通过降低主频来提升能源效率。

同时, 微细加工技术的线宽仍在不断地减小, 目前生产线上所用的是 45nm, 而且 30nm 也已开始应用。据报道, 当前实验室所能做到的最小线宽为 9nm。最新发展的纳米技术使得制造性能更佳的计算机成为可能, 而这已经突破了硅技术所能达到的极限。这项新技术通过以碳为成分的纳米管来制造元件, 而纳米管的直径只有 10 个原子那么大, 是现在基于硅成分的晶体管体积的 1/500。

纳米技术的出现使得半导体工业向制造分子级电子设备的目标迈进了一大步。研究显示, 碳纳米管在性能上不会逊色于硅晶体管, 因为它们的体积要小得多, 所以有很大希望成为将来纳米电子技术的基础。纳米技术的前景非常广阔, 这样的技术会使摩尔定律得以

延续。

可以看到，新技术、新材料的出现，使芯片的集成度进一步提高成为可能。尽管集成度不可能无限地增加下去，但人们预计今后 10 年、20 年甚至 30 年，芯片的制造依旧会继续遵循摩尔定律。摩尔定律将会继续激励人们向更高的高度攀登。

1.2 计算机的基本组成

1.2.1 硬件系统

计算机是由硬件系统和软件系统两大部分组成的。硬件系统是指计算机中那些看得见、摸得着的物理实体。

1. 硬件组成

早期的计算机硬件结构如图 1-1 所示。

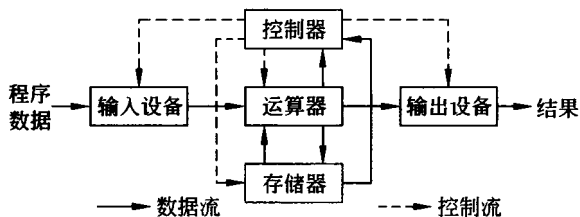


图 1-1 早期计算机硬件的组成

图 1-1 所示的计算机结构最早是由冯·诺依曼于 1946 年提出的。同时，在此硬件结构基础上，他还提出计算机的基本工作原理是依据存储程序和程序控制。这就是冯·诺依曼的计算机设计思想。

当时的计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 大部分构成。运算器用于实现算术运算和逻辑运算；控制器根据指令的功能产生相应的控制信号，控制其他部件的工作以便实现指令的功能；存储器用来存放数据和程序；输入设备可将外部的信息输入到计算机中；输出设备可将结果显示或记录下来。

2. 冯·诺依曼计算机的特点

冯·诺依曼计算机工作的基本思想，就是将计算机要处理的问题用指令编成程序，并将程序存放在存储器中。而后，在控制器的控制下，计算机从存储器中逐条地取出指令并予以执行，通过执行程序最终解决计算机所要处理的问题。尽管经历了几十年的发展，又出现了新的设计思想，但冯·诺依曼的这种思路直到今天仍然还在广泛地应用。

在冯·诺依曼计算机的工作过程中，总是一条指令接一条指令地执行，执行指令会产生控制流，在控制流的驱动下可完成指令的功能。在此过程中，数据(流)则是被动地调用。

冯·诺依曼计算机的另一个特点就是进入计算机的指令、数据及其他信息均是用二进制编码来表示的。采用二进制不仅电路简单、使用方便而且抗干扰性强。因此，二进制一

直沿用至今。

3. PC 的结构

计算机的发展已走过了 60 多年，尤其是最近 30 年，其发展更是日新月异。本书将会介绍一系列的计算机结构形式，从中可以看到，在过去的年代里计算机从最简单的冯·诺依曼计算机到现在都有哪些发展与改变，这些发展与改变是由什么原因引起的，是如何实现的，实现的依据又是怎样的。这些问题正是本书要呈现给用户的内容。

