

• 王道考研/CSKAOYAN.COM

## 二、数据的表示和运算

### (一) 数制与编码

1. 进位计数制及其数据之间的相互转换

2. 定点数的编码表示

### (二) 运算方法和运算电路

#### 1. 基本运算部件

加法器，算术逻辑部件 (ALU)

2. 加/减运算

补码加/减运算器，标志位的生成。

3. 乘/除运算

乘/除法运算的基本原理，乘法电路和除法电路的基本结构。

### (三) 整数的表示和运算

1. 无符号整数的表示和运算

2. 带符号整数的表示和运算

### (四) 浮点数的表示和运算

1. 浮点数的表示

IEEE 754 标准

2. 浮点数的加/减运算

王道考研/CSKAOYAN.COM

1

## 本节内容

# 乘法电路 基本结构

王道考研/CSKAOYAN.COM

王道考研/CSKAOYAN.COM

2

## x86汇编语言中的乘法指令

mul —— 无符号整数乘法  
imul —— 有符号整数乘法

无符号数、有符号数的乘法实现原理不同，要用不同的电路

见王道计组补充资料  
(建议打印出来)

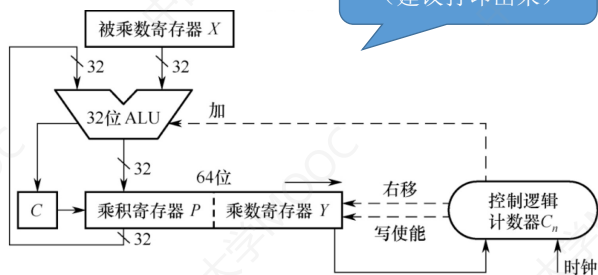


图 2.1 32 位无符号数乘法运算的逻辑结构图

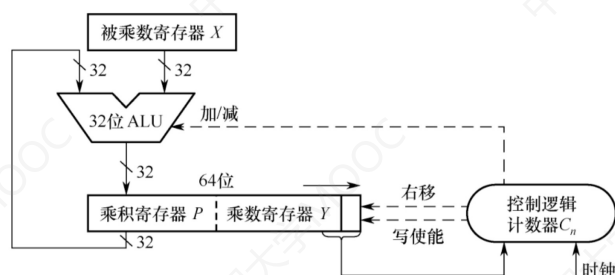


图 2.2 补码一位乘法的逻辑结构图

王道考研/CSKAOYAN.COM

3

## 无符号数乘法电路的基本结构

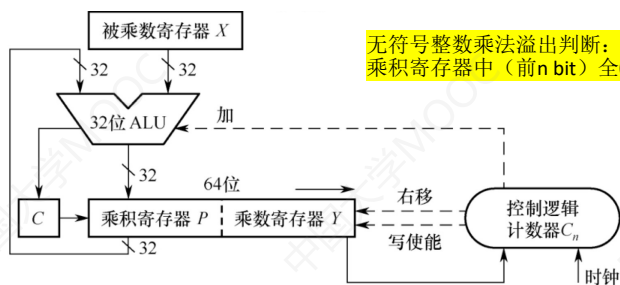


图 2.1 32 位无符号数乘法运算的逻辑结构图

无符号整数乘法溢出判断：两个  $n$  位数相乘，结果用  $2n$  位暂存乘积寄存器中（前  $n$  bit）全 0 则不溢出，但凡有一个 1 就说明发生溢出

图 2.1 中，部分积和被乘数  $X$  做无符号数加法时，可能产生进位，因此需要一个专门的进位位  $C$ 。乘积寄存器  $P$  初始时置 0。计数器  $C_n$  初值为 32，每循环一次减 1。ALU 是乘法核心部件，对乘积寄存器  $P$  和被乘数寄存器  $X$  的内容做“无符号加法”运算，运算结果送回寄存器  $P$ ，进位存放在  $C$  中。每次循环都对进位位  $C$ 、乘积寄存器  $P$  和乘数寄存器  $Y$  实现同步“逻辑右移”，此时，进位位  $C$  移入寄存器  $P$  的最高位，寄存器  $Y$  的最低位移出。每次寄存器  $Y$  的最低位都被送到控制逻辑，以决定被乘数是否“加”到部分积上。

