

第 1 篇 概 论

电子数字计算机是一种能够自动、高速、精确地对各种信息进行处理的现代化的电子设备。现代的计算机种类很多，小到单片机大到超级计算机，都可以称为计算机。但它们在成本、尺寸、性能和应用上差别非常大而且计算机技术的发展速度相当快，这些发展表现在计算机技术的各个方面，从用于构成计算机部件的低层集成电路技术到越来越广泛采用的这些部件组合的并行组织的概念。尽管如此，有关计算机组成的一些基本概念始终在被采用。本书的目的就是深入地讨论这些基本原理，并将它们应用到当代计算机的设计问题中去。内容包括：计算机基本部件的构成和组成方式，基本运算的操作原理和单元的设计思想、操作方式及其实现等。

本篇介绍有关计算机系统的一些基本概念、有关术语，计算机系统的组成概貌及工作原理，旨在使读者能对计算机系统有概括了解，初步建立计算机系统的整体概念，为深入学习以后各章打下基础。

第 1 章简要介绍计算机的发展历史和应用。第 2 章简单介绍计算机系统的组成及工作原理。

第 1 章 计算机的发展和应用

1.1 计算机的发展史

世界上第一台电子计算机诞生于 1946 年 2 月 15 日，它是美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电机系莫克利 (J. Mauchly) 教授及其同事们研制成功的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer 电子数值积分和计算机)。ENIAC 采用十进制运算，电路结构十分复杂，使用 18 000 多个电子管，运行时耗电量达 150 kW，体积庞大，占地面积为 1 500 ft²^①，重达 30 t，每秒可进行 5 000 多次加法运算。ENIAC 的出现标志着人类计算工具进入了一个新的时代，是人类文明发展史中的一个里程碑。

从第一台电子计算机问世至今仅仅半个世纪，计算机已经使人类社会从制造业社会发展到了信息化社会。它改变了社会的结构，也促使人们的工作和生活方式发生了惊人的变化，成为科技发展的最有影响的商品；并且它还将继续预示着未来世界的变化，使数千年人类文明史中曾经有过的各种神话般的幻想逐渐变为现实。

从第一台计算机问世以来，计算机的生产技术发展异常迅速，在推动计算机硬件发展的各种因素中，电子逻辑器件的发展是起决定作用的因素。因此，计算机的发展史常以器件来划分。

^①目前在计算机科学与技术领域仍沿用一些英制单位。

1.1.1 第一代电子管计算机(1946~1957年)

它是将电子管和继电器存储器用绝缘导线连在一起,由单个 CPU 组成。CPU 用程序计数器和累加器完成定点运算,采用机器语言或汇编语言,用 CPU 程序控制 I/O。代表性系统有上面提到的 ENIAC、冯·诺依曼(Von Neumann)与他的同行们设计的存储程序的计算机 IAS 以及 IBM701 计算机等。中国科学院数学研究所从 1952 年起开展一些小规模计算机的研究工作。1958 年在中国科学院、有关工业部门和国防单位的通力合作下研制成了“八一”型通用电子管计算机(又称 103 机)这是我国第一台电子计算机。

1.1.2 第二代晶体管计算机(1958~1964年)

电子计算机的第一次主要改进是用晶体管代替了电子管。晶体管于 1947 年在贝尔实验室发明。它的小体积、低耗电以及载流子的高速运行的特点,使电子管望尘莫及。进入 50 年代后,全球出现了一场以晶体管代替电子管的革命。计算机性能有了很大提高,采用了更复杂的算术逻辑部件和控制单元,使用了高级语言编程,为计算机提供了系统软件。代表性的系统有 IBM7094、CDC1604 和 DEC 公司 PDP-1 计算机等。IBM7094 与 IBM701 相比,主存容量从 2 k 字增加到 32 k 字,存取周期从 30 μ s 下降到 1.4 μ s,操作码数目从 24 增加到 185,运算速度从每秒上万次提高到每秒 50 万次。

1.1.3 第三代集成电路计算机(1965~1971年)

单个独立封装的晶体管称为分立元件。分立元件分开制造,封装在它自己的容器中,然后再焊接或连接到电路板上,最后安装到计算机中。这是一个复杂、费时、容易出错的过程。第二代早期的计算机大约包含 10 000 个晶体管,后来增加到数十万,这使得生产更新的、更强大的计算机变得越来越困难。

经过分析发现,计算机的基本器件必须完成存储、传送、处理、控制等功能,而要完成这些功能,两个基本类型的元件——门和存储位元是必需的。门是实现布尔或逻辑功能的元件;存储位元是一个能够存储一位数据的元件,它在任何时刻可能处于两个稳定状态之一。将大量的这些基本元件连接起来,就能够建造一台计算机。因此,计算机包含门、存储位元和它们之间的互连结构。而这些门和存储位元又都是由晶体管、电阻、电容等连接而成。集成电路制作技术即利用光刻技术把晶体管、电阻、电容等构成的单个电路制作在一块硅片上(如几个平方微米),起初,只有几个门和存储位元,可以可靠地制造并封装在一起。随着时间的推移,实现了将成百上千个这样的门电路全部制作在一小块的硅片上(如几个平方毫米),并引出与外部连接的引线。集成电路的出现,大大缩小了计算机的体积,降低了耗电量,极大地提高了机器的可靠性和速度。这就是人们称为小规模集成电路(SSI)和中规模集成电路(MSI)的第三代计算机。

在第三代计算机中,微程序控制开始普及,采用了流水线、高速缓存和先行处理机,软件方面采用多道程序设计和分时操作系统,代表性的机器有 IBM 公司的 System/360 和 DEC 公司的 PDP-8。

为了适应新的集成电路技术的发展,IBM 公司在 1964 年推出 System/360 时,打破了原晶体管计算机 7000 系列在体系结构方面的一些约束,将原结构进行了改进,使得 IBM 的客户在转型时遇到一些困难,影响了它的销售;但是很快这一局面就得到了改善,最终使它占领了大约 70% 的市场份额。经过一些改动和扩展,360 至今仍是 IBM 大型机的体系结构。

System/360 是工业上第一个系列计算机的发展计划。在 System/360 系列计算机中,有各

种不同型号的计算机 如 Model30、Model40、Model50……它们的基本指令系统相同 基本体系结构相同。由于推出的时间不同，各个型号所采用的器件可能不同，因此在结构和性能上有所差异。一般随着机器档次的提高，机器的速度、存储容量、I/O 端口的数量以及价格都有所增长。但是系列计算机的软件是兼容的，在低档机上运行的各种软件，可以不加任何修改在高档机上运行。

System/360不仅支持了 IBM 的未来发展，而且对整个计算机工业有深远的影响，它的许多特点成为其他大型机的标准。

DEC公司的 PDP-8 也于 1964 年推出。它采用总线结构（如图 1.1）结构灵活 允许将 I/O 模块插入总线以形成各种配置。PDP-8 以它的低价格、体积小创造了小型机的概念 吸引了不少用户 使 DEC 公司成为继 IBM 公司之后的第二大计算机制造商（最大的小型机制造商）

