

第 3 章

计算机基本工作原理

3.1 计算机系统概述

3.1.1 计算机系统的基本组成

自从第一台计算机于 1946 年诞生以来，计算机发展了半个多世纪。但是，现代计算机的基本体系结构和作用机制仍然沿袭着冯·诺伊曼的最初构思和设计，人们把这种计算机统称为冯氏机（Von Neumann Computer）。按照冯·诺依曼的计算机设计原理，一个完整的计算机系统包括硬件系统及软件系统两部分，简称为硬件和软件。硬件是组成计算机各种部件和设备的总称，也是计算机系统的基础和核心。软件是在计算机硬件设备上运行的各种程序及其相关数据的总称，也是计算机系统的灵魂，一台计算机光有硬件而没有软件就像一堆废铁没有用。计算机系统的组成结构如图 3-1 所示。



图 3-1 计算机系统结构

3.1.2 计算机的硬件系统

计算机的硬件系统从表面上看是由一些看得见、摸得着的东西，如显示器、键盘、鼠标、机箱等组成的。从理论上讲，计算机是由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五个基本部分组成的。通常把没有软件的计算机称为“裸机”。计算机的硬件系统结构如图 3-2 所示。

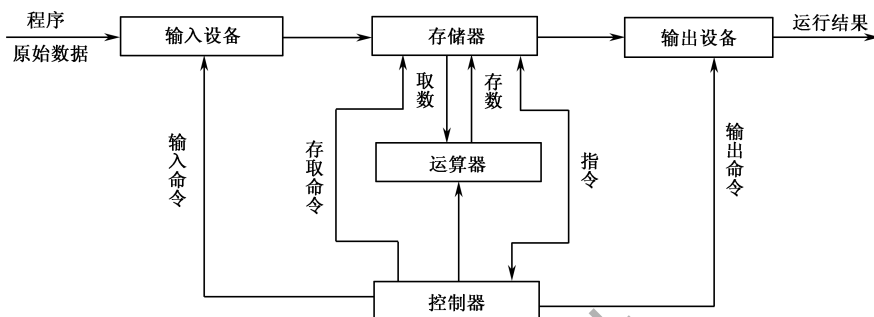


图 3-2 计算机的硬件系统结构

从图 3-2 中可以看出计算机硬件系统的工作过程：原始数据和程序在控制器的指挥下，由输入设备送入存储器；运算器运算时，从存储器中取出数据，运算完毕再将结果存入存储器或者传送到输出设备输出；从存储器中取出的指令由控制器根据指令的要求发出控制信号控制其他部件协调工作。

计算机各部件之间是用总线（BUS）连接的。总线是传送数据、指令及控制信息的公共传输通道。总线由三部分组成：地址总线（Address Bus, AB 总线）、数据总线（Data Bus, DB 总线）、控制总线（Control Bus, CB 总线）。

运算器（ALU）是对信息进行加工和处理（主要是算术和逻辑运算）的部件。运算器是由能进行简单算术运算（加、减等）和逻辑运算（与、或、非运算等）的运算部件及若干用来暂时寄存少量数据的寄存器、累加器等组成的。

控制器（Controller）是计算机的神经中枢和指挥中心。它要根据用户通过程序所下达的加工处理任务，按时间的先后顺序，负责向其他各部件发出控制信号，并保证各部件协调一致地工作。它主要由指令寄存器、译码器、程序计数器、操作控制器等组成。控制器从存储器取出指令，进行译码，分析指令，再根据指令功能发出控制命令，控制各部件去执行指令中规定的任务。

需要指出的是，运算器和控制器是集成在一块物理芯片上的，一般称为中央处理单元（CPU）。CPU 是计算机的核心部件。

存储器（Memory）是计算机中具有记忆功能的部件。它的职能是存储程序和数据，并能根据指令来完成数据的存取。经计算机初步加工后的中间信息和最后处理的结果信息都记忆或存储在存储器中。除这些信息外，还存放着如何对输入的数据信息进行加工处理的一系列指令所构成的程序。

根据存储数据的介质不同，存储器可分为内存储器和外存储器两大类。内存储器（内存），也称主存储器。内存一般容量较小，但存取速度快。内存又包括只读存储器（ROM）、随机存储器（RAM）和高速缓存（Cache）。凡要执行的程序和参加运算的数据都必须先调