另外，应当特别提及的就是个人计算机(PC)。从 1981 年 PC 诞生以来，由于其规模小、结构简单，人们称其为微型计算机。在 30 多年的时间里，PC 一代接一代地发展，现在已遍布全世界。尽管现在 PC 的功能已十分强大，但人们仍然称之为微型计算机。目前用户所使用的、所看到的计算机绝大多数都是 PC。

早期 PC 的结构非常简单，其框图的简化形式为如图 1-2 所示。该框图也是那个年代微型计算机的基本结构形式。

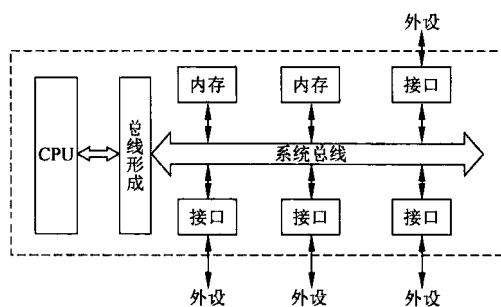


图 1-2 PC 结构框图

由图 1-2 可以看到，中央处理器(CPU)是将图 1-1 中的运算器(算术逻辑单元(ALU))和控制器(还有一些寄存器)集成在一块芯片中。在执行指令的过程中，它可以产生地址信号、数据信号和一系列控制信号，从而形成系统总线信号。图 1-2 中的内存也采用大规模集成的半导体存储器芯片构成，外设(包括输入设备、输出设备及外部存储器)均经过接口与系统总线相连接。因此，图 1-2 与图 1-1 已有很大的不同，它们是不同的时代的计算机。同时，处理器厂商将图 1-2 中用虚线框起的部分集成在一块芯片中，这就是单片微型计算机。

在摩尔定律的激励下，半导体集成电路，包括 CPU、半导体存储器、接口芯片以及外设所用到的芯片的集成度均以每 18~24 个月翻一倍的速度飞速发展。尤其值得说明的是 CPU，它也被简称为处理器。各处理器厂商不遗余力地开发研制出一代又一代、一种型号又一种型号的处理器产品。这里仅将英特尔公司的 80x86 系列处理器的发展历程列于表 1-1 中。由于本书篇幅的限制，表中并未列出各处理器的集成度及性能指标。在摩尔定律的支持下，过去用于大型计算机的许多技术被不断地运用到处理器的开发过程中，例如，超标量、超流水线、多级 Cache、虚拟技术、RISC、多机系统概念下的多核处理器等技术均已应用在近几年的处理器中。这些技术正是本书所要讨论的重要内容。

表 1-1 英特尔微处理器发展历程

年 份	产 品
1971	4004 微处理器
1972	8008 微处理器
1974	8080 微处理器
1978	8086~8088 微处理器
1982	80286 微处理器
1985	80386 微处理器
1989	80486 DX 微处理器
1993	Pentium 处理器
1995	Pentium Pro 处理器
1997	Pentium II 处理器
1998	Pentium Pro Xeon 处理器
1999	Celeron 处理器
	Pentium III 处理器
	Pentium III Xeon 处理器
2000	Entium 4 处理器
2001	Xeon 处理器
	Itanium 处理器
2002	Itanium 2 处理器
2003	Pentium M 处理器
2005	Pentium D 处理器
2006	Core 2 Duo 处理器(酷睿)

随着处理器性能的不不断提高，从 20 世纪 90 年代开始，PC 的结构发生了很大的变化，基本上是以主板芯片组为基础构成主板，而后插上相关的部件构成 PC。主板芯片组有 1~3 块芯片，经常采用 2 块，分别称为北桥和南桥。随着处理器的不断更新换代，芯片组也在不断地更新换代。一般是每开发出一种新的处理器，就会开发出与之相对应的芯片组。目前常见的 PC 主板结构如图 1-3 所示。

图 1-3 中，北桥芯片是主板芯片组中起主导作用的最重要的组成部分，也称为主桥。北桥芯片主要决定主板的规格、对硬件的支持以及系统的性能，它连接着 CPU、内存、AGP 总线。主板支持哪种处理器，支持何种显卡，支持什么频率的内存条，都是北桥芯片决定的。北桥芯片往往有较高的工作频率，所以发热量较大，故需要为北桥芯片加一个散热器。