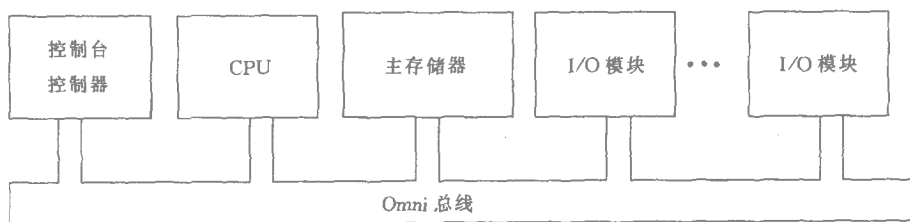


图 1.1 PDP-8 总线结构

1.1.4 以后的几代计算机

从第三代计算机之后，人们没有达成定义新一代计算机的一致意见。表 1.1 列出了器件对计算机更新换代的影响。

表 1.1 计算机的发展阶段

发展阶段	大致时间(年)	技术	典型速度(每秒钟的操作次数)
1	1946~1957	电子管	40 000
2	1958~1964	晶体管	200 000
3	1965~1971	小规模和中规模集成	1 000 000
4	1972~1977	大规模集成	10 000 000
5	1978~	超大规模集成	100 000 000

随着计算机技术的高速发展，计算机产品迅速更新，软件和通信变得和硬件同等重要，各代之间的界限变得越来越模糊和没有意义。实际上，从 20 世纪 70 年代以后 计算机技术领域的主要变化，可以归结于新发展的商业应用。计算机不再单纯当作一种高级计算工具，而成为一门独立的学科迅猛发展，正在影响和改变着人类的生活方式。在计算机的发展中有两项技术对计算机的发展起了重要的作用，这就是半导体存储器和微处理器。

20 世纪 60 年代 所有计算机的存储器都是由微小的铁磁体环 称为磁芯 制成 每个直径为 1/6 in，这些小环吊在计算机内用细线做成的网络上。从一个方向磁化，一个磁心代表一个 1 从另一个方向磁化 它代表一个 0 磁化该存储器的速度非常快，读存储器中一位只需百万分之一秒。但是价格昂贵、体积大，而且读出是破坏性的，一次读磁芯操作会擦除它存储的数据，因此读出后必须有恢复数据的电路。

1970 年，利用集成电路技术，Fairchild 生产出第一个半导体存储器芯片。这块芯片相当

于单个磁芯的大小 却能保存 256 位二进制信息 非破坏性读出 比磁芯的速度快 但每位的价格高于磁芯。到 1974 年, 每一位半导体内存的价格开始低于磁芯。以后, 存储器的价格持续快速下跌 而且物理内存的密度也相应增加 这导致新的机器比几年前的机器更小、更快 内存更大而且价格更便宜。

从 1970 年起 半导体内存经历了 1 kb、4 kb、16 kb、64 kb、256 kb、1 Mb、4 Mb、16 Mb 和 64 Mb 几个阶段。每个阶段都比过去提高了 4 倍的容量, 而每位价格和访问时间都有所下降。

集成电路技术把计算机的控制单元和算术逻辑单元集成到一个芯片上, 制成了微处理器芯片。1971 年 美国 Intel 公司 31 岁的工程师霍夫研制成世界上第一个 4 位的微处理器芯片 4004 集成了 2 300 个晶体管。4004 能完成两个 4 位数相加, 能通过重复相加完成乘法。随后 微处理器经历了 4 位、8 位、16 位、32 位和 64 位几个阶段, 芯片的集成度和速度都不断提高。从最初一个晶片只能集成上千个晶体管的中、小规模集成电路 (MSI) 发展到能容纳百万个以上晶体管的超大规模集成电路 (VLSI)。

随着微处理器芯片和存储芯片的出现, 微型计算机也问世了。如 1971 年用 4004 微处理器制成的 MCS-4 微型计算机。70 年代中期, 8 位微处理器 8008、8080、R6502、M6800、Z80 等相继出现 并用 R6502 制成了 Apple II 微型计算机 用 Z80 制成了 CROMEMCO 80 微型计算机等。

在微型计算机的发展中, 最值得一提的是世界上第一大微处理器制造商 Intel, 它的产品从世界上第一个 8 位通用微处理器 8080(1974 年问世) 准 16 位微处理器 8088/8086(外部 8 位)、16 位微处理器 80286(1982 年主频 6 MHz)、32 位微处理器 80386(1985 年主频 12.5 MHz、33 MHz、50 MHz)、80486(1989 年主频 25 MHz、33 MHz、50 MHz) 到 64 位微处理器 Pentium(80586)(1993 年主频 66 MHz、100 MHz)、PentiumPro(1995 年主频 133 MHz、150 MHz、200 MHz)、Pentium II(1997 年主频 233 MHz、300 MHz、400 MHz、450 MHz) 以至 1999 年问世的 Pentium III(主频 450 MHz、500 MHz、550 MHz、600 MHz)。自从 1979 年 Intel 公司推出 X86 后, 几乎每三年处理器的性能就能提高 4~5 倍。但是, 计算机中的一些其他部件的性能的提高速度还达不到这个水平。因此, 必须不断调整计算机的组成和结构, 以解决不同部件之间的性能不匹配问题。影响它们之间性能不匹配的主要因素是处理器与主存之间的接口和处理器与外设之间的接口。

处理器与主存之间的接口是整个计算机最重要的数据通路。因为它要负责主存与处理器之间指令和数据的传送, 如果主存或主存与处理器之间的传送跟不上处理器的要求, 就会使处理器处于等待状态。为此, 可加宽数据总线的宽度, 在主存和处理器之间设置高速缓冲存储器 Cache 并发展成片内 Cache 和分级 Cache 采用高速总线和分层总线来缓冲和分流数据 从而提高处理器和存储器之间的连接带宽。

处理器和外设之间也存在大量的数据传送要求, 可通过各种缓冲机制、加上高速互联总线以及更好的总线结构来解决它们之间的不匹配问题。

总之, 计算机的设计者们必须不断平衡处理器、主存、I/O 设备和互联结构之间的数据吞吐率和数据处理的需求, 使计算机的性能越来越好。

此外, 随着大规模集成电路的飞速发展, 巨型机、工作站、计算机网络都有了很大发展 这将在其他课程中讨论。

1.2 计算机的应用

自ENIAC问世到70年代初,计算机一直被作为大学和研究机构的娇贵设备,对环境条件要求比较高。到20世纪70年代中期后,大规模集成电路技术日趋成熟,微处理器芯片上集成的晶体管数一直按每三年翻两番的 Moore 定律增长,微处理器的性能也按此几何级数提高,而价格却以同样的几何级数下降。除了计算机价格猛跌外,计算机软件技术日趋完善,人们在使用计算机时感到越来越方便。因此,人们终于使计算机走出了实验室而渗透到各个领域乃至普通百姓家中。尤其是近年来计算机技术和通信技术相互融合,出现了沟通全球的 Internet 网,更使计算机的应用范围从科学计算、数据处理等传统领域扩展到办公自动化、人工智能、电子商务、虚拟现实、远程教育等,遍及政治、经济、军事、科技以及个人文化生活和家庭生活的各个角落,不久的将来,计算机像人们日常生活中的水和电一样将成为必需品。

