

计算机系统基础知识

Jisuanji Xitong Jichuzhishi

二机部科学技术情报研究所

前 言

随着我国电子计算机工业的发展,电子计算机的使用越来越广泛,接触它的人亦越来越多,故人们迫切需要了解计算机系统工作的基本原理。为此目的,我们编写了这本读物。

一个计算机系统是由硬件和软件两个不可分割的部分组成的,硬件是软件的基础,没有硬件,软件也就“无用武之地”;反过来,没有软件,单纯的硬件也构不成一个真正的系统,因而不能发挥其全部功能。一个好的计算机系统,必须是硬件和软件两部分功能恰当地结合起来而构成的。所以凡是想要充分发挥计算机功能的人,或想要构造一个适合于自己使用要求的系统的人,必须对硬件和软件这两个部分在整个计算机系统中所处的地位和可能发挥的作用,有一个比较全面而深刻的认识。

这本读物是为初学者了解计算机系统硬件和软件的基本原理而编写的。目的在于帮助读者迅速获得有关计算机系统的基本知识,为进一步掌握某一个具体的计算机系统打下基础。全书分上、下两篇。上篇介绍了计算机系统硬件各部分的功能与工作原理,共十章。第一章为概论,简述了电子数字计算机发展概况、特点及其基本工作原理;第二章介绍了数制和码制的基本概念;第三至第五章讲述了构成电子数字计算机的基本逻辑器件和部件;第六至第九章描述了中央处理机、内外存储器 and 多路通道的基本结构、功能及基本工作原理;最后一章,对整机系统、体系结构、网络、终端及计算机的未来作了概要的介绍。下篇介绍了计算机系统软件部分的功能与工作原理,共七章。第一章为软件概述,解释什么是软件、软件在整个计算机系统中的作用、地位及软件的发展历史和分类;第二章讲述怎样用机器指令或汇编语言编制程序的过程;第三章到第五章分别介绍了国内外广泛流行的FORTRAN、ALGOL 60 和 BASIC 三种程序设计语言的基本知识;第六章扼要地叙述编译程序的基本原理,即如何实现把高级程序设计语言书写的源程序翻译成由机器指令表示的目标程序。最后一章,对操作系统的功能与实现原理作了比较详尽的介绍。

由于编者实际经验与业务水平的限制,这本读物中的缺点、错误和不当之处一定不少,恳切希望读者提出批评指正。本文上篇由王振宇执笔,下篇由金其杰、刘宽名执笔。

编者

一九八〇年三月

目 录

上篇 硬件部分

第一章 概论	(1)
第一节 计算机发展概况	(1)
第二节 电子计算机的组成及其特点	(3)
第二章 计算机的数制和码制	(7)
第一节 进位计数制	(7)
第二节 进位制数之间的转换	(11)
第三节 数的定点与浮点表示	(14)
第四节 原码、补码、反码	(15)
第三章 逻辑代数和基本逻辑电路	(20)
第一节 逻辑代数基本知识	(20)
第二节 晶体管逻辑门电路	(23)
第三节 集成逻辑门电路	(26)
第四章 触发器	(33)
第一节 R-S 触发器	(33)
第二节 可控 R-S 触发器	(35)
第三节 W-Z 触发器	(37)
第四节 集成单元 D 触发器	(39)
第五节 J-K 触发器	(41)
第五章 基本逻辑部件	(44)
第一节 寄存器	(44)
第二节 计数器	(46)
第三节 译码器	(49)
第四节 半加器和全加器	(50)
第五节 节拍脉冲发生器和脉冲分配器	(53)
第六章 运算方法和运算器	(55)
第一节 运算方法	(55)
第二节 运算器	(66)
第七章 内存贮器	(72)
第一节 概述	(72)
第二节 磁心存贮原理	(73)
第三节 磁心存贮器的取数方式	(76)
第四节 内存贮器的工作过程	(82)
第五节 其它存贮器	(85)

270599

第八章 控制器	(88)
第一节 控制器的功能及其组成	(88)
第二节 指令及指令系统	(90)
第三节 操作控制部件的组成原理	(94)
第四节 中断系统	(97)
第五节 存贮控制部件	(99)
第九章 多路通道和外部设备	(101)
第一节 多路通道	(101)
第二节 外存贮器	(103)
第三节 输入输出设备	(107)
第四节 模数转换	(112)
第十章 整机系统	(117)
第一节 整机结构特点	(117)
第二节 计算机结构概述	(122)
第三节 计算机网络及终端	(124)
第四节 展望计算机的未来	(126)

