

21

高等学校计算机类“十二五”规划教材

# 单片机原理及接口技术

(第三版)

余锡存 曹国华 编著

DANPIANJI YUANLI  
JIJIEKOU JISHU



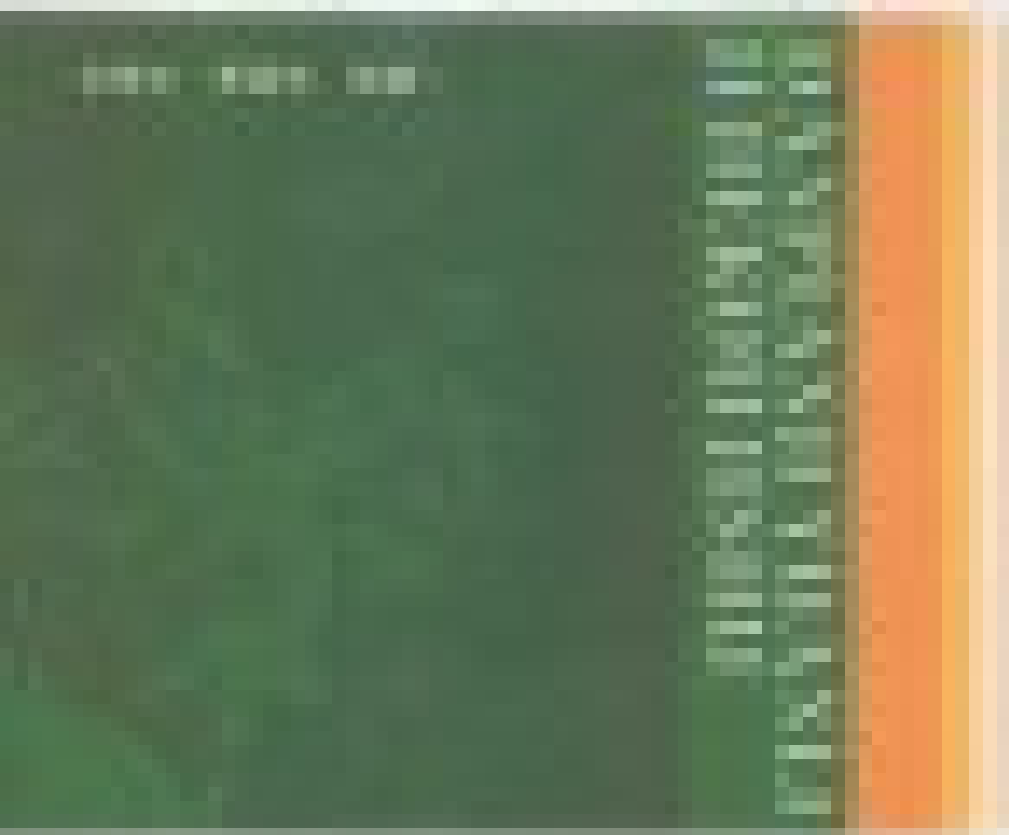
西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>



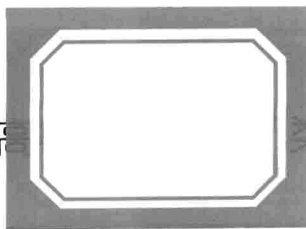
清华大学出版社

# 单片机原理及接口技术

第2版



◆ 清华大学出版社



类“十二五”规划教材

# 单片机原理及接口技术

(第三版)

余锡存 曹国华 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书首先介绍了微型计算机的基础知识,并以 MCS-51 系列单片机为核心,系统介绍了单片机的基本结构、指令系统、汇编语言程序设计、系统扩展与接口技术、应用系统设计与开发以及抗干扰技术,最后简要介绍了 AT89S51 单片机的类型与性能。本书配有例题、习题与思考题,便于课堂教学与自学。

