2.3 定点乘法运算

2.3.1 原码乘法

- 规则：符号与数值分开计算
  - 乘积的数值部分是两个正数相乘之积。
  - 乘积符号的运算法则是：同号相乘为正,异号相乘为负。可由异或实现。

例 $x = 1101$, $y = 1011$. 求x*y.

					1	1	0	1	(x)
×					1	0	1	1	(y)
					1	1	0	1	
				1	1	0	1		
			0	0	0	0			
+		1	1	0	1				
	1	0	0	0	1	1	1	1	(z)

串行实现乘法太慢，如何改进？

1、不带符号的阵列乘法器设计

设有两个不带符号的二进制整数：

$$A = a_{m-1}\ldots a_1 a_0 \qquad B = b_{n-1}\ldots b_1 b_0$$

- 数值部分为a和b,即

$$a = \sum_{i=0}^{m-1} a_i 2^i \qquad b = \sum_{j=0}^{n-1} b_j 2^j$$

- 则A与B相乘,产生$m+n$位乘积P：

$$P = p_{m+n-1}\cdots p_1 p_0$$

$$P = ab = \left(\sum_{i=0}^{m-1} a_i 2^i\right)\left(\sum_{j=0}^{n-1} b_j 2^j\right) = \sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1} (a_i b_j) 2^{i+j}$$

