

单片机原理与接口技术

——汇编及C51程序设计

主 编 韩忠华 许景科 王长涛
副主编 马 斌 阚凤龙



东北大学出版社
Northeastern University Press

计算机规划教材——高校系列

韩忠华 许景科 王长涛

张松 (985) 日藤福去并图

单片机原理与接口技术

——汇编及 C51 程序设计

主 编 韩忠华 许景科 王长涛

副主编 马 斌 阚凤龙

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

1-1501-0122-5-876 0000

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与接口技术：汇编及C51程序设计 / 韩忠华, 许景科, 王长涛主编. —沈阳：东北大学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-5517-1971-1

I. ①单… II. ①韩… ②许… ③王… III. ①单片微型计算机—基础理论②单片微型计算机—接口技术 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 183087 号

内容提要

本书介绍 51 系列单片机的结构、基本原理、指令系统和硬件资源, 重点介绍 C51 编程技术及其应用。本书的特点是通过实例以及练习使读者掌握相应知识点, 深入浅出地讲述单片机原理、接口及应用技术。读者能够通过完整的实例, 快速、有效地掌握用 C51 语言开发 51 单片机的流程, 并通过各章的习题掌握各章重点和难点, 真正对相关知识做到融会贯通。

本书内容新颖、实用, 可用作大中专院校微机原理、单片机及接口技术的教材, 也可供从事单片机产品开发的工程技术人员参考。

出版者：东北大学出版社

地址：沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编：110819

电话：024-83687331 (市场部) 83680267 (社务部)

传真：024-83680180 (市场部) 83687332 (社务部)

网址：<http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印刷者：沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发行者：东北大学出版社

幅面尺寸：185mm×260mm

印 张：21.25

字 数：478 千字

出版时间：2018 年 7 月第 1 版

印刷时间：2018 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑：孙 锋 朱 虹

责任校对：图 图

封面设计：潘正一

责任出版：唐敏志

前 言

随着计算机应用技术的不断发展，单片机在工业测量控制领域的应用越来越广泛。同时，随着超大规模集成电路工艺和集成制造技术的不断完善，单片机的硬件集成度也在不断提高，出现了能满足各种不同需求的具有各种特殊功能的单片机。就8051系列单片机而言，由于Intel公司将8051 CPU内核向全世界各大半导体公司的扩散，目前已有Philips、Siemens、Dallas、OKI、Advance Micro Device、Atmel等多家公司生产了100多种型号的51系列单片机。这类单片机具有集成度高、性价比高的特点，在工业测量控制领域获得了极为广泛的应用，预计在今后相当一个时期内，51单片机仍将是主流机种。

在开发一个单片机应用系统时，系统程序的编写效率在很大程度上决定了目标系统的研制成效。早期在研制单片机应用系统时，大多以汇编语言作为软件工具。汇编语言程序能够直接操作机器硬件，指令的执行速度快。但由于汇编语言不是一种结构化的程序设计语言，相对较难编写和调试，程序本身的编写效率较低。随着单片机硬件性能的提高，其工作速度越来越快，目前51单片机的时钟频率可达40MHz以上。因此，在编写单片机应用系统程序时，更着重于程序本身的编写效率。为了适应这种要求，现在的单片机系统开发过程中，除了采用汇编语言之外，经常采用高级语言（如C51、PLM51）来编程实现。

在全国高等工科院校中，已普遍开设单片机及相关课程。51系列单片机奠定了8位单片机的基础，形成了单片机的经典体系结构。随着51单片机的发展，应用C语言开发51单片机应用成为一种流行的趋势，这是因为它具有使用方便、编程效率高及仿真调试容易等突出特点。

本书在介绍51系列单片机的硬件结构、汇编语言及单片机扩展技术的同时，着重介绍了C51编程技术及其应用。C51语言是专门用于51系列单片机编程的C语言，除了一些基于描述单片机硬件的特殊部分外，可以说与标准C语言完全相同。所以，以C51语言实现单片机系统更有利于系统的修改及扩展。为了体现汇编语言实现与C51编程实现的不同，本书在相关章节提供了上述两种实现方法的源程序，并进行了相关的讲解。

