

浮点运算单元的设计

孙琰斌 10.31

- 一、浮点加法器设计
- 二、浮点乘法器设计
- 三、浮点除法器设计
- 四、实验目标
- 五、参考内容

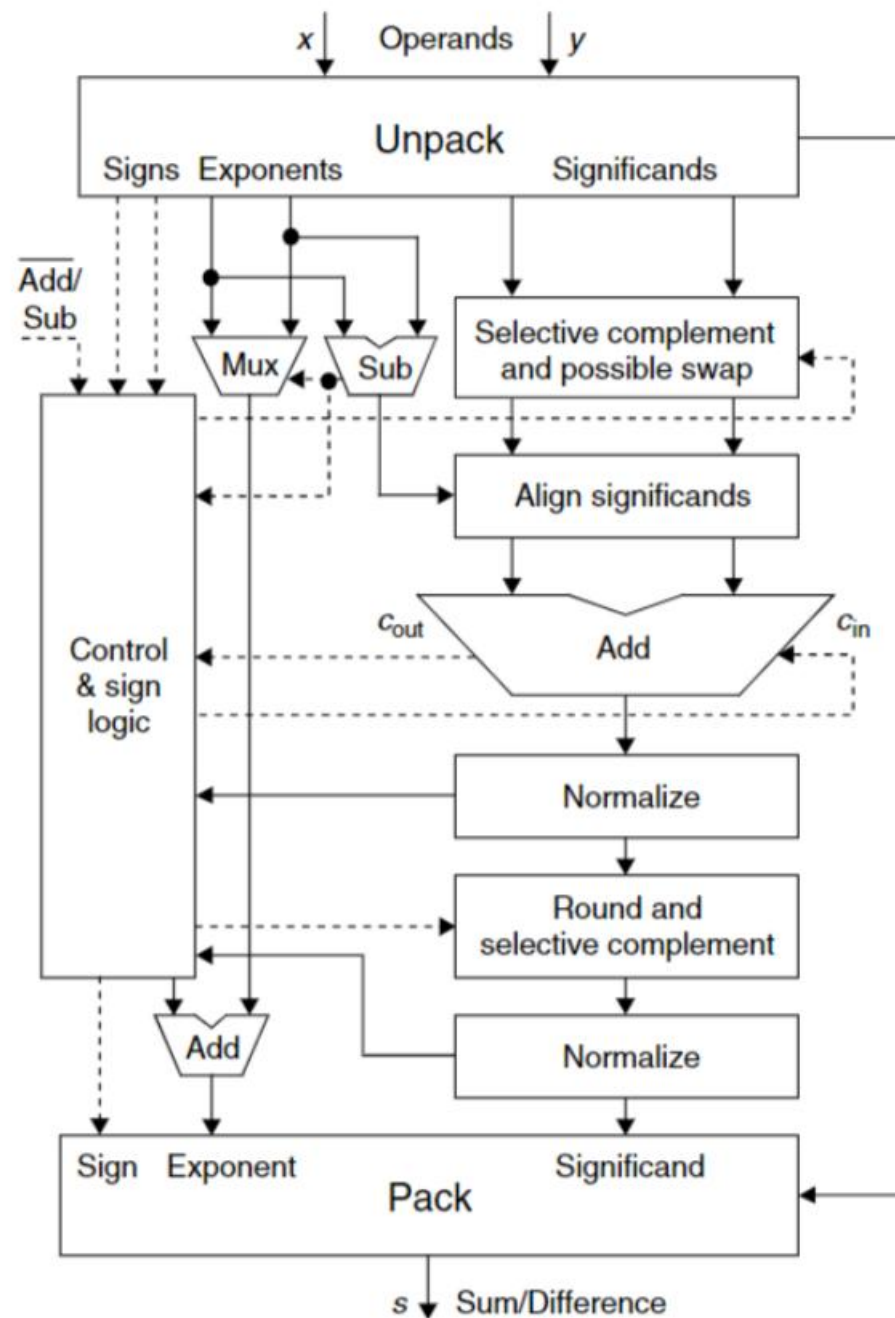
一、浮点加法器设计



- 1. 浮点乘法器的设计思路
- 2. 设计优化方案

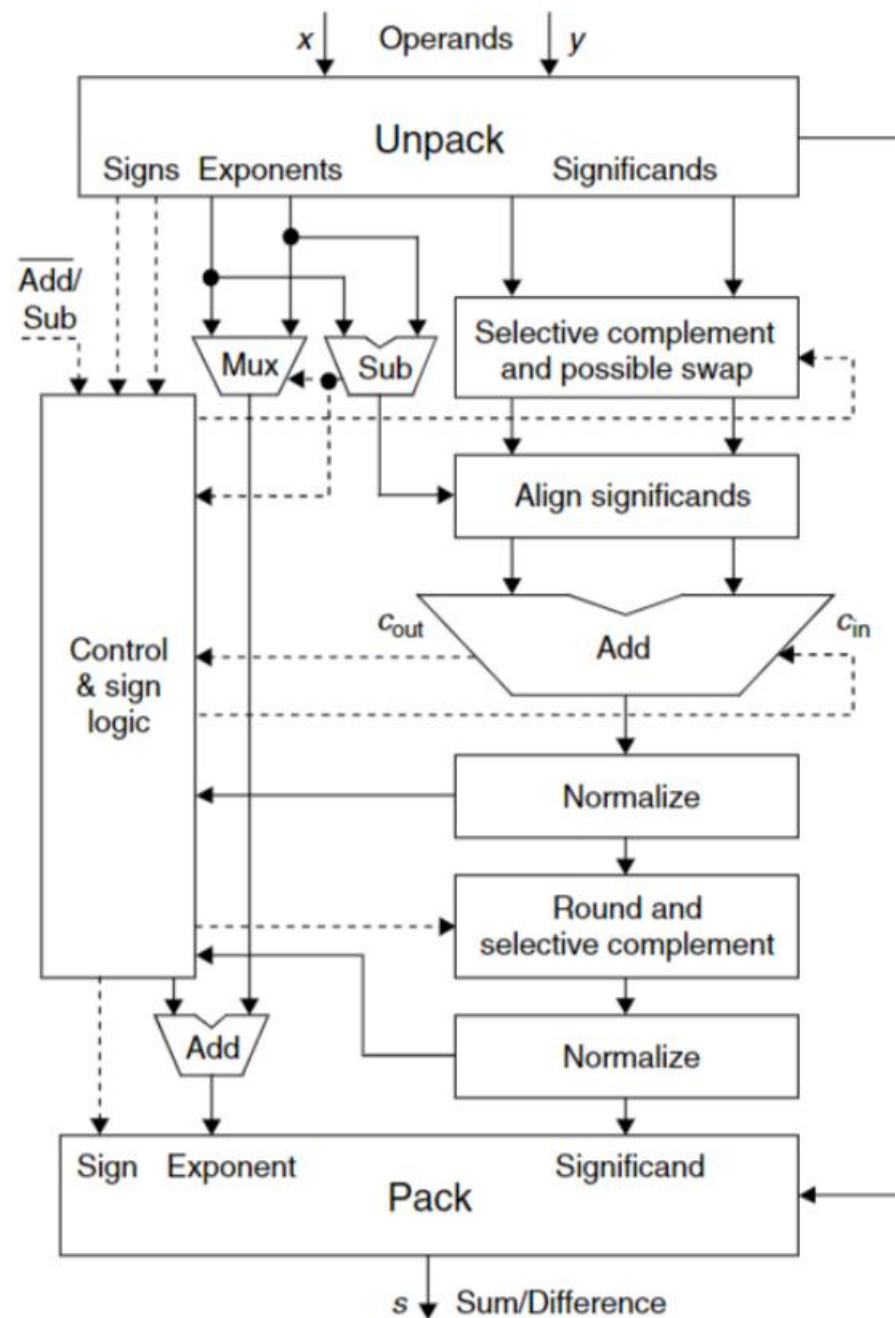
1.浮点加法器设计思路

- 1.操作数的解析
- 2.指数部分——比较和对阶
- 3.尾数部分——移位和舍入
- 4.规格化和舍入
