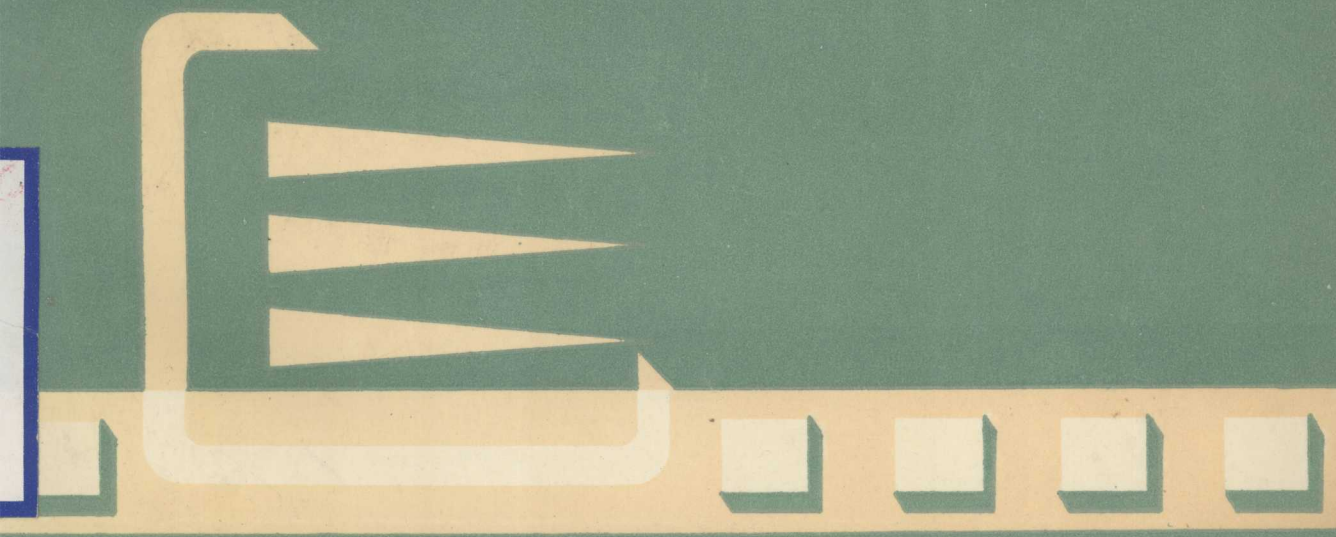
微型计算机原理与接口

MICROCOMPUTER AND INTERFACE

主编 李芷



东南大学出版社

微型计算机原理与接口

主　编　李　芷

参　编　杨文显　蒋贻濂

　　李伯全　赵念强

东南大学出版社

内 容 简 介

本书以 Intel 8086 微处理器为背景，从应用角度系统地介绍了 16 位微型计算机的基本工作原理、总线结构、微处理器、8086 指令系统、宏汇编语言程序设计、存储器、中断系统、输入/输出接口、串/并行通信、数/模和模/数转换，以及一些通用、专用可编程接口芯片的应用。本书还简要介绍了微机的多处理器系统和 Intel 80X86 高档微处理器的最新发展。

本书可作为高等院校非计算机专业研究生和本科生及计算机专业专科生的《微型计算机原理与接口》教材；也可作为计算机Ⅱ级考试的培训教材；还可供从事微型机系统设计和应用的技术人员自学和参考。

责任编辑　黄英萍
责任校对　吴明新

微型计算机原理与接口
主 编　李　芷
*
东南大学出版社出版发行
南京四牌楼 2 号　邮编 210096
江苏省新华书店经销　丹阳市兴华印刷厂印刷
*
开本 787×1092 毫米 1/16　印张 23　字数 560 千字
1996 年 10 月第 1 版　1996 年 10 月第 1 次印刷
印数：1—4000 册
ISBN 7—81050—162—3/TP・26
定价：22.00 元
（凡因印装质量问题，可直接向承印厂调换）

前　言

微型计算机技术20多年日新月异的发展，是计算机科学划时代的进步。继4位、8位微处理器后，又相继出现了16位、32位，乃至64位微处理器。以Intel 8086为CPU的16位微型机系统无论在国际上还是在国内都是最具代表性的主流机型。8086与8位微处理器相比，在运行速度、运算能力和访存空间等性能方面有很大的纵向提高；还由于它具有协处理器接口，横向能力也大为提高。因此，在字处理、图象处理、通信网络、控制和诊断等领域，以及在原来由小型机占据的那些领域中都得到了广泛的应用。值得一提的是Intel系列更高档的微型机都保持了对它的兼容。为此，我们选中Intel 8086为蓝本，系统介绍16位微型机原理与接口技术。目前，《微型计算机原理与接口》已成为高等院校理工科专业学生必修的一门重要课程。此教材适用面很广，可作为高等院校非计算机专业研究生和本科生及计算机专业专科生的教材；也可作为计算机Ⅲ级考试的培训教材；还可供从事微型机系统设计和应用的技术人员自学和参考。