本书由韩忠华、许景科、王长涛担任主编，由马斌、阚凤龙担任副主编。参加本书部分章节撰写的有韩忠华、阚凤龙（第1~2章），许景科、夏兴华、褚跃（第3~4章），王长涛、林硕、谢蕃悻、张竞元（第5~7章），毕开元、张权、刘约翰（第8~9章），孙亮亮、王娟、李智、杜佳奇（第10~11章）。对本书编写提供帮助的还有王佳英、郭彤颖、张锐、张亚、王慧丽、王凤英、孙东、官巍、李檀、袁帅、刘威、刘春光。此外，程娟对相关外文资料进行了翻译与整理工作，在此一并表示诚挚的谢意。

读者如果需要本书中的源程序，可通过电子邮件与作者联系：
543964613@qq.com。

编 者

2018年6月于沈阳

目 录

第1章 51单片机结构及工作原理

1.1 微型计算机基础	1
1.2 51单片机的基本组成和功能	14
1.3 51单片机的内部结构	20
1.4 51系列单片机的工作方式	32
本章小结	35
习题与思考	36

第2章 51单片机指令系统及汇编语言程序设计基础

2.1 51单片机指令格式	37
2.2 51单片机寻址方式	41
2.3 51单片机指令	45
2.4 汇编语言程序设计基础	71
本章小结	90
习题与思考	90

第3章 51单片机的硬件资源

3.1 51单片机并行I/O口	93
3.2 51单片机中断系统	98
3.3 51单片机定时器/计数器	109
3.4 51单片机串行通信	121
本章小结	129
习题与思考	129

第4章 C51程序设计基础

4.1 C51语言的符号类型	131
4.2 常量与变量	138
4.3 C51语句	143
本章小结	159
习题与思考	159

第5章 C51数据结构

5.1 数组	161
5.2 指针	163
5.3 结构	165
5.4 联合	167
5.5 枚举	168
本章小结	170
习题与思考	170

第6章 C51编译器及简介

6.1 KEIL C51编译器简介	171
6.2 C51库函数概述	175
本章小结	178
习题与思考	178

第7章 51单片机人机交互

7.1 外部显示元件设计	179
7.2 键盘输入设计	194
本章小结	204
习题与思考	204

第8章 51单片机数据采集

8.1 传感器技术概述	206
-------------	-----

8.2 常用的A/D转换元件	208
8.3 温度数据采集元件设计	219
本章小结	228
习题与思考	229

第9章 51单片机串行通信

9.1 单片机串行通信设计	230
9.2 Windows.NET环境下计算机与单片机串行通信程序设计	249
本章小结	270
习题与思考	271

第10章 51单片机外部存储器扩展

10.1 外部I/O的扩展	273
10.2 存储器概述	276
10.3 外部存储器扩展	282
本章小结	291
习题与思考	292

第11章 51单片机输出控制

11.1 常用输出接口电路	293
11.2 常用D/A转换器设计	305
11.3 直流电动机的控制设计	309
本章小结	319
习题与思考	319

参考文献	323
------------	-----

附录

附录A 51单片机指令系统表	321
附录B C51语言的库函数	327

第 1 章 51单片机结构及工作原理

1975年,美国Texas Instruments公司成功地研制了世界上第一台单片机,它的出现是计算机技术发展史上的一个里程碑,从此,计算机技术不仅在数值处理方面得到了进一步的发展,而且在智能化控制领域里也得到了迅猛的发展,并占有越来越重要的地位。51系列单片机是目前应用最广泛的单片机,该系列单片机简单易学,具有丰富的指令系统和高级语言编译系统。本章重点介绍单片机的基本概念、特点、结构、工作方式等。