下篇 软件部分

第一章 概述	(129)
第一节 什么是软件	(129)
第二节 软件的简要发展史	(129)
第三节 软件分类	(133)
第二章 机器语言和汇编语言	(135)
第一节 机器语言	(135)
第二节 汇编语言	(136)
第三节 宏指令	(137)
第三章 FORTRAN 语言	(141)
第一节 卡片和字符集	(141)
第二节 变量和常数	(143)
第三节 算术赋值语句、简单输入输出语句和转语句	(144)
第四节 下标变量和循环语句	(150)
第五节 子程序和函数	(154)
第六节 公用语句和等价语句	(157)
第四章 ALGOL 60 语言	(160)
第一节 基本符号	(160)
第二节 变量和常数	(161)
第三节 算术表达式和赋值语句	(162)
第四节 输入和输出	(164)
第五节 转语句和标号	(165)

第六节	FOR语句	(167)
第七节	数组和下标变量	(170)
第八节	分程序结构	(171)
第九节	过程 (Procedure)	(173)
第十节	函数	(175)
第五章	BASIC 语言	(177)
第一节	数、简变和表达式	(177)
第二节	基本语句	(179)
第三节	键盘操作和键盘运算	(185)
第六章	编译程序简介	(189)
第一节	编译程序和解释程序的概念	(189)
第二节	编译程序的结构	(190)
第三节	编译方法简介	(195)
第七章	操作系统	(201)
第一节	引言	(201)
第二节	作业调度和处理机管理	(203)
第三节	存贮管理	(211)
第四节	输入输出和设备管理	(218)
第五节	文件系统	(223)
第六节	作业控制	(230)

上 篇

硬 件 部 分

王 振 宇

第一章 概 论

电子计算机是本世纪科学技术的卓越成就之一，自从1946年问世以来，其发展之迅速和应用之广泛，给人留下了非常深刻的印象。在短短的三十多年间，它已经历了几代的更新。近几年来，以大规模集成电路为基础的微型计算机的大量涌现，标志着计算技术又进入了一个崭新的发展阶段。电子计算机日新月异的飞速发展，有力地推动着工农业生产、国防和科学技术的发展。目前电子计算机的应用范围有数千种之多，并还在不断地发展。电子计算机的应用范围很广，从宇宙空间的探索，到基本粒子的研究；从国防尖端技术，到工业生产的自动化控制；从一般生产管理、商业计算到整个国家经济计划的综合平衡，它已经成为工业、农业、国防和科学技术现代化必不可少的工具。电子计算机的科学技术水平、生产规模、应用程度已经成为衡量一个国家现代化水平的显著标志。因此，促进我国电子计算机技术的发展，对于加速实现四个现代化，将具有十分重要的意义。

第一节 计算机发展概况

一、计算机的分类

就目前的现状而言，计算机包括模拟计算机、数字计算机和数字模拟混合计算机。模拟计算机是用模拟量（又称连续量）进行运算的计算机，解题速度快是其突出的优点，但精度差。数字计算机是用数字量（又称不连续量）进行运算的计算机，其精度高，运算速度快，运算过程全部自动化，“记忆”能力和逻辑判断能力强，通用性强，因而，目前应用得最为广泛。数字模拟混合计算机是数字技术和模拟技术结合的计算机，它吸取了模拟机与数字机的优点，能克服各自的不足之处，目前尚处于发展阶段。

通常我们所说的“电子计算机”系指电子数字计算机，但严格来说，电子计算机应包括电子数字计算机和电子模拟计算机两种。为了使两者区分开，一般情况下，凡是模拟机都加上“模拟”二字，而把电子数字计算机简称为电子计算机。

电子计算机有很多种类。从设计目的划分，有通用计算机和专用计算机；从用途划分，有科学技术计算的计算机、数据处理和工业控制机；从规模和功能划分，有巨型机、大型机、中型机、小型机、超小型机和微型机等六种。目前还没有统一的国际标准对电子计算机进行分类。