本书编写内容有以下特点：

① 参考国内外出版的书刊资料，结合编者多年的教学实践，注重基础、实用和系统性，力求在微型机软、硬件技术的结合上做到循序渐进、深入浅出，使读者在掌握微型机原理的基础上具有一定的应用能力。

② 以弄懂原理，掌握应用为宗旨。考虑到非计算机专业学生和自学者的特点，微型机整机、部件以及元器件的工作原理都淡化其电路结构，而从功能结构（或称为编程结构）上加以阐述。此外，在有关章节增加了相关的计算机基础知识。

③ 精选内容，重点突出，难点分散。全书内容分为相对独立的四部分：微型机原理（1、2、5、6章）、汇编语言程序设计（3、4章）、微型机接口（7、8、9章）、微型机的拓展技术（10章），根据教学要求可以取舍。全课程参考学时60～80小时。

本书由李芷主编。其中第1、2、8章由李芷编写，第9、10章由李伯全编写，第5、6章由蒋贻濂编写，第7章由杨文显编写，第3章由赵念强编写，第4章由赵念强和李芷合编，附录由李芷整理。陈金华教授和陈天滋副教授对本书的内容和编写提出了许多宝贵意见，编写过程还得到江苏理工大学教务处和计算机系领导的大力支持，在此一并致以衷心的感谢。

编者水平有限，难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编　者

1996年3月

目　录

1 微型计算机概述

1946年，世界上第一台计算机——电子数字积分器与计算器(Electronic Numerical Integrator And Caculator)的问世，开创了计算机科学。计算机科学是一门综合性(多学科技术之集成)、渗透性(应用范围之广泛)都很强的先行、导航性技术，它为人类社会的现代化和信息化奠定了基础。计算机在50年的发展历程中，经历了采用电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模集成电路到超大规模集成电路。尤其在70年代初，微型计算机的出现为计算机的广泛应用开拓了极其广阔的前景，展示了它在科学技术领域中日益显要的地位。20年来，微型计算机技术日新月异地发展，使微型计算机的应用渗透到国民经济和社会生活的各个领域，并已转化成巨大的推动社会前进的生产力。

一个实际的微型计算机电路结构是相当复杂的。要彻底了解其工作原理，就必须将它分解成若干功能块，每个功能块是由若干电路部件组成，每个电路部件又由若干微电子器件组成……。对于初次接触微型计算机的读者，如果从一个微型计算机的电路结构上来讲解工作原理，会事倍功半。因此，本章拟从计算机最基本的功能出发，讲解其工作原理，进而引出微处理器、微型计算机的基本概念、基本组成、结构特点和应用概论，使读者对微型计算机获得一个概括的了解。本书在以后各章中将逐步完善一个实际微型计算机的全貌。

1.1 计算机工作原理

1.1.1 计算机基本结构

电子计算机最初只是作为一种现代化的计算工具出现的。它能脱离人的直接干预，自动地完成计算。作为一个自动计算工具，它是由哪些部分构成的呢？图1-1给出了计算机的基本结构。它是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个基本部分组成。

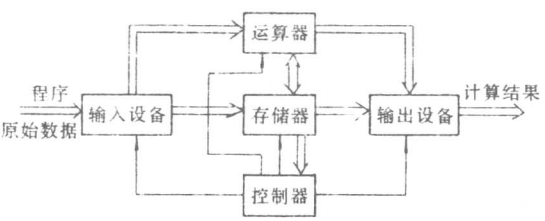


图1-1 计算机的基本结构

运算器是完成各种运算的部件。存储器是存放原始数据、中间结果和运算结果的部件。计算机的计算过程之所以能脱离人的直接干预，是人事先把解题步骤按先后顺序排列好，输入到存储器中，人只要给计算机发一个执行命令，计算机就会自动根据存储器中的解题步骤完成计算。我们把解题步骤的描述称作程序。可见，存储器除了存放数据以外，也是存放程序的部件。用来完成原始数据和程序输入的装置，称为输入设备。计算结果输出的装置，称为输出设备。人的任务只是编制程序和操作计算机。计算的全过程是在程序作用下依次发

