

第 1 章 计算系统

计算系统包括两部分：计算机和数据。这个概念是由冯·诺依曼（John von Neumann, 1903—1957）于 1945 年提出的。冯·诺依曼在计算机和博弈论方面都有杰出的贡献。计算系统是一个极其复杂的系统，其复杂性被飞速发展的技术所隐藏，使得计算机得以普遍应用。本书的目的是解释这个复杂系统。本章从介绍计算机开始，通过计算机模型、计算机硬件、操作系统、数据与信息、网络等基本概念和重要术语的介绍，以期读者对计算系统有一个初步的、整体的认识。

1.1 计算机系统

如果问“计算机是什么”，可能每个人都有自己的答案。如果问“计算机能做什么”，可能的回答是无所不能。当然，真实的情况并非如此。还有一个问题，“计算机里有什么”。回答这个问题就有点难度了。只要不是计算机专业人员，哪怕是对计算机（智能手机）熟悉的很多人，他们频繁使用很多应用，如网络购物、外卖、打车、订票、发微信、地图定位、视频通话等，但不一定了解计算机究竟是如何运作，不一定了解计算机的基本知识。

不知道计算机原理，并不影响人们使用它。但接受良好的教育包括学习计算机的基本知识，了解计算机技术如何影响着社会，如何影响着人类的生活，网络如何改变着世界。同时，理解计算机处理问题的方法和过程也是一种科学素质，有助于个人能力的提升。

计算机的核心技术领域有硬件、软件和网络通信。就计算机这个机器而言，它是一个系统，由硬件和软件组成，如表 1-1 所示。

本节介绍计算机系统的基本知识。有关计算机的组成部件在 1.4 节中进一步介绍。

许多文献中使用“计算机”作为其正式名称，但广为人知的名称是“电脑”。本书对这两个名词不加区别地使用。

表 1-1 计算机系统的组成

计算机	硬件	处理器（主机）
		存储器
		输入/输出设备
	软件	系统软件
		应用软件（App）

1.1.1 硬件

实际上，计算机（computer）的原意是“从事计算的人”。计算机的重要贡献者冯·诺依曼最初将计算机称为“自动计算系统”，后来以“电子通用数字计算机”命名。在本书中，“计算机”或“计算机系统”多与机器相关，而计算系统指计算机和数据。

计算机硬件（hardware）是指物理装置的机器。图 1-1 所示的是不同种类的计算机，从左到右分别是服务器（server）、台式一体机（desktop，主机和显示器被制造在一起）、笔记本电脑（notebook/laptop）、平板电脑（pad）和智能手机（smartphone）。服务器多为企业或机构使用，其余是个人计算机。还有更大体积的计算机——超级计算机，图 1-2 是无锡国家超级计算机中心的神威太湖之光（Sunway Taihulight），由 40 个机柜（体积如同较大的双门冰箱）和 8 个网络机柜组成。神威太湖之光从 2016 年 6 月开始占据世界最快计算机的位置达两年多（最快计算机排行榜：www.top500.org）。2018 年 11 月，排名首位的是美国 IBM 公司的机器。无论大小，这些计算机都被称为计算机系统（computer system）。



图 1-1 不同种类的计算机



图 1-2 神威太湖之光超级计算机

计算机分类没有标准，最简单的方法是按计算机的规模及售价划分：① 数千万美元的超级计算机（supercomputer），如神威太湖之光。这类机器体积庞大，价格昂贵，通常用于极为复杂的、海量的数据处理领域，如地震模拟、核武器试验、气象分析、生物信息处理等。② 数百万美元的大型计算机（mainframe computer），多用于跨国企业的信息系统，如银行、航空公司等。③ 数万至数十万美元的小型计算机（small computer），一般用作企业、政府、学校等机构的网络服务器，或用于研究机构、较大型的工程设计领域。④ 价格便宜的微机（microcomputer），用户最多。更为人熟知的微机的另一个名字是 PC（Personal Computer，个人计算机），是美国 IBM（International Business Machines）公司 1981 年生产的微机的商标。此后，PC 就成为了微机的代名词。笔记本电脑（notebook computer）早期的名字是膝上机（laptop），是一种便携式的微机。

比微机更小的是嵌入式计算机。今天的大多数实验室仪器、医疗设备、工业设备都带有数据处理能力，这种处理能力依赖于嵌入其中的计算机芯片。家用电器，如电视机、电冰箱等，也内嵌计算机芯片，以实现更高级的功能。交通工具，如飞机、轮船和汽车，不但使用计算机进行设计、制作，而且其内部嵌入了大量的计算机芯片实现自动检测、控制和导航等功能。

另一类是移动设备，如平板电脑、智能手机等，有时也将笔记本电脑归类为移动设备。智能手机（smartphone）就是附加了电话功能的掌上机，具有个人计算机的大部分功能。当然，这里的智能只是指“计算机功能”，还没有真正意义上的智能。一直在研究之中的可穿戴式计

算机，虽然没有形成真正意义上的产品，但某些带有处理、通信的类似玩具的智能手环、智能眼镜等也开始问世，并被热捧。

1.1.2 软件

计算机的硬件是看得见的物理部分，而计算机的软件（**software**）是看不见的。软件是控制计算机硬件运行的程序。硬件与软件的关系有一个很好的比喻：如果计算机硬件是躯体，那么软件就是灵魂。实际上，计算机硬件之外的所有东西，包括文档、程序、语言等，都被归类为软件。因此，软件也是一个极其复杂的系统。

软件分为系统软件和应用软件两类。服务于计算机本身的那些软件称为“系统软件”（**system software**），其主要任务是确保计算机能够有效地完成用户的任务。系统软件包括操作系统（**operating system**），如 Windows、MacOS/iOS、Android（安卓）等，也包括计算机编程语言，以及硬件检测和管理的一些工具软件。

软件的另一类是应用软件（**application software**），或者称为应用程序，现在常以“App”（读[æp]）代之。尽管从专业术语上对程序（**program**）和软件的定义是不同的，但很多人将 App 视为程序、软件的代名词。

应用软件是解决特定应用问题的软件。例如，字处理软件、电子表格、演示软件、电子邮件等是通用型的应用软件。很多计算机应用都需要专门的软件，如学校的教务系统就是为了进行学生选课、课程安排、成绩记载、学籍管理等工作的应用软件。

从数据的角度看，程序对数据进行处理是完成计算功能。这里的计算泛指处理过程，如文字处理、事务处理等。被冠以计算的很多术语，如智能计算、云计算、边缘计算，就是因为它们是基于计算机的，当然需要相应的程序。从计算系统的角度看，程序本身也是数据。

1.2 计算机简史

在 20 世纪 40 年代的第二次世界大战期间，为破译通信密码和解决新型火炮弹道的复杂计算，美国开始研制计算机。相比于数学、物理、化学等学科，计算机学科的历史很短，但对人类社会的影响确实无与伦比：计算机颠覆性地改变了人类的生活、工作、学习方式，改变了商业模式和生产制造过程。

人类使用计算工具的历史可以追溯到数百年前，如我国的算盘就是一个古老的计算工具。一般说来，20 世纪 40 年代前的各种计算工具，如算盘、手摇计算机、机械式计算机等，都不被认为是计算机，因为这些装置不能实现“自动计算”。人们把 1946 年的 ENIAC（**Electronic Numerical Integrator And Computer**，电子数字积分计算机）称为第一台（自动）计算机。下面从硬件和软件两方面简单介绍计算机的历史。有兴趣的读者可访问计算机历史博物馆网站：<https://www.computerhistory.org/>，其中介绍得很详细。