1.1 微型计算机基础

1.1.1 单片机及其发展概况

(1) 单片机的发展

单片机的全称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),它是将组成微型计算机的各个功能部件,如中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、基本输入/输出接口(I/O接口)、定时器/计数器以及串行通信接口等部件有机地结合在一块集成芯片中,构成一台完整的微型计算机,因此单片机又可以称为微处理器(Microcontroller Unit)。一个完整的单片机组成框图如图1-1所示。

随着技术的发展,单片机的功能不断完善。目前,单片机产品已达50多个系列300多种型号,其综合性能、成本、体系结构、开发环境等都取得了显著的进步。就单片机字长而言,可以分为4位机、8位机、16位机和32位机。其中,长期以来8位机都是主流机型。

单片机的发展史大体上可以分为以下4个阶段。

第一阶段:单片机初级阶段。单片机的发展始于1974年,由于工艺限制,此阶段的

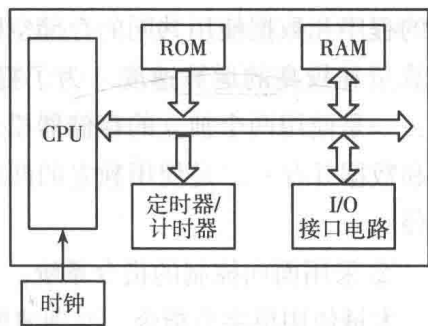


图1-1 单片机组成框图

单片机采用双片形式，而且功能较为简单。到了1976年，Intel公司推出了MCS-48系列单片机，将CPU、存储器、I/O接口、定时器/计数器集成在一块芯片上，使计算机完成了单芯片化。但此系列单片机无串行接口，存储器数量较少，中断处理功能也较为简单。同时期的产品还有Motorola公司的MC680/6800+/6875系列、Rockwell公司的6502/RG500系列、GI公司的PIC1650系列等。

第二阶段：单片机完善阶段。此阶段单片机的功能及体系结构得到了不断的完善。1980年，Intel公司在MCS-48系列单片机的基础上增加了I/O串行口，增大了存储器容量，完善了终端系统（设置了5个中断源和2个优先级），将定时器/计数器改为16位，在内部存储器上设置了位地址空间，提供位操作指令，从而推出了高性能的MCS-51系列单片机，并且成为了事实上的单片机结构标准。除了MCS-51单片机外，Motorola公司推出的M6800系列单片机、Zilog公司推出的Z8系列单片机都是这一时期的产品。

第三阶段：微控制器形成阶段。为了满足更高的测控应用要求，需要对单片机的外围接口电路进行增强与完善，如数/模（D/A）转换器、模/数（A/D）转换器、高速I/O接口、程序监视定时器（WDT）等，尽量将外围功能集成在芯片内部。集成了外围电路的单片机又称为微控制器，实际上，国际上已经将微控制器作为单片机的标准名称。这一时期以51系列单片机为代表。

第四阶段：微控制器技术成熟阶段。随着技术的不断成熟，国内外对单片机的开发和研制竞争异常激烈，极大地丰富了微控制器的类型，使单片机的功能不断完善，成本不断降低，外围电路不断减少，可靠性不断提高。

（2）单片机的特点

单片机是在一块芯片上集成了中央处理器（CPU）、随机存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、基本输入/输出接口（I/O接口）、定时器/计数器等部件，使其具备了一台微型计算机的特征。但是由于单片机的应用主要集中在控制领域，因此与通用计算机相比，单片机有如下特点。

① 采用哈佛结构体系。一般通用计算机采用冯·诺依曼体系结构，其特点是计算机中的程序和数据使用共同的存储空间，而单片机一般是面向工业控制领域，要求较大的运算量和较高的运算速度。为了提高数据吞吐量，单片机采用哈佛体系结构，其特点有：一是使用两个独立的存储器模块，分别存储指令和数据，每个存储模块都不允许指令和数据并存；二是使用独立的两条总线，分别作为CPU与每个存储器之间的专用通信路径。