- 5.特殊数字和异常处理



2. 设计优化方案

- 1. 减少移位部件/补码器设计
- 2. 前导0预测模块（尾数相加后移位数）
- 3. 预移位操作的优化



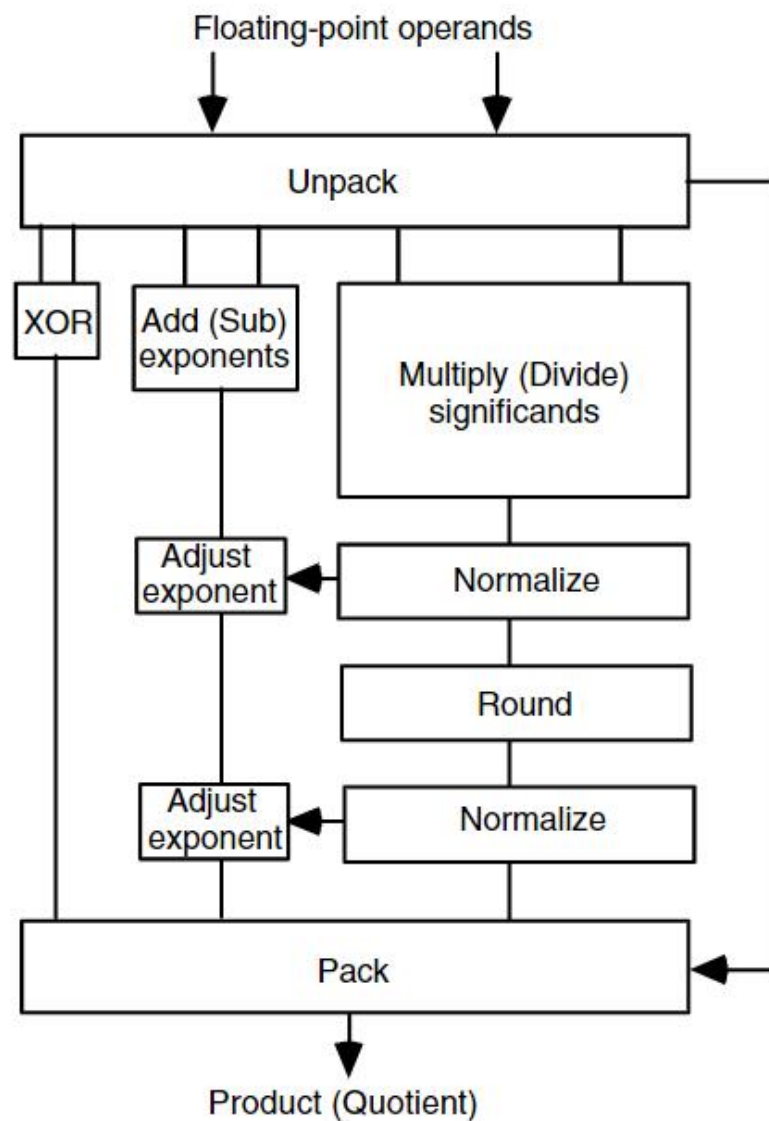
二、浮点乘法器设计



- 1. 浮点乘法器的设计思路
- 2. 定点乘法器的设计——部分积的生成
- 3. 定点乘法器的设计——部分积的累加
- 4. 设计优化方案和代码实现中的困难

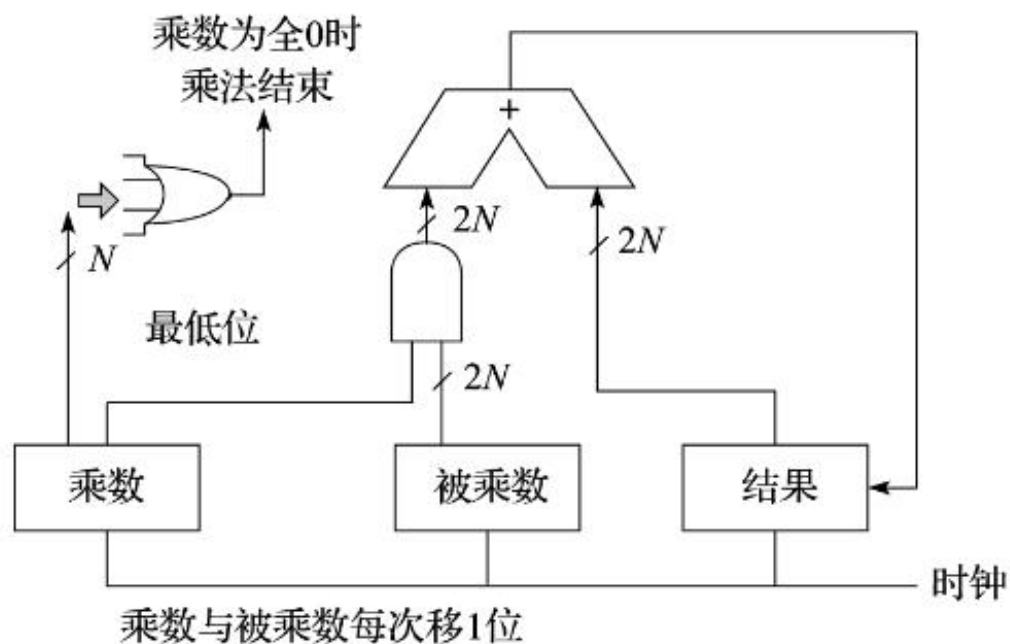