1.2.1 硬件史

计算机问世的初期，计算机就是指计算机的硬件。由于硬件是计算机的物理体现，因此在计算机发展史中，主要依据其硬件的技术特征作为标志，并没有严格的时间划定。

ENIAC 是第一代计算机（1945—1954）的典型代表，采用电子管作为主要器件。这个阶段后期，开始使用磁芯、磁鼓等设备作为计算机的存储器。这个时期的计算机主要承担的是科学计算任务。

第二代计算机（1955—1960）使用晶体管。晶体管体积小、功耗低、速度快、可靠性高、成本低廉，适合大批量生产。晶体管是 1947 年发明的，但直到 1955 年才开始使用到计算机上。这个时期，计算机发展提速，开始用于科学计算之外的事务处理，同时开始使用电话线进行计算机的数据传输，这就是计算机网络的萌芽阶段。

20 世纪 60 年代开始使用集成电路（Integrated Circuits, IC）制造计算机，进入了第三代计算机时代（1963—1975）。集成电路是将大量的电子元器件，如电阻、电容、晶体管等制作在一个面积很小（以 cm^2 计）的半导体芯片上，以完成特定的电子线路功能。相对晶体管，集成电路在体积、重量、能耗等方面具有绝对的技术优势。在这个时期，另一个与计算机相关的重大事件是发射了同步通信卫星，由此实现了地面与空间的数据通信。

到了 70 年代，计算机核心的处理和电路可以被集成在单个芯片上，即计算机的 CPU（Central Processing Unit, 中央处理器），计算机进入了大规模集成电路的第四代（1975 年至今）。这个时期，最具影响力的是个人计算机的发展，也正是因为大规模集成电路的广泛应用而得以迅猛发展，使计算机走出科学家的实验室，摆到办公桌上，装入口袋里。

1965 年，Intel 的董事长戈登·摩尔（Gordon Moore）曾预言，集成电路的集成度（单位面积的元器件数量）每 18 个月提高 1 倍，价格下降一半。后来摩尔把时间修正到 2 年。这个预言被称为摩尔定律，此后的 40 多年的发展都验证了这个定律。

1.2.2 软件史

第一代计算机使用二进制代码编程，代码是计算机直接执行的指令代码。这个时期还没有软件的概念，只有编程（programming）。程序员需要非常熟悉机器指令代码，这个时期的程序员多为数学家和计算机专业工程师。机器代码编程极易出错，进而使用英文缩写表示机器代码，这就是汇编语言。汇编语言编写的程序最初要经过人工翻译成机器代码，后来翻译工作可以也通过程序来实现。

第二代计算机时期，计算机的硬件功能得到提升，对程序的要求自然随之提高。这个时期类似英文表达的高级编程语言被设计、开发出来。当时典型的高级编程语言有两个——FORTRAN 和 COBOL，前者主要用于科学计算，后者用于商业应用。这个时期，设计高级语言的是系统程序员，开发应用程序的人被称为应用程序员。这个时期另一个重要的变化是计算机界的巨头 IBM 公司放弃了软件随硬件捆绑的政策，第三方软件公司可以为用户提供编程服务，软件开发快速发展，有更多的软件公司进入计算机市场，形成了软件产业。

第三代计算机时期，有了操作系统（1.5 节将详细介绍）。这个时期出现了更多的高级编程语言和专门求解某一类问题的软件包，如统计软件 SPSS（Statistical Package for the Social Sciences, 社会科学统计程序包）。同时，这个时期使用计算机的人也不再必须是计算机专业人员，因此计算机用户（user）这个重要的角色出现了。

第四代计算机时期，有了程序设计范式。结构化编程语言如 BASIC、C 语言等的出现，加快了软件开发速度，操作系统也开始朝着标准化的方向发展，各种应用软件（如文档处理、

电子表格、数据库系统等)大量出现,极大地推动着计算机应用的发展。尤其是 PC 的快速普及,带来的最明显变化是非专业人员成为计算机的主要用户。

20 世纪 90 年代出现了以图形界面为特征的操作系统,用户再也不需要记忆复杂的操作指令,通过鼠标对屏幕上的图形指针 (pointer) 点击操作就可以容易地使用计算机。计算机硬件的性能不断提升而价格越来越便宜 (摩尔定律),软件的功能越来越强,计算机已经“无所不能”。21 世纪初,软件产业已经超过了硬件的规模,同时出现了一个新的行业:服务。这个商业模式也是 IBM 首创的。

1.3 计算机模型

模型 (model) 是一种最常用的科学描述方法。模型是一种抽象表达,隐藏了复杂的细节,只展示其功能性部分。理解计算机系统的最好方法也是通过模型。广义的“计算机模型”是把计算机看成数据处理机。现代计算机模型定义了计算机的 5 个组成部分和程序存储原理。

1.3.1 数据处理机模型

计算机与 70 多年前相比有惊人的变化:今天的计算机不但体积更小,而且速度更快,价格也更方便,但在逻辑上仍然很相似。因此,最早描述计算机功能的数据处理机模型到今天仍然是解释计算机原理最好的方法。数据处理机模型有多种,典型的是黑盒 (black box) 模型和具有程序能力的数据处理机模型。

1. 黑盒模型

黑盒模型是用于许多学科的经典模型,计算机也用黑盒模型解释其基本原理。如图 1-3 所示,计算机就是一个黑盒子,它是数据处理的机器。

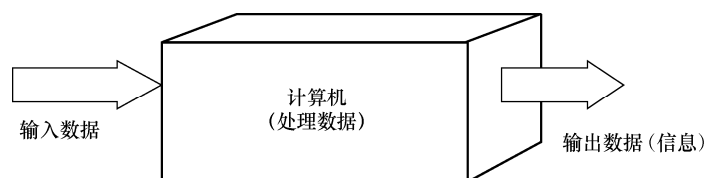


图 1-3 黑盒模型

计算机黑盒模型指出:数据输入到计算机中后,经过处理,输出结果。如果输入的数据相同,计算机的输出数据将能够重现;如果输入不同的数据,计算机的输出数据也随之改变。黑盒模型清晰地定义了计算机的功能:计算机是数据处理机。黑盒模型的缺点也很明显,它不能体现计算机的灵活性。

2. 具有程序能力的数据处理机

具有程序能力的数据处理机如图 1-4 所示,它在黑盒模型的黑盒子上增加了一个程序 (program) 部分。程序在计算机中起到极为重要的作用,也是本书反复提及并从不同角度进行介绍的概念。程序种类繁多,有些程序的复杂度堪比目前已知的人类工程或系统,但可以简单地被理解为“按照预定的步骤进行工作”。

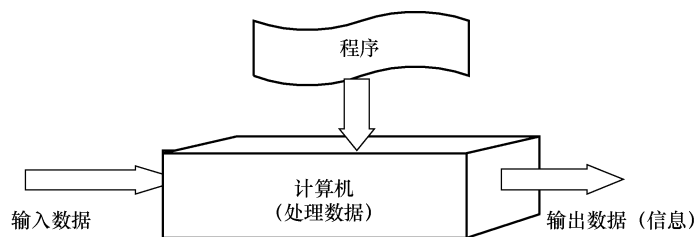


图 1-4 具有程序能力的计算机模型

在这个模型中，数据处理的结果取决于程序。因此，在同一个程序的控制下，相同的输入数据能够得到相同的输出数据。反之，如果程序不同，相同的输入数据也可能得到不同的输出数据。例如，程序控制计算机对一组数据分别进行累加和排序，那么得到的结果是完全不同的。进一步，不同的数据采用了不同的程序也可能产生相同的输出结果。

