

概 论

第1章

随着科学技术的高度发展,促使了电子计算机的诞生。电子计算机按其信息的表示形式和处理方式可分为电子模拟计算机和电子数字计算机两大类。电子模拟计算机是以连续变化的量即模拟量表示数据,通过电流或电压的物理变化过程实现运算。电子数字计算机是以离散量即数字量表示数据,应用算术运算法则实现运算。电子模拟计算机由于受到元器件精度的影响,使其运算精度较低,解题能力有限,信息存储困难,因而应用面很窄。电子数字计算机由于具有很强的逻辑判断功能、庞大的存储能力,以及计算、模拟、分析问题、操作机器、处理事务等能力,因而得到了极其广泛的应用。它可以近似于人的大脑的“思维”方式进行工作,所以又被称为“电脑”。

电子数字计算机的诞生是当代最卓越的科学技术成就之一。它的发明与应用标志着人类的文明史进入了一个新的历史阶段。它的迅速发展已成为当今新技术革命浪潮中的最活跃的因素,也是衡量世界各国现代科学技术发展水平的重要标志。本书主要讨论电子数字计算机的组成原理,为叙述简便,书中不再在计算机前面冠以“电子数字”的定语。

这一章主要对计算机的发展和基本组成予以简要的介绍,使读者对组成计算机的各大部件的主要功能和一些基本术语有个初步了解,以便在后面各章的学习中能更好地理解各大部件的组成原理。

1.1 计算机的发展历史

从1946年2月15日第一台计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer)诞生以来,计算机的发展经历了近60年的迅猛发展。下面从硬件和软件两方面简单介绍计算机的发展历程。

1.1.1 更新换代的计算机硬件

翻开计算机的发展历史,人们感受最直接的是计算机器件的发展,因此

习惯上将计算机的发展按“代”划分为五个发展阶段。

1. 电子管时代(1946 年—1959 年)

在第一代电子管阶段,计算机以电子管作为基本逻辑单元,主存储器采用的是汞延迟线、磁鼓等材料,数据用定点表示。

ENIAC 当属鼻祖,它体积庞大(8 英尺高,3 英尺宽,100 英尺长),使用了 18 000 个电子真空管、1500 个电子继电器、70 000 个电阻和 18 000 个电容,功耗为 150 千瓦,重达 30 吨,速度为 5000 次加法运算/秒。

在这一阶段,最具代表性的机器有:冯·诺依曼的 IAS(1946 年)、UNIVAC 公司的 UNIVAC-I(1951 年)、IBM 公司的 IBM701(1953 年)和 IBM704(1956 年)。我国在这一阶段推出的计算机有 103 机、104 机、119 机等机种。

2. 晶体管时代(1959 年—1964 年)

第二代晶体管阶段的计算机主要以晶体管代替电子管作为基本逻辑元件,主存储器由磁芯构成,通过引入浮点运算硬件加强科学计算能力。

晶体管计算机具有体积小、功耗低、速度快和可靠性高等特点,推动了计算机的革命。最具代表性的机器有:IBM 公司的 IBM7090(1959 年)、IBM7094(1962 年)。我国在 1965 年推出了第一台晶体管计算机——DJS-5 机,此后成功研制了 DJS-121 机、DJS-108 机等 5 个机种。

3. 中、小规模集成电路时代(1964 年—1975 年)

随着半导体工艺的发展,集成电路得以研制成功。集成电路器件成为了计算机的主要逻辑元件,推动计算机进入了第三个发展阶段——中、小规模集成电路(MSI、SSI)时代。主存储器也随之进入了由半导体存储器替代磁芯存储器的发展阶段,采用多处理器并行结构的大型机、巨型机和物美价廉的小型机得到快速发展。

本阶段典型的计算机有:IBM 公司的 IBM360 系列(1964 年)、CDC 公司的 CDC6600(1964 年)和 DEC 公司的 PDP-8(1964 年)。我国在此时期也推出了大、中、小型计算机,如 150 机(1973 年)、DJS-130 机(1974 年,并形成了 100 系列机)、220 机(1973 年—1981 年,200 系列机)和 182 机(1976 年,180 系列机)。

