

数字集成电路设计课程设计

快速傅里叶变换电路设计

方案讨论

第六组

罗恬 齐奕翔 杨文曦

TOC

运算原理及数据表示

整体架构设计

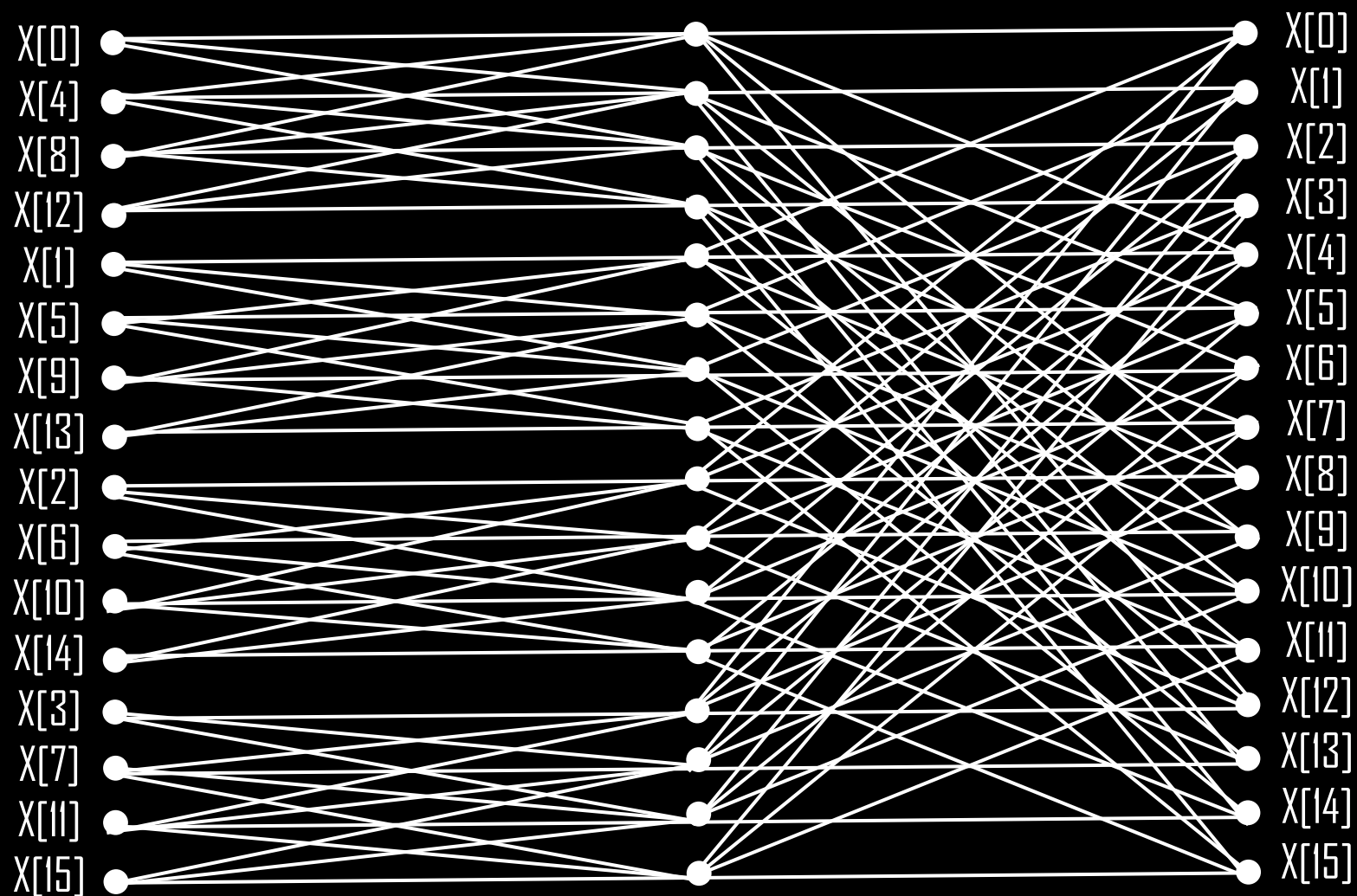
模块细节设计

资源及面积统计

运算原理及数据表示

FFT算法原理及选择
算法中的数据表示方式

16点基4-FFT算法流图



16点基4-FFT原理

$$X(r) = X_0(r) + W_N^r X_1(r) + W_N^{2r} X_2(r) + W_N^{3r} X_3(r)$$

$$X\left(r + \frac{N}{4}\right) = X_0(r) - jW_N^r X_1(r) - W_N^{2r} X_2(r) + jW_N^{3r} X_3(r)$$

$$X\left(r + \frac{N}{2}\right) = X_0(r) - W_N^r X_1(r) + W_N^{2r} X_2(r) - W_N^{3r} X_3(r)$$

$$X\left(r + \frac{3N}{4}\right) = X_0(r) + jW_N^r X_1(r) - W_N^{2r} X_2(r) - jW_N^{3r} X_3(r)$$