二、电子计算机发展概况

电子计算机发明于二十世纪四十年代。当时,一方面是由于为了研究导弹、火箭、原子弹等科学技术,需要解一些极其复杂的数学问题,原有的计算工具已满足不了要求;另一方面是由于电子学和自动控制技术的飞跃发展为研制电子计算机提供了可能。1943年,美军为了解决弹道学问题,与美国宾夕法尼亚大学签订了研制用于计算炮弹弹道的高速计算机合同,经过三年的努力,于1946年研制成了世界上第一台由程序控制的电子数字计算机,简称ENIAC。它使用了18,800只电子管,体积3,000立方英尺,占地170平方米,重达30吨,耗电 150 千瓦,是一个“庞然大物”。它的内存容量只有 $17K^{①}$ 位(随机存储器 $1K$ 位,只读存储器 $16K$ 位),字长12位,加法运算速度为 200 微秒 ② ,即每秒钟只能运算5000次。现在看它的水平是不高的,但当时美国军方用电子计算机(ENIAC)计算炮弹从发射到进入轨道40个点的位置只要3秒钟,用人工计算要7小时,两者相比,速度提高了8,400倍,获得了划时代的进展,显示了电子计算机的威力。

自1946年以来,电子计算机的发展极其迅速,特别是在高速化、微型化、高可靠性方面都有显著的进展。三十几年来,电子计算机经历了四代的发展,各代的划分没有严格的定义,分法也不完全相同。大体上从1946年至1956年的十年中研制和生产的计算机为第一代的计算机。其特征是:逻辑元件采用电子管;主存储器使用延迟线或磁鼓,作为辅助存储器已开始采用磁带机;软件处于初始发展阶段,符号语言已经出现并被使用;应用范围以科学计算为主,应用方式主要是手工式的。

从1957年至1963年研制生产的计算机为第二代,即晶体管数字计算机时代。1957年美国安装了第一台晶体管的TRANSAC S-1000机,1958年4月IBM公司开始用晶体管计算机取代原来生产的电子管计算机。第二代计算机以逻辑元件用晶体管、主存储器使用磁心为其主要特征,外存储器已开始采用磁盘;软件得到了显著的发展,先后出现了FORTRAN、ALGOL、COBOL等程序设计语言,相应的编译程序都已建立。此外,还出现了成批处理执行系统、以及成批多道、分时等系统;应用方面,各种事务数据处理得到广泛应用,并开始用于过程控制。

第三代计算机从1964年IBM360系列出世开始。这一代计算机逻辑元件已经采用集成电路,存储元件主要还是磁心,机种多样化,系列化,外部设备不断增加,品种繁多,尤其是终端设备(包括远距离终端)迅速发展,并与通信设备结合起来;软件方面,操作系统进一步完善发展与普及,分时系统和多道程序系统被广泛使用;电子计算机被广泛应用于工业控制、数据和科学计算各个领域。

计算机的第四代是指全面采用大规模集成电路的时代。1970年研制成功、1971年正式开始生产的IBM370系列机首先使用大规模集成电路做主存储器(逻辑元件仍是小规模集成电路),因此被称为3.5代的计算机。1975年研制成功的逻辑元件和主存储器全面采用大规模集成电路的大型计算机,如470V/6型和M-190机均可作为目前第四代计算机的代表。软件与硬件有更多的结合,应用则表现出由多机形成综合信息处理网络,进入了以网络为特征的时代。

① $1K$ 位=1024位

② 1 秒= 10^3 毫秒= 10^6 微秒= 10^9 纳秒= 10^{12} 微微秒,

目前在发展第四代计算机的同时，也在研究探讨更新一代的计算机。

三、我国电子计算机发展简况

我国电子计算机事业发展很快，从无到有，从小到大，从仿制到自行设计，二十多年时间从第一代电子管数字计算机发展到第三代集成电路数字计算机。1958年，第一代电子计算机试制成功了，从而填补了我国在计算机方面的空白。1959年DJS-2型电子管数字计算机投入运行。自1964年起，先后在不少单位研制并生产了多种晶体管数字计算机，如X-2、108乙、441B、119、DJS-6、109丙、DJS-21、DJS-8等机器相继投入运行。