4. 超、大规模集成电路时代(1975 年—1990 年)

随着集成电路的集成度进一步提高,超、大规模电路被广泛应用于计算机,进入了第四个阶段——超、大规模集成电路(VLSI、LSI)时代。此时半导体存储器已完全替代了磁芯存储器,并推动了并行技术、多机系统和分布式计算技术,出现了 RISC 指令集。

在这一时期,巨型向量机、阵列机等高级计算机得到了发展,如美国的 Cray-I、我国的 HY-I 等,同时低档的微处理器开始面世,并迅速推向社会各个领域和家庭。

1973 年,Intel 8080 的研制成功标志着 8 位微机占领市场时刻的到来,如 Z80 微机、Apple II 微机等,而 1978 年采用 Intel 8086 微处理器构成的 16 位微机 IBM-PC/XT 的面世,使得台式个人计算机真正走进办公室和家庭。

低端微机发展的另一个方面是单片机,它被广泛应用于工业控制、智能仪器、仪表。

与此同时,计算机网络也由实验研究阶段转入商业市场,推动了计算机信息处理的发

展和应用,从而带动并形成了信息技术 IT 产业。

5. 超级规模集成电路时代(1990 年—现在)

从集成度来看,计算机使用的半导体芯片的集成度已接近极限,出现了极大、甚大规模集成电路(ULSI、ELSI)。这一阶段,出现了采用大规模并行计算和高性能机群计算技术的超级计算机,如 IBM 公司的“深蓝”计算机就是一台 RS/6000 SP2 超级并行计算机,它具有 256 块处理器芯片。我国的 HY-III(大规模并行处理,128 个 CPU,1997 年)、HY-IV(机群技术)巨型机已达到国际水平,而在 1999 年,“神威-I”超级并行处理计算机的成功研制使我国继美国和日本之后成为第三个具备研制高性能计算机能力的国家。2004 年,我国研制开发的超级计算机——“曙光 4000A”进入全球超级计算机 500 强排行榜的前 10 名,标志着我国超级计算机技术已跨入了世界前列。

微处理器技术也在高速发展,推出了 32 位、64 位的微处理器芯片,如 Pentium IV、Itanium II 等,使微机性能更上了一个台阶。我国也开始了微处理器芯片的设计与研究,推出了自己的“龙芯”微处理器芯片。微处理器芯片除了可以作为微机的主要处理部件外,还可以作为巨型机的处理单元,构成大规模计算阵列。

1.1.2 日臻完善的计算机软件

软件是计算机系统的重要组成部分,它能够在计算机裸机的基础上,更好地发掘计算机的性能。因此计算机软件的发展与计算机硬件及技术的发展紧密相关。

1. 汇编语言阶段(20 世纪 50 年代)

这一阶段软件基本是空白,根本没有系统软件,只有专业人员才能操作计算机。人们通过机器语言来编写程序,没有程序控制流的概念。当需要在程序中插入一条新指令时,必须由程序员手工移动数据和程序,操作繁琐而又困难。为了便于记忆和操作,出现了指令助记符描述语言——汇编语言。汇编语言程序是最早的软件设计抽象形式,代表了机器语言的第一层抽象。

2. 程序批处理阶段(20 世纪 60 年代)

在这一阶段,编译器开始出现,软件方面产生了 FORTRAN、COBOL、ALGOL 等高级语言,控制流概念获得直接应用,并开始对算法和数据结构进行研究,出现了数据类型、子程序、函数、模块等概念,将复杂的程序划分为相对独立的逻辑块,大大简化了程序设计过程。在软件调度与管理上,建立了子程序库和批处理的管理程序。

3. 分时多用户阶段(20 世纪 70 年代)