南桥芯片主要决定主板的接口，该芯片所提供的各种接口(如串口、USB)、PCI 总线、串行 ATA(接硬盘、光驱)、PCI-E 总线(接声卡、RAID 卡、网卡等)，都归南桥芯片控制。

南、北桥间随时进行数据传递，需要一条通道，这条通道就是南北桥总线。南北桥总

线越宽，数据传输越便捷。

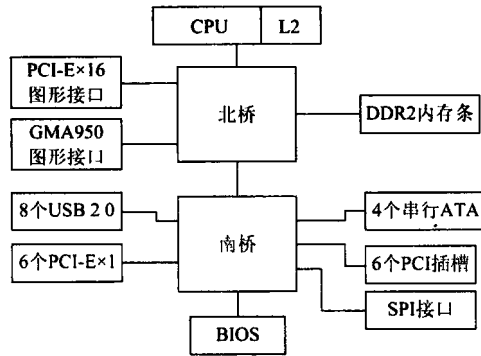


图 1-3 PC 主板结构

目前的北桥都支持双核甚至四核的高性能处理器。

随着技术的发展和摩尔定律的继续有效，PC 的这种双桥结构形式可望在不久的将来消失。到那时，处理器、北桥、南桥以至于内存条会集成在一块集成芯片中，构成所谓的片上系统(SOC)，也有人称之为系统芯片。届时，PC 可能只需要一块 SOC，在此芯片上接上外设即可。

1.2.2 软件系统

对计算机而言，如果只有上面提到的硬件系统，计算机是不能工作的，必须配上软件之后才能工作。

计算机软件通常是指计算机所配置的各类程序和文件。由于它们是存放在内存或外存中的二进制编码信息，不能直接触摸而且修改起来相对比较容易，故称为软件。在计算机系统中，各种软件相互配合，很好地支持计算机有条不紊地工作，这一系列软件就构成了计算机的软件系统。软件系统一般包括两大部分：系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是一系列保障计算机良好运行的程序的集合。它们的功能是对系统的各种资源(硬件和软件)进行管理和调度，使计算机能有条不紊地工作，为用户提供有效的服务，充分发挥其效能。系统软件包括操作系统、语言处理程序、通用程序和各種服务支持软件。

1) 操作系统

操作系统是最重要的系统软件，它是管理计算机硬件和软件资源，控制程序运行，改善人机交互并为应用软件提供支持的一种软件。通常，操作系统包括处理器管理、存储管理、文件管理、设备管理及作业管理五大功能。

2) 语言处理程序

每一台计算机都会配置多种语言以利于用户使用，从各种高级语言到汇编语言均会涉及。当用户使用某种语言编写程序后，在该语言处理程序的支持下，用户的源程序可被转换为目的程序。

3) 通用程序

最常见的通用程序如 Windows 下的 Word、PSW、Excel 等。

4) 各种服务支持软件

服务支持软件是指帮助用户使用和维护计算机的软件，如各种调试程序、诊断警告程序等。

2. 应用软件

应用软件是指用户在各自的应用中，为解决自己的有关问题而编写的程序。这是一类直接以满足用户的需求为目标的程序。由于用户的多样性(各行各业、各种部门)和用户需求的多样性，这类软件也具有多样性，例如，用于科学计算、信息管理、过程控制、武器装备等方面的应用软件。

1.3 计算机的分层组织结构

从前面介绍的内容可知，计算机是由硬件、软件系统构成的复杂的电子系统。不同的人从不同的角度、以不同的目的理解和描述的计算机是不一样的。本节将说明在不同的层次上对计算机的不同理解，以利于用户对本书后续内容的理解和掌握。