② 采用面向控制的指令系统。单片机指令系统中有丰富的位操作指令，逻辑功能强大，大量使用单字节指令，处理速度快、效率高。

③ 引脚功能复用。受制造工艺水平的限制，单片机的引脚数量有限，存在所需要的信号线数多而实际引脚数量少的矛盾，而单片机采用引脚功能复用就可以很好地解决这个矛盾。

④ 片内随机存储器做寄存器。单片机所使用的寄存器（除了程序计数器PC以外）

都是片内RAM的某一对应单元。这样可以使寄存器的数量多,并且容易设计和集成。另外,CPU直接存取这些寄存器,可以大大地提高单片机的响应速度。

⑤ 类型齐全。单片机发展至今,随着各公司不断地研制、改进,单片机产品品种繁多、系列齐全。用户可以根据不同的应用,选择功能好、性价比高的产品。

⑥ 功能通用。虽说单片机主要应用于控制领域,面向测控对象,但它的功能仍然是通用的,配上适当的外围设备/电路就可以作为一般的微处理器来使用。

(3) 单片机的发展趋势

单片机正在向高性能、大容量、微型化、集成化等方面发展。

① CPU的改进。采用双CPU或者多CPU结构,以提高数据的处理能力和速度;增加数据总线线宽,以提高数据的处理速度和能力;采用流水线结构,CPU中的指令以队列形式排列,以提高运算速度;采用串行总线结构,以减少单片机的引线,降低单片机的成本。

② 存储器的改进。增大存储器容量,以简化外围电路,提高系统稳定性,降低产品成本;片内采用E²PROM(电可擦除可编程只读存储器),以简化系统结构,提高系统稳定性;采用KEPROM(Keyed Access EPROM,带锁加密可擦除可编程只读存储器),以提高程序的保密性。

③ 片内I/O的改进。提高并行口的驱动能力,以减少外围驱动电路;增加I/O接口的逻辑控制功能;增加特殊的串行接口功能。

④ 外围电路的集成。随着集成电路的技术不断提高,一些外围电路可以集成到单片机芯片内,如A/D转换器、D/A转换器、直接内存存取(DMA)控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、声音发生器、阴极射线管(CRT)控制器、译码驱动器等。

⑤ 低功耗。随着世界性的能源危机越来越受到人们的重视,单片机系统中也应考虑功耗问题,由于互补金属氧化物半导体(CMOS)电路具有功耗小的优点,目前8位单片机的产品中已有半数CMOS化。为了充分发挥低功耗的特点,这类单片机普遍设置了空闲和掉电两种工作模式。如89C51单片机在正常工作状态时(即5V,12MHz),其工作电流为16mA;而在同样条件下,空闲模式下其工作电流仅为3.7mA;在掉电模式下,其工作电流只有50nA。

1.1.2 计算机中的数制及相互转换

1.1.2.1 数制

所谓数制,是指数的制式,是人们利用符号计数的一种科学方法。数制有很多种,微型计算机中常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制4种。

进位计数的特征可以概括如下。

① 有一个固定的基数 r ，数的每一位只能取大于等于0、小于 r 的数字，即符号集为 $\{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ 。

② 逢 r 进位，它的第 i 个数位对应于一个固定的值 r^i ， r^i 称为该位的“权”。小数点左边各位的权是基数 r 的正次幂，依次为 $0, 1, 2, \dots, m$ 次幂，小数点右边各位的权是基数 r 的负次幂，依次为 $-1, -2, \dots, -n$ 次幂。 r 进制数在计数过程中，当它的某位计满 r 时就向它邻近的高位进1。

一般用括号和基数，即 $()_r$ 这样的形式来表示 r 进制数，也可以在数的后面加后缀表示，二进制数以后缀B表示，八进制数以后缀O表示，十进制数以后缀D表示，十六进制数以后缀H表示。将 r 进制数按权展开，其表达式为：

$$\begin{aligned} & a_m \times r^m + a_{m-1} \times r^{m-1} + \dots + a_1 \times r^1 + a_0 \times r^0 + a_{-1} \times r^{-1} + a_{-2} \times r^{-2} + \dots + a_{-n} \times r^{-n} \\ & = \sum_{i=-n}^m a_i \times r^i \end{aligned}$$