本书是高等学校电子类及计算机应用专业的教材,同时也可供非计算机专业、高等职业教育、自学考试和从事微机应用的人员使用。全书内容深入浅出、通俗易懂、注重工程应用。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术/余锡存,曹国华编著. —3 版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2014.6

高等学校计算机类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3258-2

I. ①单… II. ①余… ②曹… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材  
②单片微型计算机—接口技术—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 000700 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王 瑛 高丽萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014 年 6 月第 3 版 2014 年 6 月第 20 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14.5

字 数 338 千字

印 数 88 001~92 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978-7-5606-3258-2/TP

**XDUP 3550003-20**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

## 第三版前言

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,已广泛应用于工业自动化、自动检测与控制、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子、家用电器、程控玩具等各个方面。可谓:科技越发达,智能化的东西越多,单片机的应用场合就越多。为适应社会发展的需求,对工程技术人员而言,学习并掌握单片机技术十分重要。

编者于 2000 年 7 月编写并出版的《单片机原理及接口技术》一书自问世以来,受到了广大读者的厚爱,已多次重印,并于 2007 年再版。为适应单片机技术的发展,作为高校的单片机教材也应不断补充与完善。应读者的要求,编者在二版的基础上进行了再次修订。

本书为高等学校计算机类“十二五”规划教材。按照求新务实、便于教学的原则,本书在二版的基础上,对原书的部分内容进行了补充与改写,增加了目前较为流行的 I<sup>2</sup>C 串行接口扩展技术,并对主流单片机 AT89S51 进行了介绍。

全书由南京师范大学的余锡存与曹国华共同编写,其中第 1、2、7、8、9、10 章及附录由余锡存编写,第 3、4、5、6 章由曹国华编写,全书由余锡存修订与统稿。

在本书的编写过程中,参考了有关作者的部分资料,在此谨向他们表示衷心的感谢。

编者

2013 年 10 月

## 第二版前言

当代单片机的发展可谓日新月异，其性能不断提高，功能日益增多，应用技术逐渐成熟，应用范围也越来越广。特别是在工业测控、智能仪器和日用家电等领域，单片机已作为必不可少的核心部件，学习与掌握单片机应用技术已成为工程技术人员必须掌握的技术之一。

为适应单片机原理及应用课程教学内容的不断变化，作为高校的单片机教材也应随之不断补充与修订。编者于2000年7月编写并出版的《单片机原理及接口技术》一书自问世以来，受到了广大读者的厚爱，已多次重印。应读者的要求并根据读者的反馈意见，编者对该书进行了修订。

本次修订按照求新务实、便于教学的原则，对原书的部分章节进行了补充与订正。全书由南京师范大学电气与自动化工程学院的余锡存与曹国华共同编写，其中第1、2、7、8、9章及附录由余锡存编写，第3、4、5、6、10章由曹国华编写，全书由余锡存修订与统稿。

在本书撰写和修订的过程中，参考了大量的国内外文献和教材，在此谨向作者表示衷心的感谢。

编者

2007年9月

# 第一版前言

目前,单片机已广泛应用到国民经济建设和日常生活的许多领域,成为测控技术现代化必不可少的重要工具。根据高等院校教学要求,编者总结了多年的教学 and 实践经验,编写了本书。

本书是高等学校电子类及计算机应用专业的教材,同时也可供非计算机专业、高等职业教育、自学考试和从事微机应用的人员使用。本书内容深入浅出、通俗易懂、注重工程应用。

全书共分为 10 章。首先介绍了微型计算机的基础知识,并以 MCS-51 系列单片机为基础,系统介绍了单片机的基本结构、指令系统、汇编语言程序设计、系统扩展与接口技术、应用系统设计与开发以及抗干扰技术,最后还简要介绍了其它系列 8 位单片机的类型与性能,主要有 Atmel 公司的 AT89C、Intel 公司的 8XC51、Philips 公司的 8XC552 等系列。本书配有例题、习题与思考题,便于课堂教学与自学,使读者通过本书的学习,为今后的工作打下坚实的基础。