高级语言的便利使人们不断完善编译程序和解释程序的功能,极大地改进了程序设计手段和设计描述方法。人们开始认识到加强对计算机硬件资源管理和利用的必要性,提出了多道程序和并行处理等新技术,推出了 UNIX 操作系统(1974 年)。多个用户可以通过操作终端将程序输入到功能较强的中央主机,操作系统分时调度运行程序。这一阶段随着 UNIX 系统的成功面世,产生了 C 语言的编程风格。

4. 分布式管理阶段(20 世纪 80 年代)

UNIX 操作系统的问世,人们开始在这一环境上研究分布式操作系统。自 IBM 公司

推出 PC/XT 后,出现了开放式的、模块化的单机操作系统——DOS 系统。在这一时期,人们将精力用于研究数据库管理系统,致力于一个单位的信息管理软件的开发,使办公自动化、无纸化成为可能。同时我国开始了汉字信息处理的系统软件开发,完成了 CCDOS 汉字处理系统。在 20 世纪 80 年代中后期,开放式局域网络进入市场,为信息共享奠定了物质基础,基于网络的分布式系统软件的研究初现端倪。

5. 软件重用阶段(20 世纪 90 年代)

在这个阶段,面向对象技术得到了广泛的应用,形成了以面向对象为基础的一系列软件概念和模型,包括基于视窗的操作系统、软件界面的可视化构成控件、动态连接库、组件、OLE、ODBC、CORBA、JaveBean 等,为软件的划分、重用和组装设计提供了崭新的思想和技术。同时随着 Internet 网络技术的成熟和完善,基于 Web 的分布式应用软件研究与开发成了主流,出现了软件工程的概念。

6. Web 服务阶段(21 世纪初期—现在)

目前,基于 Internet 网络技术的分布式计算软件仍然是软件业研究和开发的主要方向,如 Web 多层体系结构、协同计算模型等。大型企业数据库管理系统的应用为软件的开发的主流。然而随着应用系统的增强和扩充,需要进一步挖掘 Internet 网络功能,因此人们开始了 Web 应用服务器系统软件的研究,形成了以 Web 应用服务器为中心的多层开发体系结构,出现了 J2EE 编程技术规范,推出了网格计算技术和 Web Services 协议架构。这些都是构造下一代 Internet 网络的主要技术。

1.2 计算机系统的硬件组成

1.2.1 计算机的功能部件

计算机的基本功能主要包括数据加工、数据保存、数据传送和操作控制等。数据加工的任务是对数据进行算术运算和逻辑运算;数据保存的任务是在计算机进行数据处理时,将计算机中的信息(指令和数据)保存起来,必要时需要永久性的保存,以便于再次运算或对结果进行分析;数据传送反映在必须有传输通道,将数据从一个地方传送到另一个地方,尤其是数据必须能够在外界和计算机之间传送,人们才能够将需要加工的数据发给计算机,并得到计算机处理的结果。当然,所有这些工作都必须在严格的控制之下有条不紊

地进行,这样才能得到人们期望的结果。

为了实现这些基本功能,计算机必须要有相应的功能部件(硬件)承担有关工作。计算机的硬件系统就是指组成一台计算机的各种物理装置,它是由各种实实在在的器件组成的,是计算机进行工作的物质基础。计算机的硬件通常由输入设备、输出设备、运算器、存储器和控制器等五大部件组成,如图 1-1 所示。

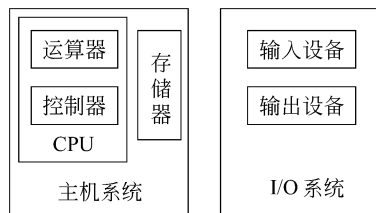


图 1-1 计算机功能部件

1. 输入设备

输入设备的主要功能是将程序和数据以机器所能识别和接受的信息形式输入到计算机内。最常用也是最基本的输入设备是键盘,此外还有鼠标、扫描仪、摄像机等。

2. 输出设备

输出设备的任务是将计算机处理的结果以人们所能接受的信息形式或其他系统所要求的信息形式输出。最常用、最基本的输出设备是显示器、打印机。

计算机的输入、输出设备(简称 I/O 设备)是计算机与外界联系的桥梁。没有 I/O 设备,计算机既不知道干什么,也不知道怎么干,干的结果也无法知道。所以 I/O 设备是计算机中不可缺少的一个重要组成部分。