程序赋予了计算机的灵活性。计算机的强大处理能力体现为能够通过程序，让计算机完成不同的数据处理任务，得到期望的处理结果。

1.3.2 现代计算机模型

数据处理机模型有助于我们理解计算机的基本原理，能够进一步表述现代计算机模型，如图 1-5 所示。

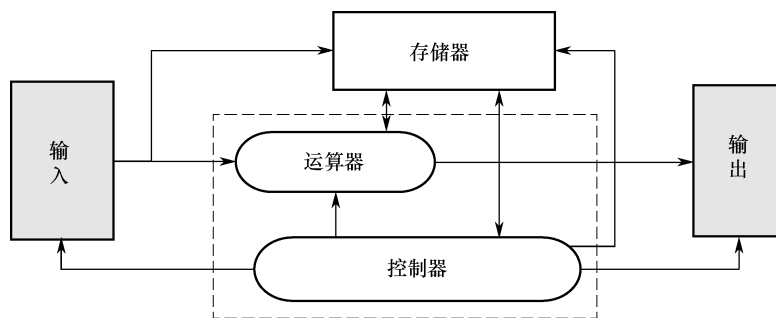


图 1-5 现代计算机模型

这个模型一直被称为冯·诺依曼模型，现在一些文献和教材还是沿用了“冯·诺依曼计算机”这一说法。有意思的是，大多数教科书中将其称为“计算机模型”（本书也是如此），但在冯·诺依曼的论文中，这个模型是“计算系统”。

计算机的诞生和发展得益于无数科学家们的才智，但回望它的历程，既有耀眼夺目的明星科学家们的卓越贡献，也有难以理清的争议。现代计算机究竟谁是第一贡献者^①，就是其中的争议之一。

1. 计算机的 5 个组成部分

现代计算机模型或冯·诺依曼模型定义了计算机的功能，还定义了计算机内部的结构。

^① 在业界曾认为现代计算机模型的提出者是冯·诺依曼，但现在已经认定计算机的发明权属于阿塔纳索夫（John Atanasoff）和贝里（K·Berry），即 ABC 计算机（Atanasoff Berry Computer）的发明人。也曾一直认为“程序存储”的发明者是冯·诺依曼，但现在已经知道，最早提出这个概念的是宾西法尼亚大学 Moore 电子工程学院的 J·P·Eckert（第一台电子计算机 ENIAC 的发明者之一），而冯·诺依曼是首先于 1946 年公开发表了这个概念。

如图 1-5 所示，计算机由输入、运算器、存储器、控制器和输出 5 部分组成。

运算器 (Arithmetic Logic Unit, ALU) 是计算机中执行各种算术、逻辑计算的部件。控制器 (controller) 协调各部分协同工作，图 1-5 中的控制器与其他几部分的连线标记了控制信息流的方向。虚线标记的运算器和控制器已经被集成在一个芯片上，即 CPU，也称为处理器 (processor)，负责计算机的运算和控制。

计算机的输入和输出 (Input and Output, I/O) 现在被视为一个整体。输入的程序和数据可存入存储器，或直接被运算器处理，运算器也可从存储器中获取数据。运算结果可以直接输出，或者存入存储器。

最早提出类似如图 1-5 所示模型的是 19 世纪初的英国数学家查尔斯·巴贝奇 (Charles Babbage, 1792—1871)，他设计的计算机称为差分机，其工作原理为 IPOS (Input, Processing, Output and Storage)。现代计算机的原理源于 IPOS。

另一种计算机模型被称为“哈佛结构” (Harvard architecture)，其组成也可以用图 1-5 表示。哈佛结构与冯·诺依曼结构不同的是存储器，冯·诺依曼模型将程序和数据存放在一个存储器中，而哈佛结构将数据和程序分开存放。在今天的计算机中，这两种结构都在使用，不过哈佛结构多用于某些专用处理器系统和通用 CPU 芯片的内部，以提升 CPU 的处理效率。

还有多种计算机模型用于不同类型、不同规模的计算机，如多处理器的流水线结构、并行结构等，其基本原理是类似的。在许多文献中，为了区别，前者被称为“传统计算机模型”，后者被称为“非传统计算机模型”。

2. 程序存储原理

“如果向机器下达的指令可以简化为数字编码，机器能够分辨数字和指令，那么记忆元件就可以用于存储数字和指令”。这段话是冯·诺依曼在 1946 年与他人合作的论文中所说的，这就是著名的程序存储原理，也是计算机自动运行的理论基础。这里的记忆元件 (memory) 就是计算机的存储器。

指令就是计算机执行操作的代码，程序是一组指令序列 (见图 5-2)。根据冯·诺依曼的解释，指令和数据采用同样的存储格式，由计算机分辨哪一个是数字，哪一个是指令。因此，广义上的数据也包括了程序代码，也是冯·诺依曼最早在其论文中提出用二进制编写计算机代码。

程序存储原理还要求程序和数据应该在计算机执行之前就存放在存储器中，还要求程序的长度必须是有限的。计算机执行程序时，只要给出程序所在的存储器位置，程序将自动运行，直到程序的任务完成。

现在看来，程序存储是一个简单、易懂的原理。然而在计算机的初期，这一直是困扰计算机科学家们的难题，即如何使计算机自动执行程序。早期的计算机是在启动后，通过面板上的开关组合成操作指令，一个指令执行后，再拨动开关组成下一个操作指令。可以想象，当时使用计算机是一件多么枯燥且容易出错的事情。

使用程序存储的另一个重要的理由是程序的“重用”。许多计算任务往往只是改变输入的原始数据，而计算过程 (程序) 是相同的。如果每个计算任务都需要重新编写程序，那么计算机的使用和程序编写本身都将是很难的事。

1.4 计算机组成

计算机的 5 个组成部分可以分为 CPU、存储器、输入/输出三个子系统，通过总线互连，如图 1-6 所示。总线（bus）就是一组导线，是计算机的数据和控制信息的传输通道。公交车具有公共属性，运送乘客（信息）从一站到另一站，计算机的总线将信息从一个部件传送到另一个部件。高性能计算机通过部件间的直接互连实现更快的传输和运算速度。今天的计算机将 CPU、存储器等电路部件放置在一个主板（mainboard）上，称为主机，通过电缆与输入/输出设备（统称外部设备，简称外设）连接。

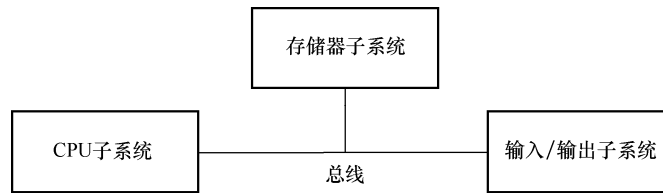


图 1-6 计算机的子系统互连

1.4.1 CPU

计算机的性能参数有多个，但毫无疑问，CPU 性能是重要的。因为 CPU 是负责运算和控制的部件，也有人将 CPU 称为计算机的大脑，这虽然不是很确切，但能够表达它的核心地位和作用。CPU 主要为单个芯片，也有多个芯片组成的 CPU 阵列。芯片（chip）是利用半导体硅制成的片状材料，把电子器件和线路通过光刻技术刻制在上面并封装起来，因此芯片就成了集成电路的代名词。一个 CPU 芯片的表面积如同大拇指指甲般大小。

CPU 有多种，是超大规模集成电路产品（进一步的介绍参见 2.6.4 节），如图 1-7 所示的是分别用于计算机的 Intel 公司的 CPU 和用于手机的 Qualcomm 公司的 CPU。Intel 公司的 CPU 采用的是 CISC（Complex Instruction Set Computer）技术，优点是程序设计比较容易，因为它的指令系统很完备。手机 CPU 采用的是 RISC（Reduce Introduction Set Computer）技术，其指令系统很简单，芯片结构简单，功耗小，是适配手机的设计。RISC 源于指令系统的二八原理：只需 20% 的指令就可以完成程序 80% 的任务，所以适当减少指令数量，可以提高 CPU 的运行速度，减少能耗。某些专用机器，如网络服务器，也采用 RISC 芯片。

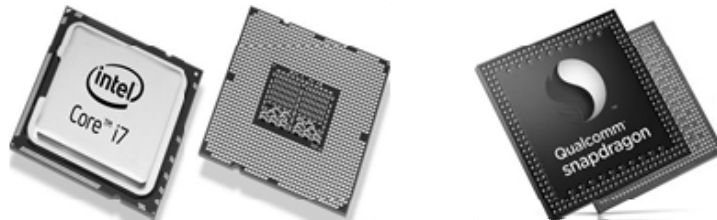


图 1-7 Intel 公司的 CPU（左）、Qualcomm 公司的 CPU（右）

我国自主设计、制造的 CPU 芯片已经取得了很大的成功，如神威超级计算机使用的处理

器 SW1600 的内核 (core) 达 16 个。华为公司的海思麒麟系列 CPU 的性能与 Qualcomm 芯片的相当。

现在的 CPU 都是多核的。其实不必太介意“核 (core)”的含义，把它理解成处理单元就可以了。如果 CPU 是多核的，也就是说，这个 CPU 由多个处理单元组合而成。CPU 的性能也不是核的数量的简单叠加，因为多核 CPU 在核之间的协调也是一种开销。多核芯片可以在同等性能情况下，以较低的频率工作，使功耗大大减少：功耗最终转化的是热能，笔记本电脑、手机的散热一直是个大问题。

除了核的数量，CPU 的参数主要是字长和主频。字长 (word) 是 CPU 一次操作的最大数据长度，单位是二进制位。当前 CPU 多为 64 位或 32 位。主频提供 CPU 运算的“节奏”，CPU 完成一次运算需要多个工作周期 (周期是频率的倒数)。主频是 CPU 性能的一个相对指标，如主频为 1 GHz 的 64 位 CPU 肯定优于主频为 2 GHz 的 32 位 CPU。

1.4.2 存储器

存储器是计算机存放程序代码和数据的重要部件，由于存储元件的材料和特性不同，因此存储器是计算机中一个复杂的子系统。存储器有两个重要的特点：

① 字节模式。字节 (Byte, B) 为 8 位二进制，是存储器的单元。CPU 按字节存取数据，存储器的容量也以字节为单位。

② 内外存结构。内存 (internal memory) 是半导体器件，外存 (external memory) 是磁介质硬盘 (hard disk) 或固态硬盘 (Solid State Disk, SSD)。

内存、外存具有很好的互补性，如表 1-2 所示。计算机存储器系统是一个天才的设计：权衡速度和容量，获得高性价比，使计算机成为了大众消费品。

表 1-2 内存、外存的互补性

内 存		外 存	
功 能	特 点	功 能	特 点
运行程序 (易失性)	速度很快	存储程序和数据 (持久性)	速度很慢
	容量小		容量大
	价格贵		价格便宜
	体积小		体积大/较大

存储器工作过程是：CPU 从外存中调入程序代码到内存中执行，执行结束，然后将程序和结果保存到外存中。

1. 内存

内存直接与 CPU 连接，可随时为 CPU 提供数据。内存使用半导体 RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器) 存储芯片，有时也称内存为 RAM。因为 RAM 是程序运行时主要使用的存储器，所以也称为主存。内存有易失性：RAM 要一直通电来保持其中的数据，如果掉电或者关机，RAM 中的信息就会丢失。

在字节模式下，内存每个字节单元都有唯一的存储地址。存储地址也用二进制位标识。CPU 有一组操作存储地址的信号线，存储容量由 CPU 地址线的数目决定。例如，CPU 地址线

有 10 根,则可以标识 2^{10} 即 1024 个存储单元。表 1-3 是 1024 字节的存储单元和对应的二进制地址。可以将存储器简单地类比为一个大楼,这个大楼中所有的房间(单元)都可以住 8 人(字节)。大楼管理需要给每个房间进行编号(地址),并根据房间号安排住客。房间总数(单元数量)就是这个大楼(存储器)的容量。

表 1-3 存储器地址和单元

十进制地址	二进制单元地址	单元内容
0	000000000	0 1 0 1 0 1 0 1
1	000000001	1 1 0 0 1 1 0 0
2	000000010	1 0 1 1 0 1 0 0
	⋮	
1021	111111101	0 0 1 1 0 0 1 1
1022	111111110	1 0 0 1 0 0 1 1
1023	111111111	0 1 1 0 0 0 1 0

早期计算机的内存只有几千个单元,现在计算机的内存容量都非常大,因此也用量词简化表示。常用的存储单位量词如表 1-4 所示。这里,存储器的千、兆等量词并非是存储器的实际大小,只是一种较为直观的量级表示。例如,计算机 CPU 地址线有 32 根,则内存最大为 4 GB,即近似地表示为 40 亿字节,实际为 4×2^{32} 字节。

表 1-4 存储单位量词

量词缩写	量词描述	实际字节数	近似表示
KB (Kilo Byte)	千字节	$2^{10}=1024$	10^3
MB (Mebi Byte)	兆(百万)字节	$2^{20}=1\,048\,576$	10^6
GB (Mega Byte)	吉(十亿)字节(千兆)	$2^{30}=1\,073\,741\,824$	10^9
TB (Tera Byte)	太拉(万亿)字节(兆兆)	$2^{40}=1\,099\,511\,627\,776$	10^{12}

还有更大的量词用来表示海量数据,如 PB(Peta Byte, 1024TB)、EB(Exa Byte, 1024PB)、ZB(Zetta Byte, 1024EB)和 YB(Yotta Byte, 1024ZB)。

只读存储器(Read Only Memory, ROM)是另一种内存,其中的数据被“固化了(solidify)”,只能读取,不能改写,所存放的数据不会因断电或关机而丢失。因此,它被用来存放不变的程序代码和固定数据。例如,计算机的开机程序 BIOS(Basic Input Output System, 基本输入/输出系统)和机器参数就被保存在 ROM 中:计算机每次开机都是执行相同的操作,而且机器参数也不会变化。

2. 外存

外存的原意是位于主机外部的存储器,现在的移动设备采用的外存也放在机器内部。外存的主要作用是保存程序和数据,存储器的体量和容量都比较大。传统的外存是磁盘。20 多年前使用的软磁盘(floppy disc)早已被淘汰,现在使用较多的是合金盘片的硬磁盘(hard disk),容量多为 TB 级,盘片、转动装置和电路被密封在一个金属盒子里,使用电缆线与主机连接。

磁盘用涂敷在圆盘表面的磁性材料的极化状态表示二进制数据,这种极化状态不会受到

断电的影响，数据保存有持久性。磁盘的工作原理如图 1-8 所示。

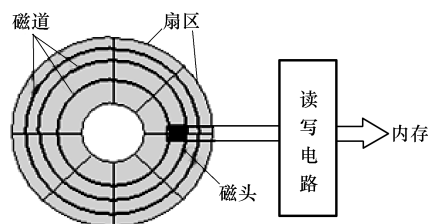


图 1-8 磁盘的工作原理

读写电路控制磁头沿着盘片表面做直线移动，同时盘片高速旋转。磁头和盘片的相对运动提供了数据的寻找和读取。读写电路也负责内存与磁盘之间进行数据交换。磁盘因为有旋转盘片的机械装置，所以速度慢。

磁道是同心圆结构，数据存储于磁道上。盘片又被划分为若干扇形区域，按扇区进行数据存取。设想一下，一张能够写数亿字的纸（硬盘），只有裁成书页（扇区）的大小，写字和阅读才比较方便。通常，磁盘扇区容量为 KB 级。

30 多年前被发明的一种也是半导体的、没有易失性的闪存（Flash Memory），可通过特殊技术擦除原有内容、重新写入数据。闪存技术近年来发展迅速，性价比越来越高。以闪存技术生产的固态存储器 SSD（Solid-State Drive）没有机械部件，速度比硬盘快了数十倍。目前，SSD 在计算机的外存中占据了很大的比例，便携式、手持式设备基本上采用 SSD 作为外存。

SSD 数据存储也采用与磁盘相同的格式，主要是为了操作系统和程序不需要改变外存的操作方式，计算机对存储器的接口设计可以很好地兼容。因此，习惯上将包括 SSD 在内的外存统称为磁盘。

实际上，存放机器启动程序 BIOS 的 ROM 已经被闪存替代了：如果计算机增加或减少了部件，系统也能检测到并修改参数重新保存在闪存中。

另一种常用于移动存储的外存是 U 盘，其存储介质也是闪存。以前作为 PC 标准配置的光盘也已经被淘汰了。

3. 缓存

计算机使用了大量的集成电路芯片。就芯片复杂性而言，CPU 肯定是第一。CPU 运算速度飞快，但内存慢很多，外存更慢，这种速度差距会导致 CPU 的大多数时间都处于等待状态。在存储器中，磁盘的速度最慢，是毫秒级，虽然固态硬盘 SSD 要远远快于磁盘，但还是比内存慢得多。这种系统性的速度鸿沟影响了计算机的整体性能。

计算机科学家们发现了一个有意思的现象：如果 CPU 访问某存储器单元，可能很快再次访问这个单元，也可能很快访问它的附近单元，这个现象被称为“时空局限性”。为此，设计者们在 CPU 与存储器之间、在内存与磁盘之间设置了一个缓冲存储器，简称缓存（cache 或 buffer），如图 1-9 所示。

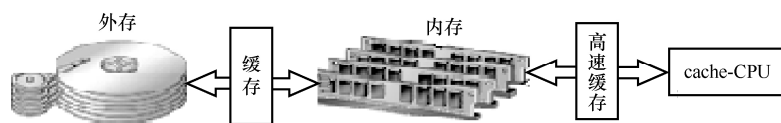


图 1-9 存储器系统

缓存能够大大提升系统的数据传输性能，实现不同部件之间的“速度匹配”，已经在计算机领域中被广泛应用。缓存容量小，但速度和与它连接的快速部件相当，存放的是正在或将要使用的数据。在图 1-9 所示的存储器系统中，CPU 内部也有极高速度的缓存，直接与高速的运算器交换数据，高性能 CPU 内部设计有三级缓存。与内存连接的高速缓存以高于内存的速度运行，而在内存、外存之间的缓存以接近内存的速度运行。

依据时空局限性设计的调度技术，把要用到的代码和数据批量输入缓存中。CPU 如果在内部极高速的缓存中没有找到需要的数据，就到外部高速缓存中寻找，如果都没有找到，才到内存 RAM 中去取。同样，内存、外存也是通过缓存交换数据。缓存机制有效地实现了速度匹配：CPU 减少了内存访问次数，内外存也不再连续不断地交换数据，计算机能够以接近设计的理想速度运转。

数据传输一直是计算机性能的瓶颈，缓存技术几乎填平了速度鸿沟，在计算机数据传输中被广泛使用：有硬件缓存，也有软件模拟的缓存。CPU 内的多级超高速缓存占据了芯片的大部分空间，同时内存芯片的速度越来越快，外存硬盘也开始“混合”，使用数百兆字节的缓存提升硬盘的输出传输效率，而速度较快的 SSD 也使用高速的缓存提升速度。缓存以较小的成本获得了计算机性能很大提升的收益，因此缓存被称为计算机中的“伟大技术”。

1.4.3 输入和输出

计算机的输入、输出系统也称为人机交互系统 (Human and Computer Interface, HCI)。输入、输出操作都是在主机的控制下由外设完成的。这里简单介绍输入、输出的基本知识。

1. 端口

计算机的机箱背后、笔记本电脑的侧面或后面都有一些端口 (port)，用于连接打印机、投影仪或者其他设备。端口是电路连接，也是一个接口 (interface)：在慢速的外设与高速的主机之间建立一个速度匹配的缓冲，有的接口也使用缓存。

端口是一种技术，也是一种标准：只要符合这个标准的设备都可以直接插入端口实现与计算机的连接，这就是即插即用 (Plug and Play, PnP)。现在的计算机外设几乎都是 PnP 设备。最典型的是 USB 端口，也称为 USB 接口。

2. USB 接口

USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线) 可以称得上是计算机的另一个“伟大技术”，是输入、输出接口的突破性技术进步：几乎统一了外设与主机的连接标准。早期的外设不但种类繁多，而且标准各不相同，现在的计算机除了显示器端口，几乎只有 USB 端口和网络端口。实际上，很多显示器、投影仪和网络端口也使用 USB 或者无线连接。

USB 也是一种接口技术，是 Intel 公司发起并主导制定的通用串行总线标准，用于计算机和数码产品的各类设备。只要设备采用 USB 接口，插上计算机就可以被识别和使用。

USB 设备自身可以没有电源 (不包括耗电设备，如显示器、打印机)，外设可通过 USB 接口直接使用主机提供的电源。现在 USB 接口主要有三种规格：A 型、B 型和 C 型，如图 1-10 所示。其中，A 型接口也称为“公共口”，用于连接计算机或大容量硬盘、打印机等；B 型接口也称为 Mini B 型口，用于小功耗数码产品，是非对称的，因此不用担心插错；C 型接口也

称为 Type-C，是对称型，没有方向性，适用性极好，类似 Apple 公司的 Lightning 接口。



图 1-10 USB 接口

USB 已经成为计算机通用外设标准接口。最常用的 U 盘就是因为使用了 USB 接口而得名。现在 USB 的标准主要为 2.0 版和 3.0 版，USB 2.0 版的最大数据传输速率为 60 MB/s，而 USB 3.0 版的理论速率可达 500 MB/s。

3. 外部设备

外部设备是输入、输出设备的简称。最常用的输入设备是键盘和鼠标。键盘的布局有两种，一种称为标准键盘（qwerty），也称为 IBM 键盘。另一种称为微软键盘，比 qwerty 多了 Windows 启动（键盘上有微软徽标）和类似鼠标右键功能的快捷键，通常位于空格键的两侧。鼠标是一个极为聪明的发明：通过鼠标指针在屏幕上的移动获取定位信息，可以操作计算机。鼠标指针形状有其独特的含义，打开 Windows 的控制面板就可以找到有关鼠标项，可以看到鼠标不同形状指针的意义。

计算机默认的输出设备是显示器（display），目前以液晶显示器为主。另一种输出设备是打印机，有激光打印机、喷墨打印机、用于票据的针式（色带）打印机。这里不做过多介绍。

移动终端，如智能手机、平板电脑和某些笔记本电脑，其显示屏兼具输入、输出的双重功能，这种显示屏也称为“触摸屏”（touch screen），是在显示屏表面安装了一种能够感应手指或其他物体触摸的透明膜，其原理与鼠标差不多。鼠标通过移动鼠标指针定位并获取在显示器上的坐标信息，触摸屏的感应膜则捕捉手指或其他感应物在显示屏上的坐标信息。感应膜有电阻式、电容式、红外线式和表面声波式等，目前电容式触摸屏占据主流地位。

1.5 操作系统

要理解计算机究竟是如何运作的，就必须知道操作系统（Operating System，OS）。各类计算机操作系统的设计目标各不相同，大型机的操作系统注重性能和资源利用率，微机的操作系统的目标是方便用户使用计算机，手持式设备的操作系统则强调可用性，而嵌入式计算机的操作系统（如电器、汽车）被设计成不需用户干预，最多是打开或关闭某个功能的操作。而从计算机的角度来看，操作系统管理并分配资源、调度和运行程序，帮助用户使用计算机。

1.5.1 计算机的核心

20 世纪 60 年代之前，计算机每次只能运行一个程序。用户把程序交给计算机操作员，由操作员向计算机输入程序和数据、运行程序，再把结果交给用户。最初的操作系统是为了替操作人员的工作，管理程序的执行。随着硬件的发展，计算机的功能越来越强、结构越来越

复杂，操作系统有必要对它们有更多的管理，最大程度地发挥计算机的作用。自此，操作系统一直是大学和业界实验室的研究重点。

1966 年，美国贝尔实验室的肯·汤普森 (Ken Thompson) 和丹尼斯·里奇 (Dennis Ritchie) 设计和开发了著名的操作系统 UNIX，这两位计算机科学家因此获得了 1983 年的计算机最高奖——图灵奖。今天，除了微软的操作系统 Windows，其他操作系统都是 UNIX 的衍生品，而 Windows 的设计也源于 UNIX 的思想。

操作系统处于计算机的核心位置，如图 1-11 所示。计算机的其他软件都在操作系统支持下才能运行，因此操作系统成为了一个计算平台或者计算环境。注意，一个操作系统支持的软件不能在另一个操作系统上直接运行，即软件的非兼容性。因此，应用软件如果需要跨平台，就需要不同平台的版本。

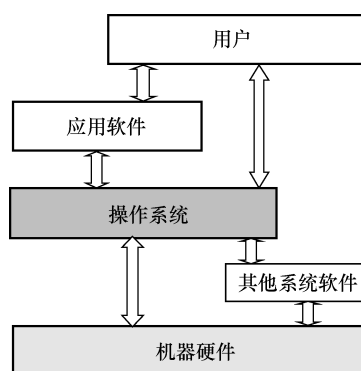


图 1-11 操作系统在计算机中的位置

由于操作系统的特殊地位，几乎可以决定计算机的发展。微软的 Windows 占据 PC 市场的 90%，与 PC 的 CPU 的垄断者 Intel 公司结成了 Win-Tel 联盟，长期以来主导了 PC 的发展。同样在移动领域，Google 的操作系统 Android 成了事实上的垄断者。

大型计算机用 UNIX 比较多，也有免费的 UNIX 版，如 BSD/UNIX (Berkeley Software Distribution，一个自由软件组织，可知与伯克利大学有关) 提供大量的免费软件。另一个可以替代 UNIX 的也是开源的 Linux，由芬兰赫尔辛基大学的学生 Linus Torvalds 在 1991 年开发。Linux 源代码在 Internet 上公开后，由世界各地的编程爱好者自发完善和维护。Linux 与 UNIX 高度兼容，Android 的内核就是 Linux，Apple 公司的操作系统 MacOS 也是 UNIX 的变体。

在操作系统的设计概念上，与用户交互的那部分被称为外壳 (shell)，负责接收用户的操作并显示操作结果。被外壳包围的那部分被称为内核 (kernel)，直接操作硬件。

操作系统有很多定义，有的表现操作系统的外部特性，有的从程序执行的角度，有的从管理和控制的角度。本书采用的操作系统的定义是：操作系统调度计算机资源，为用户使用计算机提供服务。

1.5.2 资源调度

操作系统本身是一个程序，被定义为计算机系统软件。计算机开机后，它就一直运行，负责计算机资源的调度。

计算机有很多资源。硬件方面，包括 1.4 节介绍的 CPU、内存、外存、外设、接口、缓存

等。软件方面，已经无法统计其数量和类型了，仅以我国的移动 App 为例，已超过了 450 万个。如果需要有一个操作系统管理那么多资源，那么操作系统的复杂性可想而知。UNIX 是 C 语言编写的，1975 年版的 UNIX 大约有 9000 行代码，如今已经超过 1000 万行代码。据估计，Windows 10 有 5000 万行代码。

操作系统虽然很复杂，但归结起来就是对各种应用程序使用 CPU、存储器和外设进行调度。这里的调度包括了资源的分配和管理。调度是操作系统的方法，有很多实现调度的算法，其目的都是为了系统资源的有效使用。

1. 调度 CPU

调度 CPU，也称为 CPU 管理、进程（processing）管理。CPU 是计算机最重要的资源，是执行程序部件。操作系统监控当前正在使用 CPU 的程序，随时准备将 CPU 的控制权交给另一个等待运行的程序。被列入操作系统调度的所有的程序都会被挂起，处于等待状态。操作系统为每个程序分配一个时间片，轮流将 CPU 控制权交给它们，得到控制权的程序只能在分配的内存内运行。如果程序不能及时交出 CPU 的控制权，操作系统会强行中断它的运行。

由于 CPU 运行速度极快，操作系统运行多个程序看上去像多个程序“同时运行”。这种多程序的调度就是今天所有操作系统都具备的“多任务”功能。为了与外存磁盘上的程序区别，操作系统将正在内存运行的程序称为进程（processing），因此 CPU 管理也被称为进程管理。

以 PC 为例，Windows 通常要管理数十个进程，即使用户并没有运行那么多程序，有很多进程是操作系统本身为了调度和管理使用的，这是用户不必看到的系统任务。MacOS 的 Activity Monitor、Windows 的任务管理器 Taskmgr 都可以查看计算机当前正在运行的进程。如图 1-12 所示的 Windows 有 75 个进程，但只占用了 5% 的 CPU 时间。



图 1-12 Windows 任务管理器

今天的操作系统的复杂性不但在于多应用程序，而且还要调度 CPU 的多核，要尽可能发

挥 CPU 的效率。如果它是一个分布式系统，还需要管理多个 CPU。有些计算机任务只能由硬件完成，因此操作系统也需要与计算机硬件协调工作。

2. 内存调度

内存调度也叫内存管理。程序只是在需要运行时才被装载到内存中。如果要运行多个程序，那么操作系统需要给各个程序分配内存空间，同时跟踪每个程序驻留在内存的具体位置和它所用到的内存单元数量。由于调入内存的程序数量是动态的，因此操作系统需要采用合适的内存分配策略，确保给程序分配够用的内存，有些调度策略可以根据程序运行的需要增减内存空间。

内存空间是有限的。如果内存容纳不下那么多程序，就需要在磁盘与内存之间进行交换：把等待的程序存到磁盘中，给内存运行的程序留下足够的空间。读写磁盘耗费的时间长，所以操作系统也使用缓存技术：在磁盘上开辟缓冲区，将等待的程序按照代码在内存中的映射存放，提高了重新调入内存的速度。在 Windows 控制面板的系统管理中有磁盘缓冲区的设置。显然，提升程序运行速度的办法是尽可能增加内存芯片，不过内存的空间是有限的。

为了程序运行顺畅和利于操作系统调度，也为了安全起见，计算机有严格的内存保护机制。例如，不让正在运行的程序使用等待中的程序的内存，即使这个等待的程序已经被挂起或被暂存到了磁盘中；也不允许应用程序使用操作系统的内存工作区，因为操作系统不能保证没有恶意程序在内存中到处乱窜。如果使用 Windows 系统遇到过“蓝屏”，就是内存保护没到位的结果。

操作系统有很多种内存调度技术，对于多核、多 CPU 的计算机，内存如果是共享的，其内存调度就更加复杂，这里不再赘述。

3. 设备管理

计算机有很多种类的外部设备，不同外设的操作要求也是不同的。例如，显示器是标准的输出设备，操作系统要为每个程序提供显示窗口，确保各窗口的显示内容不会被覆盖：当前活动窗口只是隐藏了其他程序的窗口，一旦其他程序被激活，当前窗口的内容必须随之变化，准确地恢复到被隐藏前的状态。

键盘、鼠标是标准的输入设备。操作系统负责接收来自键盘和鼠标的输入，转换为相应的数据和操作命令并传递给应用程序。这种把对外设的公共操作进行统一管理的机制简化了应用程序员处理输入、输出设备的编程工作量，使应用程序在操作系统平台上的运行更流畅。

有意思的是，操作系统对硬盘的管理是归类到外设的，对磁盘中存储的程序和数据归类到文件管理中（见 1.5.3 节）。

操作系统设备管理的另一种方法是，通过“驱动程序（driver）”，让设备完成自己的操作。操作系统对同一类设备发出的命令是标准化的，由设备驱动程序接收并执行命令。例如，操作系统向打印机发出“打印这个文档”的命令，并将文档数据存入打印机的缓冲区，打印机的驱动程序会按照操作系统的打印要求完成打印任务。当然，安装了设备驱动程序后，操作系统允许用户配置设备操作要求，并将这些要求作为命令发给设备。

操作系统已经配置了大量的标准设备驱动程序，或者提供了设备驱动程序的列表供用户选择。设备生产商也会提供设备驱动程序，都有自己的网站，供用户下载或更新版本。

4. 多系统和虚拟机

用户可以为计算机安装自己喜欢的操作系统。例如，PC 可以安装 Windows，也可以安装 Linux。也可以在计算机上安装多个操作系统，苹果计算机可以通过 Boot Camp 选择运行 MacOS 还是 Windows。虽然也可以在 PC 上安装 MacOS，不过兼容性比较差。

进一步，一个操作系统可以控制另一个操作系统来使用计算机资源，即虚拟机技术，如图 1-13 所示。例如，VMware、VirtualBox 和 Xen（开源的）等虚拟机软件支持在 MacOS 上运行 Windows 或者 Linux。

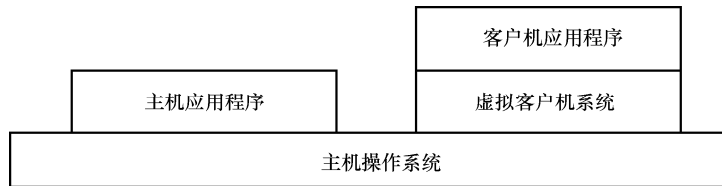


图 1-13 虚拟机

操作系统有时被称为“怪物”，其原因之一就是它要跨越自身的局限，去管理其他操作系统的“虚拟资源”——支持和管理虚拟机。通常把原操作系统称为主机操作系统，虚拟的操作系统称为客户机操作系统。主机操作系统会拦截客户机操作系统的要求，代替客户机执行操作，再将结果返回给客户机。

实际上，虚拟机不是操作系统的组成部分，应该是操作系统支持了虚拟机功能。有些操作系统（如 Linux）有虚拟文件的概念，但与虚拟机完全不同。虚拟文件是操作系统本身进行管理的，而虚拟机是在主机操作系统上的一个模拟硬件的程序，建立了一个虚拟镜像的客户机系统，进入虚拟机后，应用程序就像在那个虚拟的操作系统环境中运行一样。

目前，作为数据服务的“云计算”很大程度上就是通过虚拟机实现多系统的支持的。

1.5.3 文件系统

对普通用户而言，操作系统最重要的部分就是文件系统。文件（file）也是 UNIX 最早提出的概念。此后，文件一直是所有操作系统进行数据组织和表示的最主要方法。

计算机的程序和数据有逻辑组织和物理存储两部分。不同于硬件，用户无法感受程序和数据的存在，因此需要以一种抽象的、易于理解的数据组织形式，使得用户能够“看见”程序和数据。这个形式就是文件。

在 MacOS 和 Windows 中分别有 Finder 和 Explorer，都是资源管理工具。它们可以列出从计算机顶层开始的文件系统的层次结构：文件夹可以包含子文件夹和文件。UNIX 系统不使用文件夹而用“目录”这个词，2000 年前的微软 DOS 操作系统也使用目录，到了 Windows 才使用文件夹。文件夹是一个组织结构，程序和数据是文件的形式存储并放置在文件夹中。这种结构方便用户管理、检索和使用文件。

文件系统实现操作系统对所有文件夹和文件的管理。MacOS、Windows、移动设备的操作系统都通过图形界面（Graphics User Interface, GUI）给用户呈现计算机的各种资源，也用列表形式展示文件夹和文件，其中包括文件的大小、存储位置和创建时间等信息。早期操作系统的文本界面只能用文本列表。现在，文本界面还有专业人员在使用。

计算机文件是存放在外存上的，外存是磁盘，SSD 也使用磁盘数据格式，因此文件也被称为磁盘文件。

磁盘文件的优越之处是将数据的物理状态进行统一组织，程序员不需关心程序和数据在磁盘上究竟是如何存储的。操作系统给用户展示的是一种组织格式，而且是用户能够理解的格式。其实，用户看不到磁盘上的数据状态，看到的是操作系统对磁盘文件的逻辑表达（6.1 节将进一步介绍文件数据）。因为磁盘数据为磁极化状态，内存为电路状态，所以用户是无法看到的。

文件系统是树状结构，根是磁盘的最顶层，如 Windows 中的 C 盘。操作系统对文件的操作是“按名存取”。不同的操作系统的文件管理有区别，但都有文件名。文件名以字母、数字和某些符号的组合唯一标识一个文件。Windows 系统的文件命名格式为：

[盘符:] 文件名[.扩展名]

格式中的“[]”包括的部分可以省略。“盘符”是指存放文件的磁盘的逻辑编号。PC 将 A、B 用于软磁盘，C~Z 为硬盘或光盘。由于软磁盘已经淘汰，盘符 A、B 几乎不再使用。早期微软操作系统的文件名只有 8 个字符，现在的 Windows 的文件名长度可以达到 255 个字符，中文版也允许使用中文字符。

Windows 的文件名后可带扩展名（也称为后缀），由符号“.”隔开。如果使用扩展名，应该采用规定的字符。Apple 的 MacOS 也使用扩展名，UNIX/Linux 不使用扩展名。Windows 系统通过扩展名标记文件的类型，如表 1-5 所示。

表 1-5 Windows 常用文件扩展名

扩展名	文件类型
.bat	批（处理）文件，可执行
.c	C 语言源程序文件
.com	命令（程序）文件
.doc,.docx	Microsoft Word 文档文件
.exe	可执行（程序）文件
.java	Java 语言源程序文件
.obj	目标文件
.ppt,.pptx	Microsoft PowerPoint 演示文稿文件
.sys	系统文件
.txt	文本文件
.xls,.xlsx	Microsoft Excel 工作簿文件

Windows 根据文件的类型决定采取何种操作：如果是程序文件，就执行它。如果是数据文件，就启动它的关联程序打开数据文件。Windows 注册表中有一个能被其识别的文件类型的清单。

注意：文件属性中的存储空间和文件大小两个参数通常并不一致，前者往往要大于后者。这是因为文件数据是按“扇区”（见图 1-8）存放的。即使文件只有 1 字节，也占据了整个扇区。如果超过一个扇区 1 字节，文件系统也会给它分配第二个扇区。

1.6 计算机网络

本书第 7 章将专门讨论网络，这里仅介绍网络作为计算机应用延伸的一些基本概念。简单地讲，今天的“网络”（network）一词主要指计算机网络（computer network）。两台或两台以上的计算机连起来就是一个网络。唯一覆盖全世界的、也是最大的网络是互联网（Internet，也称为因特网），即使是价值数亿的超级计算机也无法与之相比。有意思的是，网络互连技术也被成功地运用于制造超级计算机。

1. 互联网

互联网连接全世界数十亿台各种类型的计算机。互联网始建于 20 世纪 60 年代末。互联网是“网络的网络”，也是计算机应用最重要的领域。互联网没有采用像计算机系统那样的中心控制结构，而是代之以主机（host）互连，入网的每台计算机统一赋予一个主机地位，这就是互联网的开放性，也是吸引无数用户的原因之一。现在的计算机和移动设备，无论其规模大小，都具备接入互联网的功能。

今天的互联网已经成为一个“虚拟社会”。当然，现实社会的各种形态在这个虚拟社会上几乎被复制。同样，各种现实社会的丑恶也在互联网上如出一辙，更有甚者。

对互联网的争议并没有影响到它以极快的速度发展。中国经济的高速发展很大程度上得益于信息化的推进。我国已经有世界上最大的互联网用户群和最多的入网机器。

2. Web

互联网提供了多种不同的服务，但 Web（World Wide Web，WWW，万维网）曾是互联网上的一种服务，现在是最主要的服务，而其他服务，如电子邮件（E-mail）、电子公告板（BBS）等，纷纷转移到 Web 上。对许多用户而言，互联网就是 Web，尽管这个说法并不准确。

1990 年，欧洲粒子物理研究所（CERN）的工程师蒂姆·伯纳斯·李（Tim Berners-Lee）使用了一种标记格式，设计了一个程序，能将分隔在不同地域、不同计算机上的文档“页面”（webpage）联系起来（link），供各地的科学家们了解各自的研究进展。有人问 Lee 这是什么，他回答是“World Wide Web”，万维网因此而得名，他也被冠以“万维网之父”。互联网的第一个网页是 <http://info.cern.ch>，如果现在去访问它，页面上显示：<http://info.cern.ch> - home of the first website，其中有浏览第一个网站（browse the first website）、Web 的诞生等有趣的信息。

Lee 用来制作 Web 程序的标记格式后来成为 Web 的设计语言——超文本标记语言（HyperText Mark Language，HTML）。Web 为用户访问互联网提供了简单的方法。对大多数互联网用户而言，上网意味着使用 Web 浏览器访问网站，以获取自己需要的信息或者进行各种交互活动。网站（website）就是承载很多 Web 页面、构成多种 Web 资源的、为互联网用户提供访问服务的计算机。这类计算机通常被称为 Web 服务器。

近年来，移动互联网发展极快。移动上网主要是通过智能手机无线上网，目前移动上网的用户远远超过传统的 PC 上网。传统的 Internet 实现了人人互连，随着移动通信的 5G 开始建设，物物互连的物联网（Internet of Things）将开启下一代的互联网。

1.7 数据和信息

“当你看久了互联网，互联网就会回看你。”这是一位计算机科学家对数据和信息的精彩评论。的确如此，用户使用计算机和手机上网的所有操作，甚至去了什么地方，见了什么人，几乎每件事都有迹可寻：网络尽一切可能收集用户的各种信息，并存放起来，也许是永久性的存放。其实，这些信息往往都是用户“奉送”给网络的。

搜索是网络最多的应用。当用户开始搜索时，收集用户数据的过程就开启了。搜索会知道你访问了哪些网站，在浏览网站时做了什么，甚至在访问的网站停留了多长时间等。这就是为什么很多网络搜索公司、社交网络公司经常被曝泄露用户隐私，严重到被政府惩罚的地

步。用户访问的每个网站都会记录用户的访问行为，目的很简单，往好处想是“更好地服务用户”，浅薄一点的是可以窥视用户的爱好，投其所好地给用户发广告，往坏处想那就有点可怕了。

这类话题不是本书讨论的重点，但是我们提及这个问题是因为数据太重要了，它是信息之源，是财富之源，是虚拟社会问题之源。

信息和数据是两个重要概念，尽管它们之间存在差异，但很多情况下这两个词被混用。信息学的奠基人香农（Claude E. Shannon）给信息下的定义是：信息是用来消除随机不确定性的东西。经济学家将信息视为进行经济决策的有效依据，管理学者认为信息是为了满足用户决策的需要而经过加工处理的数据。这些观点表达了数据和信息的关系：数据是原材料，信息是对数据处理得到的结果。一般认为，信息是具有确定意义的数据。就此而论，信息也是数据。

在计算机科学中，除硬件之外的都是“数据”，包括程序代码和程序运行中需要和产生的数据，当然也有人将硬件之外的都认为是软件。这些观点都没错，只是角度不同，得到的结论不一样而已。

与信息相关的是通信。在计算机中，信息系统是最广泛的应用之一。信息系统由硬件、软件、数据、用户、过程和通信 6 个要素构成。大多数信息系统被赋予了特定的功能，如数据采集和处理功能、管理功能、决策支持等。科学实验中也需要信息系统采集、分析数据。例如，电子对撞机一秒钟产生的数据有 1 GB，一次实验产生的数据是惊人的。如此巨量的数据没有数据管理是不可想象的。

一个大型企业需要构建信息系统，应该具备采集、处理、管理功能。如前所述，操作系统是极其复杂的，大型信息系统同样复杂。现代的工业生产也是在计算机控制下进行的，且它本身也被相关信息系统管理着。

今天，数据和信息已经被认为是人类的重要资源。对信息资源的开发、运用也成为社会生活、经济活动的重要组成部分，成为衡量一个国家现代化程度的标志。有效地拥有数据、开发和运用信息资源已经上升到国力的高度。

信息处理是一个“计算过程”。计算机承担的计算任务归结起来就是数据传输、变换、分析、事务处理、控制等。从使用计算机的角度看，计算机本身也是一个信息处理系统。

本章小结

计算系统包括计算机和数据两部分。

计算机系统包括硬件和软件。计算机的物理设备叫作硬件。按计算机规模，计算机可以分为巨型机、大型机、小型机、微型计算机、嵌入式设备和移动设备、可穿戴计算机等。

软件是控制计算机硬件运行的程序。计算机除硬件之外的所有东西，包括文档、程序、语言等，都被归类为软件。软件包括系统软件和应用软件。系统软件确保计算机能够有效地完成用户的任务，如操作系统、编程语言系统、工具软件等。应用软件是解决特定的应用问题的软件。从数据的角度看，程序是完成数据处理的。从计算系统的角度看，程序本身也是数据。

第一代计算机采用电子管，第二代采用晶体管，第三代采用集成电路，第四代采用大规