本书第 1、2、7、8、9 章由余锡存同志编写,第 3、4、5、6、10 章由曹国华同志编写,本书由上海理工大学的唐俊杰老师主审。

由于编者水平有限,时间仓促,加之单片机技术日新月异,书中存在的不当之处敬请读者指正。

编者

1999 年 11 月

# 目 录

<b>第 1 章 微型计算机基础</b> .....	1
1.1 计算机中的数制及相互转换 .....	1
1.1.1 进位计数制 .....	1
1.1.2 不同进制数间的相互转换 .....	2
1.2 二进制数的运算 .....	5
1.2.1 二进制数的算术运算 .....	5
1.2.2 二进制数的逻辑运算 .....	6
1.3 带符号数的表示 .....	7
1.3.1 机器数及真值 .....	7
1.3.2 数的码制 .....	7
1.4 定点数和浮点数 .....	8
1.5 BCD 码和 ASCII 码 .....	9
1.5.1 BCD 码 .....	9
1.5.2 ASCII 码 .....	10
1.6 微型计算机的组成及工作过程 .....	11
1.6.1 基本组成 .....	11
1.6.2 基本工作过程 .....	13
习题与思考题 .....	14
<b>第 2 章 单片机的硬件结构和原理</b> .....	16
2.1 概述 .....	16
2.1.1 单片机的发展简史 .....	16
2.1.2 单片机的发展方向 .....	17
2.1.3 单片机的特点 .....	18
2.1.4 单片机的应用 .....	19
2.2 MCS - 51 单片机硬件结构 .....	19
2.2.1 MCS - 51 系列单片机的分类 .....	20
2.2.2 与 MCS - 51 系列兼容的单片机 .....	21
2.2.3 MCS - 51 单片机的内部结构 .....	22
2.3 中央处理器 CPU .....	23
2.3.1 运算器 .....	23
2.3.2 控制器 .....	24
2.4 存储器的结构 .....	26



2.5	并行输入/输出接口 .....	30
2.6	单片机的引脚及其功能 .....	31
2.7	单片机工作的基本时序 .....	32
	习题与思考题 .....	36
<b>第3章</b>	<b>MCS - 51 单片机指令系统 .....</b>	<b>37</b>
3.1	寻址方式 .....	38
3.2	指令系统 .....	40
3.2.1	指令分类 .....	40
3.2.2	数据传送类指令 .....	41
3.2.3	算术运算类指令 .....	44
3.2.4	逻辑运算类指令 .....	49
3.2.5	控制转移类指令 .....	51
3.2.6	位操作类指令 .....	54
	习题与思考题 .....	55
<b>第4章</b>	<b>MCS - 51 汇编语言程序设计 .....</b>	<b>58</b>
4.1	汇编语言程序设计概述 .....	58
4.1.1	机器语言、汇编语言和高级语言 .....	58
4.1.2	汇编语言语句的种类和格式 .....	59
4.1.3	伪指令 .....	60
4.2	汇编语言源程序的汇编 .....	62
4.2.1	手工汇编 .....	62
4.2.2	机器汇编 .....	62
4.3	汇编语言程序设计 .....	63
4.3.1	简单程序设计 .....	63
4.3.2	分支程序设计 .....	64
4.3.3	循环程序设计 .....	66
4.3.4	散转程序设计 .....	70
4.3.5	子程序和参数传递 .....	72
4.3.6	查表程序设计 .....	73
4.3.7	数制转换 .....	75
4.3.8	运算程序 .....	76
	习题与思考题 .....	81
<b>第5章</b>	<b>MCS - 51 单片机的中断系统 .....</b>	<b>82</b>
5.1	中断的概述 .....	82
5.2	MCS - 51 中断系统 .....	83
5.2.1	中断源 .....	83
5.2.2	中断控制 .....	85
5.2.3	中断响应 .....	87