1. 浮点乘法器设计思路

- a. 操作数的解析
- b. 指数部分的处理
- c. 尾数部分的处理
- d. 规格化和舍入
- e. 特殊数字和异常处理



2. 定点乘法器的设计——部分积的生成

- 最简单的移位累加乘法器设计：代码容易实现但是延迟高
- 改进思路：加法并行&减少部分积数量



2. 定点乘法器的设计——部分积的生成

- 基4-Booth乘法：减少一半的部分积

跟基2的算法一样，假设A和B是乘数和被乘数，且有：

$$A = (a_{2n+1}a_{2n})a_{2n-1}a_{2n-2} \dots a_1a_0(a_{-1}) \quad (1)$$

$$B = b_{2n-1}b_{2n-2} \dots b_1b_0 \quad (2)$$

其中， a_{-1} 是末尾补的0， a_{2n} , a_{2n+1} 是扩展的两位符号位。可以将乘数A表示为：

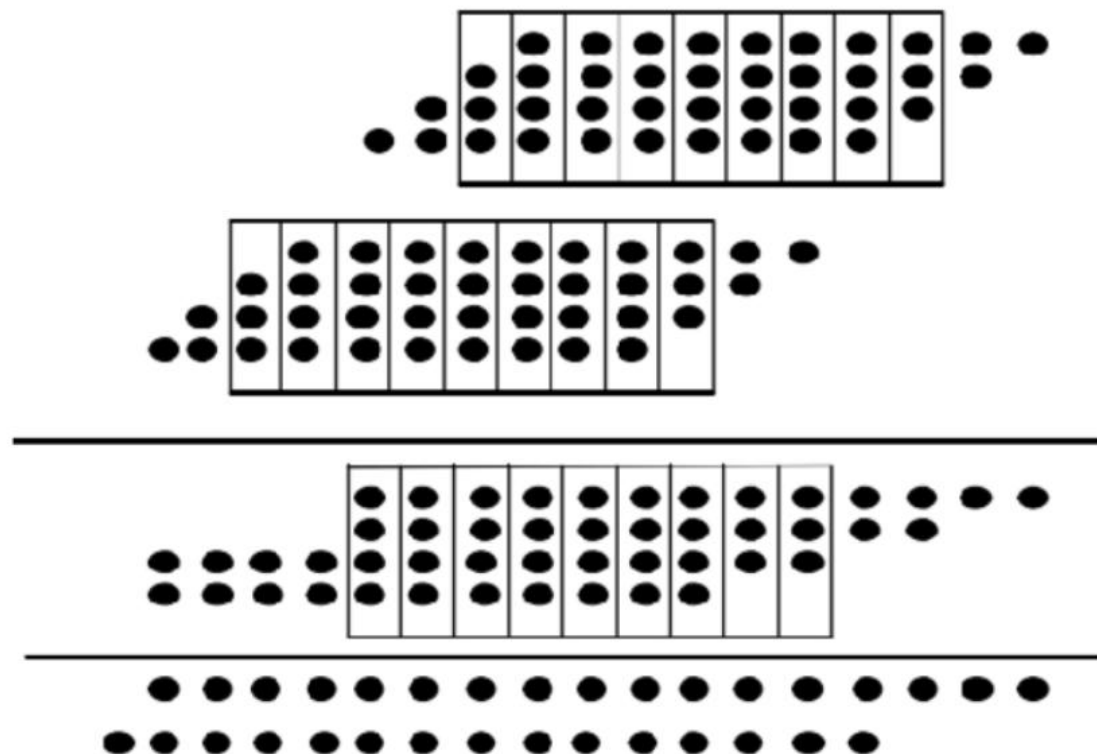
$$A = (-1 \cdot a_{2n-1})2^{2n-1} + a_{2n-2} \cdot 2^{2n-2} + \dots + a_1 \cdot 2 + a_0$$