3. 存储器

存储器是计算机的存储部件,是信息存储的核心,用来存放程序和数据。

存储器分为主存储器(也称内存储器)和辅助存储器(也称为外存储器)。CPU 能够直接访问的存储器是主存储器(简称主存)。辅助存储器用于帮助主记忆更多的信息,辅助存储器中的信息必须调入主存后,才能为 CPU 所使用。

主存储器如同一个宾馆一样,分为很多个房间,每个房间称为一个存储单元。每个单元都有自己惟一的门牌号码,称为地址码。存储器通常是按地址进行访问的。若对存储器某个单元进行读/写操作,必须首先给出被访存储单元的地址码。

主存的最基本的组成可简化为图 1-2 所示的逻辑框图。图中存储体相当于宾馆的客房,它是存放二进制信息的主体。地址寄存器用于存放所要访问的存储单元的地址码,由它经地址译码找到被选的存储单元。数据寄存器是主存与其他部件的接口,用于暂存从存储器读出(取出)或向存储器中写入(存入)的信息。控制逻辑用于产生存储器操作所需的各种时序信号。

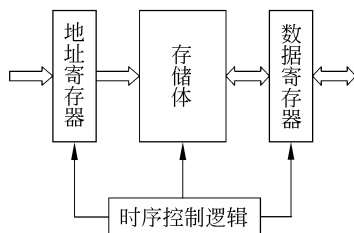


图 1-2 主存储器结构简图

4. 运算器

运算器是计算机的执行部件,用于对数据的加工处理,完成算术运算和逻辑运算。算术运算是指按照算术运算规则进行的运算,如加、减、乘、除以及它们的复合运算。逻辑运算则为非算术性运算,如与、或、非、异或、比较、移位等。

运算器的核心是算术逻辑部件(Arithmetic and Logical Unit),简称为 ALU。运算器中还设有若干寄存器,用于暂存操作数据和中间结果。由于这些寄存器往往兼备多种用途,如用作累加器、变址寄存器、基址寄存器等,所以通常称为通用寄存器。运算器的简单框图如图 1-3 所示。

5. 控制器

如果把计算机比作一个乐团,那么前面讲的输入设备、输出设备、存储器、运算器就相当于不同乐器的演奏员,而控制器则相当于乐团的指挥,它是整个计算机的指挥中心。乐

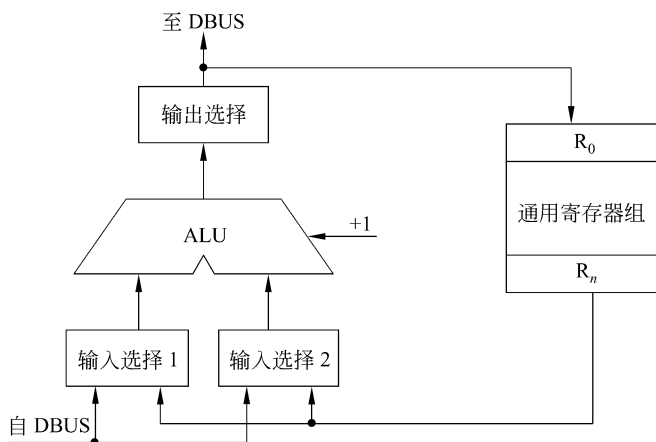


图 1-3 运算器的简单框图

团的指挥是根据作曲家事先编好的乐曲进行指挥的,计算机控制器也是根据事先编好的“乐曲”进行指挥的,这个“乐曲”称为程序。程序就是解题步骤,控制器就是按着事先安排好的解题步骤,控制计算机各个部件有条不紊地自动工作的。程序按指令序列存放在存储器中,控制器根据程序实施控制,这种工作方式称为存储程序方式。

