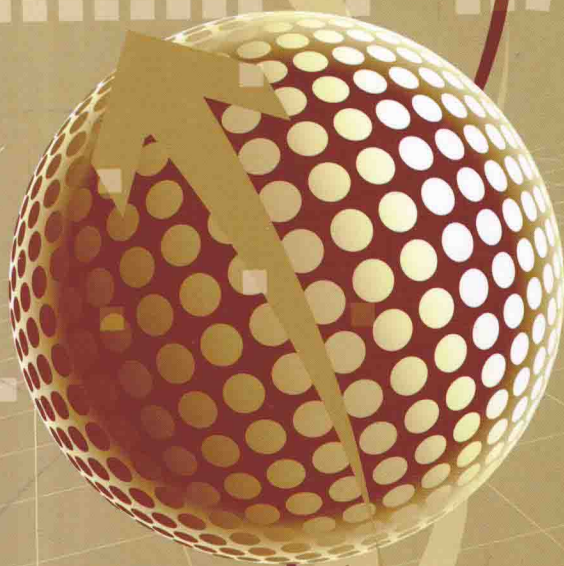


计算机组成原理

潘雪峰 刘智珺 周 方 李腊元 编 著



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

计算机组成原理

潘雪峰 刘智珺 周 方 李腊元 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

计算机组成原理是计算机硬件课程群中至关重要的一个环节,它是计算机专业的一门核心主干课程,在先导课程和后续课程之间起着承上启下的作用。通过本课程的教学,学生可以学到数字电路和逻辑设计的基本知识,掌握基本的计算机组成和运行机制方面的知识,奠定必要的专业知识基础,为下一步的学习和进一步提高实际工作水平做准备。

全书共8章,介绍了计算机的基本组成、计算机中的数据表示、运算方法和运算器、存储子系统、指令系统、中央处理器子系统、输入/输出设备、输入/输出技术。

本书可作为普通高等学校、大专院校的计算机、自动化、电子信息、通信、机电等专业的本、专科教材及教学参考书,也可供有关专业人员阅读。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/潘雪峰等编著. —北京:北京理工大学出版社,2016.1

ISBN 978-7-5682-1622-7

I. ①计… II. ①潘… III. 计算机组成原理 IV. ①TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第302529号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/11.5

字 数/279千字

版 次/2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

定 价/35.00元

责任编辑/王玲玲

文案编辑/王玲玲

责任校对/孟祥敬

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

在计算机组成原理的课程教学当中，学生不仅应该掌握计算机的组成，更要理解指令的执行过程。另外，计算机组成原理的学习不仅仅是硬件上的设计与分析，还应该包括数据在计算机中的表示、运算和存储。因此，计算机组成原理的课程教材，既要内容更新，也要注意重点应放在学以致用上。为此，我们根据多年的教学实践，编写了本书。本书具有立足于系统、面向应用、实用性强、适用面广等特点。

计算机组成原理全书共有 8 章：第 1 章概论由李腊元编写，第 2 章计算机中的数据表示由周方编写，第 3 章运算方法和运算器、第 5 章指令系统、第 6 章中央处理器子系统、第 7 章输入/输出设备由潘雪峰编写，第 4 章存储子系统、第 8 章输入/输出技术由刘智珺编写。

