微机原理与接口技术

计算机运算基础

华中科技大学 左冬红

数的运算——加、减

- 整数运算
  - 无符号数
  - 符号数

  运算规则相同、结果处理方式不同

- 小数运算
  - 浮点数转换为定点数之后再依照符号整数运算规则运算
  - 运算结果再规范化为浮点数表示

整数运算

二进制数运算规则

1+0=0+1=1
0+0=0
1+1=0…1(进位)

1-0=1
1-1=0
0-0=0
0-1=1…1(借位)

无符号整数运算（数的低位部分）

127+160

$$
\begin{array}{r}
0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\
+\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
\hline
1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1
\end{array}
$$

进位

192-10

$$
\begin{array}{r}
1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
-\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0 \\
\hline
1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0
\end{array}
$$

10-192

$$
\begin{array}{r}
0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0 \\
-\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
\hline
1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0
\end{array}
$$

借位

由状态寄存器的某一位(CF）保存，可继续参与运算

符号整数运算（数的高位部分）

溢出　　　　　　　　　　　　　　　　　　溢出

105+50 =155　　105-50=55　　-105-50 =-155　　50-105=-55

补码加法，结果为补码

```
  0 1 1 0 1 0 0 1      0 1 1 0 1 0 0 1      1 0 0 1 0 1 1 1      0 0 1 1 0 0 1 0
+ 0 0 1 1 0 0 1 0    + 1 1 0 0 1 1 1 0    + 1 1 0 0 1 1 1 0    + 1 0 0 1 0 1 1 1
-----------------    -----------------    -----------------    -----------------
  1 0 0 0 1 0 1 1    1 0 0 1 1 0 1 1 1    1 0 1 1 0 0 1 0 1      1 1 0 0 1 0 0 1
```

溢出：结果超出了符号数的表示范围

8位符号数的表示范围为：-128~127

数据1	数据2	结果	溢出
1	1	0	1
0	0	1	1

3输入逻辑电路

符号整数运算（数的高位部分）

溢出

```
  0 1 1 0 1 0 0 1
+ 0 0 1 1 0 0 1 0
-----------------
  1 0 0 0 1 0 1 1
```

0 1

```
  0 1 1 0 1 0 0 1
+ 1 1 0 0 1 1 1 0
-----------------
1 0 0 1 1 0 1 1 1
```

1

溢出

```
  1 0 0 1 0 1 1 1
+ 1 1 0 0 1 1 1 0
-----------------
1 0 1 1 0 0 1 0 1
```

0

```
  0 0 1 1 0 0 1 0
+ 1 0 0 1 0 1 1 1
-----------------
  1 1 0 0 1 0 0 1
```

0 0

数值部分进位C_Y	符号位进位C_S	溢出OF
1	0	1
0	1	1
0	0	0
1	1	0

$$OF=C_S \oplus C_Y$$

符号数运算，若产生溢出，微处理器将产生溢出异常

浮点小数运算

不能二进制数直接运算

一般步骤：

1.检测0操作数

2.指数对齐，尾数移位

3.尾数求和（定点数补码运算）

4.结果规范化

5.舍入处理（1入，0舍）

6.溢出处理（指数溢出、尾数溢出）

单精度浮点数运算示例

1.5+27.5

1.100 0000 0000 0000 0000 0000

0.000 1100 0000 0000 0000 0000

1.5的单精度数

1.1×2^{0}

0	**01111111**	**100 0000 0000 0000 0000 0000**

27.5的单精度数　1000 0011-0111 1111=4

1.10111×2^{4}

0	**10000011**	**101 1100 0000 0000 0000 0000**

向指数大的对齐，1.5的尾数加上整数部分的1右移4位

单精度浮点数运算示例

1.5+27.5

指数域 1000 0011

$$
\begin{array}{rl}
 & 00.000\ 1100\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000 \\
+ & 01.101\ 1100\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000 \\
\hline
 & 01.110\ 1000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000
\end{array}
$$

0	**10000011**	**110 1000 0000 0000 0000 0000**

$$1.1101\times 2^4=(11101)_2=16+8+4+1=29$$

单精度浮点数运算示例

1.5-27.5

1.5的单精度数

1.1×2^0

0	**01111111**	**100 0000 0000 0000 0000 0000**

-27.5的单精度数

-1.10111×2^4

1	**10000011**	**101 1100 0000 0000 0000 0000**

单精度浮点数运算示例

1.5-27.5

-27.5 尾数原码 11.101 1100 0000 0000 0000 0000

尾数补码 10.010 0100 0000 0000 0000 0000

1.5尾数 00.000 1100 0000 0000 0000 0000

\+ 10.010 0100 0000 0000 0000 0000

结果是补码 10.011 0000 0000 0000 0000 0000

原码 11.101 0000 0000 0000 0000 0000

1	**10000011**	**101 0000 0000 0000 0000 0000**

真值 $-1.101\times 2^{4}=-11010.=-26$

单精度浮点数运算示例

-26.5-27.5

-27.5的单精度数

-1.10111×2^4

1	**10000011**	**101 1100 0000 0000 0000 0000**

-26.5的单精度数

-1.10101×2^4

1	**10000011**	**101 0100 0000 0000 0000 0000**

单精度浮点数运算示例

-26.5-27.5

指数域 1000 0011

-26.5尾数原码 11.101 0100 0000 0000 0000 0000
尾数补码 10.010 1100 0000 0000 0000 0000

-27.5尾数原码 11.101 1100 0000 0000 0000 0000
尾数补码 10.010 0100 0000 0000 0000 0000

```
   10.010 1100 0000 0000 0000 0000
+  10.010 0100 0000 0000 0000 0000
-----------------------------------
  100.101 0000 0000 0000 0000 0000
```

1 0

溢出判断 尾数上溢

单精度浮点数运算示例

-26.5-27.5　　　　指数域 1000 0011

尾数上溢 100.101 0000 0000 0000 0000 0000

尾数右移一位　　　　指数加1

10.0101 0000 0000 0000 0000 000~~0~~　$\boxed{10000011}$ +1 $\boxed{10000100}$

原码 11.1011 0000 0000 0000 0000 000

1	10000100	101 1000 0000 0000 0000 0000

真值 $-1.1011\times 2^{5}=-110110.$

$=-54$

单精度浮点数运算示例

$A=(3f800000)_{16}$，$B=(79be371e)_{16}$，$C=(f9be371e)_{16}$

(1) $(A+B)+C \quad =0$

(2) $A+(B+C) \quad =A$

?

A的指数域为$(011\ 1111\ 1)_2=(7f)_{16}$

B的指数域为$(111\ 1001\ 1)_2=(f3)_{16}$

单精度浮点数$(3f800000)_{16}$的二进制规范化表示为：1.0×2^{0}

单精度浮点数$(79be371e)_{16}$的二进制规范化表示为：

$$1.011\ 1110\ 0011\ 0111\ 0001\ 1110\times 2^{116}$$

单精度浮点数$(f9be371e)_{16}$的二进制规范化表示为：

$$-1.011\ 1110\ 0011\ 0111\ 0001\ 1110\times 2^{116}$$

由于指数对齐、尾数右移导致运算结果产生很大误差。

小结

- 整数运算
  - 无符号数运算
  - 有符号数运算
- 浮点数运算
  - 指数对齐
  - 尾数运算——符号整数运算规则一致
  - 溢出处理
    - 指数溢出
    - 尾数溢出