入内存（RAM 和 Cache）。外存储器（外存），也称辅助存储器。外存容量大，但存取速度较慢，常用的外存有磁盘、磁带、光盘等。它用来存放暂时不用的而又需长期保存的数据，需要时可调入内存使用。

输入（Input）可以包括输入、提交和传送给计算机的任何数据。输入者可以是人、环境或另一台计算机。计算机可输入的数据类型包括文档中的字、符号，用于计算的数字、图像，来自于自动调温器的温度、由麦克风输入的声音信号和计算机的指令等。由于信息的载体不同，所需信息的转换并输入给计算机的设备也不同，可供使用的输入设备很多，如键盘、鼠标、扫描仪、磁盘机等。

输出（Output）指的是计算机产生的结果，包括报表、文档、音乐、图表和图像等。输出设备用于显示、打印和传输处理的结果，对于不同的信息由计算机输出的设备也不尽相同，常见的输出设备有很多，如显示器、打印机、音箱、绘图仪等。

3.1.3 计算机的软件系统

软件是计算机的灵魂。没有安装软件的计算机，无法完成任何工作。硬件为软件提供运行平台。软件和硬件相互关联，两者之间可以相互转化，互为补充。计算机的软件系统分系统软件和应用软件两大类。

1. 系统软件

系统软件是向用户提供的一系列程序和文档资料的统称。它面向计算机的硬件，与计算机的硬件结构、逻辑功能有密切关系。它的主要功能是对整个计算机系统进行调度、管理、监视及服务。系统软件分为操作系统、语言处理程序、系统管理与服务软件。

（1）操作系统

操作系统是控制和管理计算机软/硬件资源，用尽量合理有效的方法组织多个用户共享多种资源的程序集合。它是计算机系统中最基本的系统软件，是用户和计算机硬件之间的接口。操作系统的主要功能有处理机管理、存储器管理、设备管理、文件管理和用户接口管理。操作系统的主要特征为并发性、共享性、不确定性、虚拟性。常用的操作系统有 MS-DOS、Windows 7、Windows 8、Windows 10、UNIX、Linux 等。

（2）语言处理程序

程序就是一系列的操作步骤，计算机程序就是由人事先规定的计算机完成某项工作的操作步骤。每一步骤的具体内容由计算机能够理解的指令来描述，这些指令告诉计算机“做什么”“怎样做”。编写计算机程序所使用的语言称为程序设计语言。

语言处理程序一般是由汇编程序、编译程序、解释程序和相应的操作程序等组成的。它是为用户设计的编程服务软件，其作用是将高级语言源程序翻译成计算机能识别的目标程序。

（3）系统管理与服务软件

系统管理与服务软件包括数据库管理系统、实用工具服务软件等。数据库和数据管理软件一起组成数据库管理系统。实用工具服务软件是由诊断软件、调试开发工具、文件管理专用工具、网络服务程序等组成的。

2. 应用软件

应用软件是用户为了解决各自应用领域里的具体任务而编写的各种应用程序和有关文

档资料的统称。这类软件能解决特定的问题。应用软件的操作简单易学，受到用户的欢迎。应用软件与系统软件的关系是：系统软件为应用软件提供基础和平台，没有系统软件应用软件是无源之本，反过来应用软件又为系统软件服务，如图 3-3 所示。