全书由潘雪峰老师统稿审定。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请批评指正。

编 者



CONTENTS 目录

第1章 概论	(1)
1.1 计算机的发展	(1)
1.1.1 发展经历	(1)
1.1.2 摩尔定律	(3)
1.2 计算机系统的组成	(4)
1.2.1 计算机的硬件系统	(4)
1.2.2 计算机的软件系统	(6)
1.2.3 硬件与软件的逻辑等价性	(7)
1.2.4 计算机系统的层次结构	(8)
1.3 计算机的特点和性能指标	(9)
1.3.1 计算机的工作特点	(9)
1.3.2 计算机的主要性能指标	(10)
1.3.3 计算机的分类	(11)
习题	(11)
第2章 计算机中的数据表示	(12)
2.1 数据编码	(12)
2.1.1 数值数据的编码	(12)
2.1.2 数据的浮点表示	(19)
2.1.3 BCD 码	(25)
2.2 非数值数据的编码	(27)
2.2.1 ASCII 码	(27)
2.2.2 汉字编码	(29)
习题	(31)
第3章 运算方法和运算器	(33)
3.1 定点补码加减运算	(33)
3.1.1 补码加法	(34)
3.1.2 补码减法	(34)
3.1.3 溢出概念与检测方法	(34)
3.2 加法器	(36)
3.2.1 全加器	(36)
3.2.2 十进制加法器	(36)



3.3 定点乘法运算	(37)
3.3.1 原码定点乘法	(37)
3.3.2 补码定点乘法	(38)
3.3.3 阵列乘法器	(40)
3.4 定点除法运算	(41)
3.4.1 原码除法	(41)
3.4.2 补码定点除法	(43)
3.5 定点运算器的组成与结构	(44)
3.5.1 逻辑运算	(44)
3.5.2 多功能算术逻辑部件 (74181)	(45)
3.5.3 运算器数据通路	(46)
3.5.4 定点运算器的基本结构及组成	(46)
3.6 浮点运算方法和浮点运算器	(47)
3.6.1 浮点加减法运算	(47)
3.6.2 浮点乘除法运算	(48)
3.6.3 浮点运算流水线	(49)
习题	(50)
第4章 存储子系统	(51)
4.1 存储系统概述	(51)
4.1.1 存储系统的层次结构	(51)
4.1.2 存储器的分类	(52)
4.2 半导体存储原理	(54)
4.2.1 静态存储单元与芯片	(54)
4.2.2 动态存储单元与芯片	(58)
4.2.3 动态存储器的刷新	(60)
4.2.4 半导体只读存储器与芯片	(61)
4.3 主存储器的组织	(64)
4.3.1 存储容量的扩展	(64)
4.3.2 主存储器与 CPU、系统总线的连接	(68)
4.4 高速缓冲存储器	(72)
4.4.1 Cache 在存储体系中的地位和作用	(72)
4.4.2 Cache 的结构及工作原理	(73)
4.4.3 替换策略	(76)
4.5 并行存储系统	(76)
习题	(79)
第5章 指令系统	(81)
5.1 8088/8086 的寻址方式	(81)
5.1.1 立即寻址方式	(82)
5.1.2 寄存器寻址方式	(82)



5.1.3	直接寻址方式	(83)
5.1.4	寄存器间接寻址方式	(84)
5.1.5	寄存器相对寻址方式	(85)
5.1.6	基址变址寻址方式	(86)
5.1.7	基址变址相对寻址方式	(86)
5.2	指令系统	(88)
5.2.1	数据传送指令	(88)
5.2.2	加减运算指令	(93)
5.2.3	乘除运算指令	(96)
5.2.4	逻辑运算和移位指令	(98)
5.2.5	转移指令	(103)
5.2.6	串操作指令	(111)
5.2.7	处理器控制指令	(114)
5.2.8	中断指令	(115)
	习题	(117)
第6章	中央处理器子系统	(119)
6.1	中央处理器的功能与组成	(119)
6.1.1	CPU 的功能	(119)
6.1.2	CPU 的基本组成	(120)
6.1.3	CPU 中的主要寄存器	(120)
6.1.4	操作控制器与时序产生器	(122)
6.2	指令周期	(122)
6.2.1	指令周期的基本概念	(122)
6.2.2	非访内指令的指令周期	(122)
6.2.3	取数指令的指令周期	(123)
6.2.4	存数指令的指令周期	(123)
6.2.5	空操作指令和转移指令的指令周期	(124)
6.2.6	用方框图语言表示指令周期	(124)
6.3	时序产生器和控制方式	(124)
6.3.1	时序信号的作用和体制	(124)
6.3.2	时序信号产生器	(125)
6.3.3	控制方式	(125)
6.4	微程序控制器	(126)
6.4.1	微命令和微操作	(126)
6.4.2	微指令和微程序	(127)
6.4.3	微程序控制器结构	(127)
6.5	微程序设计技术	(127)
6.5.1	微命令编码	(128)
6.5.2	微地址的形成方法	(128)



