

Tema 5. Aritmètica d'enters i coma flotant

Estructura de Computadors (EC)

Rubèn Tous

rtous@ac.upc.edu

Computer Architecture Department
Universitat Politècnica de Catalunya



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Índex

- 1 5.5 Coma flotant: suma i multiplicació
 - 5.5.4 Coma flotant: multiplicació
 - 5.5.5 Representació en coma flotant MIPS
 - 5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

Índex

1 5.5 Coma flotant: suma i multiplicació

- 5.5.4 Coma flotant: multiplicació
- 5.5.5 Representació en coma flotant MIPS
- 5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

5.5.4 Multiplicació

- Estem treballant amb nombres $\text{mantissa} * 2^{\text{exponent}}$.

$$x * b^n * y * b^m = x * y * b^{n+m}$$

$$x * b^n / y * b^m = (x/y) * b^{n-m}$$

- No ens caldrà alinear exponents.
- Multiplicarem mantisses i sumarem els exponents.

5.5.4 Multiplicació

Algorisme de multiplicació de nombres IEEE 754:

- 1 Multiplicar mantisses.
- 2 Sumar exponents.
- 3 Normalitzar si cal.
- 4 Arrodonir al més proper o parell
- 5 Ajustar el signe del resultat.

5.5.4 Multiplicació

Exemple:

- Suposem $\$f2=0x40400000$ (3) i $\$f4=0x3F000000$ (0.5).
- Fem mul.s $\$f0$, $\$f2$, $\$f4$.
- PAS 1: Passar a binari els nombres:

$\$f2 = 0|100\ 0000\ 0|100\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000$

Positiu.

Exponent = $128 - 127 = 1$

$\$f4 = 0|011\ 1111\ 0|000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000$

Positiu.

Exponent = $126 - 127 = -1$

5.5.4 Multiplicació

PAS 2: Producte de mantisses.

$$\begin{array}{r} 1,1 \\ \times 1,0 \\ \hline 0\ 0 \\ 1\ 1 \\ \hline 1,1\ 0 \end{array}$$

5.5.4 Multiplicació

PAS 3: Sumar exponents.

$$1 - 1 = 0$$

$$\text{En excés: } 0 + 127 = 127$$

Alternativament es poden sumar els exponents sense decodificar i restar l'excés:

$$128 + 126 - 127 = 127$$

5.5.4 Multiplicació

PAS 4: Normalitzar (no cal) i codificar.

0|011 1111 1|100 0000 0000 0000 0000 0000

0x3FC0 0000

Índex

- 1 5.5 Coma flotant: suma i multiplicació
 - 5.5.4 Coma flotant: multiplicació
 - 5.5.5 Representació en coma flotant MIPS
 - 5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Registres:

- Registres \$f0, \$f1, \$f2... \$f31.
- Instruccions mfc1 (move from coprocessor 1) i mtc1 (move to coprocessor 1):

```
mfc1    $t2, $f2 # Copiar a $t2 els registre $f2  
mtc1    $t2, $f2 # Copiar a $f2 els registre $t2
```

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Registres:

- Els números de doble precisió es guarden en parells de registres $\$fx$, $\$fx+1$ on x és un número parell (exemple $\$f2+\$f3$).
- A les operacions un s'hi refereix com $\$fx$ (e.g. $\$f2$).
- Instruccions `mfc1.d` (move double from coprocessor 1) i `mtc1.d` (move double to coprocessor 1)

Exemple:

```
mfc1.d    $t2, $f2 # Copiar a $t2 i $t3  
           # els registres $f2 i $f3.
```

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Instruccions de suma, resta, multiplicació i divisió de floats:

- Instruccions aritmètiques `add.s/add.d`, `sub.s/sub.d`, `mul.s/mul.d`, `div.s/div.d`
- Overflow genera excepció. Divisió per zero també (a diferència que als naturals).

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Comparacions i salts condicionals

- Instruccions de comparació c.x.s/c.x.d ($x=eq$, lt o le)
- Modifiquen un bit a 1 (cert) o 0 (fals) que després utilitzen les instruccions de salt.
- 8 condition code flags (cc) numerats de 0 a 7
- Instruccions de salt bc1t i bc1f (branch if true/false)
- bc1t cc etiq (si no s'usa es suposa cc=0)

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Comparacions i salts condicionals. Exemple:

```
c.eq.s $f0, $f2  
bclt etiq
```

```
#alternativa  
c.eq.s 1 $f0, $f2  
bclt 1 etiq
```

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Declaració variables globals:

En C:

```
float f = -23.375;  
double d = 0.0;
```

En MIPS:

```
f: .float -23.375; #correcte  
f: .word 0xC1BB0000; #correcte  
f: .word -23.375; #incorrecte  
f: .float 0xC1BB0000; #incorrecte  
d: .double 0.0
```


5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Instruccions d'accés a memòria

- Instruccions lwc1 i swc1 (load/store word coprocessor 1. sobre registres \$f0, \$f1...).
- Instruccions ldc1 i sdc1 (load/store double coprocessor 1. sobre registres \$f0, \$f1...).

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Instruccions d'accés a memòria. Exemple:

```
float a, b, c;
```

```
main() {  
    c = a + b;  
}
```

```
la      $t1, a  
lwc1    $f4, 0($t1)  
la      $t2, b  
lwc1    $f6, 0($t2)  
add.s   $f2, $f4, $f6  
la      $t3, c  
swc1    $f2, 0($t3)
```

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Paràmetres i resultats

- Sols estudiarem 1 cas: si la subrutina té només 1 o 2 paràmetres i els 2 són de coma flotant de simple precisió (float).
- Es passen en els registres \$f12 i \$f14 del coprocessador, i el resultat, si és de coma flotant (float) es passa en \$f0.

5.5.5 Representació en coma flotant MIPS

Exemple complert:

```
float func(float a) {  
    if (a < 1.0)  
        return a*a;  
    else return a-1.0;  
}
```

```
.data  
const: .float 1.0  
...  
func:  
    la      $t0, const1  
    lwcl    $f16, 0($t0)  
    c.lt.s  $f12, $f16  
    bclf    else
```

Índex

- 1 5.5 Coma flotant: suma i multiplicació
 - 5.5.4 Coma flotant: multiplicació
 - 5.5.5 Representació en coma flotant MIPS
 - 5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

- Associativitat de la suma:

$$x + (y + z) = (x + y) + z$$

- La suma en coma flotant NO és associativa ja que els resultats intermitjos no són exactes.
- És a dir, l'ordre en que es realitzen les operacions importa. Això té implicacions en el paral·lelisme.

5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

Exemple: de (no) associativitat. Donats:

$$x = -2^{24}$$

$$y = 2^{24}$$

$$z = 1$$

Fem primer:

$$x + (y + z) = -2^{24} + (2^{24} + 1)$$

$$(2^{24} + 1) =$$

	GRS
1.000 0000 0000 0000 0000 0000	* 2 ²⁴
+0.000 0000 0000 0000 0000 0000	100 * 2 ²⁴

1.000 0000 0000 0000 0000 0000	100 * 2 ²⁴

5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

Si arrodonim:

$$1.000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000 * 2^{24} = 2^{24}$$

$$(2^{24} + 1) = 2^{24}$$

$$-2^{24} + (2^{24} + 1) = -2^{24} + 2^{24} = 0$$

$$x + (y + z) = -2^{24} + (2^{24} + 1)$$

$$x + (y + z) = 0$$

5.5.6 Coma flotant: (no) associativitat

Però:

$$(x+y)+z = (-2^{24} + 2^{24}) + 1 = 1$$