5.3 中断系统的应用·····	89
习题与思考题·····	91
<b>第 6 章 MCS - 51 单片机内部定时器/计数器及串行接口</b> ·····	<b>92</b>
6.1 定时器/计数器的结构及工作原理·····	92
6.2 方式和控制寄存器·····	93
6.3 工作方式·····	94
6.4 定时器/计数器应用举例·····	97
6.5 MCS - 51 单片机的串行接口·····	100
6.5.1 串行通信的基本概念·····	100
6.5.2 与串行口有关的特殊功能寄存器·····	101
6.5.3 串行口的 4 种工作模式·····	103
6.5.4 多机通信·····	105
6.5.5 波特率·····	106
6.6 串行口的应用·····	107
习题与思考题·····	109
<b>第 7 章 单片机系统扩展与接口技术</b> ·····	<b>111</b>
7.1 外部总线的扩展·····	111
7.1.1 外部总线的扩展·····	111
7.1.2 总线驱动·····	112
7.2 外部存储器的扩展·····	114
7.2.1 外部程序存储器的扩展·····	114
7.2.2 外部数据存储器的扩展·····	117
7.2.3 多片存储器芯片的扩展·····	120
7.2.4 I <sup>2</sup> C 存储器的扩展·····	122
7.3 输入/输出接口的扩展·····	139
7.3.1 8255A 可编程并行 I/O 接口·····	139
7.3.2 8155 可编程并行 I/O 接口·····	145
7.4 管理功能部件的扩展·····	151
7.4.1 键盘接口·····	151
7.4.2 LED 显示器接口·····	153
7.4.3 键盘显示器接口 8279·····	156
7.5 A/D 和 D/A 接口功能的扩展·····	159
7.5.1 A/D 转换器接口·····	159
7.5.2 D/A 转换器接口·····	164
习题与思考题·····	168
<b>第 8 章 单片机应用系统的设计与开发</b> ·····	<b>169</b>
8.1 单片机应用系统的开发过程·····	169
8.2 单片机开发工具 WAVE 简介·····	172

8.3 MCS - 51 应用系统的调试	173
习题与思考题	175
<b>第 9 章 单片机系统的抗干扰技术</b>	<b>176</b>
9.1 干扰源及其分类	176
9.2 干扰对单片机系统的影响	179
9.3 硬件抗干扰技术	180
9.3.1 串模干扰的抑制方法	180
9.3.2 共模干扰的抑制方法	183
9.4 软件抗干扰技术	184
9.4.1 数字量 I/O 通道中的软件抗干扰	184
9.4.2 程序执行过程中的软件抗干扰	186
9.4.3 系统的恢复	190
9.5 数字滤波	194
9.5.1 低通滤波	194
9.5.2 限幅滤波	196
9.5.3 中值滤波	197
9.5.4 算术平均滤波	197
习题与思考题	199
<b>第 10 章 AT89S51 单片机简介</b>	<b>200</b>
10.1 AT89S51 的性能与引脚	200
10.2 AT89S51 内部结构	204
10.3 AT89S51 单片机的低功耗工作方式	208
<b>附录 A MCS - 51 指令表</b>	<b>210</b>
<b>附录 B 单片机原理及接口技术实验</b>	<b>215</b>
实验一 单片机开发系统的操作练习	215
实验二 数据排序	216
实验三 8031 与 8155 的接口扩展	218
实验四 8031 与 A/D 转换器的接口实验	220
<b>参考文献</b>	<b>222</b>

# 第 1 章

## 微型计算机基础

### 1.1 计算机中的数制及相互转换

在日常生活中人们最熟悉的是十进制数，但在计算机中，采用二进制数“0”和“1”可以很方便地表示机内的数据与信息。在编程时，为了便于阅读和书写，人们还常用八进制数或十六进制数来表示二进制数。