6.5.3 微指令格式	(129)
6.5.4 动态微程序设计	(130)
6.6 硬布线控制器	(130)
6.7 并行化及流水线技术	(132)
6.7.1 并行处理技术	(132)
6.7.2 流水 CPU 的结构	(132)
6.7.3 流水线中的主要问题	(133)
6.8 RISC 的硬件结构特点	(134)
6.9 指令集技术	(135)
6.10 动态执行技术	(137)
习题	(137)
第7章 输入/输出设备	(139)
7.1 外围设备	(139)
7.1.1 外围设备的一般功能	(139)
7.1.2 外围设备的分类	(140)
7.2 显示器	(140)
7.2.1 显示器的类型	(140)
7.2.2 显示器的技术指标	(142)
7.3 显卡	(144)
7.4 打印设备	(145)
7.5 输入设备	(149)
7.5.1 声音输入设备	(149)
7.5.2 图像输入设备	(150)
7.5.3 交互式输入设备	(150)
7.6 硬磁盘存储设备	(151)
7.6.1 磁记录原理与记录方式	(151)
7.6.2 硬磁盘机的基本组成和分类	(153)
7.6.3 硬磁盘驱动器和控制器	(153)
7.6.4 磁盘上信息的分布	(154)
7.6.5 磁盘存储器的技术指标	(154)
7.7 光盘存储设备	(155)
7.7.1 光盘的分类	(155)
7.7.2 常见的光盘存储设备	(156)
习题	(157)
第8章 输入/输出技术	(158)
8.1 概述	(158)
8.1.1 主机与外部设备的连接	(158)
8.1.2 总线类型与总线标准	(159)
8.1.3 接口功能	(162)



8.2 数据传送控制方式	(163)
8.2.1 直接程序传送方式与接口	(163)
8.2.2 中断方式与接口	(164)
8.2.3 DMA 方式与接口	(167)
习题	(169)
参 考 文 献	(171)

第1章

概 论

学习要求

了解大、中型计算机的典型结构，系列机和软件兼容的含义，计算机系统的多层次结构，实际机器和虚拟机器。理解计算机系统的含义，硬件与软件的关系，计算机中主要性能指标（基本字长、存储容量等）。掌握 CPU 和主机两个术语的含义，五大基本部件的功能。

1.1 计算机的发展

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 年代以前，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. 第一代计算机

第一代计算机从第一台计算机 ENIAC 问世到 20 世纪 50 年代末。这一时期计算机的主要特征是使用电子管作为电子器件，软件还处于初始阶段，使用机器语言与符号语言编制程序。

第一代计算机是计算机发展的初级阶段，其体积比较大，运算速度也比较低，存储容量不大。为了解决一个问题，所编制的程序也很复杂。这一代计算机主要用于科学计算。

2. 第二代计算机

第二代计算机是从 20 世纪 50 年代末到 60 年代初。这一时期计算机的主要特征是使用



晶体管作为电子器件，在软件方面开始使用计算机高级语言，为更多的人学习和使用计算机铺平了道路。

这一代计算机的体积大大减小，具有质量小、寿命长、耗电少、运算速度快和存储容量比较大等优点。因此，这一代计算机不仅用于科学计算，还用于数据处理和事务处理，并逐渐用于工业控制。