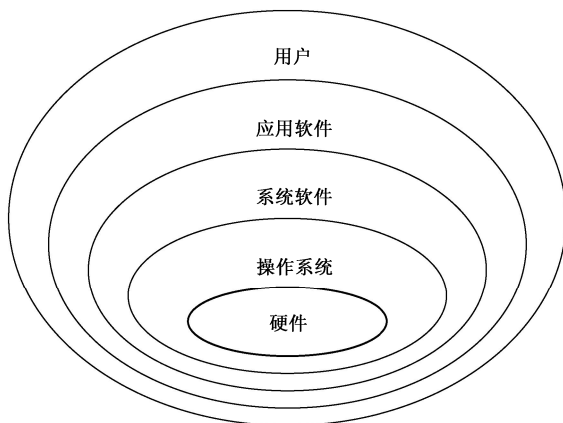


图 3-3 系统软件与应用软件的关系

常用的应用软件分类如下：

- 字处理软件。字处理软件的主要功能是对各类文件进行编辑、排版、存储、传送、打印等。字处理软件被称为电子秘书，能方便地处理文件、信函、表格等。在办公室自动化方面起了重要的作用。目前常用的字处理软件有 Word、WPS 等。它们除字处理功能外，都具有简单表格处理功能。
- 电子制表处理软件。电子制表处理软件能对文字和数据的表格进行编辑、计算、存储、打印等，并具有数据分析、统计、制图等功能。
- 计算机辅助设计软件。计算机辅助设计软件的主要功能是用计算机来进行各种工程或产品设计。设计中的许多繁重工作如计算、画图、数据的存储和处理等均可由计算机完成；计算机辅助测试软件的主要功能是利用计算机作为工具执行测试的过程；计算机辅助制造软件的主要功能是利用计算机通过各种数值控制机床和设备，自动完成产品的加工、装配、检测和包装等生产过程。
- 图形软件。图形软件被设计用来帮助用户创建、显示、修改或打印图形，主要有绘图软件、照片编辑软件、制图软件等。
- 计算机辅助教育软件。计算机辅助教育软件可以让学习者利用计算机学习知识。计算机内有预先安排好的学习计划、内容、习题等。学生与计算机通过人机对话，了解学习内容，完成习题作业。计算机对习题完成情况进行评判。
- 电子游戏软件。电子游戏软件是目前流行的娱乐性软件，可以划分为若干类型，例如，角色扮演类、动作类、探险类、益智类、模拟类以及战略类等。

3.2 计算机的工作原理

计算机要在硬件系统与软件系统相互配合下才能工作。计算机要完成某项任务，是通过在存储器中取出程序并执行程序来实现的，而程序实质上是由一个一个的指令序列组成

的。因此，计算机的工作过程就是取指令、分析指令、执行指令不断循环的过程。

1. 计算机指令系统

指令是能被计算机直接识别并执行的二进制代码，每个指令规定计算机执行一个基本操作，一个程序规定计算机完成一个完整的任务。在微机的指令系统中，一条指令由两部分组成：第1字节是操作码，规定计算机要执行的基本操作，如加、减、乘、除、传送、移位、比较等；第2字节是操作数，用来指定操作的对象，其内容可以是操作数本身，也可以是操作数的地址。

一种计算机所能识别的一组不同指令的集合，称为该种计算机的指令集合或指令系统。计算机执行程序就是执行一串指令序列，通过指令序列完成一个完整的工作任务。不同类型的计算机指令系统的指令数不一定相同，但所有的计算机指令系统应具有这些功能指令类型：①数据传送指令；②算术、逻辑运算指令；③程序控制指令；④输入、输出指令；⑤状态管理指令；⑥其他指令等。

2. 计算机的工作过程

为了完成某种工作任务，需要把任务分解成若干基本操作，确定完成工作任务的基本操作的先后顺序，然后用计算机可以识别的指令来编排完成工作任务的操作顺序。计算机按照事先设计好的操作步骤，每一步操作都是由特定的指令完成的，一步一步地进行，从而完成一个完整的工作任务。

归纳起来，计算机指令的执行过程可分为四个阶段：取指令；分析指令；执行指令；一条指令执行完成，程序执行的指针指到下一条指令，然后取第二条指令。这是一个循环过程，如图3-4所示。

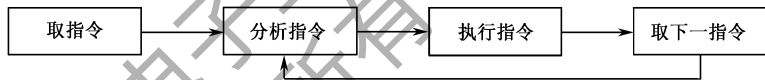


图 3-4 计算机的工作过程

3.3 计算机硬件系统

计算机硬件系统的结构相对简单，通常是由内部设备和外部设备组成的，主要包括下列部件。

1. 主板

主板又叫主机板或系统板，是一切部件的基础，上面安装了构成计算机的主要电路系统，它将CPU、内存及外部设备连成一体，主板上集成了BIOS芯片、I/O控制芯片、键盘和面板控制开关接口、指示灯插接件、扩充插槽、主板及插卡的直流电源供电接插件等元件。

一块主板性能的好坏，主要取决南桥芯片和北桥芯片组成的芯片组。北桥芯片负责管理CPU、高速显示卡、内存三者之间的数据处理，由于北桥芯片管理的是高速设备，发热量较大，因而需要散热片或风扇散热。南桥芯片负责管理的是外存储器、PCI总线和监控