#### 1.1.1 进位计数制

按进位原则进行计数的方法，称为进位计数制。十进制数有两个主要特点：

- (1) 有 10 个不同的数字符号：0、1、2、…、9；
- (2) 低位向高位进位的规律是“逢十进一”。

因此，同一个数字符号在不同的数位所代表的数值是不同的。如 555.5 中 4 个 5 分别代表 500、50、5 和 0.5，这个数可以写成

$$555.5 = 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

式中的 10 称为十进制的基数， $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 、 $10^{-1}$  称为各数位的权。

任意一个十进制数  $N$  都可以表示成按权展开的多项式：

$$\begin{aligned} N &= d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i \end{aligned}$$

其中， $d_i$  是 0~9 共 10 个数字中的任意一个， $m$  是小数点右边的位数， $n$  是小数点左边的位数， $i$  是数位的序数。例如，543.21 可表示为

$$543.21 = 5 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$$

一般而言，对于用  $R$  进制表示的数  $N$ ，可以按权展开为

$$\begin{aligned} N &= a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i \end{aligned}$$

式中， $a_i$  是 0、1、…、 $R-1$  (共  $R$  个数字) 中的任意一个， $m$ 、 $n$  是正整数， $R$  是基数。在  $R$

进制中，每个数字所表示的值是该数字与它相应的权  $R^i$  的乘积，进位规律是“逢  $R$  进一”。

### 1. 二进制

当  $R=2$  时，称为二进制计数制，简称二进制。在二进制中，只有两个不同的数码：0 和 1，进位规律为“逢二进一”。任何一个数  $N$ ，可用二进制表示为

$$N = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \dots + a_{-m} \times 2^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

例如，二进制数 1011.01 可表示为

$$(1011.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

### 2. 八进制

当  $R=8$  时，称为八进制。在八进制中，有 0、1、2、…、7 共 8 个不同的数码，进位规律为“逢八进一”。

例如， $(503)_8$  可表示为

$$(503)_8 = 5 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 3 \times 8^0$$

### 3. 十六进制

当  $R=16$  时，称为十六进制。在十六进制中，有 0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个不同的数码，进位规律是“逢十六进一”。

例如， $(3A8.0D)_{16}$  可表示为

$$(3A8.0D)_{16} = 3 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 0 \times 16^{-1} + 13 \times 16^{-2}$$

表 1.1 列出了十、二、八、十六进制数之间的对应关系。

**表 1.1 各种进制数的对应关系**

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

## 1.1.2 不同进制数间的相互转换

### 1. 二、八、十六进制数转换成十进制数

根据各进制的定义和表示方式，按权展开相加，即可将二进制数、八进制数、十六进制数转换成十进制数。

**【例 1】** 将  $(10.101)_2$ ,  $(46.12)_8$ ,  $(2D.A4)_{16}$  转换为十进制数。

解:  $(10.101)_2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 2.625$   
 $(46.12)_8 = 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} = 38.15625$   
 $(2D.A4)_{16} = 2 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = 45.640625$

## 2. 十进制数转换成二、八、十六进制数

任意十进制数 N 转换成 R 进制数, 需将整数部分和小数部分分开, 采用不同的方法分别进行转换, 然后用小数点将这两部分连接起来。

(1) 整数部分: 除基取余法。

分别用基数 R 不断地去除 N 的整数部分, 直到商为零为止, 每次所得的余数依次排列, 即为相应进制的数码。最初得到的为最低位有效数字, 最后得到的为最高位有效数字。

**【例 2】** 将  $(168)_{10}$  转换成二、八、十六进制数。

解: 
$$\begin{array}{r|l} 2 & 168 \\ \hline 2 & 84 \quad \dots 0 \\ 2 & 42 \quad \dots 0 \\ 2 & 21 \quad \dots 0 \\ 2 & 10 \quad \dots 1 \\ 2 & 5 \quad \dots 0 \\ 2 & 2 \quad \dots 1 \\ 2 & 1 \quad \dots 0 \\ & 0 \quad \dots 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{余数} \\ \text{最低位} \\ \uparrow \\ \text{最高位} \end{array}$$

$$\begin{array}{r|l} 8 & 168 \\ \hline 8 & 21 \quad \dots 0 \\ 8 & 2 \quad \dots 5 \\ & 0 \quad \dots 2 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{余数} \\ \dots 0 \\ \dots 5 \\ \dots 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r|l} 16 & 168 \\ \hline 16 & 10 \quad \dots 8 \\ & 0 \quad \dots A \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{余数} \\ \dots 8 \\ \dots A \end{array}$$