1.2.2 冯·诺依曼计算机

存储程序的概念是由美国数学家冯·诺依曼于 1946 年 6 月在研究 EDVAC 计算机时首先提出来的,它奠定了现代计算机的结构基础。尽管几十年来,计算机体系结构发生了许多重大变革,但存储程序的概念仍是普遍采用的结构原则,现在广泛应用的计算机仍属于冯·诺依曼的结构。

1. 存储程序思想

冯·诺依曼思想的基本要点可归纳如下:

1) 计算机由输入设备、输出设备、运算器、存储器和控制器五大部件组成

图 1-1 所示为计算机的基本硬件组成。通常把运算器和控制器统称为 CPU,把 CPU 与主存储器(内存)统称为计算机主机,而把输入设备、输出设备、外存储器称为计算机的外部设备,简称为 I/O 设备。

2) 采用二进制形式表示数据和指令

指令是程序的基本单位,由操作码和地址码两部分组成,操作码指明操作的性质,地址码给出数据所占存储单元的地址编号。若干指令的有序集合组成完成某功能的程序。冯·诺依曼结构计算机中,指令与数据均以二进制代码的形式同存于存储器中,两者在存储器中的地位相同,并可按地址寻访。

3) 采用存储程序方式

这是冯·诺依曼思想的核心。存储程序是指在用计算机解题之前,事先编制好程序,并连同所需的数据预先存入主存储器中。在解题(运行程序)过程中,由控制器按照事先

编好并存入存储器中的程序自动地、连续地从存储器中依次取出指令并执行,直到获得所要求的结果为止。所以,存储程序方式是计算机能高速、自动运行的基础。

2. 早期的冯·诺依曼计算机

在微处理器问世之前,运算器和控制器是两个分离的功能部件,加上当时存储器还是以磁芯存储器为主,计算机存储的信息量较少,因此早期冯·诺依曼提出的计算机结构是以运算器为中心的,其他部件都通过运算器完成信息的传递。图 1-4 描述了早期冯·诺依曼计算机的组织结构图。

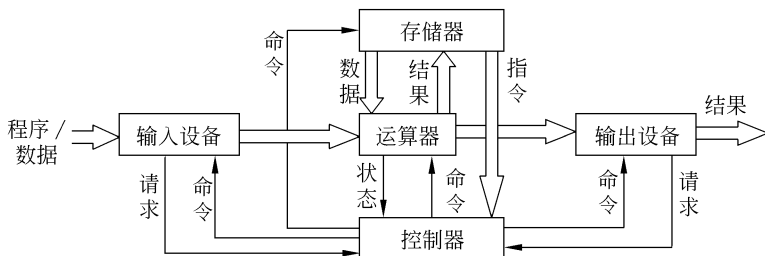


图 1-4 典型的冯·诺依曼计算机结构图

3. 现代计算机组织结构

随着微电子技术的进步,人们成功地研制出了微处理器。微处理器将运算器和控制器两个主要功能部件合二为一,集成到一个芯片里。同时,随着半导体存储器代替磁芯存储器,存储容量成倍地扩大,加上需要计算机处理、加工的信息量与日俱增,以运算器为中心的结构已不能满足计算机发展的需求,甚至会影响计算机的性能。必须改变这五大功能部件的组织结构,以适应发展的需要,因此现代计算机组织结构逐步转变为以存储器为中心,如图 1-5 所示。但是现代计算机的基本结构仍然遵循冯·诺依曼思想。