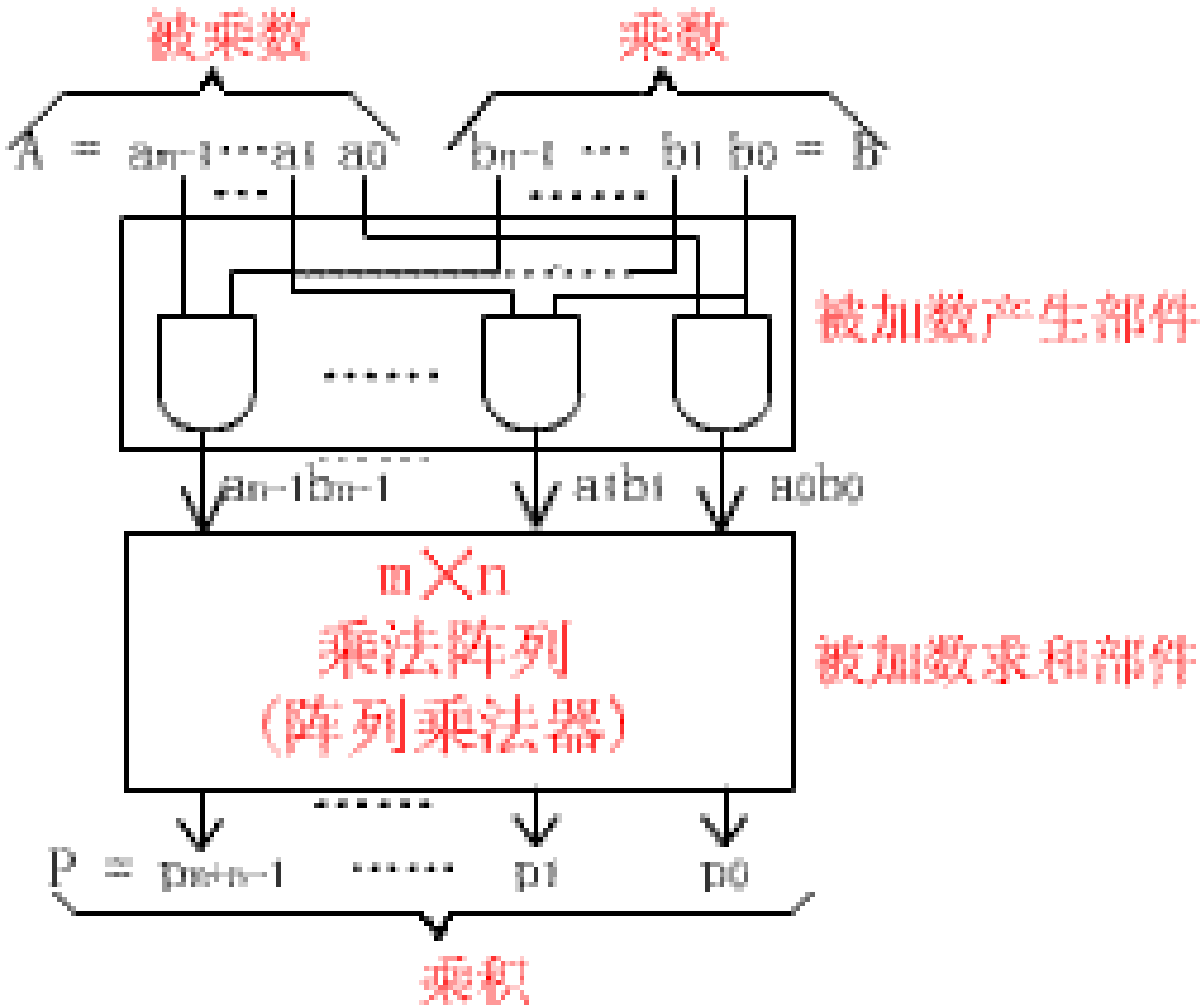
$$= \sum_{k=0}^{m+n-1} p_k 2^k$$

- 例5x5阵列

$$
\begin{array}{cccccccccc}
 & & & & & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & a_0 \\
 & & & & \mathrm{x} & b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 \\
\hline
 & & & & & a_4b_0 & a_3b_0 & a_2b_0 & a_1b_0 & a_0b_0 \\
 & & & & a_4b_1 & a_3b_1 & a_2b_1 & a_1b_1 & a_0b_1 & \\