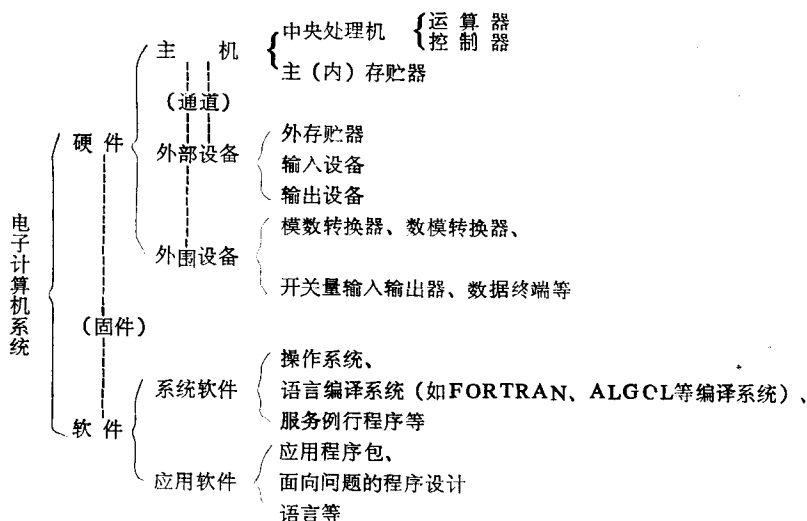
1971年以后，又继续研制成一些集成电路计算机。如1971年的每秒为十几万次的709机；1973年的每秒为82万次的655机和每秒为百万次的150机；1974年的DJS-130小型多用途的计算机；1976年的每秒为二百万次的013机；1977年的DJS-050型微型计算机和每秒为350万次的某定点机；1979年的每秒为500多万次的某大型数据处理机。

我国自行设计的采用大规模集成电路的各种类型的新系列机、超小型电子计算机、每秒运算速度为数千万次的或更快的高速电子计算机正在加紧进行之中，不久将会陆续出现。

第二节 电子计算机的组成及其特点

概括地说，电子计算机系统由两大部分组成，即硬件和软件两部分。电子计算机系统的结构见表1.1。软件的有关内容将在下篇予以详细介绍。

表1.1 电子计算机系统结构



一、硬件部分

电子计算机的硬件，系指由电子线路、元器件和机械部件等构成的具体装置。它着重研究计算机的逻辑设计、运算方法及电子设备的制造和改进等问题。硬件部分一般包括存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备等五大部分组成，基本结构如图1.1所示。前三部分合在一起称为计算机的主机，运算器和控制器等设备合在一起称为中央处理机，输入输出设备

和外存储器统称为外部设备。当计算机被用于“实时控制”等用途时，通常还需要有模-数转换器、数-模转换器、开关量输入输出以及数据终端等，人们常把它们称为外围设备。主机通过通道与外部设备或外围设备联接。

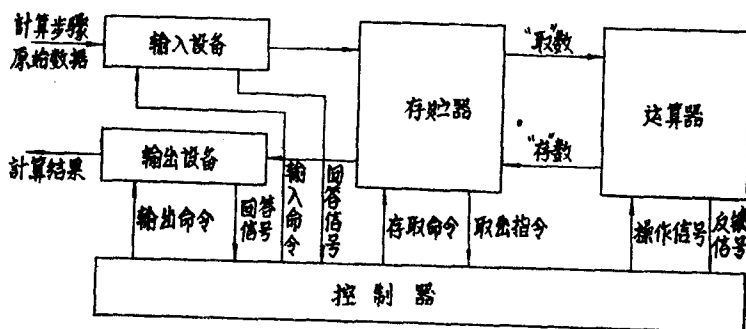


图1.1 电子计算机硬件基本结构

五大部件功能如下：

1. 存储器：在计算机中起存储信息的作用，具有“记忆”功能，它可以把人们需要的信息和解题内容都存储起来，供解题时随时取用。存储器有两类：一类是与运算器直接相联系的存储器，通称主存储器和内存存储器，多用磁芯做成，近几年来用半导体大规模集成电路做成的也越来越多；另一类是存储速度较慢，不与运算器直接相联的后备存储器，也称为外存储器，用以扩充内存存储容量和存放暂时不用的信息，如外部设备中的磁带、磁鼓和磁盘等。

2. 运算器：它不仅能执行加、减、乘、除等算术运算，而且能进行逻辑判断。它是由最基本的触发器等电子线路和部件组成。

3. 控制器：是整机的指挥和控制机构。控制器联系计算机的各个部分，并向各部分发出和协调工作的“命令”（这些命令都是事先由人通过指令规定好的）。具体地说：控制器就是索取存储器中的指令，并对这些指令进行译码，最后产生一串的脉冲序列来执行这些指令。

4. 输入设备：它能把记载在某种介质上的数据和程序转换为电信号，并顺序地把它们送入计算机的存储器。目前常用穿孔纸带作为记录输入信息的方法，所以纸带输入机是常用的输入设备。此外，还有卡片输入机、电传打字机、光笔、键盘等输入设备。

5. 输出设备：是把计算机的输出信息以人们所能识别的数据、文字、图形等形式送往机外的设备。目前常用的有行式打印机、电传打字机、静电印刷机、X-y绘图仪和显示输出设备等。