基4相比基2的优点

复数乘法减少，加减法可通过线性变换优化

数据表示

$$z = a + bj$$



符号位

整数位

小数位



17bit

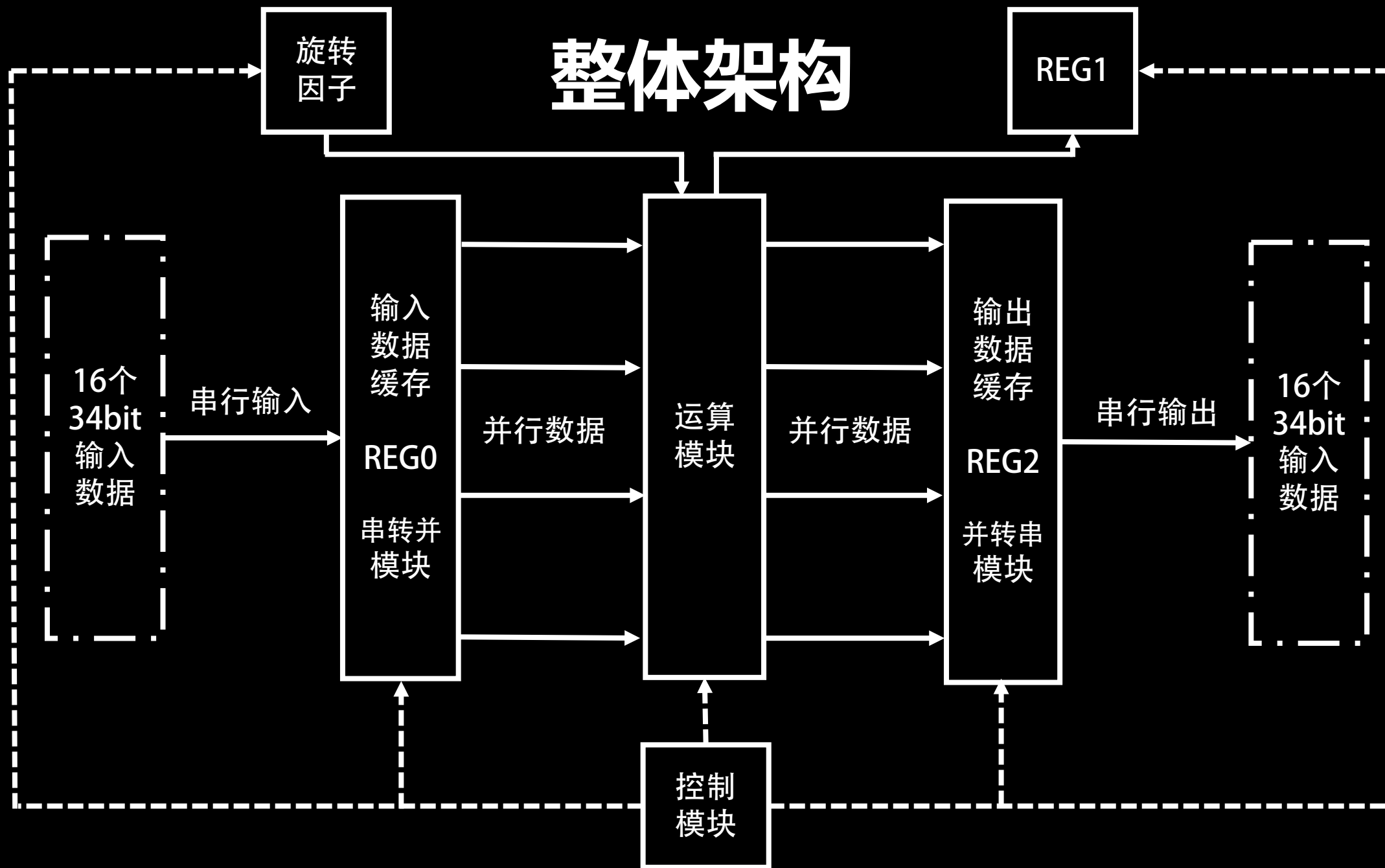
整体架构设计

整体架构框图

时序过程和地址产生

资源的充分利用

整体架构



整体时序过程图

各模块																														
时钟周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
输入	第N组输入数据到REG1																第N+1组输入数据到REG1													
计算	两级蝶形运算													两级蝶形运算																
输出	第N-1组从REG3输出数据					第N-1组从REG3输出数据																第N组从REG3输出数据								
REGISTER																														
0	第N组输入																第N+1组输入													
1	蝶形运算中间值													蝶形运算中间值																
2	第N-2组输出					第N-1组输出																第N组输出								