(1) 十进制

十进制 (Decimal) 是人类最常用的数的制式，其基数 $r=10$ ，逢十进位，符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ ，其权为： $\dots, 10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, 10^{-2}, \dots$

对于十进制，因为人们已经习惯，一般不用括号和基数来表示。例如，十进制数 $(123.456)_{10}$ 一般写成123.456或123.456D。若按权展开，则为：

$$\begin{aligned} (123.456)_{10} &= 123.456D \\ &= 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

(2) 二进制

二进制 (Binary) 数的基数 $r=2$ ，符号集为 $\{0, 1\}$ ，其权为： $\dots, 2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}, \dots$

例如，二进制数 $(1101.011)_2$ 按权展开为：

$$\begin{aligned} (1101.011)_2 &= 1101.011B \\ &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \end{aligned}$$

(3) 八进制

八进制 (Octal) 数的基数 $r=8$ ，符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ ，其权为： $\dots, 8^2, 8^1, 8^0, 8^{-1}, 8^{-2}, \dots$

例如，八进制数 $(654.123)_8$ 按权展开为：

$$\begin{aligned} (654.123)_8 &= 654.123O \\ &= 6 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} + 3 \times 8^{-3} \end{aligned}$$

(4) 十六进制

十六进制 (Hexadecimal) 数的基数 $r=16$ ，符号集为 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F\}$ ，其权为： $\dots, 16^2, 16^1, 16^0, 16^{-1}, 16^{-2}, \dots$

例如，十六进制数 $(89EF.1D)_{16}$ 按权展开为：

$$(89EF.1D)_{16} = 89EF.1DH$$

$$= 8 \times 16^3 + 9 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 13 \times 16^{-2}$$

1.1.2.2 数制间的相互转换

计算机是采用二进制数操作的，但是人们已经习惯使用十进制数，因此需要这几种常用的数制之间能够互相转换。图 1-2 给出了不同数制之间相互转换的法则。

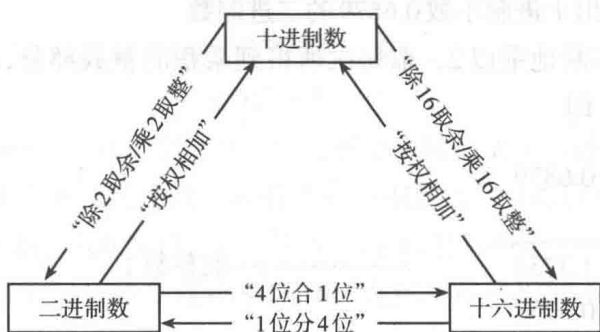


图 1-2 不同数制之间的相互转换

(1) 二进制数和十进制数间的转换

① 二进制数转换成十进制数。要将二进制数转换成十进制数，只要把要转换的数按权展开后相加即可。例如：

$$11010.01B = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 26.25D$$

② 十进制数转换成二进制数。十进制整数和十进制小数转换成二进制数的方法有所不同。

• 十进制整数转换成二进制整数。十进制整数转换成二进制整数的方法有很多，最常用的是“除 2 取余法”，其法则为：用要转换的十进制数连续除以 2，直到商小于 2 为止，然后将各次余数按最后得到的为最高位和最早得到的为最低位的顺序依次排列，所得到的数便是所求的二进制数。

【例 1-1】 试求出十进制数 215 的二进制数。

解：按照“除 2 取余法”，将 215 连续除以 2，直到商数小于 2 为止，即

2 |	215	余数 1	最低位 ↑ 最高位
2 |	107	.....	余数 1
2 |	53	.....	余数 1
2 |	26	.....	余数 0
2 |	13	.....	余数 1
2 |	6	.....	余数 0
2 |	3	.....	余数 1
2 |	1	.....	余数 1