出各种控制命令，操纵着计算过程一步步进行，我们把这种能代替人起控制作用，能依次发出各种控制信息的部件称为控制器。

这五个基本部分构成了计算机的实体，统称为计算机的硬件(Hardware)，硬件中的运算器、控制器和存储器称为计算机的主机；输入设备和输出设备统称为计算机的外部设备(简称外设)。运算器和控制器是计算机实体结构中的核心部件，把它们合在一起称为中央处理器 CPU(Central Processing Unit)。

计算机的基本功能可概括为“三能一快”：能运算(加、减、乘、除)，能判断(大于、小于、等于、真、假)，能决策(根据判别来决定下步做什么工作)；所有这些“能”的过程都建立在“快”的基础上。计算机的这种基本功能从电路原理来理解，就是信息在各个部件间的流通。

从图 1-1 可见，计算机五大部件之间有两类信息在流动。一类是数据信息，用双线表示，包括原始数据、中间结果、计算结果和程序指令；另一类是控制信息，用单线表示，它是由控制器发出，指挥和协调其他各部件动作的信号。不论是数据还是控制命令，计算机中都是用“0”和“1”表示的二进制信息。如何使各种信息在各部件之间能够循序渐进、各得其所、有条不紊、快而不乱地流通？这就是我们下面将要谈到的计算机“程序存储和程序控制”基本原理所要解答的问题。

1.1.2 程序控制原理

一台完整的电子计算机系统包括硬件和软件两大部分。硬件是组成计算机的物质基础，又称为机器系统。但是光有硬件只具备了计算的可能性，要使计算机真正脱离人的直接干预“自动”地进行计算，必须把人事先编制好的解决问题的步骤，预先存放到计算机(存储器)中。当然，解决问题的步骤必须以计算机能“认识”的形态存在。让计算机能识别并能执行的基本操作命令称作指令(Instruction)，能解决某个问题并反映解题步骤的指令序列称作程序(Program)。计算机的软件(Software)是方便用户使用和发挥计算机效能的各种程序的总称，又可称为程序系统，是属于信息性的、计算机的上层建筑。

我们来看看，程序在计算机解题过程中所起的作用。以计算 $21\times12-117$ 这道题为例，计算机的工作归结如下：

第一步：由输入设备将事先编制好的程序——指令序列(通常一条指令对应着一个基本操作)和原始数据(21，12，117)输入到存储器中指定编号的单元存放起来。存储器中存放的程序指令和数据如图 1-2 所示。

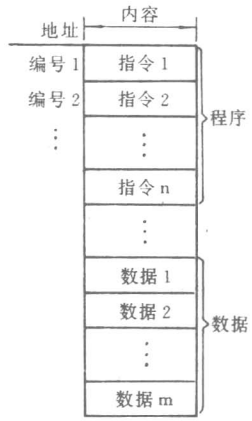


图 1-2 程序和数据的存放

第二步：命令计算机从第一条指令开始执行程序。计算机就在程序的作用下自动完成解题的全过程。此例包括下列操作：

①把第一个数 21 从存储器中取到运算器(取数)；

②把第二个数 12 从存储器中取到运算器，进行 21×12 运算，得到中间结果 252(乘法运算)；

③把第三个数 117 从存储器中取到运算器(取数)；

④进行 $252-117$ 运算，得到最后结果 135(减法运算)；

⑤把运算器中的计算结果 135 存入存储器(存数)或者经输出设备输出，例如，打印在纸上(输出)；

⑥停机。

综上所述，计算机工作的第一步是程序存储，简言之：操作意图→指令序列→存放到存储器；计算机工作的第二步是程序控制，简言之：取指令→执行→取指令……→执行（最后指令）→停机。

以上就是迄今为止，电子计算机共同遵循的程序存储和程序控制原理。这是1945年冯·诺依曼(John Von Neumann)提出的，故又称冯·诺依曼计算机原理。

还要解释两个问题：①计算机为什么能识别和执行指令序列呢？在设计计算机（硬件）时，就规定了一套计算机能实现各种基本操作的指令系统。也就是说，一种计算机有它固有的一套指令系统。人的操作意图，不论用什么形式的程序描述，最终都必须分解成或对应于所规定的指令系统的一个指令序列，这样才能被计算机识别，从而加以执行。②计算机在执行时，为什么能按序取出指令呢？指令序列是按序存放在存储器中一个连续区域，有一个电路能自动跟踪指令存放在存储器中的地址，这个跟踪电路叫程序计数器PC(Program Counter)。开始执行时，PC中存放着第一条指令所存放单元的地址，然后每取出一条指令（确切地说是每取出一个指令字节），PC中的内容自动加1，指向下一条指令地址，从而保证了自动地按顺序取指令和执行指令。