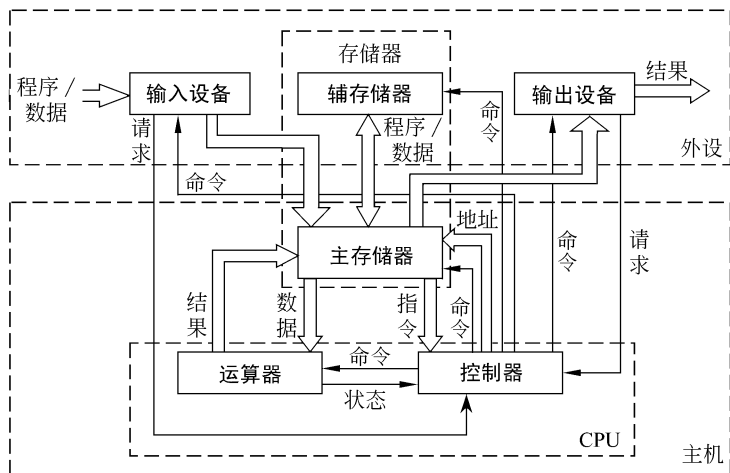


图 1-5 现代计算机结构图

1.3 计算机的软件系统

在计算机系统中,各种软件的有机组合构成了软件系统。基本的软件系统应包括系统软件与应用软件两大类。

1.3.1 系统软件

系统软件是一组保证计算机系统高效、正确运行的基础软件,通常作为系统资源提供给用户使用。主要有以下几类:

1. 操作系统

操作系统是软件系统的核心,负责管理和控制计算机的硬件资源、软件资源和程序的运行,包括并发控制、内存管理、处理机的进程/线程调度、I/O 管理和磁盘调度、文件命名与管理等。它是用户与计算机之间的接口,提供了软件的开发环境和运行环境。

2. 语言处理程序

由于计算机硬件实体只能识别和处理用数字代码表示的机器语言,因此任何用其他语言编制的程序都必须翻译为机器语言程序后才能由计算机硬件去执行和处理。完成这种翻译的程序就称为语言处理程序。通常有两种翻译方式:一种称为解释,通过解释程序对用程序设计语言编写的源程序边解释边执行。另一种称为编译,通过编译程序将源程序全部翻译为机器语言的目标程序后,再执行目标程序。这是一种更常用的方式。

3. 数据库管理系统

在信息处理、情报检索以及各种管理系统中,计算机需要大量地处理数据,检索和建立各种表格等,这些数据和表格按一定规律组织起来,就建立了数据库。

为了便于用户根据需要建立数据库,查询、显示、修改数据库的内容,输出打印各种表格等,就必须有一个数据库管理系统。数据库管理系统既可以认为是一个系统软件,也可以认为是一个通用的应用软件,用于实现对数据库的描述、管理和维护等。

4. 分布式软件系统

分布式软件主要用于分布式计算环境,管理分布式计算资源,控制分布式程序的运行,提供分布式程序开发与设计工具等。它包括分布式操作系统、分布式编译系统、分布式数据库系统、分布式算法及软件包等。

5. 网络软件系统

计算机网络已是人们生活中的一部分,如收发电子邮件、网上购物等,网络软件系统就是用于支持这些网络活动和数据通信的系统软件。它包括网络操作系统、通信软件、网络协议软件、网络应用系统等。

6. 各种服务程序

一个完善的计算机系统往往配置有许多服务性的程序,主要是指为了帮助用户使用

和维护计算机,提供服务性手段而编制的程序。这类程序可以包含很广泛的内容,如装入程序、编辑程序、调试程序、诊断程序等。这些程序或者被包含在操作系统之内,或者被操作系统调用。

还有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,也可认为是一种服务程序。

1.3.2 应用软件

应用软件是指用户为解决某个应用领域中的各类问题而编制的程序,如各种科学计算类程序、工程设计类程序、数据统计与处理程序、情报检索程序、企业管理程序、生产过程控制程序等。由于计算机已应用到各种领域,因而应用程序是多种多样、极其丰富的。目前应用软件正向标准化、集成化方向发展,许多通用的应用程序可以根据其功能组成不同的应用软件包,供用户选择使用。

1.4 计算机系统的组织结构

1.4.1 硬件与软件的关系

一个计算机系统是由硬件、软件两大部分组成。硬件和软件是紧密相关、缺一不可的整体。硬件是计算机系统的物质基础,没有硬件,再好的软件也无法运行;没有强有力的硬件支持,就不可能编制出高质量、高效率的软件;没有好的硬件环境,一些先进的软件也无法运行。同样,软件是计算机系统的灵魂,没有软件,再好的硬件也毫无用途,犹如一堆废物;没有高质量的软件,硬件也不可能充分发挥它的效率。