3. 第三代计算机

第三代计算机是从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代初期。这一时期计算机的主要特征是使用中、小规模集成电路（MSI，SSI）作为电子器件。在这一时期，操作系统的出现使计算机的功能越来越强，应用范围越来越广。

使用中、小规模集成电路制成的计算机，其体积与功耗都进一步减小，可靠性和运算速度等指标也得到了进一步提高，并且为计算机的小型化、微型化提供了良好的条件。在这一时期，计算机不仅用于科学计算，还用于文字处理、企业管理和自动控制等领域，出现了计算机技术与通信技术相结合的管理信息系统，可用于生产管理、交通管理和情报检索等领域。

4. 第四代计算机

第四代计算机是指用大规模与超大规模集成电路（LSI，VLSI）作为电子器件制成的计算机。这一代计算机各种性能都有了大幅度的提高，应用软件也越来越丰富，应用涉及国民经济的各个领域，已经在办公自动化、数据库管理、图像识别、语音识别和专家系统等众多领域大显身手，并且进入了家庭。

1971—1990 年，作为第四代计算机重要产品的微型计算机得到了飞速的发展，对计算机的普及起到了决定性的作用。

5. 第五代计算机

第五代计算机是指用甚大规模集成电路（ULSI）作为电子器件制成的计算机。1990 年后，计算机进入第五代，其主要标志有两个：一个是单片集成电路规模达 100 万晶体管以上；另一个是超标量技术的成熟和广泛应用。

计算机的应用有力地推动了国民经济的发展和科学技术的进步，同时也对计算机技术提出了更高的要求，从而促进了计算机的进一步发展。一方面，以超大规模集成电路为基础，未来的计算机将向巨型化、微型化、网络化与智能化的方向发展。其中“巨型化”并非指计算机的体积大，而是指计算机的运算速度更高、存储容量更大、功能更强。另一方面，新一代计算机将基于更新的光电子元件、超导电子元件或生物电子元件。光电子计算机由于传输的是光信号，其处理速度将得到大大提高，体积也会缩小；超导器件功耗极低，散热极少，其集成度是任何半导体芯片都无可比拟的；而生物电脑则利用遗传工程方法，以生物化学反应模拟人的机能处理大量复杂信息。

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350 nm技术制造出集成度达120万的80486。但很快,线宽就逐渐发展到250 nm、180 nm、130 nm、90 nm、65 nm。今天,半导体工业界已经可以用45 nm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 65 nm 工艺技术中,已经成功地将二氧化硅栅介质的厚度缩小至 1.2 nm (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 65 nm 过渡到 45 nm,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 65 nm 向 45 nm 的转变,英特尔采用金属钌制作具有高 K 特性的栅极绝缘材料,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 45 nm 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 45 nm,而且 30 nm 也已开始应用。据报道,当前实验室所能做到的最小线宽为 9 nm。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 计算机系统的组成

计算机系统是由计算机硬件和计算机软件组成的。计算机硬件 (Hardware) 是指构成计算机的所有实体部件的集合,通常这些部件由电路 (电子元件)、机械元件等物理部件组成。它们都是看得见摸得着的物体。软件 (Software) 主要是一系列按照特定顺序组织的计算机数据和指令的集合。1983 年,IEEE 对软件给出了一个较为全面的定义:软件是计算机程序、方法和规范及其相应的文档以及在计算机上运行时所必需的数据。软件是相对于机器硬件而言的。

1.2.1 计算机的硬件系统

尽管计算机已经发展了五代,有各种规模和类型,但是当前的计算机仍然遵循冯·诺依

曼早期提出的基本原理运行。冯·诺依曼原理的基本思想是：

①采用二进制形式表示数据和指令。指令由操作码和地址码组成。

②将程序和数据存放在存储器中，使计算机在工作时从存储器取出指令加以执行，自动完成计算任务。这就是“存储程序”和“程序控制”（简称存储程序控制）的概念。

③指令的执行是顺序的，即一般按照指令在存储器中存放的顺序执行，程序分支由转移指令实现。

④计算机由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成，并规定了五部分的基本功能。

冯·诺依曼原理的基本思想奠定了现代计算机的基本架构，并开创了程序设计的时代。采用这一思想设计的计算机被称为冯·诺依曼机，它有五大组成部件，如图1-1所示。原始的冯·诺依曼机在结构上是以运算器为中心的，但演变到现在，电子数字计算机已经转向以存储器为中心。