 & & & a_4b_2 & a_3b_2 & a_2b_2 & a_1b_2 & a_0b_2 & & \\
 & & a_4b_3 & a_3b_3 & a_2b_3 & a_1b_3 & a_0b_3 & & & \\
+ & a_4b_4 & a_3b_4 & a_2b_4 & a_1b_4 & a_0b_4 & & & & . \\
\hline
P_9 & P_8 & P_7 & P_6 & P_5 & P_4 & P_3 & P_2 & P_1 & P_0
\end{array}
$$

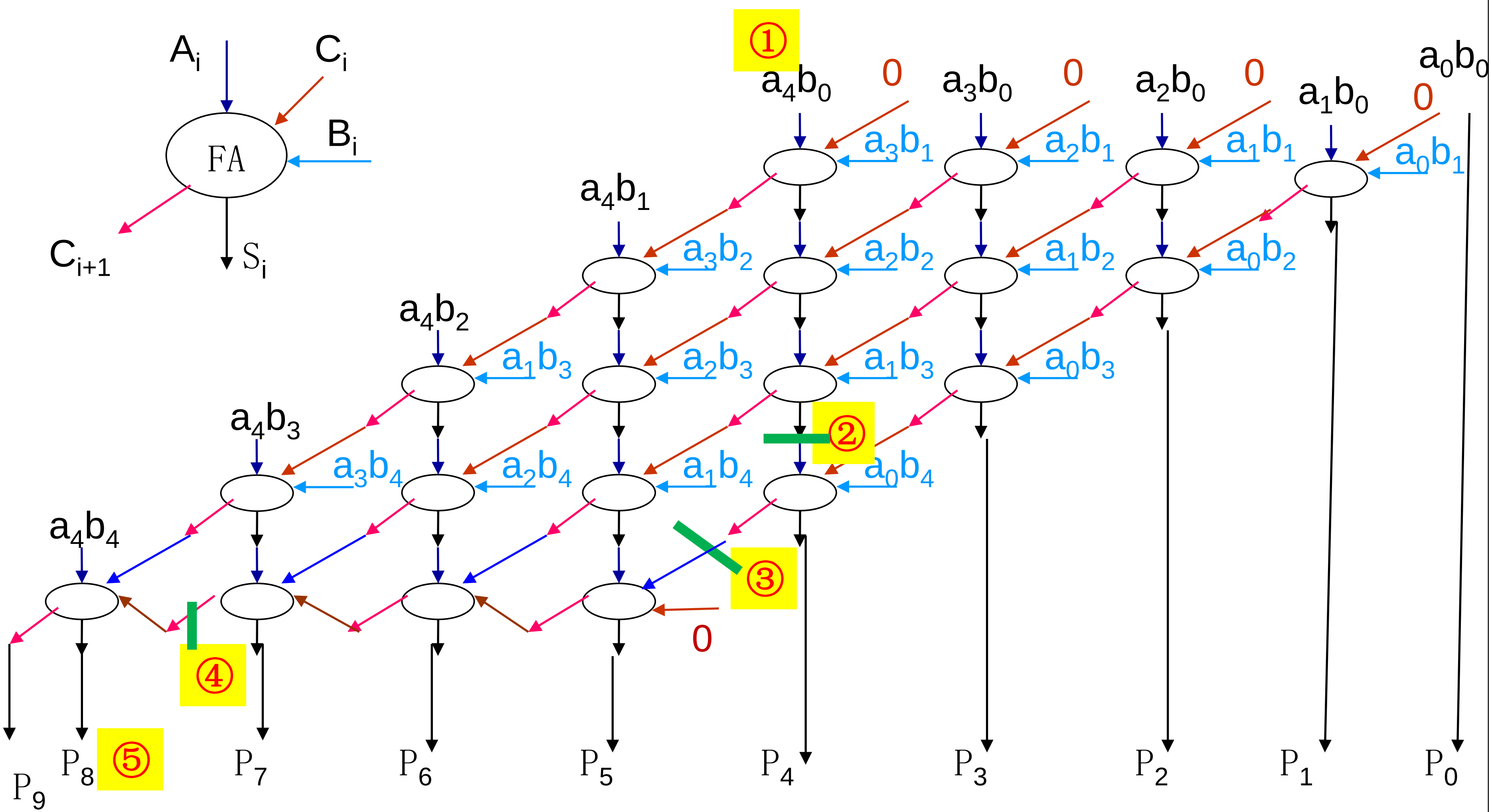
$$P=\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}(a_i b_i)2^{i+j}=\sum_{k=0}^{m+n-1}p_k 2^k$$