二、软件部分

电子计算机软件，系指使用计算机所必备的各种程序的总称。它的任务是发挥和扩大机器的功能，以及提高机器使用效率，便于用户掌握使用。软件主要包括系统软件和应用软件两大类：

1. 系统软件：它是用于计算机的管理、维护、控制和运行，以及计算机程序的翻译、装入、管理、控制和运行的程序。可归纳为操作系统、语言编译系统和常用服务例行程序

等。

2. 应用软件：指的是为方便某种应用，或解决某类问题（如科学计算、数据处理及实时控制等）所必需的各种程序。应用软件和面向问题的程序设计语言等都属应用软件。

关于程序的编制、程序设计语言的使用以及编译系统和操作系统的实现等问题将在下篇中说明。

三、硬件和软件的关系

有人将电子计算机的硬件和软件比做车子的两个轮子，缺一不可，必须并行向前发展，才能加速电子计算机的发展与推广。国外在软件人员和硬件人员的比例上大致是3:1左右，成本费用大致各占一半。可以这样认为：硬件是软件发展的物质基础，软件要迅速发展，对硬件的稳定可靠程度又必须有严格的要求，因而也促进了硬件的发展。

此外，随着计算技术的发展，出现了一种具有软件功能的硬件，称为固件（或称稳固件），象含有微程序集的控制存储器（一般是只读存储器），它能把某些软件功能并到硬件中去，即所谓“软件硬化”，用这种办法把硬件和软件融合起来，使电子计算机的速度和效能都得到改进。

四、电子计算机的工作过程

在硬件中，除上述五个基本部件外，还必须配有电源装置、控制台和空调设备等，才能保证计算机正常工作。

现以 $7 - 2.75 \times 2 = ?$ 这道算题，并结合图 1.1 来说明电子计算机的工作过程。它可分为三步来进行：

第一步：由输入装置将事先按照机器能识别的语言编好的计算步骤（或称计算程序），和原始数据 7，2.75，2（均穿孔在纸带上）输入到存储器存放起来。

第二步：由控制台启动计算机工作。在控制器的控制下，计算机按“计算程序”自动操作：

1. 从存储器分别取出被乘数 2.75 和乘数 2 送到运算器，进行 2.75×2 的乘法操作，在运算器中求得乘积 5.5。

2. 将运算器所算得的中间结果存入到存储器。

3. 从存储器分别取出被减数 7 和减数 5.5 送到运算器，进行 $7 - 5.5$ 的减法操作，在运算器中求得减法结果 1.5。

4. 将运算器中所算得的最后结果 1.5 存入存储器。

第三步：由输出装置将最后结果 1.5 打印在纸上。这样本题计算完毕，可停机。

五、电子计算机的主要特点

1. 运算速度快：第一代计算机，每秒钟能算五千次到几万次；第二代每秒钟能算几万次、几十万次到上百万次；第三代每秒钟能算几百万次到几千万次，甚至接近亿次；现在的第四代，或者正在研制的巨型机，每秒达几亿次的运算。

2. 精确度高：由于采用了二进制数字式表示方法，因此，数据的表示、保存及运算都能以很高的精确度进行。根据生产和科研的实际需要，可选择运算的精确度从千分之几到亿分之几，甚至更高的精确度。

3. 具有“记忆”能力和逻辑判断能力：计算机的存储器使它具有类似“记忆”的能力，能保存着大量的解题程序和数据等信息。计算机还能进行各种逻辑判断，并能根据判断的情

况自动决定计算机应执行什么命令。

4. 自动地工作：计算机能够在事先编制好的程序控制下自动地进行工作，不需要人直接参与计算过程。

5. 通用性强：计算机在国防、工业、农业、科学技术等领域广泛应用，但它的应用形式和范围可概括为科学技术计算、数据处理、实时控制和人工“智能”等方面。

第二章 计算机的数制和码制

计算机中数的表示采取什么形式，将直接影响计算机的性能和结构。这一章将介绍数制和码制的基本知识。

第一节 进位计数制

一、十进制数的表示

在生产劳动和日常生活中，我们最常用和最熟悉的就是十进制数，它的数值部分是用十个不同的数字符号 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 来表示的。我们把这些数字符号叫做数码。数码处于不同的位置（或数位）代表的意义是不同的。例如在 1978.12 这个数中，小数点左边第一位 8 是代表个位，表示它本身的数值；左边第二位 7 是十位，表示 7×10 ；左边第三位 9 是百位，表示 9×100 ；左边第四位 1 是千位，表示 1×1000 ；而小数点右边第一位 1 表示 $\frac{1}{10}$ ；第二位 2 表示 $\frac{2}{100}$ 。因此这个数可以写成：