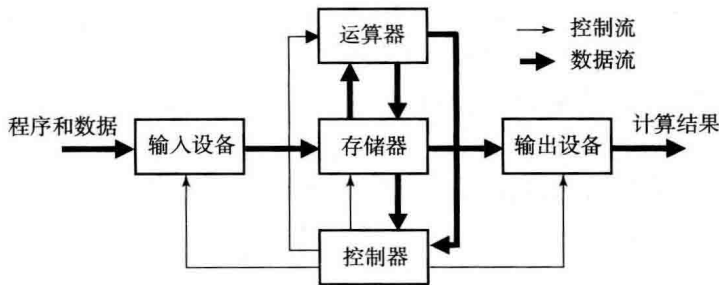


图 1-1 计算机的组成部件

在计算机的五大部件中，运算器和控制器是信息处理的中心部件，所以它们合称为“中央处理单元”（Central Processing Unit, CPU）。存储器、运算器和控制器在信息处理中起主要作用，是计算机硬件的主体部分，通常被称为“主机”。而输入（Input）设备和输出（Output）设备统称为“外部设备”，简称为外设或 I/O 设备。

（1）存储器

存储器（Memory）是用来存放数据和程序的部件。对存储器的基本操作是按照要求向指定位置存入（写入）或取出（读出）信息。存储器是一个很大的信息储存库，被划分成许多存储单元，每个单元通常可存放一个数据或一条指令。为了区分和识别各个单元，并按指定位置进行存取，给每个存储单元编排了一个唯一对应的编号，称为“存储单元地址”（Address）。存储器所具有的存储空间大小（即所包含的存储单元总数）称为存储容量。

通常存储器可分为两大类：主存储器和辅助存储器。主存储器能直接和运算器、控制器交换信息，它的存取时间短但容量不够大；由于主存储器通常与运算器、控制器形成一体组成主机，所以也称为内存储器。辅助存储器不直接和运算器、控制器交换信息，而是作为主存储器的补充和后援，它的存取时间长但容量极大；由于辅助存储器常以外设的形式独立于主机存在，所以也称为外存储器。

主存储器主要由存储体、存储器地址寄存器（Memory Address Register, MAR）、存储器数据寄存器（Memory Data Register, MDR）以及读写控制线路构成。

（2）运算器

运算器是对信息进行运算处理的部件。它的主要功能是对二进制编码进行算术（加减



乘除)和逻辑(与或非)运算。运算器的核心是算术逻辑运算单元(Arithmetic Logic Unit, ALU)。运算器的性能是影响整个计算机性能的重要因素,精度和速度是运算器重要的性能指标。

(3) 控制器

控制器是整个计算机的控制核心。它的主要功能是读取指令、翻译指令代码并向计算机各部分发出控制信号,以便执行指令。当一条指令执行完以后,控制器会自动地去取下一条将要执行的指令,依次重复上述过程直到整个程序执行完毕。

(4) 输入设备

人们编写的程序和原始数据是经输入设备传输到计算机中的。输入设备能将程序和数据转换成计算机内部能够识别和接受的信息方式,并顺序地把它送入存储器中。输入设备有许多种,例如键盘、鼠标、扫描仪和光电输入机等。