具体如何实现？



不带符号阵列乘法器逻辑框图

n*n的乘法计算，需要n*(n-1)个加法器。最慢是P8



5x5阵列乘法器原理图

扩展——n位*n位不带符号乘法器的时延分析

① 由n^2个与门，同时产生各FA的求和项$a_i b_j$时延：T ；

② 垂直方向，每经过一个FA有6T，到倒2层的输入：6T*（n-2）

③ 斜线方向产生进位输出，到最后1层的输入：5T；

④ 最后一层水平方向进位传递，到最后一个FA输入：2T*（n-2）

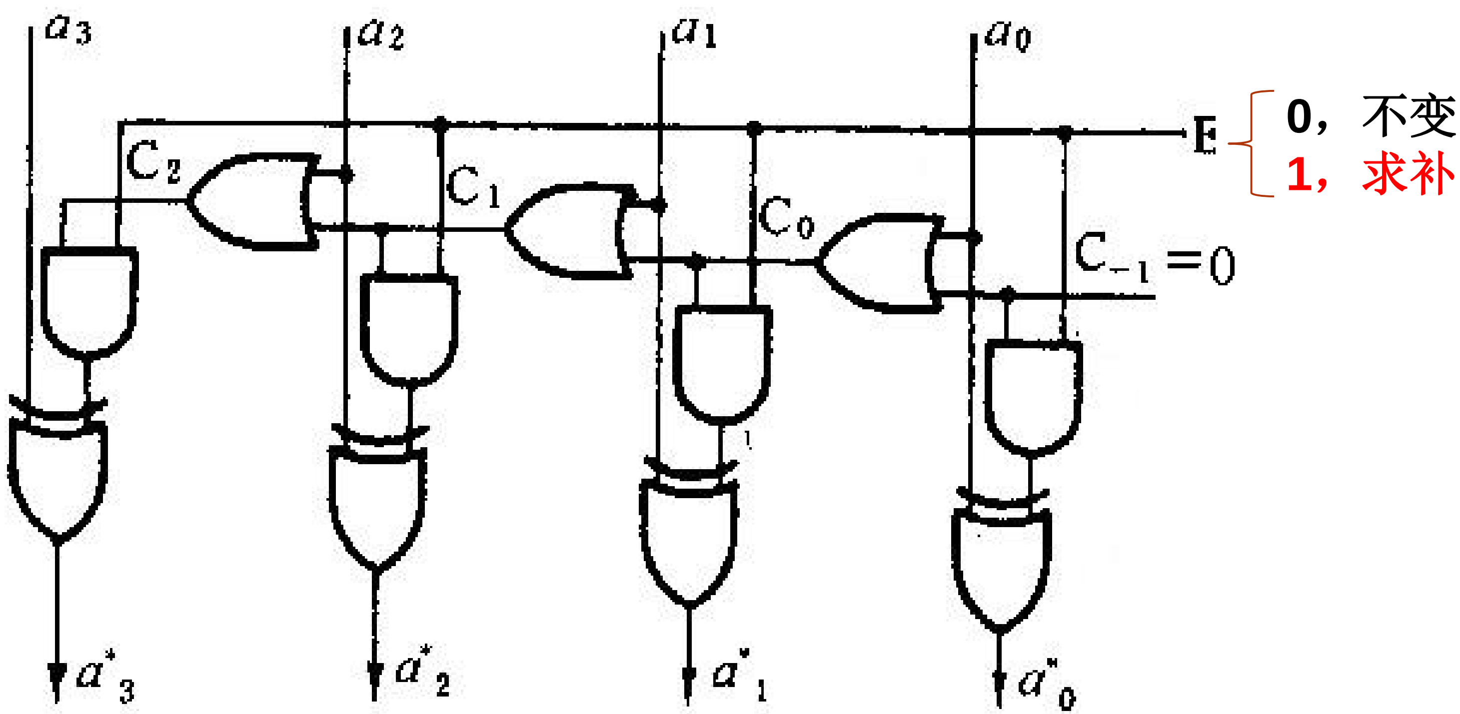
⑤ 产生积的最高位求和结果：3T

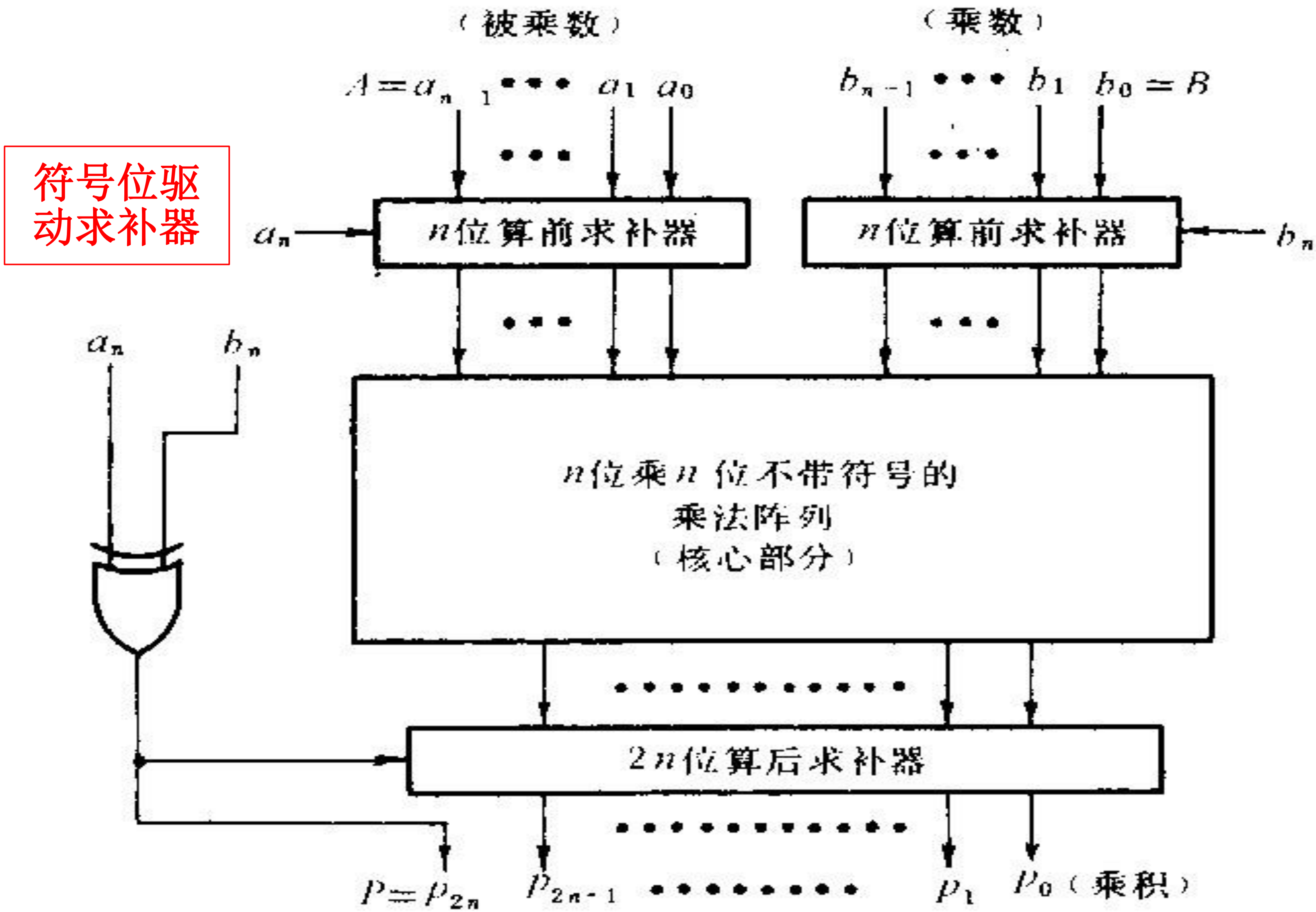
整个乘法器的时延为上述各项和**（8n-7）T**

2、带符号的阵列乘法器设计

符号与数值分开处理，符号采用异或电路，数值采用无符号阵列乘法器。

- 原码数据可以直接运算；
- 若输入为补码数据，需转换成原码后再运算。
  - 求补器设计





带符号的阵列乘法器设计

例18 设x=-15,y=-13,用补码求x*y

（ P36例21）

解: [x]补=10001， [y]补=10011

符号部分 $x_n \oplus y_n = 1 \oplus 1 = 0$

数值部分 |x|=1111, |y|=1101

$$
\begin{array}{rrrrrrrrl}
 & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & = 15 \\
\times) & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & = 13 \\
\hline
 & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & \\
 & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\
 & & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\
 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & \\
\hline
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 &
\end{array}
$$

- [x*y]补＝ 0 11000011
- x*y=195