把所得的余数由高位到低位排列起来，得到十进制数215的二进制，即

$$215D = 11010111B$$

• 十进制小数转换成二进制数。十进制小数转换成二进制数通常采用“乘2取整法”，法则为用2连续乘以要转换的十进制小数，直到所得积的小数部分为0或满足所需要的精度为止，然后将各次整数按先得到的为最高位和最后得到的为最低位的顺序依次排列，所对应的数便是所求的二进制数。

【例1-2】 试求出十进制小数0.6879的二进制数。

解：将0.6879不断地乘以2，取每次所得到乘积的整数部分，直到乘积的小数部分满足所需要的精度，即

0.6879			
× 2			
	1.3758	·····取整数1	
	0.3758		
× 2			
	0.7516	·····取整数0	
	0.7516		
× 2			
	1.5032	·····取整数1	
	0.5032		
× 2			
	1.0064	·····取整数1	

最高位

↓

最低位

把所有得到的整数按照由高位到低位的顺序排列。得到：

$$0.6879D = 0.1011B$$

对同时有整数和小数两部分的十进制数转换成二进制数，可以分别用上述方法对整数部分和小数部分进行转换，然后进行合并。例如，求215.6879D的二进制数，则有

$$215.6879D = 11010111.1011B$$



任何十进制整数都可以精确地转换成一个二进制整数，但十进制小数却不一定可以精确地转换成一个二进制小数。

(2) 十六进制数和十进制数间的转换

① 十六进制数转换成十进制数。十六进制数转换成十进制数的方法和二进制数转换成十进制数的方法类似，将十六进制数按权展开后相加即可以得到十进制数，只不过这里的“权”为16。例如：

$$5ECAH = 5 \times 16^3 + 14 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = 24266$$

② 十进制数转换成十六进制数。

• 十进制整数转换成十六进制整数。与十进制整数转换成二进制整数方法类似，采

用“除 16 取余法”，其法则为：用要转换的十进制整数连续除以 16，直到商数小于 16 为止，然后将各次余数由高位到低位排列，所得到的数即为十六进制数。

【例 1-3】 求十进制整数 3901 所对应的十六进制整数。

解：按照“除 16 取余法”，即

16	3901	·····余数 13，记作 D	最低位
16	243	·····余数 3，记作 3	↑
	15	·····余数 15，记作 F	最高位

将所得的余数按照由高位到低位的顺序排列，即

$$3901D = F3DH$$

• 十进制小数转换成十六进制小数。十进制小数转换成十六进制小数的方法与十进制小数转换成二进制小数的方法类似，采用“乘 16 取整法”，法则同上。

【例 1-4】 求十进制小数 0.76171875 所对应的十六进制小数。

解：将十进制小数 0.76171875 连续乘以 16，直到所得乘积的小数部分为 0 或满足一定的精度为止，即

	0.76171875		
×	16		
	12.18750000	·····取整数 12，记作 C	最高位
	0.18750000		↓
×	16		
	3.00000000	·····取整数 3，记作 3	最低位

将所得到的整数按照由高位到低位的顺序排列，即

$$0.76171875D = 0.C3H$$

(3) 二进制数和十六进制数间的转换

十六进制是计算机中经常采用的一种数制，如指令机器码都是采用十六进制表示的，所以必须对二进制数和十六进制数进行相互转换。

① 二进制数转换成十六进制数。二进制数转换成十六进制数可以采用“4 位合 1 位”法，其法则为：从二进制数的小数点开始，或左位或右位每 4 位一组，不足 4 位以 0 补足，然后分别把每组用十六进制数码进行表示，并按序相连即可。