(5) 输出设备

输出设备将计算机处理的结果以人们能接受的或其他机器能接受的形式送出。输出设备同样有许多种,例如显示器、打印机和绘图仪等。

由图1-1可知,计算机各部件之间的联系是通过两种信息流实现的。粗线代表数据流,细线代表指令流。数据由输入设备输入,存入存储器中;在运算过程中,数据从存储器读出,并送入运算器进行处理;处理的结果再存入存储器,或经输出设备输出;而这一切则是由控制器执行存于存储器的指令实现的。

1.2.2 计算机的软件系统

计算机软件(Software)是指能使计算机工作的程序和程序运行时所需要的数据,以及与这些程序和数据有关的文字说明和图表资料,其中文字说明和图表资料又称为文档。软件也是计算机系统的重要组成部分。相对于计算机硬件而言,软件是计算机的无形部分,但它的作用很大。如果只有好的硬件,没有好的软件,计算机不可能显示出它的优越性能。

计算机软件可以分为系统软件和应用软件两大类。系统软件是指管理、监控和维护计算机资源(包括硬件和软件)的软件。系统软件为计算机使用提供最基本的功能,但并不针对某一特定应用领域。而应用软件则恰好相反,不同的应用软件根据用户和所服务的领域提供不同的功能。

目前常见的系统软件有操作系统、各种语言处理程序、数据库管理系统以及各种服务性程序等。

1. 操作系统

操作系统是最底层的系统软件,它是对硬件系统功能的首次扩充,也是其他系统软件和应用软件能够在计算机上运行的基础。

操作系统实际上是一组程序,它们用于统一管理计算机中的各种软、硬件资源,合理地组织计算机的工作流程,协调计算机系统各部分之间、系统与用户之间、用户与用户之间的关系。由此可见,操作系统在计算机系统中占有非常重要的地位。通常,操作系统具有5个方面的功能:存储管理、处理器管理、设备管理、文件管理和作业管理。

2. 语言处理程序

人们要利用计算机解决实际问题，首先要编制程序。程序设计语言就是用来编写程序的语言，它是人与计算机之间交换信息的渠道。

程序设计语言是软件系统的重要组成部分，而相应的各种语言处理程序属于系统软件。程序设计语言一般分为机器语言、汇编语言和高级语言三类。

机器语言是最底层的计算机语言。用机器语言编写的程序，计算机硬件可以直接识别。

汇编语言是为了便于理解与记忆，将机器语言用助记符号代替而形成的一种语言。

高级语言与具体的计算机硬件无关，其表达方式接近于被描述的问题，易为人们所接受和掌握。用高级语言编写程序要比低级语言容易得多，并大大简化了程序的编制和调试，使编程效率得到大幅度的提高。高级语言的显著特点是独立于具体的计算机硬件，通用性和可移植性好。

3. 数据库管理系统

随着计算机在信息处理、情报检索及各种管理系统中应用的发展，要求大量处理某些数据，建立和检索大量的表格。如果将这些数据和表格按一定的规律组织起来，可以使得这些数据和表格处理起来更方便，检索更迅速，用户使用更方便，于是出现了数据库。数据库就是相关数据的集合。数据库和管理数据库的软件构成数据库管理系统。

数据库管理系统目前有许多类型。例如关系数据库有 Access、Sybase、Oracle、SQL Server 和 DB2 等。

4. 服务程序

常见的服务程序有编辑程序、诊断程序和排错程序等。

应用软件是指除了系统软件以外的所有软件，它是用户利用计算机及其提供的系统软件为解决各种实际问题而编制的计算机程序。由于计算机已渗透到了各个领域，因此，应用软件是多种多样的。常见的应用软件有：用于科学计算的程序包，字处理软件，计算机辅助设计、辅助制造和辅助教学软件，图形软件等。例如文字处理软件 Word、WPS 和 Acrobat，报表处理软件 Excel，软件工具 Norton，绘图软件 AutoCAD、Photoshop 等。