$$1978.12 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

一般地，任意一个十进制数 S（假设是正的）都可以表示为：

$$S = K_n(10)^n + K_{n-1}(10)^{n-1} + \dots + K_1(10)^1 + K_0(10)^0 + K_{-1}(10)^{-1} + \dots$$

$$+ K_{-m}(10)^{-m} = \sum_{j=-n}^{-m} K_j(10)^j \quad (2-1)$$

其中 K_j 可为 0 到 9 十个数码中的任意一个，它由 S 决定；m, n 为正整数，括号内的 10 称为计数制的基数。

进位计数制简称进位制，它是按进位的方式计数的。所谓某进位制的基数，即在该进位制中可能用到的数码的个数。当基数为十，每位计满十向高位进一，即“逢十进一”，此进位制，称十进制。除了十进制外，在生产和生活中还会碰到其他的计数制，比如时间，六十秒为一分，六十分为一小时，它是六十进制的；再如通常说的“一打铅笔”，为十二支，它是十二进制的。基数为二的进位制，即二进制，是电子计算机中广泛采用的进位制。

二、二进制数的表示

二进制数的数码是“0”和“1”，是“逢二进一”的。为了熟悉二进制的表示，现在就几个简单的数字列出十进制与二进制的对照表如表 2.1 所示。

现用下列记号来表示十进制数与二进制数的对应关系：

$$(9)_+ = (1001)_- \quad (0.125)_+ = (0.001)_-$$

括号右下角的数字表示进位的基数。上列两式的意思就是：十进制的 9 表示为二进制时等于

表2.1 二进制与十进制数对照表

整 数		小 数	
二进制数	十进制数	二进制数	十进制数
0	0		
1	$2^0 = 1$		
10	$2^1 = 2$	0.1	$2^{-1} = \frac{1}{2} = 0.5$
100	$2^2 = 4$	0.01	$2^{-2} = \frac{1}{4} = 0.25$
1000	$2^3 = 8$	0.001	$2^{-3} = \frac{1}{8} = 0.125$
10000	$2^4 = 16$	0.0001	$2^{-4} = \frac{1}{16}$ $= 0.0625$
100000	$2^5 = 32$	0.00001	$2^{-5} = \frac{1}{32}$ $= 0.03125$
1000000	$2^6 = 64$	0.000001	$2^{-6} = \frac{1}{64}$ $= 0.015625$
10000000	$2^7 = 128$	0.0000001	$2^{-7} = \frac{1}{128}$ $= 0.0078125$
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
$\underbrace{100 \cdots 00}_n$	2^n	$\underbrace{0.00 \cdots 01}_n$	2^{-n}
注: n 是“1”后面“0”的个数		注: n 是“1”前面“0”的个数	

1001, 十进制小数0.125表示为二进制时等于0.001。

对于二进制的数, 同样可以写成形如公式 (2-1) 的展开式。比如11011.101可以写成:

$$11011.101 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

一般地, 任意一个二进制数 S 都可表示成:

$$\begin{aligned} S &= K_n 2^n + K_{n-1} 2^{n-1} + \cdots + K_0 2^0 + K_{-1} 2^{-1} + \cdots + K_{-m} 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n K_i 2^i \end{aligned} \quad (2-2)$$

其中 K_i 只能取 0 或 1, 它由 S 决定, m, n 为正整数。

不难看出, 展开式 (2-1) 与 (2-2) 完全类似, 如果在式 (2-2) 中用二进制的 (10) 代替十进制的 2, 则两个式子形式上完全一样。

一般地说, 如果用正整数 J 表示进位制基数, 则一个 J 进制数 S 都可以表示为:

$$S = \sum_{i=-m}^n K_i J^i \quad (2-3)$$

其中 K_i 可为 0, 1, 2, ..., $(J-1)$ 中的任一个数码, m, n 为正整数。

因此 $J = 10$ ，就是十进制数的表示形式； $J = 2$ ，就是二进制数的表示形式； $J = 8$ ，就是八进制数的表示形式…。

三、二进制的特点

在电子计算机中，数为什么采用二进制表示，而不采用十进制呢？这是因为二进制具有某些很实用的优点。

1. 二进制数容易实现

二进制数只取两个数码 0 和 1，即它的每一位都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示。而十进制就不然，做不到这一点。一般来说，制造具有两个稳定状态的元件比制造多稳定状态的元件容易得多。比如氖灯的亮和灭，继电器的闭合和断开，晶体管的截止和导通，只要规定其中的一种状态表示“1”，另一种状态表示“0”，就可以表示二进制了。