同样可以将两数的积表示为：

$$\begin{aligned} AB &= (a_{-1} + a_0 - 2a_1) \times B \times 2^0 + (a_1 + a_2 - 2a_3) \times B \times 2^2 \\ &\quad + (a_3 + a_4 - 2a_5) \times B \times 2^4 + \dots \\ &\quad + (a_{2n-1} + a_{2n} - 2a_{2n+1}) \times B \times 2^{2n} \\ &= B \times \left[\sum_{k=0}^n (a_{2k-1} + a_{2k} - 2a_{2k+1}) \cdot 2^{2k} \right] \\ &= B \times Val(A) \end{aligned}$$

3. 定点乘法器的设计——部分积的累加

- 减少累加延迟的优化：华莱士树
- 基本思想：利用 n 个全加器把3个 n 位的数字相加转换为2个 $n+1$ 位的树相加（3:2压缩，也可以使用4:2压缩）



4. 设计优化方案和代码实现中的困难

- 多个部分积符号不一致时的符号扩展问题
- 无符号数在Booth中的位扩展问题

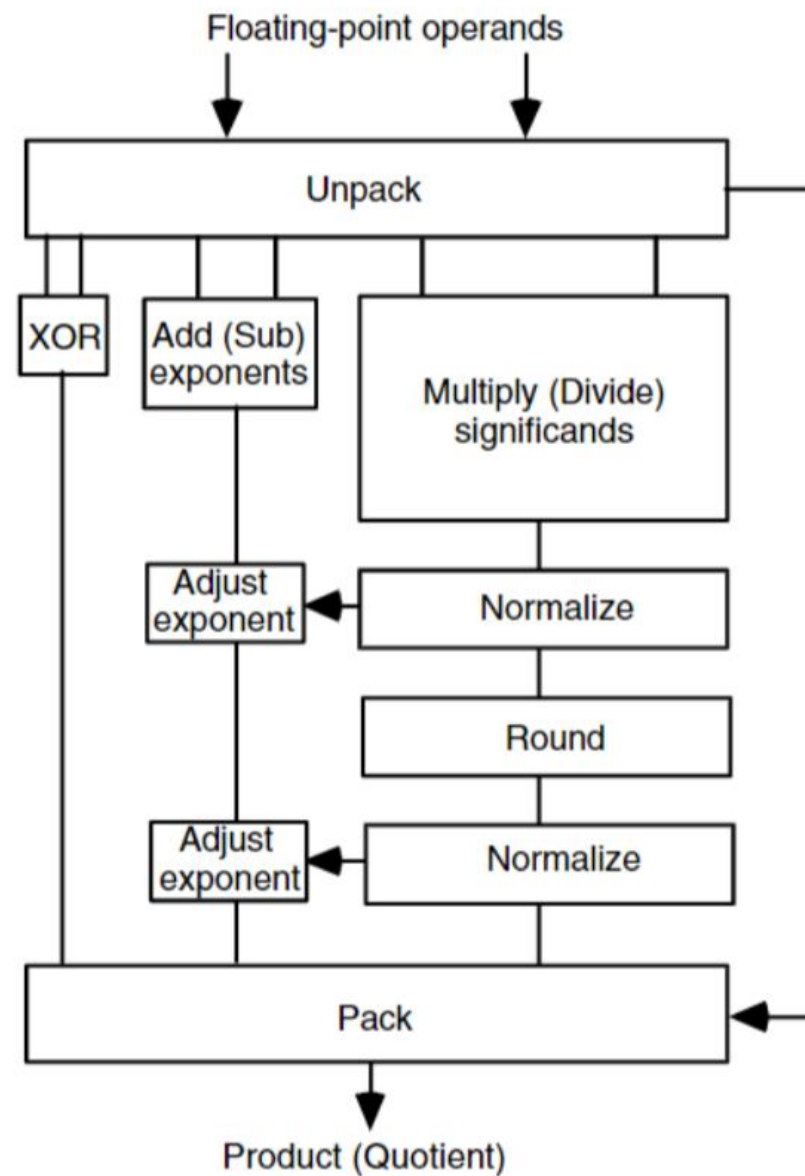
三、浮点除法器设计



- 1.浮点除法器的设计思路
- 2.除法器的实现算法

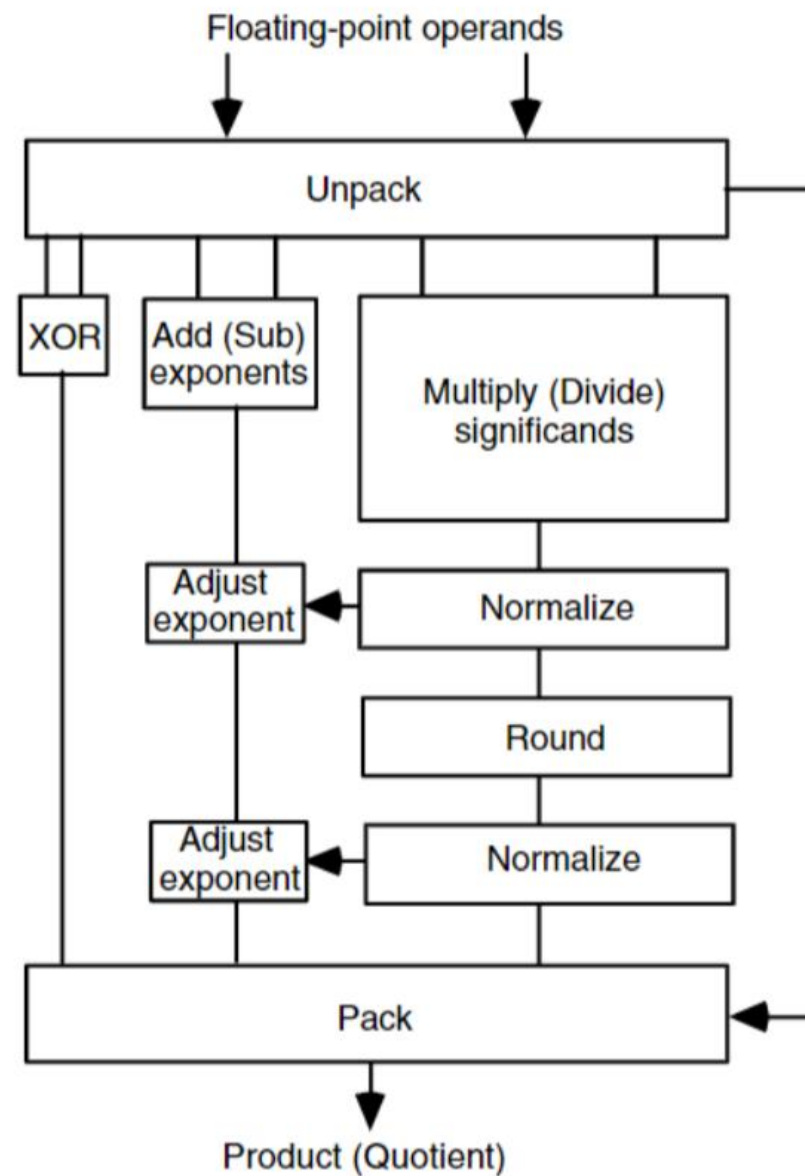
1.浮点除法器的设计思路