- REG0
- REG1
- REG2

流水线	时钟周期	读数据	蝶形运算	写数据
第一级 蝶形运算	5	0, 1, 2, 3	1	0, 4, 8, 12
	6	4, 5, 6, 7	1	1, 5, 9, 13
	7	8, 9, 10, 11	1	2, 6, 10, 14
	8	12, 13, 14, 15	1	3, 7, 11, 15
第二级 蝶形运算	9	0, 1, 2, 3	1	0, 4, 8, 12
	10	4, 5, 6, 7	1	1, 5, 9, 13
	11	8, 9, 10, 11	1	2, 6, 10, 14
	12	12, 13, 14, 15	1	3, 7, 11, 15

地址产生

两个RAM交替使用

第一次		第二次		第三次		第四次	
00 00	0	01 00	4	10 00	8	11 00	12
00 01	1	01 01	5	10 01	9	11 01	13
00 10	2	01 10	6	10 10	10	11 10	14
00 11	3	01 11	7	10 11	11	11 11	15

第一次		第二次		第三次		第四次	
00 00	0	00 01	1	00 10	2	00 11	3
01 00	4	01 01	5	01 10	6	01 11	7
10 00	8	10 01	9	10 10	10	10 11	11
11 00	12	11 01	13	11 10	14	11 11	15