1.2.1 科学计算

科学计算是计算机应用最早且一直是重要的应用领域之一,其特点是计算量大而且很复杂,像数学、力学、核物理学、量子化学、天文学、生物学等基础科学的研究等,至于航天、超音速飞行器、人造卫星与运载火箭轨道及桥梁设计、地质探矿、水利发电等方面的庞大计算都必须依靠高速计算机。有些时间性很强的问题例如天气预报,利用计算机很快即可得出结果。另外,对于投资大、周期长、要求高的现代化的重大工程设计,要想选择一种理想的设计方案,通常需要认真模拟计算数十种设计方案方能选出最优方案,所以在石油勘探、桥梁设计、土木工程等领域都得到了广泛的应用。

1.2.2 数据处理

数据处理即人们把大批复杂的事务数据交给计算机处理,也是计算机的重要应用领域之一。例如政府机关公文、报表和档案,大银行、大公司、大企业的财务、人事、物料,包括市场预测、情报检索、经营决策、生产管理等大量的数据信息,都由计算机收集、存储、整理、检索、统计、修改、增删等,并由此获得某种决策数据和趋势,供各级决策指挥者参考。

1.2.3 工业控制和实时控制

目前的工业控制系统已比20世纪六七十年代的先进得多。它以标准的工业计算机软、硬件平台构成集成系统,具有适应性强、开放性好、易于扩展、开发周期短等显著优点。通常工业控制系统可分为控制层、监控层和管理层。控制层是最下层,它通过各种传感器获得有效信号,监控层下连控制层,上连管理层,它不但实现对现场的实时监测与控制,而且常在自动控制系统中起到上传下达、组态开发的重要作用,组态软件使数据采集、过程控制变得十分简单,并为用户提供良好的开发界面和简捷的使用方法,用各种软件模块可以非常容易地实现和完成监控层的各种功能。就目前发展趋势而言,工业控制应用已经向控管一体化方向发展。利用网络技术,通过传感技术和多媒体技术,操作者可以在控制室内通过大屏幕显示掌握各车间、各工位、各部门的生产运行情况,并可直接由控制室发出各种控制命令,指挥全厂正常工作。

实时控制即计算机将通过各种传感器获得的某一物理信号,如温度,转换为可测、可控的数字信号,然后经计算机运算处理,再根据处理结果去驱动执行机构来调整这一物理量,以达到控制的目的。实时控制广泛应用于冶金、机械、纺织、化工、电力等行业中。

在军事上,导弹的发射及飞行轨道的计算控制、先进的防空系统等现代化军事设施,通常也都是计算机构成的控制系统。例如将计算机嵌入到导弹的弹头内,利用卫星定位系统,将飞行目标和飞行轨迹事先存储在弹载计算机内,导弹在飞行中对实际飞行轨迹进行不断修正,直

接袭击目标 其命中率几乎接近 100%。美国在海湾战争以及后来的军事冲突中,计算机实时控制技术发挥了极为突出的作用。

1.2.4 CAD/CAM/CIMS

一、CAD(Computer Aided Design)

CAD是借助计算机来进行设计的一项专门技术 它广泛应用于航空、造船、建筑工程及微电子技术等方面。利用 CAD 技术,首先按设计任务书的要求设计方案,然后可进行各种设计方案的比较 确定产品结构、外形尺寸、材料选择 进行模拟组装。对模拟整机再进行各种性能测试,根据测试结果还可对其进行任意修正,最后设计产品。产品设计完成后将其分解为零件,分装部件,并给出零件图、分部装配图、总体装配图等等。上述全部工作都可由计算机完成 大大降低了产品设计的成本 缩短了产品设计的周期 最大限度地降低了产品设计的风险。因此 CAD 技术已被各制造业广泛应用。目前随着计算机软、硬件技术的发展,已经可以利用计算机实现产品的创意设计。设计者可以提出一个朦胧的思想,在计算机上进行概念设计,并对它进行不断修改、完善 最后确定一种新颖的产品。

二、CAM(Computer Aided Manufacturing)

计算机辅助制造 (CAM) 是利用计算机来代替人去完成制造系统中以及与制造系统有关的工作。广义 CAM 一般指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的活动。包括工艺准备、生产作业计划、物料作业计划的运行控制、生产控制、质量控制等。狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制,包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真及数控代码的生成等。例如 以数控机床为主体 利用存有全部加工资料的数据库 如刀具、夹具和各种零件的加工程序,以及在加工过程中的自动换刀及加工数据的控制。目前人们已经将数控、物料流控制及储存、机器人、柔性制造、生产过程仿真等计算机相关控制技术统称为计算机辅助制造。

利用计算机参与人脑的辅助工作非常普遍,而且还在不断开拓新的领域,例如计算机辅助工艺规划 CAPP(Computer Aided Process Planning)、计算机辅助工程 CAE(Computer Aided Engineering) 等都越来越得到广泛的应用。

三、CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)

CIMS即将企业生产过程中有关人、技术、设备、经费管理及其信息流和物质流有机集成,并优化运行。包括信息流、物质流与组织的集成,生产自动化、管理现代化与决策科学化的集成 设计制造、监测控制和经营管理的集成。具体而言 以企业选定的产品为龙头 在产品设计过程、管理决策过程、加工制造过程、产品质量管理和控制等过程中 采用各种计算机辅助技术和先进的科学管理方法,在计算机网络和数据库的支持下,实现信息集成,进而使企业优化运行 达到产品上市快、质量好、成本低、服务好的目的 以此提高产品的市场占有率和企业的市场竞争能力。显然,要形成计算机集成制造系统的企业,必须广泛采用 CAD/CAE/CAPP/CAM 并且已建立企业 MIS(Management Information System) 系统 只有通过生产、经营各个环节的信息集成 支持了技术集成 并由技术集成进入技术、经营管理和人员组织的集成 最终达到物流、信息流、资金流的集成并优化运行 才能提高企业的市场竞争能力和应变能力。

1.2.5 人工智能

人工智能是指用计算机来模拟人的智能的技术。人工智能的研究课题是多方面的。近年来在模式识别、语音识别、专家系统和机器人制造等方面都取得了很大的成就。

模式识别 即由计算机对某些感兴趣的客体 如图像、文字等统称为模式 做定量的或结构的描述，并自动地分配到一定的模式类别中去。例如对人体细胞显微图像的识别，可区别出正常细胞和癌细胞 从而可确定内脏是否发生病变 对动、植物细胞显微图像进行分析 可确定环境是否被污染；对地表植物的遥感图像进行分析，可预测作物的长势等等。文字识别进展很快，从数字识别到正规的印刷体识别，手写体的计算机输入系统已被广泛使用；其他还有公安系统的指纹识别以及身份证件、凭证鉴别等等。

语音识别、语言翻译也是人工智能的一个重要研究领域。经过几十年的努力，目前语音录入计算机的软件、语言翻译机已开始在市场上问世，但离人们的实用要求还有一定距离。不过这些技术的突破是指日可待的 计算机会听、会看、会说的时代已经不是很远了。