【例 1-5】 将二进制数 1101111100011.10010100 转换成十六进制数。

解：按照“4 位合 1 位”法则，即

0001	1011	1110	0011.1001	0100
1	B	E	3. 9	4

所以，1101111100011.10010100B = 1BE3.94H

② 十六进制数转换成二进制数。十六进制数转换成二进制数采用“1 位分 4 位”法，

其法则为：将十六进制数中的每一位分别用4位二进制数来表示，然后将其按顺序排列起来即可。

【例1-6】 将十六进制数3AB.7A5转换为二进制数。

解：按照“1位分4位”法则，即

$$\begin{array}{cccccc}
 3 & A & B & 7 & A & 5 \\
 | & | & | & | & | & | \\
 0011 & 1010 & 1011 & 0111 & 1010 & 0101
 \end{array}$$

所以， $3AB.7A5H = 001110101011.011110100101B$

二进制数、八进制数、十进制数和十六进制数之间的对应关系如表1-1所示。

表1-1 二进制数、八进制数、十进制数和十六进制数之间的对应关系

整 数				小 数			
二进制	八进制	十进制	十六进制	二进制	八进制	十进制	十六进制
0000B	000	0	0H	0B	00	0	0H
0001B	010	1	1H	0.1B	0.40	0.5	0.8H
0010B	020	2	2H	0.01B	0.20	0.25	0.4H
0011B	030	3	3H	0.001B	0.10	0.125	0.2H
0100B	040	4	4H	0.0001B	0.040	0.0625	0.1H
0101B	050	5	5H	0.00001B	0.020	0.03125	0.08H
0110B	060	6	6H	0.000001B	0.010	0.015625	0.04H
0111B	070	7	7H	...	...	...	...
1000B	100	8	8H				
1001B	110	9	9H				
1010B	120	10	AH				
1011B	130	11	BH				
1100B	140	12	CH				
1101B	150	13	DH				
1110B	160	14	EH				
1111B	170	15	FH				

1.1.3 二进制数的运算

(1) 算术运算

①加法运算。二进制数的加法运算法则为

$$0 + 0 = 0$$

$$1 + 0 = 0 + 1 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{ (向近邻高位有进位)}$$

$$1 + 1 + 1 = 11 \text{ (向近邻高位有进位)}$$

【例1-7】 设有两个二进制数 $X = 10110110$, $Y = 11011001$, 试求 $X + Y$ 的结果。

解: 按照二进制数的加法运算法则, 得到:

$$\begin{array}{r} 10110110\text{B} \\ + 11011001\text{B} \\ \hline X+Y= 110001111\text{B} \end{array}$$



在进行二进制数的相加时, 应注意低位向高位的进位。

② 减法运算。二进制数的减法运算法则为

$$0 - 0 = 0$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

$$0 - 1 = 1 \text{ (向近邻高位借位1)}$$

【例1-8】 设有两个二进制数 $X = 11011001$, $Y = 10010111$, 试求 $X - Y$ 的结果。

解: 按照二进制数的减法运算法则, 得到:

$$\begin{array}{r} 11011001\text{B} \\ - 10010111\text{B} \\ \hline XY= 01000010\text{B} \end{array}$$

③ 乘法运算。二进制数的乘法运算法则为

$$1 \times 0 = 0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

【例1-9】 设有两个二进制数 $X = 1101$, $Y = 1011$, 试求 $X \times Y$ 的结果。

解: 按照二进制的乘法运算法则, 得到:

$$\begin{array}{r} 1101\text{B} \\ \times 1011\text{B} \\ \hline 1101 \\ 1101 \\ 0000 \\ + 1101 \\ \hline X \times Y = 10001111\text{B} \end{array}$$

④ 除法运算。除法运算是乘法运算的逆运算。与十进制数的除法运算类似, 二进制除法也是从被除数的最高位开始, 查找出够减余数的位数, 并在其最低位上商1, 然后减去除数, 如果得到的除数, 能够减去除数, 则继续商1, 然后减去除数; 若余数不够减除数, 则商0, 并将被除数向下移位, 直到能够减去除数, 然后继续上面的操作, 直到被除数的最后一位。