- a.操作数的解析
- b.指数部分的处理
- c.尾数部分的处理
- d.规格化和舍入
- e.特殊数字和异常处理



2. 除法器的实现算法

- 移位减法除法
- 基4-SRT除法
- 除法转化为乘法计算



四、实验目标



- 基本要求：
 - 1. 设计并实现符合IEEE754标准的32位浮点加法器、乘法器和除法器。
 - 加法器设计：实现前导0预测。
 - 乘法器设计：使用基4-Booth+华莱士树或同类的优化算法，不能用普通的移位累加。
 - 除法器设计：实现正确完整的除法功能，可以处理除以0异常。
 - 2. 设计测试数据，验证设计的正确性，注意对特殊数据的处理。

四、实验目标



- 进阶要求：
 - 使用流水线设计优化浮点单元。
- 评估指标
 - 功能正确性：浮点部件的输出是否与预期一致。
 - 性能：浮点部件的吞吐量和延迟。
 - 资源使用：使用的逻辑单元、寄存器等硬件资源数量。

四、实验目标



- 代码实现中要注意的点
 - 关注舍入模式
 - 对异常状态的输出和处理
 - 非规格数 (subnormals) 带来的问题

五、参考内容



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

- 《COMPUTER ARITHMETIC : Algorithms and Hardware Designs》
- 《计算机体系结构》 胡伟武 等
- <https://cloud.tencent.com/developer/article/1980707>