硬件之间的数据交流，南桥芯片处理的是主板上的低速设备，发热量较小，不需要使用散热片或风扇散热。芯片组决定了主板的性能和主板所支持其他设备的类型。主板的结构图如图 3-5 所示。

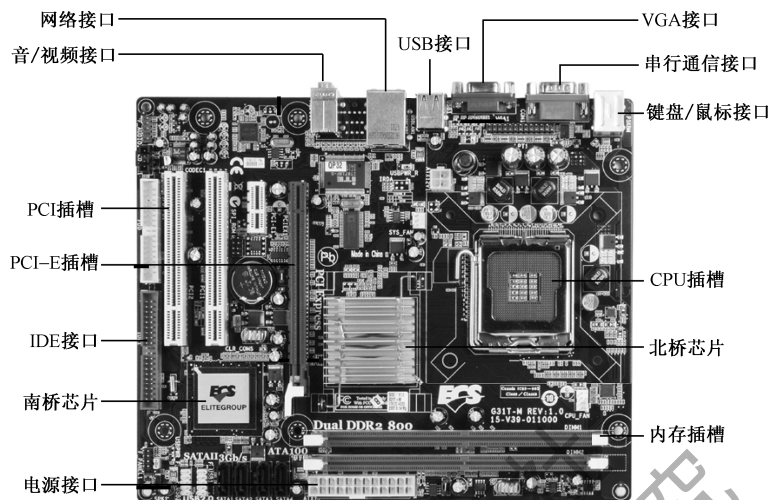


图 3-5 主板的结构图

2. CPU

CPU（中央处理单元）是计算机的核心部件，它是决定计算机性能的关键部件。

从原理上看，CPU 的内部结构分控制单元、逻辑单元、存储单元三部分。从组成器件上看，CPU 的内部是由成千上万组晶体管组成的，晶体管实质上就是一组双位开关，即“开”和“关”。CPU 的主要性能指标包括主频、字长、高速缓存、指令集合和动态处理技术、制造工艺、封装方式和工作电压等。

主频是指 CPU 的工作时钟频率，是 CPU 内核电路的实际运行频率。一般说主频越高，一个时钟周期里面完成的指令数就越多，速度也越快。主频的单位为兆赫兹（MHz）和吉赫兹（GHz）。我们通常所说的 2.8GHz、3.0GHz 就是指 CPU 的主频。

字长（Word Size）是指微处理器能够同时处理的位的个数。字长的大小取决于 ALU 中寄存器的容量和连接这些寄存器的电路性能。例如，8 位字长的微处理器有 8 位的寄存器，每次能处理 8 位的数据，因此被称为“8 位处理器”。有更大字长的处理器能够在每个处理器周期内处理更大的数据，因此，字长越长的计算机性能越好。目前的个人计算机通常都带有 64 位或 128 位的处理器。

高速缓存（Cache）也称为“RAM 缓存”或“缓冲存储器”。它是一种具有很高速度的特殊内部存储器，与安装在主板上其他位置的内存相比，它能够使微处理器更快地获得数据。一些计算机广告中对缓存的类型和容量进行了详细说明。缓存分为两个等级：早期的一级缓存（Level 1 Cache，L1）被安装在处理器芯片内部，而二级缓存（Level 2 Cache，L2）则存在于另一个芯片中，需要处理器花长一点时间才能获得数据。现在的一、二级缓存都安装在处理器芯片内部，缓存的容量通常用 KB 来描述。理论上讲，缓存容量越大，处理速度就越快。然而，在目前的计算机中，缓存的容量通常与某种处理器的型号密切相关。对于用户来说，是否知道缓存容量并不重要，因为缓存是不能被配置的。例如，不更

换微处理器，就不可能给计算机添加更大的一级缓存。

目前，计算机的主流 CPU 产品主要有美国 Intel 公司的“酷睿 i5 8”系列、“酷睿 i7 8”系列、“酷睿 i9 X”系列和“赛扬双核”系列，如图 3-6 所示。