王道考研/CSKAOYAN.COM

4

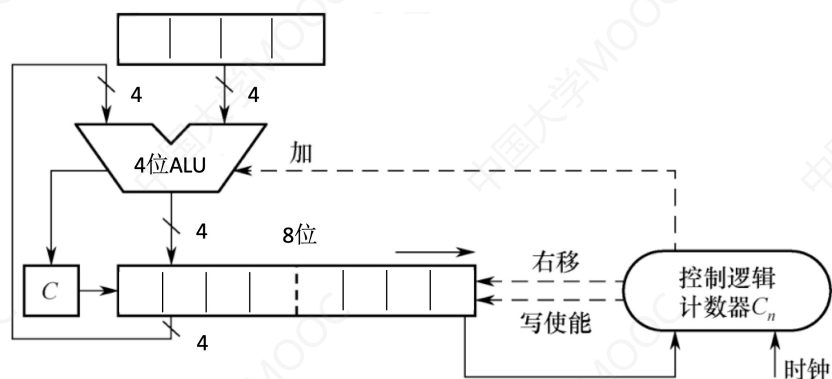
### 无符号数乘法电路的基本结构

被乘数 乘数 乘积  
13 × 7 = 91

```

  1101
X 0111
-----
  1101
 1101
 1101
 0000
-----
1011011

```



控制逻辑 —— 发出“加法、右移、写使能”的控制信号  
计数器 $C_n$  —— 从4开始计数，进行4轮加法、右移

王道考研/CSKAOYAN.COM

5

### 无符号数乘法电路的基本结构

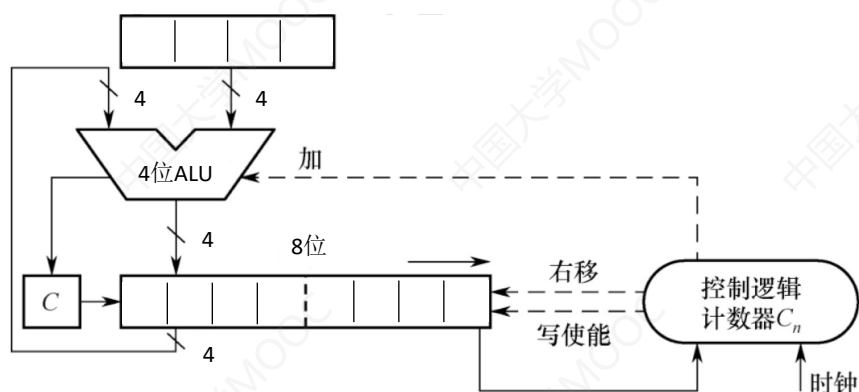
4bit → 0~15

2 × 7 = 14

```

  0010
X 0111
-----
  0010
 0010
 0010
 0000
-----
0001110

```



此次无符号数乘法运算结果中，前n个bit全为0，因此未发生溢出

王道考研/CSKAOYAN.COM

6

## 两种乘法电路

无符号乘法溢出判断：前nbit全0不溢出，否则溢出

有符号乘法溢出判断：前n+1bit全0或全1不溢出，否则溢出

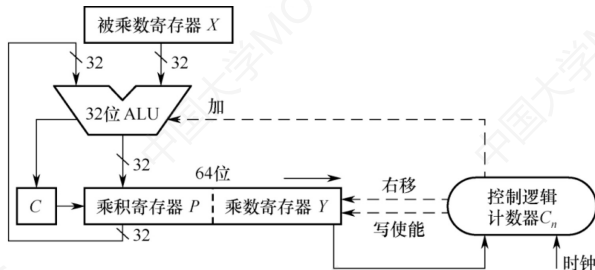


图 2.1 32 位无符号数乘法运算的逻辑结构图

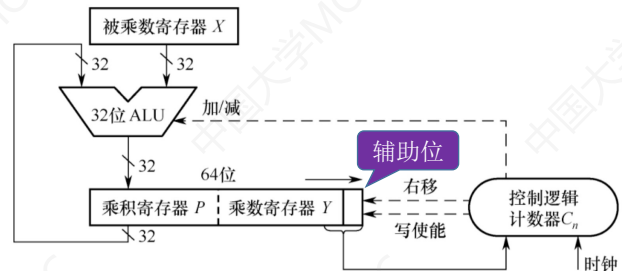


图 2.2 补码一位乘法的逻辑结构图

nbit 无符号数相乘，进行 n 轮加法、逻辑右移：

- 末位为 0，不做加法，只进行逻辑右移
- 末位为 1，加被乘数，再进行逻辑右移

nbit 有符号数补码相乘，辅助位设 0，进行 n 轮加法、算数右移：

- 辅助位 - Y 中最低位 = 1， $(P)+[X]_{补}$ ，再进行算数右移
- 辅助位 - Y 中最低位 = 0，不做加法，只进行算数右移
- 辅助位 - Y 中最低位 = -1， $(P)+[-X]_{补}$ ，再进行算数右移