$(168)_{10} = (10101000)_2 \quad (168)_{10} = (250)_8 \quad (168)_{10} = (A8)_{16}$

(2) 小数部分: 乘基取整法。

分别用基数 R (R=2, 8 或 16) 不断地去乘 N 的小数部分, 直到积的小数部分为零 (或直达到所要求的位数) 为止, 每次乘得的整数依次排列, 即为相应进制的数码。最初得到的为最高位有效数字, 最后得到的为最低位有效数字。

**【例 3】** 将  $(0.645)_{10}$  转换成二、八、十六进制数 (用小数点后五位表示)。

解: 整数	$0.645$	整数	$0.645$	整数	$0.645$
	$\times 2$		$\times 8$		$\times 16$
1 ...	$1.290$	5 ...	$5.160$	A ...	$10.320$
	$0.29$		$0.16$		$0.32$
	$\times 2$		$\times 8$		$\times 16$
0 ...	$0.58$	1 ...	$1.28$	5 ...	$5.12$
	$0.58$		$0.28$		$0.12$
	$\times 2$		$\times 8$		$\times 16$
1 ...	$1.16$	2 ...	$2.24$	1 ...	$1.92$
	$0.16$		$0.24$		$0.92$
	$\times 2$		$\times 8$		$\times 16$
0 ...	$0.32$	1 ...	$1.92$	E ...	$14.72$
	$\times 2$		$0.92$		$0.72$
			$\times 8$		$\times 16$
0 ...	$0.64$	7 ...	$7.36$	B ...	$11.52$

故： $(0.645)_{10} = (0.10100)_2 = (0.51217)_8 = (0.A51EB)_{16}$

**【例 4】** 将 $(168.645)_{10}$ 转换成二、八、十六进制数。

解：根据例 2、例 3 可得

$$(168.645)_{10} = (10101000.10100)_2 = (250.51217)_8 = (A8.A51EB)_{16}$$

### 3. 二进制数与八进制数之间的相互转换

由于  $2^3 = 8$ ，故可采用“合三为一”的原则，即从小数点开始分别向左、右两边各以 3 位为一组进行二—八换算，若不足 3 位以 0 补足，便可将二进制数转换为八进制数。反之，采用“一分为三”的原则，每位八进制数用 3 位二进制数表示，就可将八进制数转换为二进制数。

**【例 5】** 将 $(101011.01101)_2$ 转换为八进制数。

解：

101	011	.	011	010
↓	↓		↓	↓
5	3	.	3	2

即  $(101011.01101)_2 = (53.32)_8$

**【例 6】** 将 $(123.45)_8$ 转换成二进制数。

解：

1	2	3	.	4	5
↓	↓	↓		↓	↓
001	010	011	.	100	101

即  $(123.45)_8 = (1010011.100101)_2$

### 4. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于  $2^4 = 16$ ，故可采用“合四为一”的原则，即从小数点开始分别向左、右两边各以 4 位为一组进行二—十六换算，若不足 4 位以 0 补足，即可将二进制数转换为十六进制数。反之，采用“一分为四”的原则，每位十六进制数用 4 位二进制数表示，便可将十六进制数转换为二进制数。