1.1.3 计算机的性能指标

评价一台计算机，涉及到许多因素，诸如性能指标、指令系统、系统结构、硬件组织、外设配置、软件配置等等。但是对于计算机的使用者来说，至少要了解下面这些概念。

1）字长

计算机中，所有信息都是用二进制数码（仅有0和1）表示的。其最小单位是位(Bit)，即一个二进制数位。CPU在处理和传送信息时，往往是把一组二进制数码看作是一个整体来并行操作，这并行处理的一组二进制数称为一个字(Word)，字所含有的二进制位数称为字长。字长是CPU交换、加工和存放信息时，其信息位的最基本长度，它通常与寄存器、运算器、传输线的宽度相一致，因此，字长实际上表示的是CPU并行处理的最大位数。

字长是计算机的重要性能指标，也是计算机分类的主要依据之一。如，把计算机分成4位机、8位机、16位机、32位机等等。一般中型机的字长为32位，大型机字长为64位，而目前高档微型机字长也达到了32位、64位。字长越长表示计算机运行的精度和处理的速度都越高，当然相应的硬件线路也越多。比如，一个16位二进制数的传送，8位机需分二次完成，而16位机则只需一次，这就是字增长带来的处理速度的优越性。

计算机中普遍使用字节(Byte)单位，一个字节由8位二进制数组成。因此，计算机字长的位数，也可以用“字节”单位取代。比如字长8位，可说成一个字节字长或字长1字节；字长16位，可说成字长2字节，依此类推。图1-3给出了字节和字(16位)的结构，字节和字右边的位0为最低位(LSB)，左边为最高位(MSB)，字节的MSB为位7，16位字的MSB为位15。

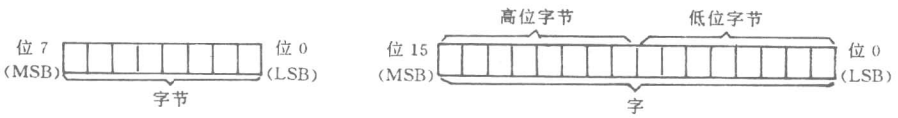


图1-3 字节和字结构

2）存储容量

存储器（通常是指内存储器）是计算机存放二进制信息的“仓库”，由若干存储单元组成，如图 1-4 所示。存储单元的编号称作存储地址（是二进制的数字码）。存储容量是指由 CPU 构成的系统能够访问的存储单元数，而单元数又是由传送地址信息的传输线的条数决定的。若有 16 条地址线，所能编出的地址码有 $2^{16}=65536$ 种，由此区分 65536 个单元。计算机中把 $2^{10}=1024$ 规定为 1K，因此存储容量 65536 个单元可以称为 64K 单元。若有 20 条地址线，存储容量为：$2^{20}=1048576=1024K$，把 1024K 又规定为 1M（1 兆），即 $2^{20}=1M$。

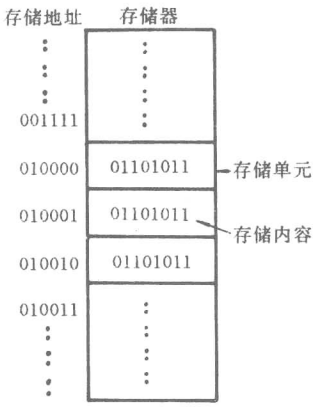


图 1-4　存储器示意图

一般存储单元是以字节为单位的，即一个存储单元中存放一个字节信息，信息的读出和写入一般是以字节为单位。所以存储容量也可以看作是存储器能够存放信息的最大字节数。上面谈到的存储容量 64K 和 1M，实质上是 64K 字节（64KB）和 1M 字节（1MB）。

3）指令系统

计算机在设计时，就确定了它能完成的各种基本操作。让计算机完成某种基本操作的命令被称作指令。因此，一台计算机所固有的基本操作指令的集合，称为该计算机的指令系统。计算机的指令系统一般有几十到几百种指令。