专家系统是指用计算机来模拟专家的行为。将各类专家丰富的知识和经验，以数据形式储存于知识库中，通过专用软件，根据用户输入查询的要求，向用户做出所要求的解答。这种系统已用于医学、工程、军事、法律等领域。

机器人通常工作在一些重复性劳动 特别是一些不适宜人们工作的高温、有毒、辐射、深水等恶劣环境中。例如海底探测，人在海底的时间非常有限，如果让机器人进行海底探测就方便多了。可以让机器人配上摄像机 构成它的眼睛 配上双声道的声音接收器 变成它的耳朵 再配上合适的机械装置 使它可以活动、触摸、承受各种信息并直接送到计算机进行处理 这样它就可以模仿人完成海底探测。现在还有一些更高级的“智能机器人”，具有一定的感知和识别能力，能简单地说话和回答问题。总之，随着科学技术的不断发展，更高级的机器人将会不断出现。

1.2.6 虚拟现实

虚拟现实是利用计算机生成的一种模拟环境，通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中，实现用户与环境直接进行交互的目的。这种模拟环境是用计算机构成的具有表面色彩的立体图形，它可以是某一特定现实世界的真实写照，也可以是纯粹构想出来的世界。这类技术早在 20 世纪 60 年代初就开始研究 但直到 90 年代 由于各种传感设备价格不断降低 计算机技术飞速发展 实时三维图形生成及显示、三维声音定位与合成、环境建模等技术的发展 才使虚拟现实技术获得迅速发展和广泛应用。虚拟现实在军事、教育、航天、航空以及娱乐、生活中的应用，不仅会改变人们的思维方式和生活方式，而且必将导致一场重大的技术革命。

下面举例说明虚拟现实的巨大魅力。

虚拟演播室近年来已成为影视制作的热点。它综合运用计算机图形和图像处理、计算机视觉和现代影视技术，将摄像机拍摄的图像实时地与计算机三维虚拟背景或另一地点实拍的背景，按统一的三维透视成像关系进行合成，从而形成一种新的影视节目。它的效果是与传统影视制作无可比拟的。在虚拟演播室里，演员可以在没有任何道具的舞台上演戏，然后根据剧情需要用计算机制作的画面进行合成。不仅如此，演员也可以是虚拟的，可以根据事先拍好的演员镜头，利用演技数据，用计算机图形学技术制作演员的特定动作，这对于一些特技的制作格外重要。这种在虚拟演播室制作的影视剧，大大降低了制作成本，缩短了制作时间，并且可以制作更有魅力的艺术作品。

飞行员的虚拟现实仿真系统，可形成真实的飞行环境和飞行员的真实感觉。如在环境图像生成中以 50 Hz 的频率生成彩色图像 而且具有纹理、天气效果 (如雾、雨、雪、晴、云等) 非线性图像映射、碰撞检测、高山地形、细节模拟等等。如飞机着陆时跑道灯应按飞机着陆角度

的不同而变换颜色,并能确认飞机与跑道上其他飞机甚至建筑物的相互距离。飞行员必须体验到真实飞行的感觉,犹如在一个真实飞机的机舱里,每个仪表都必须在真实环境下工作,油表指示必须反映虚拟引擎对油的使用率,并且必须精确地反映动力和温度。在飞机接触跑道时,还必须有真实的冲击感和震动感。显然这对于价值数千万美元的飞机来说,让飞行员在虚拟现实仿真系统中训练最合算,它既不危及人的生命安全,又不损坏飞机,也不造成公害。所以各类仿真模拟训练器都已被广泛应用。

1.2.7 远程教育

Internet 和 WWW 技术日新月异的发展正在迅速地改变着人们传统的生活、工作和学习方式。就教育而言,随着融合影像、语音和文本等多媒体信息网络技术的成熟,以及互联网应用的不断普及,使得网上教学获得了前所未有的强大技术支持手段和广泛交流的传播途径。这就是日渐兴起的远程教育。

现有的以课堂为主、面对面的传统教育模式,使作为受教育的学生在教学过程中处于受灌输的被动地位,其主动性、积极性难以发挥,学生无法主动探索,不利于创新能力的形成和创新型人才的成长。此外这种模式受场地、空间、时间的限制,投资大,受教育面有限,不能适应各种学科的终身教育和全面教育,已经远远不能满足知识更新极快的现代化信息社会教育发展的需要。

远程教育可使各种教学资源通过互联网穿越时空,以更加生动的形式传播到那些渴望知识的人群中。学生受教育可以不受时间、空间和地域的限制,可通过网络伸展到全球的每个角落,在世界范围内建立起真正意义上的开放式的虚拟学校。每个学生可在任意时间、任意地点通过网络自由学习。每个学生都可以获得第一流老师的指导,都可以向世界最权威的专家请教,都可以从世界的任何角落获取最新的信息和资料。到那时,可以说任何人都享有高等教育和终身教育的可能。

1.2.8 办公自动化

办公自动化,即利用计算机及自动化的办公设备来替代原来由办公人员完成的工作,例如用计算机起草文件,安排日常的各类公务活动(如会议、会客、外出购票等)收集各类信息,将各类信息以数字的形式存于数据库内,并可随时进行查询、检索及修改。一个完整的办公自动化系统将包括文秘、财务、人事、资料、后勤等各项管理工作。近年来由于 Internet 的应用,将计算机、办公自动化设备与通信技术相结合,使办公自动化向更高层次发展。例如,电子邮件的收发、远距离会议或电视会议、高密度的电子文件、多媒体的信息处理等还将得到普遍应用。

1.2.9 电子商务

凡是以电子形式在信息网络上进行的商品交易和服务活动都归结为电子商务。例如某企业可以通过在 Internet 上的网页向全球发布推出商品,并向它的各地代理商发出各种指令。当某客户欲购此商品时,他可以通过网上直接与生产企业联络,也可与当地代理商联系,进一步了解该商品的性能,并将其姓名、地址、个人电子账号及送货要求等告诉卖主。企业或推销者通过 Internet 与银行联络,查询、核实该客户的资金状况,并通过协定的支付方式由银行实行电子交付,而商品则由企业推销者直接送到客户手中。电子商务以其公平、快捷、方便、效率高、成本低、中间环节少且可进行无国界、全天候 24 小时不间断交易和服务等巨大优势,赢得了人们的青睐。在短短的几年内,电子商务得到了突飞猛进的发展。随着全球信息网络的建立和完善,电子商务将成为一股不可阻挡的潮流,改变整个未来世界的面貌,推动全球经济一体化的进程。

第 2 章 计算机系统简介

2.1 计算机的软硬件概念

一个实用的计算机系统应该包括硬件和软件两大部分。硬件是指构成计算机的所有物理部件的集合, 这些部件是由电子元器件、各类光电设备、机电设备、电子线路等构成的有形物体, 如主机、外设等。软件是指运行、维护、管理及应用计算机所编制的所有程序的总和。硬件是计算机系统的物质基础, 软件必须在硬件的支持下才能运行。但是光有硬件, 计算机也无法工作, 必须编制程序, 才能让计算机完成某一任务。现在的计算机的软件不仅可以充分发挥硬件功能, 提高计算机的工作效率, 而且已经发展到能局部模拟人类的思维活动。因此软件的地位和作用在整个计算机系统中的作用越来越重要。整个计算机系统性能的好坏, 取决于软硬件功能的总和。