1.2.3 硬件与软件的逻辑等价性

现代计算机不能简单地被认为是一种电子设备，而是一个十分复杂的由软、硬件结合而成的整体。而且，在计算机系统中并没有一条明确的关于软件与硬件的分界线，没有一条硬性准则来明确指定什么必须由硬件完成，什么必须由软件来完成。因为，任何一个由软件所完成的操作也可以直接由硬件来实现，任何一条由硬件所执行的指令也能用软件来完成。这就是所谓的软件与硬件的逻辑等价。

例如，在早期计算机和低档微型机中，由硬件实现的指令较少，像乘法操作，就由一个子程序（软件）去实现；但是，如果用硬件线路直接完成，速度会很快。另外，由硬件线路直接完成的操作，也可以由控制器中微指令编制的微程序来实现，从而把某种功能从硬件



转移到微程序上。另外，还可以把许多复杂的、常用的程序硬件化，制作成所谓的“固件”（Firmware）。固件是一种介于传统的软件和硬件之间的实体，功能上类似于软件，但形态上又是硬件。对于程序员来说，通常并不关心究竟一条指令是如何实现的。

微程序是计算机硬件和软件相结合的重要形式。第三代以后的计算机大多采用了微程序控制方式，以保证计算机系统具有最大的兼容性和灵活性。用微指令编写的微程序从形式上看，与用机器指令编写的系统程序差不多。微程序深入到机器的硬件内部，以实现机器指令操作为目的，控制着信息在计算机各部件之间流动。微程序也基于存储程序的原理，把微程序存放在控制存储器中，所以也是借助软件方法实现计算机工作自动化的一种形式。

这充分说明软件和硬件是相辅相成的。一方面，硬件是软件的物质支柱，正是在硬件高度发展的基础上才有了软件的生存空间和活动场所；没有大容量的主存和辅存，大型软件将发挥不了作用；而没有软件的“裸机”也毫无用处，等于没有灵魂的人的躯壳。另一方面，软件和硬件相互融合、相互渗透、相互促进的趋势正越来越明显。不但硬件软化（微程序即是一例）可以增强系统功能和适应性，而且软件硬化能有效发挥硬件成本日益降低的优势。随着大规模集成电路技术的发展和软件硬化的趋势，软硬件之间明确的划分已经显得比较困难了。

1.2.4 计算机系统的层次结构

1. 多级组成的计算机系统

由于硬件设计师、软件程序员以及计算机用户都从不同的角度，以不同的语言来对待同一个计算机系统，所以，又可以把计算机系统看成是由多个不同的层次（级）的组合，每个层次都能进行程序设计，如图1-2所示（可以把硬件组成的实体看成第0层）。

第1层，微程序设计层。这是一个实在的硬件层，它由机器硬件直接执行微指令。它是计算机硬件设计师所见到的计算机。

第2层，机器语言层。这也是一个硬件层，它由微程序解释机器指令系统。

第3层，操作系统层。它由操作系统程序实现。这是计算机系统的操作者和管理员所见到的计算机系统。

第4层，汇编语言层。它给程序员提供一种符号形式的语言，以降低程序编写的复杂性。这一层由汇编程序支持和执行。

第5层，高级语言层。它面向用户，为方便用户编写应用程序而设置。这一层由各种高级语言编译程序支持和执行。

从图1-2中可以看出，除第1层外，其他各层都得到了它下层的支持。用层次的观点认识计算机，对于掌握计算机的组成结构和体系非常有帮助，而且，用这种层次结构设计计算机，对保证产生一个良好的系统结构也是很有帮助的。

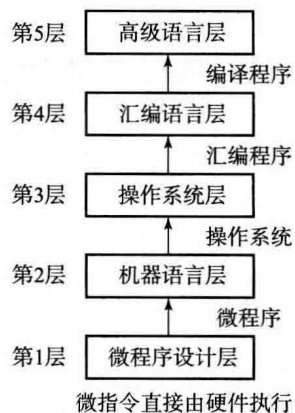


图1-2 计算机系统的层次结构