运算资源的充分利用

输入

16个数 16组输入 16个周期

计算和转存

两级FFT 8次蝶形运算 8个周期

输出

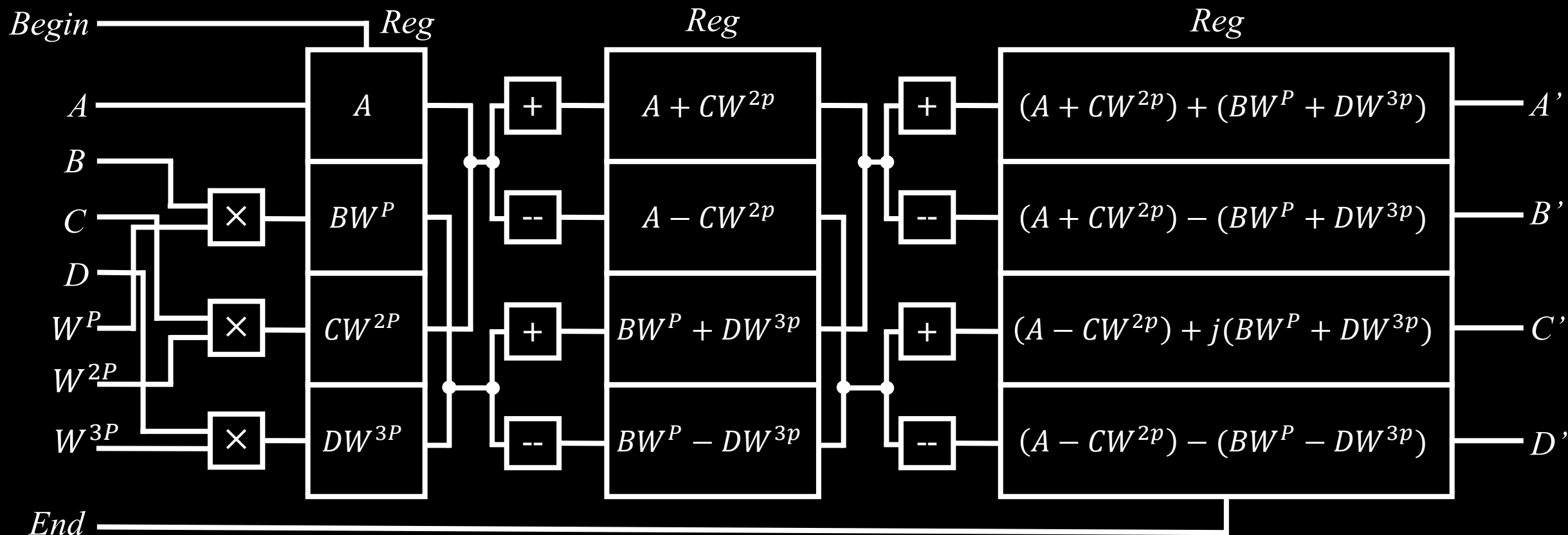
16个数 16组输出 16个周期

运算逻辑设计

蝶形运算模块设计控制逻辑

乘法与加减法的实现方式

蝶形运算



整个芯片共采用一个蝶形运算模块

加减法的硬件实现

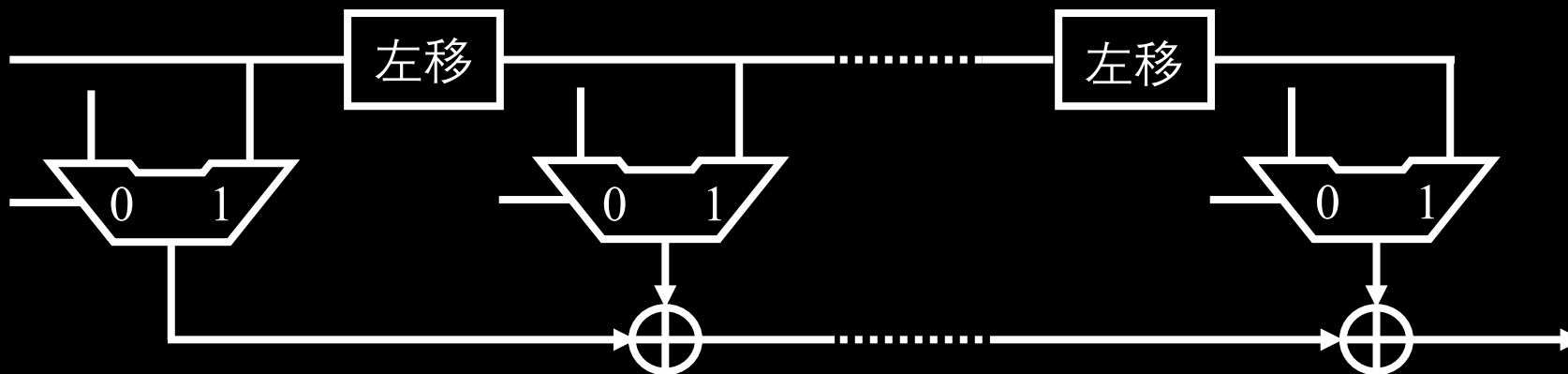
加法

直接使用加法运算

减法

取补码后使用加法运算

乘法的硬件实现



方案一

使用移位方式计算乘法
会有四舍五入累积误差

乘法的硬件实现

方案二

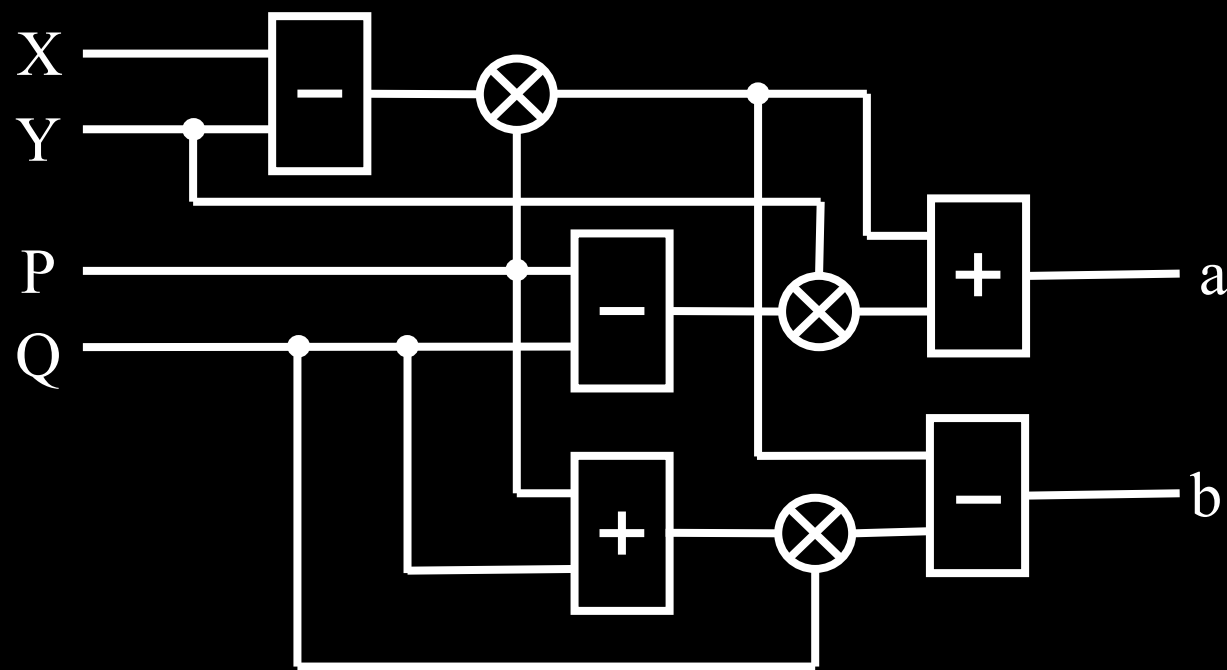
用复数加减代替复数乘法
仍会有四舍五入累积误差

$$(X + Yj)(P + Qj) = a + bj$$

$$a = (P - Q)Y + (X - Y)P$$

$$b = (P + Q)X - (X - Y)P$$

将一个复数乘法变为三个复数加法



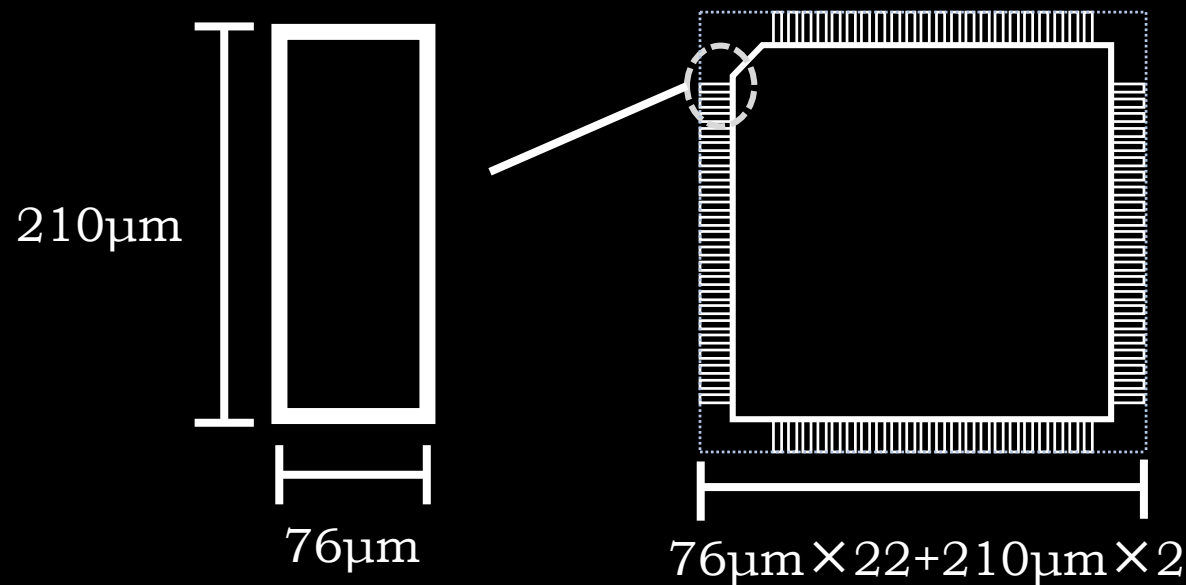
面积估算

管脚统计及面积估算

管脚统计及面积估算

- 串行输入：34个管脚
- 串行输出：34个管脚
- 时钟：1个管脚
- 输入使能信号：1个管脚
- 输出使能信号：1个管脚
- 接地：约17个管脚

共88个管脚



如果芯片为正方形

$$\left(76\mu m \times \frac{88}{4} + 210\mu m \times 2 \right)^2 = 4.376464mm^2$$

参考资料

- [1] Siva Kumar Palaniappan, et al. Design of 16-point Radix-4 Fast Fourier Transform in 0.18 μ m CMOS Technology[J]. American Journal of Applied Sciences 4 (8): 570-575, 2007
- [2] N. Weste, M. Bickerstaff, et al. A 50MHz 16-point FFT processor for WLAN application: IEEE 1997 Custom Integrated Circuits Conference: 457-460, 1997
- [3] 丁晓磊等. 16点基4-FFT芯片设计技术研究[J]. 信息技术. 64-71, 2007(1)



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY