

第5章

计算机是如何工作的

计算机由哪些部分组成？是怎么接受人的命令而自动进行问题求解的呢？本章主要介绍计算机是如何工作的，主要内容包括计算机系统、计算机指令与指令系统、计算机指令的执行过程和计算机对问题求解的过程。

5.1 计算机系统

计算机系统是计算机信息处理的平台和基础。尽管计算机的形式多种多样，但一个完整的计算机系统一定包括硬件系统和软件系统两部分，如图 5-1 所示。计算机硬件系统是组成计算机的各种部件和设备的总称，是组成计算机的物理实体，是计算机完成各项工作的物质基础。计算机软件系统是在计算机硬件设备上运行的各种程序、相关文档和数据的总称。计算机硬件系统和软件系统共同构成一个完整的系统，相辅相成，缺一不可。

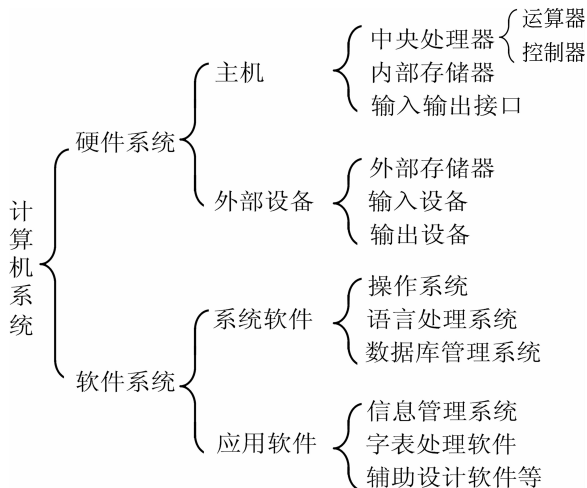


图 5-1 计算机系统结构

5.1.1 冯·诺依曼原理

硬件系统是构成计算机的物理装置，是指在计算机中看得见、摸得着的有形实体。1945

年,冯·诺依曼与其他人合作提出了一个全新的存储程序的通用电子计算机方案——EDVAC。这个方案的设计思想被誉为冯·诺依曼原理,据此设计制造的计算机称为冯·诺依曼机。

概括起来,冯·诺依曼原理包括 3 条重要设计思想。

- (1) 计算机应由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 大部分组成。
- (2) 程序和数据以二进制代码的形式存放在存储器中,存放位置由地址确定。
- (3) 计算机在控制器控制下自动地从存储器中取出指令并加以执行。

冯·诺依曼原理最重要之处在于明确地提出了程序存储和自动运行的概念,是现代计算机发展的基础。1952 年,首台冯·诺依曼机问世。

5.1.2 计算机硬件系统

计算机硬件系统是指计算机系统中由电子、机械、磁性和光电元件组成的各种计算机部件和设备。虽然目前计算机的种类很多,但其硬件系统都可以从功能上划分为五大基本模块,分别是运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备,它们之间的关系如图 5-2 所示。其中,单线箭头表示由控制器发出的控制信息流向,双线箭头表示数据信息流向。

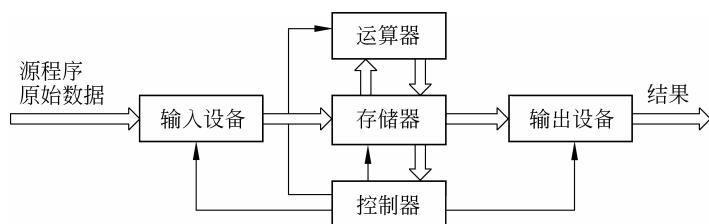


图 5-2 计算机硬件系统的组成及相互关系

1. 运算器

运算器是执行算术运算和逻辑运算的功能部件,是计算机的“计算中心”。算术、逻辑运算包括加、减、乘、除四则运算,与、或、非等逻辑运算,以及数据的传送、移位等操作。运算器运算需要的数据取自内存,运算的结果又送回内存;运算器在控制器的控制之下进行工作。

2. 控制器

控制器是整个计算机系统的调度和控制中心,它指挥计算机各部件协调地工作,保证计算机按照预先规定的目标和步骤有条不紊地进行操作及处理。

控制器首先从内存中逐条取出指令,并分析每条指令规定的是什么操作(操作码),以及进行该操作的数据在存储器中的位置(地址码);然后根据分析结果,向计算机其他部件发出控制信号。控制过程是首先根据地址码从存储器中取出数据,然后对这些数据进行操作码规定的操作,运算器及其他部件向控制器回报信息,以便控制器决定下一步的工作。

以运算器、控制器为主组成的超大规模集成电路器件称为中央处理器(Central Processing Unit,CPU),是计算机的运算和控制中心,起到管理、控制整个计算机的工作并对数据进行计算的作用。不同的微型计算机,其性能的差别首先在于其 CPU 性能的不同。

图 5-3 所示是几款常用的 CPU。



图 5-3 几款常用的 CPU

3. 存储器

存储器的功能是存储计算机程序和数据。现代计算机中的存储器是一个复杂的存储系统,第 4 章已详细介绍。

4. 输入设备

用来接受外部信息并将它们转换为计算机能识别的形式的设备是输入设备。常见的输入设备有键盘、扫描仪、鼠标器、摄像头、光笔、数字照相机等。

5. 输出设备

输出设备是将存放在内存中的计算机运算结果转变为人们所能接受的信息形式的设备。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、音响设备等。

计算机硬件系统的 5 个组成部分中,常把 CPU 和内部存储器合称为主机,而把输入设备、输出设备和外部存储器合称为外部设备,简称外设。

由于输入设备和输出设备大多是机电装置,有机械传动或物理移位等动作过程,相对而言,输入设备和输出设备是计算机系统中运转速度最慢的部件,而 CPU 是整个计算机系统中工作速度最快的部件。

实际上,计算机的硬件系统还包括为各部件提供通信服务的总线和接口设备,现在很多计算都是以总线为中心进行设计的。

5.1.3 计算机软件系统

计算机软件是为了方便用户操作、充分发挥计算机效率,以及为解决各类具体应用问题所需要的各种程序、数据和文档的总称。软件是计算机的灵魂,是发挥计算机功能的关键。有了软件,人们可以不必过多地去了解计算机本身的结构与原理,可以方便、灵活地使用计

算机,从而使计算机有效地为人类服务。

随着计算机应用的不断发展,计算机软件不断积累和完善,形成了极为宝贵的软件资源。计算机软件可分为系统软件和应用软件两大类。

1. 系统软件

系统软件是管理、监控和维护计算机资源的软件,可以扩大计算机的功能、提高计算机的工作效率、方便用户使用计算机。系统软件是计算机正常运转不可缺少的。常见的系统软件有计算机操作系统、服务程序、语言处理程序和数据库管理系统等。

(1) 计算机操作系统。计算机操作系统是为了合理、方便地利用计算机系统,而对其硬件资源和软件资源进行管理和控制的系统软件。操作系统具有处理机管理(进程管理)、存储器管理、设备管理、文件管理功能,由它来负责对计算机的全部软硬件资源进行分配、控制、调度和回收,合理地组织计算机的工作流程,使计算机系统能够协调一致、高效率地完成处理任务。操作系统是计算机系统中最基本的系统软件,用户对计算机的所有操作都必须在操作系统的支持下进行。

比较常见的操作系统有 Windows、UNIX、Linux 等。

(2) 服务程序。现代计算机系统提供多种服务程序,它们是面向用户的软件,可供用户共享,方便用户使用计算机和管理人员维护、管理计算机,可以用于对计算机系统进行测试、诊断和故障排除,进行文件的编辑、传送、装配、显示、调试,以及进行计算机病毒检测、防治等。在软件开发的各个阶段选择合适的服务程序可以大大提高工作效率和软件质量。

常用的服务程序有编辑程序、连接装配程序、测试程序、诊断程序、调试程序等。

① 编辑程序能使用户通过简单的操作就建立、修改程序或其他文件,并提供方便的编辑环境。

② 连接装配程序可以把几个分别编译的目标程序连接成一个目标程序,并且与系统提供的库程序相连接,得到一个可执行程序。

③ 测试程序能检查出程序中的某些错误,方便用户对错误的排除。

④ 诊断程序能方便用户对计算机进行维护,检测计算机硬件故障并对故障定位。

⑤ 调试程序能帮助用户在程序执行的状态下检查源程序的错误,并提供在程序中设置断点、单步跟踪等功能。

(3) 语言处理程序。要使计算机能够按照人的意愿去工作,就必须使计算机能接受人向它发出的各种命令和信息,这就需要有用来进行人和计算机交换信息的“语言”。人与计算机之间交流信息使用的语言叫计算机程序设计语言。计算机程序设计语言的发展经历了机器语言、汇编语言和高级语言 3 个阶段。

除机器语言程序可直接执行以外,其他语言编写的程序(源程序)都不能直接被计算机硬件识别和执行。所以,人们开发了一个专门的程序用于把源程序“翻译”成计算机硬件能识别的程序文件,这个起“翻译”作用的程序就是语言处理程序。语言处理程序专门为程序设计服务,属于系统软件。为了编程方便,人们常把程序编辑、翻译、调试等集成在一起,并提供一个友好界面,称为集成开发环境(Integrated Development Environment, IDE)。

(4) 数据库管理系统。数据库是以一定组织方式存储起来且具有相关性的数据的集合,它的数据冗余度小,而且独立于任何应用程序而存在,可以被多种不同的应用程序共享。

也就是说,数据库的数据是结构化了的,对数据库的输入、输出及修改均可按一种公用的可控制的方式进行,使用十分方便,大大提高了数据操作的灵活性和利用率。数据库必须通过数据库系统才能发挥其作用。

数据库系统(DataBase System,DBS)通常由软件、数据库和数据管理员组成。软件主要包括操作系统、实用程序和数据库管理系统。数据库由数据库管理系统统一管理。数据管理员负责创建、监控和维护整个数据库,使数据能被任何有权使用的人有效使用。

数据库管理系统(DataBase Management System,DBMS)是对数据库中的资源进行统一管理和控制的软件,是数据库系统的核心,是进行数据处理的有力工具,数据的插入、修改和检索均要通过数据库管理系统进行。目前,被广泛使用的数据库管理系统有 SQL Server、Oracle、Access 等。

2. 应用软件

应用软件是为了解决计算机各类问题而编写的程序。它是在硬件和系统软件的支持下,面向具体问题和具体用户的软件。应用软件可分为用户程序与应用软件包。

(1) 用户程序。用户程序是用户为了解决特定的具体问题而开发的软件。充分利用计算机系统的各种现成软件,在系统软件和应用软件包的支持下可以更加方便、有效地开发用户程序。各种票务管理系统、人事管理系统和财务管理系统等,都属于用户程序。

(2) 应用软件包。随着计算机应用的日益广泛深入,各种应用软件的数量不断增加,质量日趋完善,使用更加方便灵活,通用性越来越强。有些软件已逐步标准化、模块化,形成了解决某类典型问题的较通用的软件,这些软件称为应用软件包(Package)。它们通常是由专业软件人员精心设计的,为广大用户提供方便、易学、易用的应用程序,帮助用户完成各种各样的工作。例如 Microsoft 公司的 Office 2016 应用软件包包含 Word、Excel、PowerPoint 等,可以帮助用户实现办公自动化。另外,还有会计电算化软件包、绘图软件包、运筹学软件包等。

系统软件和应用软件之间并不存在明显的界限。随着计算机技术的发展,各种各样的应用软件中有了许多共同的部分,把这些共同的部分抽取出来形成一个通用软件,这个通用软件就逐渐成为系统软件。

组成计算机系统的硬件和软件是相辅相成的两个部分。硬件是组成计算机系统的基础,而软件是硬件功能的扩充与完善。离开硬件,软件无处栖身,也无法工作。没有软件的支持,硬件仅是一堆废料。如果把硬件比作计算机系统的躯体,那么软件就是计算机系统的灵魂,有躯体而无灵魂是僵尸,有灵魂而无躯体则是幽灵。

5.2 怎样向计算机发命令

现代计算机作为数据处理机,其基本的工作就是对数据进行操作。作为操作对象的数据有两个来源:通过输入设备输入和由计算机内部产生。有关数据的详细内容,前面章节已做介绍,此处不再赘述。计算机是人的意愿的执行者,是对人的能力的扩充,所以计算机完成的各种操作都是根据人的命令而进行的。计算机完成了一系列的操作,也就完成了一个问题的求解,实现了某种功能。那么,人们应如何把自己的想法告诉计算机呢?计算机又

是如何理解人们的意图的呢?

人们向计算机发命令也是通过计算机输入设备实现的。早期的时候,人们使用键盘向计算机发命令。随着计算机技术的发展,出现了鼠标器,这时,向计算机发命令变得方便和容易了,计算机也就越来越普及和大众化了,普通人也可以拥有和使用计算机。今天,输入设备异常丰富,使人机交互不仅形式丰富多样,而且兼顾人性化和个性化(这部分内容将在第 10 章做详细介绍)。常见的输入设备有键盘、鼠标、手写板、触摸屏、扫描仪、传声器(俗称话筒、麦克风)、摄像头、操纵杆、眼动跟踪器、位置跟踪器、压力笔等,还有智能穿戴设备以及将手势、身形、表情、眼球,甚至脑电波数据转化为计算机可识别信息的智能装置都属于计算机输入设备。

几种常用的输入设备如图 5-4 所示。

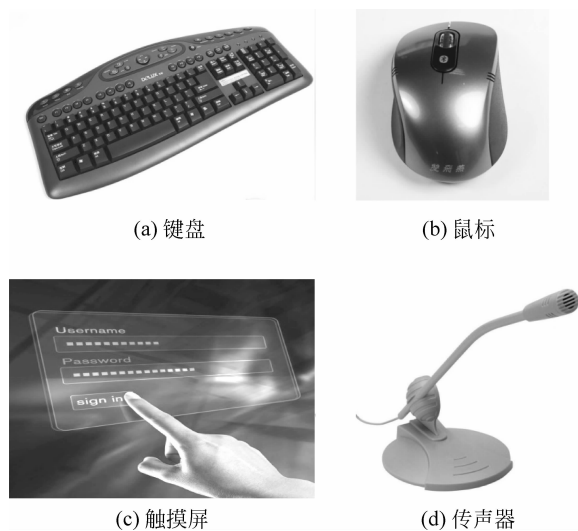


图 5-4 几种常用的输入设备

5.3 命令符号化和指令理解

人们向计算机发命令后,要让计算机“听见”人们的命令并“理解”人们的意图,需要经过“命令符号化”和“指令理解”两个阶段。

1. 命令符号化

(1) 将命令转化为符号。人们向计算机发的命令形式多种多样,但是最终都会转化成二进制数,这个转化就由相应的输入设备完成。命令转化成二进制数的过程与数据的产生过程类似。输入设备与相应的软件结合可以区分数据和命令,而 CPU 对数据和命令的区分可以根据其在内存中存放位置的不同来完成。

例如标准键盘,作为一种基本的输入设备,它的功能就是把对某个键的敲击命令变换为二进制代码。键盘与不同的软件结合时,敲击键盘产生的二进制代码一般不相同,表达的意义也不相同。基本的英文键盘,敲击一个键产生一个 8 位的 ASCII 码;中文键盘,与中文输

入法软件结合,敲击键盘产生的是汉字内码;与程序设计语言软件结合,敲击键盘产生的是程序设计语言符号,形成的是计算机程序。

又如,话筒,与辅助设备和软件结合构成声音输入设备,可以获取二进制数形式的语音数据和命令。

(2) 计算机指令。在计算机科学中,指示计算机执行某种操作的命令叫作计算机指令,简称指令。可以看出,计算机指令与计算机的某种操作是对应的,却不一定与人们使用计算机时直接向计算机发的命令一一对应。因为很多计算机具有通用性和解决问题的创新性,计算机处于不同的环境、面临不同的用户可能会接收到不同的命令,所以一种计算机碰到的命令可能会有无限多种,每条命令对应一条计算机指令是不现实的。实际的做法:根据计算机的应用需要总结出一些基本操作,给每一种基本操作规定一条计算机指令,当用计算机求解问题时,就把问题求解过程分解成一系列的基本操作,一个问题的求解就用若干条指令的组合来实现。这样,虽然只有有限的若干条指令,却可以有几乎无限多种排列组合,足够用来解决各种想要解决的问题。

对应一定功能的指令序列就是计算机程序。基于问题求解的程序编制过程称为程序设计。程序设计就是把问题求解过程步骤化、符号化的过程,是一个复杂的智力活动,具体内容将在第 6 章介绍。

所以,一般来讲,计算机用户应用计算机时向计算机所发的命令都要对应一个程序。程序是计算机运行的基础。程序设计是计算机应用的前提。

(3) 指令格式。计算机指令是用二进制代码表示的。用二进制代码表示的指令结构形式叫作指令格式。一条指令通常由操作码和地址码组成,如图 5-5 所示。



图 5-5 指令格式

操作码表示该指令应进行什么性质的操作。不同的指令有不同的操作码。如果某计算机的指令条数较多,它的操作码位数通常也就较多。地址码确定了操作数在内存中的位置。地址码位数越多,表明指令可以在内存中更大的范围内获取操作数。如果一条指令执行时需要多个操作数,那么指令中还可以有多个地址码。

2. 指令理解

(1) 指令系统。计算机所能执行的全部指令的集合称为指令系统。指令系统描述了计算机内全部的控制信息和逻辑判断能力。不同计算机的指令系统包含的指令种类和数目一般不相同,不过基本都会包含算术运算、逻辑运算、数据传送型、输入和输出等类型的指令。指令系统是表征一台计算机性能的重要因素,它的格式与功能不仅直接影响计算机的硬件结构,而且也直接影响系统软件,影响计算机的适用范围。所以要想使计算机有强大的功能,有广阔的应用空间,就必须科学地设计指令结构和指令系统。

(2) 指令存储。按照某种指令系统制作的计算机,其内部必然存储这种指令系统。指令系统由计算机生产厂家存储在计算机 CPU 的控制器中,一般不能改动。基于不同原理的计算机,其指令系统存储形式不尽相同,但都能对以二进制代码形式进入控制器的指令进

行识别,并产生对应的操作。

基于计算机(内置了某种指令系统)求解某个问题时,首先设计出问题求解程序(指令序列),然后把程序存储于存储器(CPU 之外的内存)。

(3) 指令译码。所谓计算机“听到”人们的命令,是指与命令对应的指令从内存送到了计算机控制器。控制器将接收到的指令与自己保存的指令进行运算,进而“理解”接收到的指令,如果理解成功则产生对应的操作,也就是“听懂”人们的命令、知道人们的意图了。当然,如果人们用错了指令,计算机就会因理解不了我们的意图而不理我们,或者会因错误领会我们的意图而发出错误的动作。计算机科学中,对指令的“理解”过程叫作指令译码。

指令理解过程如图 5-6 所示。

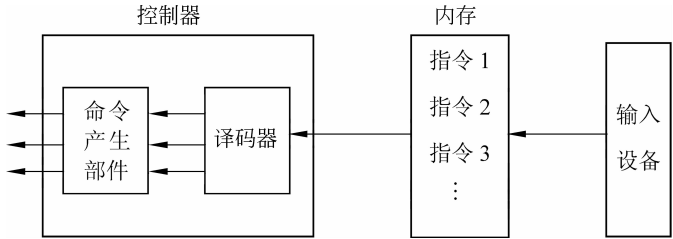


图 5-6 指令理解过程示意

5.4 指令的执行

冯·诺依曼机的工作原理是首先把程序和数据存储于存储器,然后在控制器指挥下自动地取指令和执行指令,其具体过程如下。

- (1) 设计程序并存储程序。
- (2) 取指令。CPU 中有专门的程序计数器(PC),其中存放着待取指令的地址,当控制器发出取指令命令后,一条指令就沿着指令总线进入控制器中的指令寄存器 IR。
- (3) 分析指令。译码器根据一定的运算规则对 IR 中的指令进行运算,实施分析,识别指令的操作属性。
- (4) 执行指令。控制器根据指令的操作属性发出相应的命令给功能部件,由功能部件完成指令的操作。
- (5) PC 的值自动加 1,为取下一条指令做好准备。

可见,计算机的工作过程是循环完成取指令、分析指令和执行指令,如图 5-7 所示,计算机可以自动地运行下去,直到程序结束(遇到停止指令)。

需要说明的是,控制器向功能部件发的命令叫作微命令,不同于前面所说的计算机用户向计算机所发的命令。

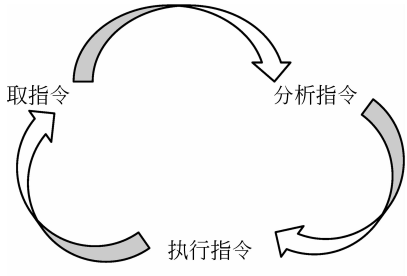


图 5-7 计算机的工作过程

5.5 计算机如何输出结果

通过执行程序,完成了对问题的求解,实现了某种功能,但效果如何呢?计算机通常需
要向用户展示或向控制对象传达计算结果,这就要使用输出设备和效果渲染软件。

输出设备可以把计算机运算的结果(一般为二进制数据)转换成人们易于接受的自然信
息的形式,或者易于保存、传输的数据,或者可以对环境施加影响的命令。常见的输出设备
有显示器、打印机、绘图仪、音响设备、投影机、通信设备、过程控制设备等。

可用于对效果进行渲染的软件非常多,例如,想使文档页面美观可以使用文字处理软件
Word,想提高报告的演示效果可以使用 PPT 软件进行加工,想美化自己的照片可以使用
Photoshop,想使自己的音乐更加震撼可使用“蝥蛇”音效软件进行加工和处理,想获得生动
的 3D 图像就试试 3Delight 软件。

几种常用的输出设备如图 5-8 所示。



图 5-8 几种常用的输出设备

5.6 计算机进行问题自动求解的实例

已知 $a=2$ 、 $b=1$ 、 $c=4$,当变量 $x=3$ 时,函数 $y=ax+b-c$ 的值是多少?下面介绍使用
计算机对该问题进行自动求解。

1. 设计计算机

(1) 设计指令系统。经分析发现,求解该问题需要完成的操作(动作)有算术加、算术
减、算术乘、取数、存数、输出(打印)、停机等 7 种,于是可以定义 7 条指令。规定指令格式并
用二进制数表示,如表 5-1 所示。

表 5-1 指令系统

指 令	操 作 码	地 址 码
加法	001	1010
减法	010	1011
乘法	011	1100

续表

指 令	操 作 码	地 址 码
取数	101	1001
存数	110	1101
打印	111	xx
停机	000	xx

(2) 选择合适的运算器、存储器和控制器。运算器应该具有加法运算、减法运算和乘法运算功能。存储器可以容纳所有的程序和数据。控制器能够控制运算器和存储器的工作。

2. 使用计算机求解

使用计算机求解的过程包括设计程序、存储程序、执行程序。

(1) 设计程序,并把程序(指令和数据)以二进制数形式保存于存储器中,如图 5-9 所示。

	地址	操作码	地址码
指令区域	0001	101	1001
	0010	011	1100
	0011	001	1010
	0100	010	1011
	0101	110	1101
	0110	111	xx
	0111	000	xx
数据区域			
	1001	a	
	1010	b	
	1011	c	
	1100	x	
	1101	y	

图 5-9 指令和数据在存储器中存放示意图

(2) 在控制器指挥下,计算机自动计算。首先把首行指令地址交给程序计数器 PC,然后控制器发出取指命令,开始运行程序。程序运行过程如下。