2.2 计算机的硬件组成

2.2.1 存储程序与冯·诺依曼体制

计算机是一种不需人的直接干预便能对各种数字化信息进行算术运算和逻辑运算的快速工具。但为了告诉计算机做什么事, 按什么步骤去做, 需要事先编制程序。所谓存储程序就是把编好的程序(由计算机指令组成的序列)和原始数据预先存入计算机的主存储器中, 使计算机在工作时能够连续、自动、高速地从存储器中取出一条条指令并加以执行, 从而自动完成预定的任务。存储程序的概念最早是由数学家冯·诺依曼于 1946 年提出来的。他提出了数字计算机设计的一些基本思想, 归纳如下:

采用二进制形式表示数据和指令;

采用存储程序方式(前已述);

由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大部件组成计算机系统, 并规定了这五部分的基本功能。

几十年来, 虽然计算机的体系结构经历了重大的变化, 性能也有了惊人的提高, 但就其结构原理来说, 至今大多数计算机仍沿用这一体制(称为冯·诺依曼计算机), 不同之处只是原始的冯·诺依曼计算机在结构上是以运算控制器为中心, 随着计算机体系结构的发展, 而逐渐演变到现在以存储系统为中心。冯·诺依曼的上述概念, 奠定了现代计算机的基本结构思想, 并开创了程序设计的新时代, 是计算机发展史中的一个里程碑。弄清楚存储程序的概念, 研究它在计算机内部的实现过程, 是了解现代计算机工作原理的关键。学习计算机的工作原理也就从冯·诺依曼概念入门。

冯·诺依曼计算机的这种工作方式, 可称为指令流控制流驱动方式, 即按照指令的执行序列, 依次读取指令, 根据指令所含的控制信息调用数据进行处理。

现代计算机中, 还有少数一部分属于非诺依曼体制, 这类计算机采用数据流驱动的工作方式, 只要数据已经准备好, 有关的指令可并行执行, 又称为数据流计算机。它为并行处理开辟了新的前景, 但控制比较复杂。

传统的冯·诺依曼计算机从根本上讲是采取串行顺序处理的工作机制, 逐条执行指令序列, 是单处理机结构, 集中控制。为了提高计算机的性能, 现代的计算机已经在许多方面突破

了传统的冯·诺依曼体制的束缚。例如对传统的冯·诺依曼计算机进行改造,采用多个处理部件形成流水处理,依靠时间上的重叠提高处理效率,组成阵列结构,形成单指令流多数据流,以提高处理速度,用多个冯·诺依曼计算机组成多机系统支持并行运行算法结构等。本书重点介绍单机系统的组成和工作原理。

2.2.2 计算机的主要部件

前已述及,计算机由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大部件组成。运算器与控制器合称为中央处理机 CPU(Central Processing Unit)。在早期的计算机结构中,运算器和控制器曾是相对独立的两部分。由于两者结构关系非常密切,频繁交换大量信息,现在的计算机常将它们组成一个整体。CPU 是计算机的核心部件,控制着计算机内数据流与控制流的操作;向计算机系统其他部件发出各种控制信息,收集各部件的状态信息,与其他部件间

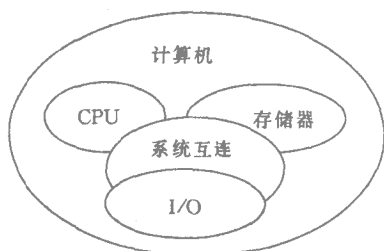


图 2.1 计算机的硬件结构

交换数据等。在微型计算机与其他应用大规模集成电路的系统中,常将 CPU 集成于一块芯片中构成单片 CPU。这里的存储器是指可以和 CPU 直接交换信息的主存储器,简称主存或内存。这样,现代计算机可认为由 CPU、主存和 I/O 设备三大部分组成。CPU 和主存合起来称为主机,I/O 设备又称为外部设备。这些部分以某种方式互相连接,实现计算机的基本功能,即执行程序如图 2.1 所示。

本节简要介绍计算机的各个部分,下一节讨论各部的

互联结构。

一、主存储器

主存储器的功能是存放程序和数据,可以和 CPU 直接交换信息。在计算机里还有另一类存储器叫做辅助存储器(磁盘、光盘、磁带),有关辅助存储器的内容将在第 4 章讨论。

从信息流动的角度观察,主存储器主要由四部分组成。

1. 存储体

存储体用于存储信息。70 年代中期以前,存储体主要由磁芯组成,现在都采用半导体存储器。前面讨论存储程序的概念时已指出,程序和数据都以二进制代码的形式存放在主存储器(存储体)中。为了能对这些信息进行处理,要求能按指定的位置读取或存入信息。为此,首先把存储体划分为若干个存储单元(如同一幢大楼被分成许多房间一样),被存储的信息分别存在这些存储单元中。主存储器由大量的存储单元组成。一个存储单元存储一串二进制码表示的信息,该信息的总位数称为存储字长。存储字长可以是 8 位、16 位或 32 位等,一个存储字可解释为一个二进制数据,也可解释为一条指令。

为了能够按指定位置对信息进行存取,除了划分存储单元外,还必须给每一个存储单元指定一个唯一对应的编号(如同房间号码一样),这个编号称为存储单元的地址(简称地址),主存的工作方式就是按存储单元的地址号来实现对存储字各位的存(写入)取(读出)。这种存取方式叫做按地址存取,通常称为按地址访问存储器(简称访存)。地址是识别存储体中不同存储单元的唯一标志。

存储器的这种工作性质对计算机的组成和操作十分有利。可简化控制指令执行的机构。人们只要事先将编好的程序按顺序存入主存单元,当运行程序时,先给出该程序在主存的

首地址 然后采用程序计数器加 1 的办法, 自动形成下一条指令所在存储单元的地址, 机器便可自动完成整个程序的操作。可提高存储空间的利用率。由于数据和指令都存放在存储体内各自所占有的不同单元中, 因此, 当需要反复使用某个数据和某条指令时, 只要指出其相应的单元地址号即可, 而不必占用更多的存储单元重复存放同一个数据或同一条指令, 因此大大提高了存储空间的利用率。可简化控制线路。由于指令和数据都由存储单元地址号来反映 因此 取一条指令和取一个数据的操作 完全可视为是相同的 这样就可使用一套控制线路来完成两种截然不同的操作内容。

2. 存储器地址寄存器 MAR 和存储器数据寄存器 MDR)

为了能实现按地址访问的方式, 主存中还必须配置两个寄存器 MAR 和 MDR。MAR (Memory Address Register) 用来存放欲访问的存储单元的地址。MDR(Memory Data Register) 用来存放从存储体某单元读出的代码或者准备写入某存储单元的代码。