由于采用二进制，在电子计算机中，数的存贮和传送，也就可以用简单而可靠的方式进行，如脉冲的有无，电位的高低来分别表示“1”和“0”。

2. 二进制的数运算简单

这是因为二进制数只有 0，1 两个数字符号，它的加、减、乘、除等算术运算规则要比十进制数简单得多，无需“九九口诀”表之类。

二进制加法规则如下：

$$\begin{array}{ll} 0 + 0 = 0 & 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 & 1 + 1 = 10 \end{array}$$

二进制减法规则如下：

$$\begin{array}{ll} 0 - 0 = 0 & 1 - 0 = 1 \\ 1 - 1 = 0 & 10 - 1 = 1 \end{array}$$

二进制乘法规则如下：

$$\begin{array}{ll} 0 \times 0 = 0 & 0 \times 1 = 0 \\ 1 \times 0 = 0 & 1 \times 1 = 1 \end{array}$$

二进制除法运算与十进制一样，同样是乘法的逆运算。

现举几个例子，看看二进制正整数的运算规则：

$$\begin{array}{r} 111 \\ + 011 \\ \hline 1010 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ - 110 \\ \hline 111 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10111 \\ \times 1010 \\ \hline 00000 \\ 10111 \\ 00000 \\ 10111 \\ \hline 11100110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11001 \text{—商} \\ 111 \overline{) 10110001} \\ \underline{111} \\ 1000 \\ \underline{111} \\ 1001 \\ \underline{111} \\ 10 \text{—余数} \end{array}$$

可见，二进制数的除法实质上是由“减”（减除数）和“移位”两种操作实现的。由上述可知，二进制的加、减、乘、除等算术运算可以归结为加、减、移位三种操作。在电子计算机中为

了简化设备，往往只设置加法器，而没有减法器。此时，减法是变为“加负数”来实现的，也就是“加补码”的办法。什么叫“补码”？如何利用“加补码”的办法来代替减法？这将在下面讲述。显然，当引入“补码”后，二进制数的四则运算可以归结为加法和移位两种操作。

3. 采用二进制表示数可以节省设备。

4. 采用二进制可应用逻辑代数，对分析和设计电子计算机的逻辑线路提供了方便的工具，便于机器结构的简化。

事物总是一分为二的，二进制虽然具有上述值得采用的优点，但也存在某些缺点。

二进制的缺点是：表示同一个数值，采用二进制所需的位数较多。例如“一千另二十三”这个数值，用十进制数表示是“1023”共四位；用二进制数表示是“1111111111”共十位，读写和观察很不习惯，同时二进制与十进制的转换也很费事，而且在电子计算机中，转换的本身就要化费很多机器时间。

四、八进制数的表示

八进制的基数 $J = 8$ ，每位可为八个不同的数码 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 中的一个，而且是“逢八进一”的。

因为 $2^3 = 8$ ，所以一位八进制的数相当于三位二进制数，它们是完全对应的。这样，八进制与二进制之间的转换极为方便：从八进制转换成二进制时，只要把每位八进制数用三位二进制数表示即可；从二进制数转换成八进制数时，只需将每三位二进制数用一个八进制数表示。

例 1：将八进制数 67.721 转换成二进制数

$$\begin{array}{ccccccc} 6 & & 7 & & \cdot & & 7 & & 2 & & 1 \\ \downarrow & & \downarrow & & & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 110 & & 111 & & & & 111 & & 010 & & 001 \end{array}$$

所以 $(67.721)_8 = (110\ 111.111\ 010\ 001)_2$

例 2：将二进制数 11111101.010011110 转换成八进制数

$$\begin{array}{ccccccc} 11111101 & \cdot & 010011110 \\ \downarrow & & & & & & \\ \begin{array}{ccc} 011 & 111 & 101 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 7 & 5 \end{array} & \cdot & \begin{array}{ccc} 010 & 011 & 110 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 2 & 3 & 6 \end{array} \end{array}$$