王道考研/CSKAOYAN.COM

7

## 有符号整数乘法电路的基本结构

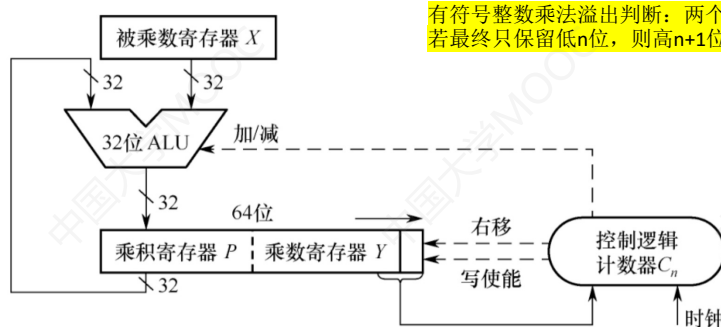


图 2.2 补码一位乘法的逻辑结构图

图 2.2 是实现 32 位补码一位乘法的逻辑结构图，和图 2.1 所示的逻辑结构很类似。因为是带符号数运算，不需要专门的进位位。。每次循环，乘积寄存器 P 和乘数寄存器 Y 是实现同步“算术右移”，每次从寄存器 Y 移出的最低位和它的前一位来决定是  $-[x]_{补}$ 、 $+[x]_{补}$  还是  $+0$ 。

王道考研/CSKAOYAN.COM

8

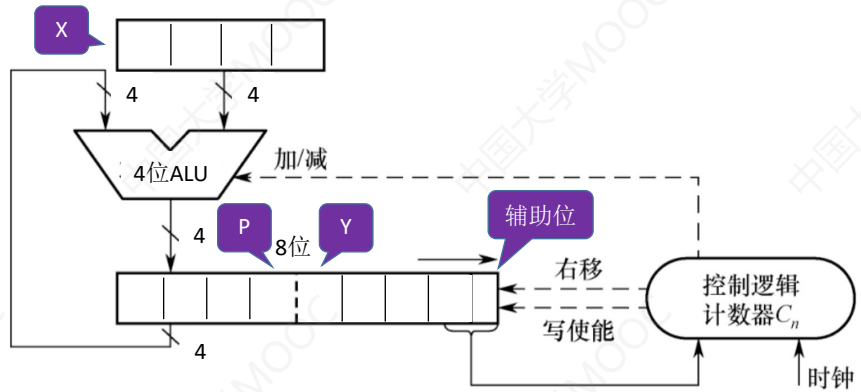
### 有符号整数乘法电路的基本结构（单符号位补码）

例1:  $-3 \times 7 = -21$

$1101 \times 0111 = ?$

**11101 011**

前n+1bit 不是全0或全1, 说明溢出



n位补码乘: 辅助位设0, n轮加法、算数右移

加法:

- 辅助位 - Y中最低位 = 1时,  $(P)+[X]_{补}$
- 辅助位 - Y中最低位 = 0时,  $(P)+0$
- 辅助位 - Y中最低位 = -1时,  $(P)+[-X]_{补}$

算数右移: 用符号位补空位

图 2.2 补码一位乘法的逻辑结构图

王道考研/CSKAOYAN.COM

9

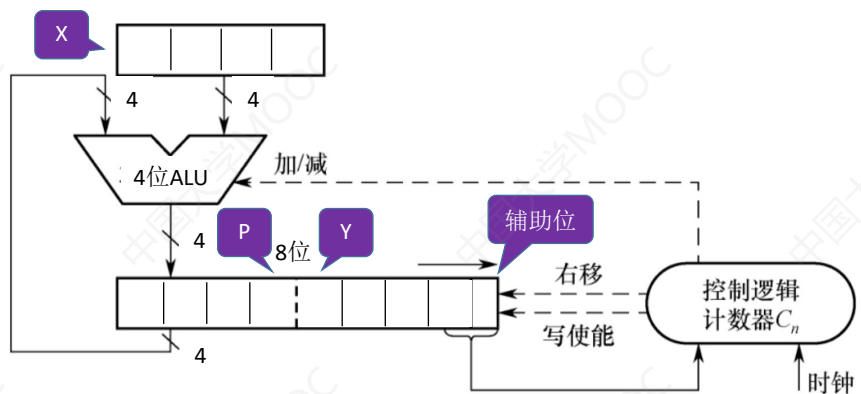
### 有符号整数乘法电路的基本结构（单符号位补码）

例2:  $-2 \times 4 = -8$

$1110 \times 0100 = ?$

**11111 000**

前n+1bit 是全1, 说明没有溢出



n位补码乘: 辅助位设0, n轮加法、算数右移

加法:

- 辅助位 - Y中最低位 = 1时,  $(P)+[X]_{补}$
- 辅助位 - Y中最低位 = 0时,  $(P)+0$
- 辅助位 - Y中最低位 = -1时,  $(P)+[-X]_{补}$

算数右移: 用符号位补空位

图 2.2 补码一位乘法的逻辑结构图

王道考研/CSKAOYAN.COM

10

### 补充：阵列乘法器

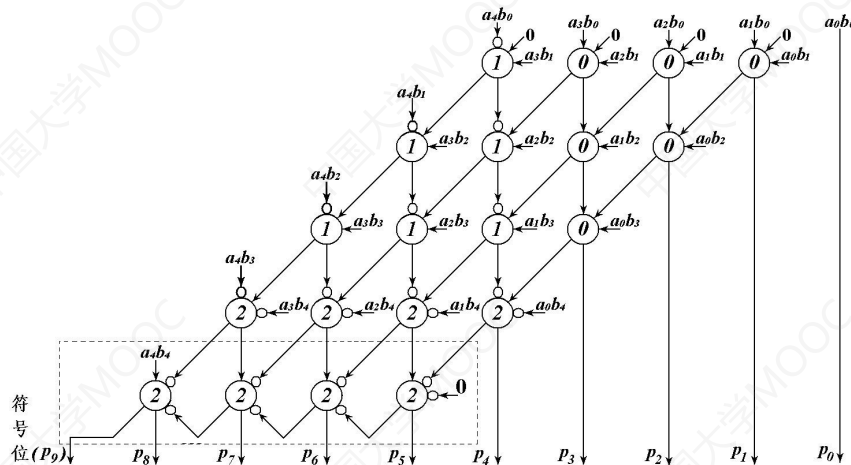


图1 5位乘5位的直接补码阵列乘法器逻辑原理图

可以同时得到多位乘积，速度更快，造价更贵

王道考研/CSKAOYAN.COM

11

### 回顾基础课：补码一位乘法

$n$ 位补码 $\times n$ 位补码，采用双符号位补码， $n$ 轮加法、移位，最后多一次加法

设机器字长为5位（含1位符号位， $n=4$ ）， $x = -0.1101$ ， $y = +0.1011$ ，采用Booth算法求 $x \cdot y$

$[x]_{\text{补}} = 11.0011$ ， $[-x]_{\text{补}} = 00.1101$ ， $[y]_{\text{补}} = 0.1011$

	(高位部分积)	(低位部分积/乘数)	说明
	00.0000	0.1011 0 丢失位	起始情况
正数 算数 右移	$+[x]_{\text{补}}$ 00.1101	辅助位	$Y_4Y_5=10$ ， $Y_5-Y_4=-1$ ，则 $+[x]_{\text{补}}$
	00.1101		
右移	00.0110	----- 10.101 10	右移部分积和乘数
+0	00.0000		$Y_4Y_5=11$ ， $Y_5-Y_4=0$ ，则+0
	00.0110		
右移	00.0011	----- 010.10 110	右移部分积和乘数
负数 算数 右移	$+[x]_{\text{补}}$ 11.0011		$Y_4Y_5=01$ ， $Y_5-Y_4=1$ ，则 $+[x]_{\text{补}}$
	11.0110		
右移	11.1011	----- 0010.1 0110	右移部分积和乘数
	$+[x]_{\text{补}}$ 00.1101	原符号位	$Y_4Y_5=10$ ， $Y_5-Y_4=-1$ ，则 $+[x]_{\text{补}}$
	00.1000		
右移	00.0100	----- 00010.1 0110	右移部分积和乘数
最后 多一 次加法	$+[x]_{\text{补}}$ 11.0011		$Y_4Y_5=01$ ， $Y_5-Y_4=1$ ，则 $+[x]_{\text{补}}$
	11.0111		构成 $[x \cdot y]_{\text{补}}$

$n$ 轮加法、算数右移，加法规则如下：

辅助位 - MQ中最低位 = 1时， $(ACC)+[x]_{\text{补}}$

辅助位 - MQ中最低位 = 0时， $(ACC)+0$

辅助位 - MQ中最低位 = -1时， $(ACC)+[-x]_{\text{补}}$

补码的算数右移：

符号位不动，数值位右移，正数右移补0，负数右移补1（符号位是啥就补啥）

注：一般来说，Booth算法的被乘数、部分积采用双符号位补码

$[x \cdot y]_{\text{补}} = 11.01110001$

即 $x \cdot y = -0.10001111$

王道考研/CSKAOYAN.COM

12