3 控制电路

为了完整地一次存或取操作 ,CPU 还需给主存发出各种控制信号 如读命令、写命令、地址译码驱动信号等。

对于上面的讨论还需说明以下两点。

随着硬件技术的发展, 主存都制成大规模集成电路芯片, 而将 MAR 和 MDR 制作在 CPU 芯片中。

早期计算机的存储字长一般和机器的指令字长与数据字长相等, 故访问一次主存便可取一条指令或一个数据。随着计算机应用范围的不断扩大和解题精度的不断提高, 往往要求指令字长是可变的, 数据字长也要求可变。为了适应指令和数据字长的可变性, 其长度不是由存储字长来确定, 而由字节的个数来表示。1 个字节 Byte 被定义为 8 位(bit)二进制代码。例如 4 个字节数据就是 32 位二进制代码 ;2 个字节构成的指令字长是 16 位二进制代码。当然 此时存储字长、指令字长、数据字长三者可各不相同 但它们必须是字节的整数倍。为了简单起见 本书的讨论采用存储字长和指令字长、数据字长相等。

二、中央处理器 CPU)

CPU 实质包括运算器和控制器两大部分。运算器完成对数据的加工处理。加工处理主要包括对数值数据的算术运算 (如‘加、减、乘、除’等) 以及对逻辑数据的逻辑运算 (如‘与、或非’等) 这些功能是由 CPU 内的算术与逻辑运算部件 ALU 完成的。控制器是计算机组成的神经中枢, 它指挥全机各部件自动、协调工作。具体来说, 就是控制计算机执行程序的指令序列。控制器由程序计数器 PC(Program Counter)、指令寄存器 IR(Instruction Register) 以及控制单元 CU(Control Unit) 等几部分组成。PC 用来存放将要执行的下一条指令的地址, 除非遇到转移指令, CPU 在每次从内存取出指令之后, 总是向 PC 加上一个增量 以顺序地取下一条指令。从内存读取的指令装入 CPU 的指令寄存器 IR 指令以二进制代码的形式存在 它规定了 CPU 将要执行的动作。CU 用来分析当前指令所需完成的操作 并发出各种微操作命令序列 用于控制所有被控对象 以完成指令的功能。

CPU 除了上述基本的组成部件外, 通常还有若干个寄存器用于临时存储常用的操作数和中间结果。

三、I/O 模块

I/O 模块包括输入设备和输出设备及其相应的接口。输入设备以某种形式接受数据和指

令，并将其转换成计算机能够使用的内部形式。输出设备将计算机的处理结果转换成人们或其他设备所能接收的形式。由于 I/O 设备的速度一般不能与 CPU 的速度匹配，两者表达信息的格式也不同。每一种设备都由 I/O 接口与主机联系，它接收 CPU 发出的各种控制命令完成相应的操作。

计算机的主要部件如图 2.2 所示。

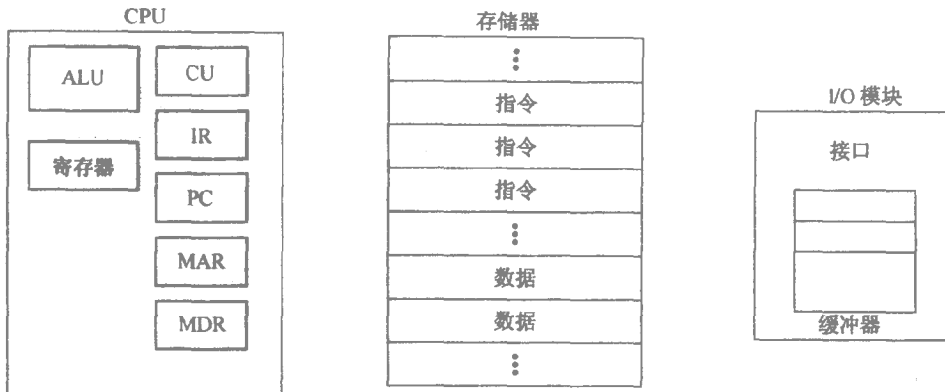


图 2.2 计算机的主要部件

2.2.3 指令的执行过程

计算机完成的基本功能是执行程序。要执行的程序由存于存储器中的一串指令组成。中央处理器 CPU 通过执行程序中指定的指令来完成实际的工作。计算机执行指令的过程就是计算机的工作过程。为了简单起见，暂把指令处理看成由 CPU 每次从内存中读取指令，然后执行指令两个步骤组成。程序的执行由重复取指令和执行指令的过程组成，如图 2.3 所示。

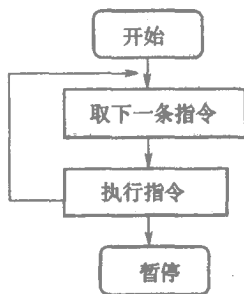


图 2.3 基本指令执行过程

取指令是每条指令的共同操作，它由从内存单元中读取一条指令组成。依据不同的指令的特征，指令的执行可能涉及到几种操作。

图 2.3 所示的基本指令执行过程，又称为一个指令周期。除非关机或遇到不可恢复的错误，或遇到一条停机指令，否则程序执行将不会停止。

每个指令周期开始时，CPU 都从存储器中取指令。根据前面讨论，要执行的指令地址已在程序计数器 PC 中取出的指令装入 CPU 中的指令寄存器 IR，然后根据具体的指令完成相应的操作。下面通过一个简单的例子

说明指令的执行过程（见图 2.4）。

图中的计算机结构与图 2.2 相比已经大大简化。CPU 中仅包含一个累加器 AC 来暂时存储数据。与存储器相联系的两个寄存器 MAR 和 MDR、CU 都未考虑。涉及的几条指令无输入输出操作（程序已事先存入主存），所以图中 I/O 也未画出。指令格式如下：