所以 $(11111101.010011110)_2 = (375.236)_8$

显然，用八进制比二进制书写要简短，而且转换成二进制也很方便。因此，它也是计算机工作者普遍采用的，如指令的书写与输入通常就是用八进制表示。

有时还采用十六进制和二十进制的表示方法。它们的对照关系如表 2.2 所示。

表2.2 几种进位制对照表

进位制 数	十进制	二进制	八进制	十六进制	二-十进制
零	0	0	0	0	0000
一	1	1	1	1	0001
二	2	10	2	2	0010
三	3	11	3	3	0011
四	4	100	4	4	0100
五	5	101	5	5	0101
六	6	110	6	6	0110
七	7	111	7	7	0111
八	8	1000	10	8	1000
九	9	1001	11	9	1001
十	10	1010	12	0	00010000
十一	11	1011	13	1	00010001
十二	12	1100	14	2	00010010
十三	13	1101	15	3	00010011
十四	14	1110	16	4	00010100
十五	15	1111	17	5	00010101

第二节 进位制数之间的转换

一、十进制数转换成二进制数

首先看一看十进制的数是如何换算成二进制的数，为了便于理解它的换算规则，下面举几个实例。

例 1：把一个十进制的整数215转换成二进制整数的形式。

设： $(215)_{10} = (K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0)_2$

现在的问题是要决定 $K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0$ 的值。

按照二进制数的定义，上式可写成：

$$\begin{aligned} (215)_{10} &= K_n 2^n + K_{n-1} 2^{n-1} + \cdots + K_1 2^1 + K_0 2^0 \\ &= 2(K_n 2^{n-1} + K_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + K_1) + K_0 \end{aligned}$$

等式两边同时除以 2，得到：

$$\frac{215}{2} = 107 + \frac{1}{2} = (K_n 2^{n-1} + K_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + K_1) + \frac{K_0}{2}$$

由于等式两边整数与小数必须对应相等，所以上式表明 K_0 为 $\frac{215}{2}$ 的余数，故 $K_0 = 1$

此式又可写成：

$$\frac{215}{2} - \frac{K_0}{2} = \frac{215-1}{2} = 107 = 2(K_n 2^{n-2} + K_{n-1} 2^{n-3} + \cdots + K_2) + K_1$$

同样, 将该式两边除以 2, 可求得 $K_1 = 1$

用同样的方法继续下去, 可以得到 $K_2, K_3 \cdots K_n$ 各值。现将整个过程与结果计算如下:

2 215	余数 = 1 = K_0
2 107	余数 = 1 = K_1
2 53	余数 = 1 = K_2
2 26	余数 = 0 = K_3
2 13	余数 = 1 = K_4
2 6	余数 = 0 = K_5
2 3	余数 = 1 = K_6
2 1	余数 = 1 = K_7
0	

因此, 转换的结果为:

$$(215)_+ = (K_7 K_6 \cdots K_1 K_0)_- = (11010111)_-$$

例 2, 把一个十进制小数 0.6875, 转换成二进制的小数。

$$\text{设: } (0.6875)_+ = (0.K_{-1} K_{-2} \cdots K_{-m})_-$$

$$= K_{-1} 2^{-1} + K_{-2} 2^{-2} + \cdots + K_{-m} 2^{-m}$$

将上面等式两边各乘以 2, 即得:

$$1.375 = K_{-1} + K_{-2} 2^{-1} + \cdots + K_{-m} 2^{-m+1}$$

由于等式两边整数与小数必须对应相等, 所以 $K_{-1} = 1$ 。同时上式又可写成

$$0.375 = K_{-2} 2^{-1} + \cdots + K_{-m} 2^{-m+1}$$

同样, 将等式两边再乘以 2, 得到

$$0.75 = K_{-2} + K_{-3} 2^{-1} + \cdots + K_{-m} 2^{-m+1}$$

因此得到:

$$K_{-2} = 0$$

$$\text{则: } 0.75 = K_{-3} 2^{-1} + \cdots + K_{-m} 2^{-m+2}$$

如此继续下去, 可逐个求得 $K_{-3}, K_{-4} \cdots K_{-m}$ 的值。其整个换算过程如下:

0. 6 8 7 5	
× 2	
1. 3 7 5 0	整数部分 = 1 = K_{-1}
0. 3 7 5 0	
× 2	
0. 7 5 0 0	整数部分 = 0 = K_{-2}
× 2	
1. 5 0 0 0	整数部分 = 1 = K_{-3}
0. 5 0 0 0	
× 2	
1. 0 0 0 0	整数部分 = 1 = K_{-4}

所以转换的结果为:

$$(0.6875)_+ = (0.K_{-1} K_{-2} K_{-3} K_{-4})_- = (0.1011)_-$$

上面我们举了十进制整数和十进制小数转换成二进制数的两个例子, 实际上, 任何一个