图 3-6 Intel 酷睿系列 CPU

还有美国 AMD 公司的“Ryzen（锐龙）5”系列、“Ryzen（锐龙）7”系列、“Ryzen（锐龙）Threadripper”系列，如图 3-7 所示。



图 3-7 AMD 锐龙系列 CPU

在计算机通用 CPU 方面，近几年我国也取得了很大的成绩。中国科学院计算所自主研发的龙芯 CPU，采用简单指令集，类似于 MIPS 指令集。龙芯 1 号的频率为 266MHz，最早在 2002 年开始使用。龙芯 2 号的频率最高为 1GHz。龙芯 3A 是首款国产商用 4 核处理器，其工作频率为 900MHz~1GHz。龙芯 3A 的峰值计算能力达到 16GFLOPS。龙芯 3B 是首款国产商用 8 核处理器，主频达到 1GHz，支持向量运算加速，峰值计算能力达到 128GFLOPS，具有很高的性能功耗比。2015 年 3 月 31 日中国发射首枚使用“龙芯”的北斗卫星。2017 年 4 月 25 日，龙芯中科公司正式发布了龙芯 3A3000/3B3000、龙芯 2K1000、龙芯 1H 等产品。2023 年第 4 季度，龙芯中科公司发布了国产最强桌面 CPU 龙芯 3A6000，性能达到 7nm 工艺的 AMD 的 Zen 2 和 Intel 十代酷睿水平，国产 CPU 已经有了长足的进步，在芯片性能方面，我们已经迎头赶上。在可以预见的未来，在桌面 CPU 方面，龙芯中科公司将有机会与英特尔、AMD 同台竞技、一较高下。我国的龙芯 CPU 性能价格都不错，正在为广大用户所接受，如图 3-8 所示。



图 3-8 龙芯 CPU

3. 存储器

存储器 (Memory) 是用于保存电子信息的记忆设备。计算机中的存储器按用途可分为主存储器和辅助存储器, 也有分为外部存储器和内部存储器的分类方法。外存通常是磁性介质或光盘等, 能长期保存信息。内存用来存放当前正在执行的数据和程序, 但仅用于暂时存放程序和数据, 关闭电源或断电, 数据会丢失。

1) 内存存储器

内存存储器习惯上称为内存, 它是与 CPU、硬盘等外部存储器进行数据交流的桥梁。所有的计算机中程序都是在内存存储器中运行的, 因此, 内存存储器的性能直接影响计算机的运算速度。主存储器也称为内存, 通常是由内存芯片、电路板、金手指等部分组成的。辅助存储器也称为外存。内存安装在主板上, 可以与 CPU 直接交换信息。外存也必须与主板连接, 但不能和 CPU 直接交换信息。

内存存储器是由 RAM 和 ROM 组成的。

(1) RAM

RAM 也称为可读写存储器或随机存储器, 如图 3-9 所示, 它是一块能够暂时存储数据、应用程序指令和操作系统的固定区域。在个人计算机中, RAM 通常是由几块芯片或几个小电路板组成的, 一般都插在计算机系统单元中的主板上。

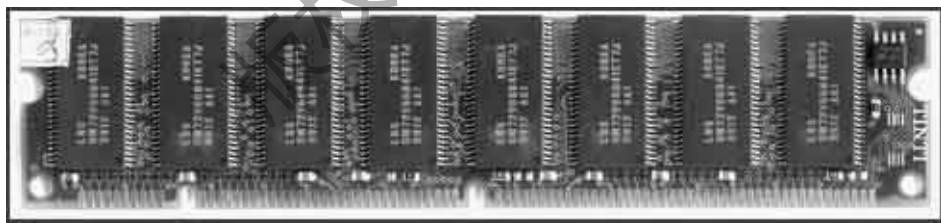


图 3-9 RAM 存储器

① RAM 是计算机处理器的“候车室”。它用来保存等待处理的原始数据和用于处理该数据的程序。此外, 当处理结果保存在磁盘或磁带上之前, RAM 还用于暂存这些结果。除了数据和应用软件指令以外, RAM 还要存储一些用于控制计算机系统基本功能的操作系统指令。每次打开计算机时, 这些指令都被装载到 RAM 中, 并始终在那里, 直到关闭计算机为止。

② RAM 特点是容量小, 存储速度快, 断电后数据会消失。计算机的初学者往往容易把 RAM 和硬盘存储器弄混, 这可能是因为这两种部件都用于保存数据, 而且通常都被“藏”