操作码告诉计算机执行什么操作。本例中 :0001 表示由存储器装入 AC；0010 表示由 AC 存至

存储器 ;0101 表示由存储器加到 AC。

指令和数据都是 16 位。这一指令格式最多可表示 $2^4 = 16$ 个不同的操作码，而且最多有 $2^{12} = 4096$ 个字的存储器。

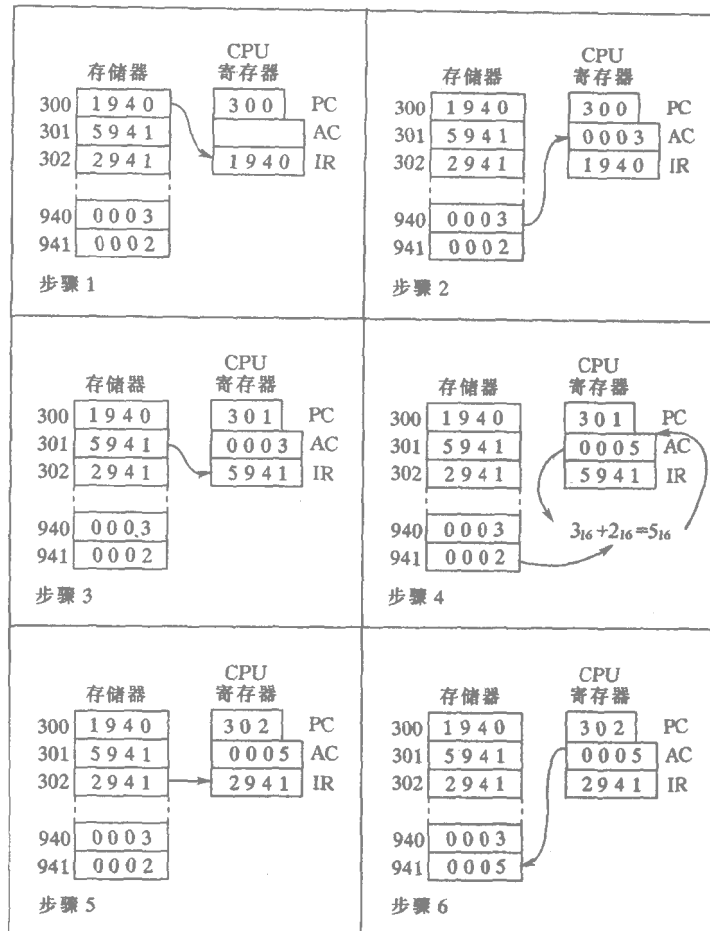


图 2.4 程序执行举例

图 2.4 举例说明了三条指令的执行过程。这三条指令是：将地址为 940_{16} 的存储单元的内容装入累加器 AC 将累加器的内容与地址为 941_{16} 的存储单元的内容相加 结果放入 AC 将累加器的内容存入地址为 941_{16} 的单元。执行这三条指令共分六步：

程序计数器 PC 的内容是 300 即第一条指令地址 这一地址的内容 (第一条指令 1940) 装入指令寄存器 IR (注意这一过程包含对存储器地址寄存器 MAR 和存储器数据寄存器 MDR 的使用 为简单起见 不考虑这些中间寄存器)；

② IR 中的前 4 位指出要装载累加器 AC) 其余 12 位指出地址为 940 则本条指令完成将地址为 940 存储单元的内容 (0003) 装入 AC；

③ PC 加 1 取下一条指令 将 5941 送入 IR；

④ IR 中的前 4 位指出将 AC 中存放的内容 0003 和 941 单元的内容 0002 相加 结果放入 AC(0005)；

⑤ PC 加 1 取一条指令 将 2941 送入 IR;

⑥ IR 中的前 4 位指出将 AC 的内容 0005 存入 941 单元。

在这个例子中用了 3 条指令(3 个指令周期)。实际完成的功能是将 940 单元的内容加到 941 单元。每条指令都包含取指令和执行指令两个步骤,所以六步才能完成。如果采用更复杂的指令,则需要的步骤可少些。例如指令 ADD B,A 将内存单元 A 和 B 的内容相加 结果放入内存单元 A 中,实际完成的功能与上述三条指令完成的功能相同。这一条指令由下列几步完成:

取指令;

② 将存储单元 A 的内容读入 CPU;

将存储单元 B 的内容读入 CPU 为了使 A 的内容不丢失,CPU 必须用两个寄存器存放存储器的值 而不只是一个累加器);

将两个数相加;

把结果从 CPU 写到内存单元 A。

2.2.4 互联结构

一台计算机由 CPU、主存储器和 I/O 组成 从上面指令的执行过程可以看出 它们之间需要相互通信,因此必须有使这些部件连接在一起的通路。

连接各部件的通路的集合称为互联结构(interconnection structure)。这一结构的设计取决于模块之间所必须交换的信息。

根据前面讨论的指令的执行过程 同时考虑 I/O 的要求 则互联结构必须支持下列类型的传送。

1)存储器到 CPU CPU 从存储器读指令或一个单元的数据。

2)CPU 到存储器 CPU 向存储器的一个单元写数据。

3)I/O 到 CPU CPU 通过 I/O 接口从 I/O 设备中读数据。

4)CPU 到 I/O CPU 向 I/O 设备发送数据。

5)I/O 和存储器之间 对于这种情况 允许 I/O 同存储器直接交换数据 而不通过 CPU。

多年来人们尝试过许多互联结构,迄今为止最普遍的是总线结构。本节仅讨论总线的一些基本概念 详细内容参阅第 5 章。

一、总线概念

总线是连接多个部件的信息传输线,是各部件共享的传输介质。当多个部件联接到总线上时,一个部件发出的信息 可以为其他所有连接到总线上的部件所接受(接受相同的信息),但如果两个或两个以上部件同时向总线发放信息,势必导致信号冲突,传输无效。因此,在某一时刻 只允许有一个部件向总线发送信息(发送端的分时性)。

总线由许多传输线组成,每条线可传输一位二进制代码。一串二进制代码可在一段时间内逐一传输完成 若干条传输线可以同时传输若干位二进制代码 如 16 条传输线组成的总线,可同时传输 16 位二进制代码。

计算机系统含有多种总线,它们在计算机系统的各个层次提供部件之间的通路。

二、总线分类

总线的应用很广泛,从不同的角度可以有不同的分类方法。下面按连接部件的不同,分几类简单介绍。

1. 片内总线

片内总线是指芯片内部的总线 如在 CPU 芯片内部 寄存器与寄存器之间、寄存器与算术逻辑单元之间都有总线连接。

2. 系统总线

系统总线是指连接 CPU、主存、I/O 通过 I/O 接口) 各大计算机部件的总线。按系统传输信息的不同 系统总线可分为数据总线、地址总线和控制总线三类。

(1) 数据总线

数据总线用来传输各功能部件之间的数据信息,它是双向传输总线,其位数是决定系统总体性能的关键因素,与机器字长、存储字长有关,一般为 8 位、16 位或 32 位等。数据总线的条数称为数据总线宽度。

(2) 地址总线

地址总线主要用来指出数据总线上的数据在主存单元或 I/O 端口的地址,它是单向传输总线。例如,CPU 需要从存储器读一个字,则它必须将这个字的地址放到地址线上。地址线的宽度决定了系统能够使用的最大的存储器容量。

(3) 控制总线

控制总线用来控制对数据总线、地址总线的访问和使用。控制总线上的信号包括命令信号和定时信号。定时信号指定了数据和地址信息的有效性,命令信号则指定要执行操作。对任一控制线,它的传输只能是单向的,例如 CPU 读写存储器命令或读写 I/O 命令都由 CPU 发出,但对于控制总线总体来说,又可以认为是双向的,例如 I/O 设备也可以向 CPU 发出请求信号。此外控制总线还起到监视各部件状态的作用,如查询该设备是处于“忙”还是“闲”是否出错等等。

3. 通信总线

这类总线用于计算机系统之间或计算机系统与其他系统之间的通信。

总线的操作分以下两种情况:

如果一个部件希望向另一个部件发送数据,它必须获得总线的使用权和通过总线传送数据;

如果一个部件希望向另一部件请求数据,它必须获得总线的使用权并且通过适当的控制线和地址线向其他部件发送请求,然后它必须等待另一部件发送数据。

2.3 计算机的软件系统

计算机刚刚问世时并未建立“软件”这一概念,随着计算机的发展及应用范围的扩大,逐渐形成了软件系统。计算机的软件系统可分为系统软件和应用软件两大类。

2.3.1 系统软件

系统软件又称为系统程序,主要用来管理整个计算机系统,监视服务,使系统资源得到合理调度,确保高效运行。它包括标准程序库、语言处理程序、操作系统、服务性程序、数据库管理系统、网络软件等等。