1.3.1 计算机分层结构形式

计算机的层次结构如图 1-4 所示。

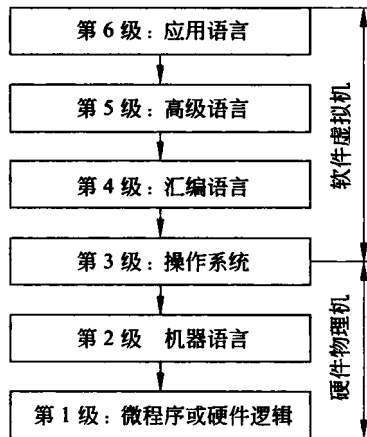


图 1-4 计算机的层次结构

从图 1-4 中可以看到，在第 1 级上是计算机的设计者所要描述和设计的计算机。设计者必须认真考虑计算机指令的设置和每条指令工作的细节，要考虑在硬件上如何实现算术及逻辑运算，同时还需决定这些指令是用硬件逻辑控制电路来实现，还是用微程序控制来实现。同时，从构成硬件物理计算机的角度也需要考虑内存、外存、I/O 接口及外设等一系列细节问题。

目前以至将来,第1级上的硬件设计主要是通过软件来实现的。

第2级为机器语言级。显然,指令系统的指令必须采用二进制编码。只有二进制编码所表示的指令,才能为第1级中的指令译码器所识别。由二进制码形成一系列的控制信号,完成指令的功能。

因此,无论是用什么语言写的程序,最终都必须编译为机器语言。显然,机器语言是针对具体硬件物理计算机的。对于不同的计算机,其机器语言也不相同。

第3级是操作系统级。如前所述,操作系统的功能是对整个系统的硬件、软件资源进行有效的管理。因此,在设计计算机时要考虑使其支持尽可能多的操作系统。例如,在处理器中设计虚拟存储器管理单元,必将对操作系统的存储器管理提供有力的支持。

同时,操作系统原则上是跨硬件平台的。也就是说,同一种操作系统可以装在使用不同的处理器的计算机中。但是,在操作系统的一些模块上是有特殊性的,操作系统要在哪台计算机上工作,就必须在哪些模块中使用该计算机的指令。

因此,就操作系统级来说,设计者不仅要了解有关硬件物理计算机,也要了解软件虚拟机。

第4级是汇编语言级。尽管汇编语言中的指令系统是针对特定计算机的,不同处理器(非系列机、系列机指令系统可兼容)的指令系统是不一样的,但是从利用汇编语言编写程序来使用计算机而言,程序设计者只需少量知晓一定数量的处理器中的寄存器,即可以利用汇编语言来编写程序。因此,第4级上的程序员无须知道更多的硬件细节。

第5级为高级语言级。此级上的用户为高级语言的程序设计者,以应用计算机为目的。由于高级语言是跨平台的,原则上讲它们可以在任何计算机上工作。高级语言程序由编译程序转换成计算机可执行的二进制代码,再由计算机执行。此级上的程序员通常可以不必理会计算机的硬件细节,只在虚拟计算机之下即可完成工作。

第6级为应用语言级。此级上的程序员可设计更适合于应用的、更接近自然语言的编程语言,使应用者在虚拟计算机下工作,更少地依赖硬件系统。

从上面介绍的应用与设计计算机的不同层次来说,本书的对象主要是研究与描述硬件物理计算机的前3级的工程技术人员。后面将会看到,计算机的硬件设计也是通过软件来实现的。

1.3.2 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构、计算机组成与计算机实现三者有密切的关系,但又各不相同,具有不同的概念。

1. 计算机系统结构

计算机系统结构是20世纪60年代提出的定义,即由程序员所看到的计算机系统的属性——概念性结构和功能特性。显然,不同层次上的程序员所看到的计算机系统的属性是不尽相同的。而且,如上所述,低的机器语言级别上的概念性结构及功能特性,可能是高级语言以上级别的程序员看不见的。在定义计算机系统结构的年代里,计算机的属性,即概念性结构及功能特性主要是指低层的硬件。今天的计算机系统结构所指的计算机的属性主要包括以下方面。