计算机能完成的基本操作种类越多，即指令系统的指令数越多，说明其功能越强。此外，指令本身功能的强弱，也能说明问题。

4）运算速度

计算机完成一件具体任务所需的一组指令称作程序。执行程序所花的时间就是完成该任务的时间指标，时间越短，表明机器的速度越高。但是计算机的各种指令执行时间是不一样的。人们选用所有计算机都能实现的同一操作指令——加法指令作为基本指令（因为加法指令是使用频率最高、最基本的运算指令）。以基本指令的执行时间（μs 级）或者以每秒执行基本（加法）指令的条数来衡量计算机的运算速度。当然，这两种表示方法都只能大致地反映运算速度，多数选择后一种表示方法。

现代巨型机的运算速度已可达每秒十亿次，大、中型机可达每秒几百万次到几千万次，微型机为每秒几十万次到几百万次。不断提高计算机的运算速度，是人们多年来努力追求的目标之一。

5）系统配置

一台计算机要能正常工作，必须提供必要的人—机联系手段，这包括配置相应数量的外部设备（如键盘、显示器、磁盘驱动器、打印机、绘图仪等）和配置实现计算机操作的软件。当然，外设配置越高档，软件配置越丰富，计算机的使用越便利，工作效率也就越高。特别是软件配置，在很大程度上决定了计算机能力的发挥。

6）性能/价格比

计算机的性能/价格比是人们选购计算机时考虑的重点。用户应该根据实际使用的需

求，从性能和价格两个方面作综合考虑，仔细地权衡与比较，取性能/价格高比值的计算机。

1.2 计算机的数和运算

1.2.1 数制

数制是人们按进位原则进行计数的科学方法。数制有很多种。计算机设计和使用上采用的基本数制是二进制。为什么呢？我们知道，计算机是由基本电路部件精心设计构成的一个电路系统。电路通常只有两种稳态：导通与阻塞，饱和与截止，高电位与低电位等。具有两个稳态的电路称为二值电路。用二值电路来计数时，只能代表两个数码：0 和 1。计算机通常用高电位代表 1，低电位代表 0。采用这样的电路作计数的物理实现，既简单又快捷。这就是计算机采用二进制的缘由。

我们习惯使用的是十进制。以十进制为例，归纳一下数制中几个名词的含义。

数制中使用的数码个数称为基（或模）。一个数码在数中的大小，不仅与数码本身的大小有关，而且与其在数中的位置有关。例如 9876，8 在百位上，代表 800；7 在十位上，代表 70。像个位、十位、百位……这样每一个数位上具有的值称为权（或位值），十进制数的权是用以 10 为底的幂表示的，如 10^0，10^1，10^2，……。

【例 1-1】　$62379 - 6\times10^4 + 2\times10^3 + 3\times10^2 + 7\times10^1 + 9\times10^0$

十进制的基是 10，十进制各位的权是 10 为底的某次幂。基也可定义为：相邻高、低数位的权之比。任意一个十进制数按权展开可表示为

$$N = D_{n-1}\times10^{n-1} + D_{n-2}\times10^{n-2} + \cdots + D_0\times10^0 + D_{-1}\times10^{-1} + \cdots + D_{-m}\times10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i$$

式中，D_i 表示 i 数位的十进制数码，10^i 表示该数位的权。这种表示方法，称为位值规则。

1）二进制

二进制的数码是 0，1，基为 2。计数时逢二进一。位值规则表示为 $N = \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \times 2^i$，权是 2 为底的幂。

【例 1-2】　$(11011.101)_2 = 1\times2^4 + 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 0\times2^{-2} + 1\times2^{-3} = (27.625)_{10}$

2）十六进制

十六进制的数码是 0 ～ 9，A，B，C，D，E，F，基为 16。计数时逢十六进一。位值规则表示为 $N = \sum_{i=-m}^{n-1} H_i \times 16^i$，权是 16 为底的幂。要注意的是数码 A，B，C，D，E，F 分别代表的是十进制的 10，11，12，13，14，15。

【例 1-3】　$(3AC2)_{16} = 3\times16^3 + 10\times16^2 + 12\times16^1 + 2\times16^0 = (15042)_{10}$

$(3AC2)_{16}$ 用二进制表示是$(11101011000010)_2$。

显然，记、写 3AC2 要比记忆它的二进制数容易得多。采用十六进制，既可简化书写，又便于记忆。计算机中表示较多位数的二进制信息，比如地址、指令代码，常用十六进制。