1. 标准程序库

标准程序库是系统事先配置的一些通用的、优化的标准子程序,供用户调用。

2. 语言处理程序

语言处理程序是为翻译计算机的各种语言而设置的一组程序。计算机的硬件系统只能直

接识别并执行由 0 或 1 代码表示的机器指令编写的程序（机器语言程序）。但直接用机器指令编写程序要经过专门训练，程序难读、难懂、易出错，检错、纠错也很费时、费力，限制了计算机的应用。

汇编语言（符号语言）用形象直观便于记忆的字母和符号代替 0 或 1 编码的机器指令，如 ADD、SUB……。用汇编语言编写程序简单，改善了程序的可读性，提高了使用效率。但使用汇编语言编写的程序（汇编语言程序）计算机不能直接识别，必须通过翻译将其变为机器语言程序后才能理解并执行，完成这种翻译功能的程序叫做汇编程序。

符号语言仍是面向机器的，由于计算机的类型不同，其指令系统也不同。用户在使用计算机时，必须花很多时间熟悉所用机器的指令系统后，才能用该机的符号语言编写程序。为了摆脱对具体机器的依赖，在汇编语言之后又出现了高级语言。高级语言直观通用，用其编程可以不了解机器的结构，从而有利于推广使用计算机。高级语言发展经历以下几个阶段。初级阶段的代表语言是 1954 年问世的 FORTRAN，它主要面向科学计算和工程计算。第二阶段可视为结构化程序设计阶段，其代表是 1968 年问世的 PASCAL 语言，它定义了一个真正的标准语言，按严谨的结构化程序编程，具有丰富的数据类型，写出的程序易读懂、易查错。第三个阶段是面向对象程序设计阶段，其代表语言是 C++。近年来随着网络技术的不断发展，又出现了更适应网络环境的面向对象的 JAVA 语言，而且随着 Internet 技术的发展和应用，JAVA 语言越来越受到人们普遍欢迎。但是计算机也不能识别用高级语言编写的程序（高级语言程序），需要借助于编译程序或解释程序进行转换，机器才能理解、执行。

通常将用汇编语言或某种高级语言编写的程序称为源程序。把经过翻译或解释得到的代码程序称为目标程序。

汇编程序、编译程序和解释程序统称为语言处理程序。

3. 操作系统

操作系统是系统的核心，它的作用是：①协调管理计算机系统的各种软件、硬件资源，使之有效地被使用；②组织协调计算机的运行，实现计算机运行自动化；③为计算机系统和用户之间提供接口，为用户提供方便。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。如 DOS、UNIX、Windows、Linux 等。

4. 服务性程序

服务性程序是为了帮助用户使用与维护计算机，提供服务性手段而编制的一类程序。这类程序可以包含很广泛的内容，一般指程序的输入与装配程序、编辑工具、调试工具、诊断程序、提示系统、窗口软件以及一些可供调用的通用性应用软件，如文字处理软件、表格处理软件、图形处理软件等。由于操作系统的发展趋势是将内核做得精练紧凑，因此这些服务程序往往作为操作系统可调用的文件存在，视需要而选取或扩充，也可将它们视为操作系统的可扩充的外壳。

5. 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的应用发展，要求大量处理某些数据，建立和检索大量的表格，这些数据和表格按一定的规律组织起来，使用户更方便使用，于是出现了数据库。数据库和数据管理软件一起组成了数据库管理系统。

6. 网络软件

网络软件负责对网络资源的组织和管理，实现相互之间的通信。

2.3.2 应用软件

应用软件又称为应用程序，它是计算机用户在各自的应用领域中开发和使用的程序。由于计算机的应用极其广泛，所以这类软件种类繁多，如科学计算类程序、工程设计类程序、数据处理类程序、信息管理类程序等等。

2.4 计算机系统的层次结构

计算机是一个很复杂的系统。由于面对的应用范围很广，所以必须有复杂的系统软件和硬件的支持。又由于软件、硬件的设计者和使用者都从不同的角度以各种语言来对待同一个计算机系统，因此，他们各自看到的计算机系统的属性及对计算机系统提出的要求也就不一样。于是，对不同的对象而言，一个计算机系统就成为实现不同语言的具有不同属性的机器。

计算机系统的层次结构，就是针对上述不同现象从各种角度所看到的机器之间的有机联系，分清彼此间的界面，明确各自的需求，以便构成最合理、最有效的计算机系统结构。

关于计算机层次结构的分层方式，目前尚无统一标准，本书采用图 2.5 所示的一种常用方式。

第 1 层是微程序设计层。它是一个实在的硬件层，可由机器硬件直接执行微指令。

第 2 层是一般机器层，它也是硬件层，有时称为机器语言层。这一层由微程序解释机器指令系统。

第 3 层是操作系统层，它由操作系统实现。操作系统由机器指令及其广义指令组成。广义指令是由操作系统定义和解释的软件指令组成。这一层也称为混合层。

第 4 层是汇编语言层，它给用户提供一种符号形式语言，借此可编写汇编语言源程序。这一层由汇编程序支持和执行。

第 5 层是高级语言层，它是面向问题的，其主要作用是方便用户编写应用程序。该层由各种高级语言编译程序支持和执行。

图中所示的每一层都得到其下面层的支持（包括运行在下面层上程序的支持），第 1 层至第 3 层编写程序所用语言基本上是二进制数字化语言，机器解释和执行都很容易。第 4 层和第 5 层编写程序所用语言是符号形式语言，其优点是便于那些不熟悉机器硬件的用户使用计算机。

计算机系统的层次结构，自下而上反映了计算机系统逐级生成的过程。

拟定指令系统，根据指令系统制作能实现指令功能的硬件系统。在第 9 章学习控制器的组成方法时将会看到，许多计算机采用微程序控制方式，用微程序来解释并执行机器指令，所以硬件部分分成两层。

配置操作系统，它是系统软件的核心和基础。

配置所需的语言处理程序及各种软件资源，将它们置于操作系统的管理调度之下。

输入用户程序，处理执行。

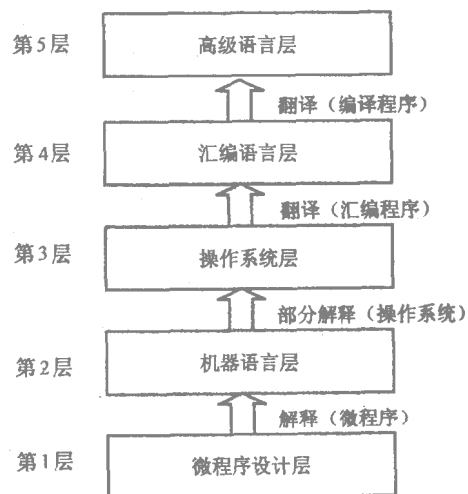


图 2.5 计算机系统的层次结构