虽然在一个具体的计算机系统中,硬件、软件是紧密相关、缺一不可的,但是对某一具体功能来说,既可以用硬件实现,也可以用软件实现,这就是硬件、软件在逻辑功能上的等效。所谓硬件、软件在逻辑功能上的等效是指任何由硬件实现的操作,在原理上均可用软件模拟来实现;同样,任何由软件实现的操作,在原理上都可由硬件来实现。因此在设计一个计算机系统时,必须根据设计要求、现有技术与器件条件,首先确定哪些功能直接由硬件实现,哪些功能通过软件实现,这就是硬件和软件的功能分配。

1.4.2 计算机系统的多级层次结构

现代的计算机是一个硬件与软件组成的综合体。由于面对的应用范围越来越广,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,以各种不同的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。假如在软件和硬件之间或在系统设计师和使用者之间不能很好地协调、配合,就会大大影响系统的性能与效率。

计算机系统的多级层次结构,就是针对上述情况,根据从各种角度所看到的机器之间的有机联系,分清彼此之间的界面,明确各自的功能,以便构成合理、高效的计算机

系统。

关于计算机系统层次结构的分层方式,目前尚无统一的标准,这里采用图 1-6 所示的层次结构。

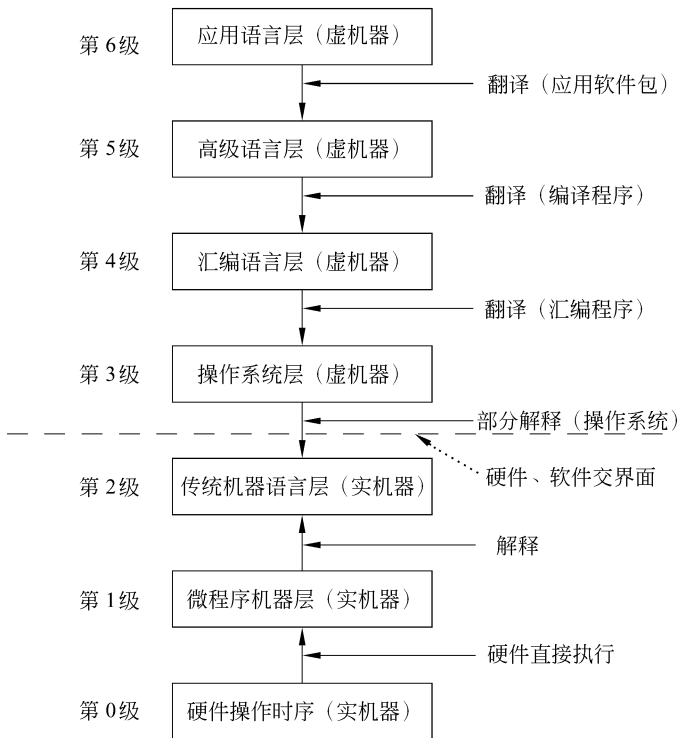


图 1-6 计算机系统的多级层次结构

第 0 级是硬件组成的实体。

第 1 级是微程序机器层,这是一个实在的硬件层,它由机器硬件直接执行微指令。

第 2 级是传统机器语言层,它也是一个实际机器层。这一层由微程序解释机器指令系统。

第 3 级是操作系统层,它由操作系统程序实现。操作系统程序是由机器指令和广义指令组成的,这些广义指令是为扩展机器功能而设置的,它是由操作系统定义和解释的软件指令,所以这一层也称为混合层。

第 4 级是汇编语言层,它为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 级是高级语言层,它是面向用户的,为方便用户编写应用程序而设置的。该层由各种高级语言编译程序支持和执行。

第 6 级是应用语言层,它直接面向某个应用领域,为方便用户编写该应用领域的应用程序而设置。这一层由相应的应用软件包支持和执行。

在多级层次结构中,除了第 1 级和第 2 级是实机器以外,上面几层均为虚机器,所谓虚机器是指用软件技术构成的机器。虚机器一定是建立在实机器的基础上,利用软件技