为了区分不同数制，常在数字后附加数制符号以示区别。二进制用“B”，十六进制用“H”，十进制用“D”或者省略。

十进制、二进制、十六进制数之间的对照参见表 1-3。

3）不同数制的转换

计算机采用的是二进制、十六进制，人们习惯使用的是十进制。不同数制之间，常需要进行相互转换。

（1）二进制和十六进制之间的转换

二进制与十六进制之间存在着直接而又唯一的对应关系，即 $2^4 = 16$，四位二进制和一位十六进制的对应关系。因此，它们之间的转换十分简捷。

十六进制转换成二进制是不论整数或小数，只要把每一位十六进制数分别转换成相应的四位二进制数。按十进制惯例，整数首位和小数末位的 0 可省略掉。

【例 1-4】

```
   5     D     3     6  .  A     H
   |     |     |     |     |
0101  1101  0011  0110 . 1010   B
```

即　5D36.AH = 101110100110110.101 B

二进制转换成十六进制是反过来把四位二进制数用一位十六进制数表示。具体做法是：以小数点为界，整数部分自小数点向左四位一组，最后不足四位的前面补 0；小数部分向右四位一组，最后不足四位的后面补 0，分别进行转换。

【例 1-5】

```
0101  1110  0011   ·   1001  1100  B
 |     |     |          |     |
 5     E     3    ·     9     C    H
```

即　10111100011.100111B = 5E3.9CH

（2）二 / 十六进制与十进制之间的转换

无论是二进制，还是十六进制转换成十进制，只要按其位值规则表达式展开计算，就得到相应的十进制数。见前面的例 1-2 和例 1-3。

十进制转换成二进制或者十六进制方法都是相同的。把整数部分和小数部分按各自的转换规则转换，转换结果合并起来，就得到相应的整个转换。

整数部分的转换规则：除以基取余数。即把整数部分辗转除以基（2 或 16），直至商等于 0 为止。得到的一系列余数就是转换数制的整数部分。注意，最先得到的余数是转换的最低有效位（LSB）。

小数部分的转换规则：乘以基取整数。即把小数部分辗转乘以基（2 或 16），把各次乘积的整数部分分离出来作为转换小数中的各位。注意，最先分离出来的整数是转换的最高有效位（MSB）。

【例 1-6】　将 38.625D 转换成二进制和十六进制。

取余

2 | 38 ……0 | (LSB)

2 | 19 ……1

2 | 9 ……1

2 | 4 ……0

2 | 2 ……0

2 | 1 ……1 | (MSB)

0

取整

0.625 × 2

(MSB) 1 .250 × 2

0 .500 × 2

(LSB) 1 .000

∴ 38.625D=100110.101B

同理

16 | 38 ……6 | (LSB)

16 | 2 ……2 | (MSB)

0

0.625 × 16

10 .000

∴ 38.625D=26.AH

这里要提出的是十进制小数不一定能完全精确转换成相应的二/十六进制小数。就是辗转相乘时没有使小数部分为0就停止转换了，这属于转换精度问题。如果出现这种情况，根据需要选取适当的有效位数。比如，十进制数0.1转换成二进制数为0.0001100110…，近似地可用0.00011001B来表示。

十进制数转换成二进制数时，通常为了减少辗转相除/乘的次数，先把十进制数转换成十六进制数，再利用十六进制与二进制之间简单的对应关系，进而转换成二进制数。反之，要把一个二进制转换成十进制数，也可采用同样的方法，这属于转换技巧。

1.2.2 信息编码

如上所述，计算机中数是用二进制表示的，而计算机又要能识别各种符号，如英文字母、运算符号、……。这些符号又如何表示呢？用若干位0和1的组合来表示信息符号，这称为二进制信息码，简称编码。一种编码有其一定的编码规则。

1) BCD码

BCD码全称是Binary Coded Decimal(二进制编码的十进制数)。计算机虽然采用二进制计算，但在输入或输出数据时(即人—机界面上)，仍采用人们习惯的十进制。十进制数的编码表示，最常用的是BCD码。一位十进数用四位二进制编码表示。表1-1给出了BCD码与十进制数的对应关系。

BCD码表示的数是十进制数，所以比较直观。例如，$(1001\ 0111\ 1000.0001\ 0100)_{BCD}=978.14$。但是，BCD码数在计算机中参

表1-1 BCD码与十进制数的对应关系

十进制数	BCD码	十进制码	BCD码
0	0000	9	1001
1	0001	10	00010000
2	0010	11	00010001
3	0011	12	00010010
4	0100	20	00100000
5	0101	30	00110000
6	0110	45	01000101
7	0111	67	01100111
8	1000	98	10011000