**【例 7】** 将 $(110101.011)_2$ 转换为十六进制数。

解：

0011	0101	.	0110
↓	↓		↓
3	5	.	6

即  $(110101.011)_2 = (35.6)_{16}$

**【例 8】** 将 $(4A5B.6C)_{16}$ 转换为二进制数。

解：

4	A	5	B	.	6	C
↓	↓	↓	↓		↓	↓
0100	1010	0101	1011	.	0110	1100

即  $(4A5B.6C)_{16} = (100101001011011.011011)_2$

在程序设计中，为了区分不同进制的数，通常在数的后面加字母作为标注。其中，字母 B(Binary)表示二进制数；字母 Q(Octal，用字母 Q 而不用 O 主要是为避免与数字 0 混淆)表示八进制数；字母 D(Decimal)或不加字母表示十进制数；字母 H(Hexadecimal)表示十六进制数。例如，1101B、57Q、512D、3AH 等。

## 1.2 二进制数的运算

### 1.2.1 二进制数的算术运算

二进制数只有 0 和 1 两个数码，其算术运算较为简单，加、减法分别遵循“逢二进一”和“借一当二”的原则。

#### 1. 加法运算

规则： $0+0=0$ ； $0+1=1$ ； $1+0=1$ ； $1+1=10$ (有进位)。

**【例 1】** 求  $1001\text{B}+1011\text{B}$ 。

解：

被加数	1001
加数 +	1011
<hr/>	
进位	10010
和	10100

即  $1001\text{B}+1011\text{B}=10100\text{B}$

#### 2. 减法运算

规则： $0-0=0$ ； $1-1=0$ ； $1-0=1$ ； $0-1=1$ (有借位)。

**【例 2】** 求  $1100\text{B}-111\text{B}$ 。

解：

被减数	1100
减数 -	111
<hr/>	
借位	0110
差	0101

即  $1100\text{B}-111\text{B}=0101\text{B}$

#### 3. 乘法运算

规则： $0\times 0=0$ ； $0\times 1=1\times 0=0$ ； $1\times 1=1$ 。

**【例 3】** 求  $1011\text{B}\times 1101\text{B}$ 。

解：

被乘数	1011
乘数	$\times 1101$
<hr/>	
	1011
	0000
	1011
	+ 1011
<hr/>	
积	10001111

即  $1011\text{B}\times 1101\text{B}=10001111\text{B}$

#### 4. 除法运算

规则： $0/1=0$ ； $1/1=1$ 。



**【例 4】** 求 10100101B/1111B。

解：

$$\begin{array}{r}
 1011 \\
 1111 \overline{) 10100101} \\
 \underline{1111} \\
 1011 \\
 \underline{0000} \\
 10110 \\
 \underline{1111} \\
 1111 \\
 \underline{1111} \\
 1111 \\
 \underline{1111} \\
 0
 \end{array}$$

即  $10100101B/1111B=1011B$

### 1.2.2 二进制数的逻辑运算

#### 1. “与”运算

“与”运算是实现“必须都有，否则就没有”这种逻辑关系的一种运算，其运算符为“·”。“与”运算的规则如下：

$$0 \cdot 0 = 0; 0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0; 1 \cdot 1 = 1$$

**【例 5】** 若  $X=1011B$ ,  $Y=1001B$ , 求  $X \cdot Y$ 。

解：

$$\begin{array}{r}
 1011 \\
 \cdot 1001 \\
 \hline
 1001
 \end{array}$$

即  $X \cdot Y = 1001B$

#### 2. “或”运算

“或”运算是实现“只要其中之一有，就有”这种逻辑关系的一种运算，其运算符为“+”。“或”运算的规则如下：

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

**【例 6】** 若  $X=10101B$ ,  $Y=01101B$ , 求  $X+Y$ 。

解：

$$\begin{array}{r}
 10101 \\
 + 01101 \\
 \hline
 11101
 \end{array}$$

即  $X+Y=11101B$

#### 3. “非”运算

“非”运算是实现“求反”这种逻辑关系的一种运算，如变量 A 的“非”运算记为  $\bar{A}$ 。“非”运算的规则如下：

$$\bar{1} = 0; \bar{0} = 1$$