

# Exercici:

## Memòria cau

**Noms:** Pol Moreno

**Data:** 18/05/2016

Arquitectura de computadors

Disposem d'un computador de 32 bits que direcciona la memòria a nivell de bytes i que disposa d'una memòria cau per instruccions i una memòria cau de dades. Les dues memòries disposen de línies de 16 bytes (4 paraules) i una assignació de correspondència associativa per conjunts de  $n$  vies amb un algoritme de substitució LRU. S'utilitza una política de post-escriptura.

Considereu el següent fragment de codi:

```
for (i=0; i < 65536; i++)  
  
    a[i] = b[i] + c[i] + d[i];
```

On  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$  representen vectors de **65536** nombres sencers (de 32 bits), que s'emmagatzemen a memòria de forma consecutiva. El vector  $a$  comença a l'adreça  $m$ . A continuació s'emmagatzema  $d$ ,  $c$  i finalment  $b$ . Considerant que inicialment la cau està buida, es demana:

1) Per una grandària de memòria cau de dades de 128 KBytes, s'estudien dos graus d'associativitat:  $n=2$  o  $n=4$  (2 o 4 vies). Calculeu i raoneu quina és la taxa d'encerts en cadascun del dos casos i compareu els dos escenaris.

Justifiqueu les respostes. Considereu només l'accés a les memòria de dades.

La taxa d'encerts de la memòria cau mesura la probabilitat de trobar a la memòria cau la dada que volem accedir.

*El valor de  $m$  es correspon al vostre DNI. Podeu modificar algun dígit si ho justifiqueu.*

Primer de tot, hem de canviar algun dígit del meu DNI perquè sigui múltiple de 4, ja que accedim a la memòria RAM a nivell de paraula. En el meu cas, he canviat el últim dígit a 2 perquè sigui múltiple de 4. Per tant, el valor de m serà 39393692.

**n=2**

Com que tenim una correspondència associativa amb 2 vées tenim:

Cada conjunt tindrà x bytes:

$$16 \frac{\text{bytes}}{\text{linia}} * 2 \text{ línies} = 32 \text{ bytes per cada conjunt}$$

El nombre total de conjunts és:

$$\frac{128 * 1024}{32} = 4096 \text{ conjunts} = 4k \text{ Conjunts}$$

El nombre de bits per redireccionar el conjunt serà:

$$\frac{\frac{\text{Dades memoria cau (kb)} * 1024}{\text{Memoria per linia}}}{n} = \frac{\frac{128 * 1024}{16}}{2} = 4096 \text{ bits} = 2^{12}$$

Necessitarem 4 bits per redireccionar els 16 bytes que tenim a cada bloc. Per tant, els bits destinats a l'etiqueta són:

$$32-12-4 = 16$$

|                    |                   |                                     |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Etiqueta (16 bits) | Conjunt (12 bits) | Bits redireccionament byte (4 bits) |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|

Tenim 65536 iteracions. Per trobar la longitud del vector farem:

$$2^{\log_2 65536} * \frac{32 \text{ bits}}{8} - 1 = 2^{\log_2 65536} * 4 \text{ bytes} - 1 = 262143$$

Llavors, la longitud dels vectors seran:

Vector A      39393692      -      393D3691

|          |          |   |          |
|----------|----------|---|----------|
| Vector B | 393D3692 | - | 39413691 |
| Vector C | 39413692 | - | 39453691 |
| Vector D | 39453692 | - | 39493691 |

Llavors, els accesos a la memòria cau seran:

| VALOR | Direcció | Tipu       | Conjunt | Linia | Esdeveniment |
|-------|----------|------------|---------|-------|--------------|
| b[0]  | 393D3692 | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| c[0]  | 39413692 | Lectura    | 369     | 1     | Fallada      |
| d[0]  | 39453692 | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| a[0]  | 39393692 | Escriptura | 369     | 1     | Fallada      |
| -     | -        | -          | -       | -     | -            |
| b[1]  | 393D3696 | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| c[1]  | 39413696 | Lectura    | 369     | 1     | Fallada      |
| d[1]  | 39453696 | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| a[1]  | 39393696 | Escriptura | 369     | 1     | Fallada      |
| -     | -        | -          | -       | -     | -            |
| b[2]  | 393D369A | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| c[2]  | 3941369A | Lectura    | 369     | 1     | Fallada      |
| d[2]  | 3945369A | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| a[2]  | 3939369A | Escriptura | 369     | 1     | Fallada      |
| -     | -        | -          | -       | -     | -            |
| b[3]  | 393D369E | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| c[3]  | 3941369E | Lectura    | 369     | 1     | Fallada      |
| d[3]  | 3945369E | Lectura    | 369     | 0     | Fallada      |
| a[3]  | 3939369E | Escriptura | 369     | 1     | Fallada      |
| -     | -        | -          | -       | -     | -            |
| b[4]  | 393D36A2 | Lectura    | 36A     | 0     | Fallada      |
| c[4]  | 394136A2 | Lectura    | 36A     | 1     | Fallada      |
| d[4]  | 394536A2 | Lectura    | 36A     | 0     | Fallada      |
| a[4]  | 393936A2 | Escriptura | 36A     | 1     | Fallada      |

En el primer cas, no trobem el valor de b[0] ja que inicialment la memòria cau està buida. El següent valor (c[0]) també produeix una fallada, i el guardem a la segona línia. Al llegir el valor d[0] es produirà una fallada, i com el guardem al mateix conjunt haurem d'alliberar memòria, ja que només tenim 2 línies. Al tenir un algoritme de substitució LRU,

treurem de la memòria cau el valor més antic que no hem utilitzat, per tant, treurem b[0]. Això es va repetint en tot moment, per tant, amb n=2, sempre tindrem fallades, per tant:

$$freqüència d'encert (\%) = \frac{Nombre\ encerts}{Nombre\ total\ accesos} * 100 = \frac{0}{8} * 100 = 0\%$$

**n=4**

Ara analitzarem el cas quan el nombre de vies sigui 4. Hem de tornar a calcular el nombre de conjunts:

$$16 \frac{bytes}{linia} * 4\ linies = 64\ bytes\ per\ cada\ conjunt$$

El nombre de conjunts serà:

$$\frac{128 * 1024}{64} = 2048\ conjunts = 2k\ Conjunts$$

El nombre de bits per redireccionar el conjunt serà:

$$\frac{\frac{Dades\ memòria\ cau\ (kb) * 1024}{Memòria\ per\ linia}}{n} = \frac{\frac{128 * 1024}{16}}{4} = 2048\ bits = 2^{11}$$

Necessitarem 4 bits per redireccionar els 16 bytes que tenim a cada bloc. Per tant, els bits destinats a l'etiqueta són:

$$32-11-4 = 17$$

|                    |                   |                                     |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Etiqueta (17 bits) | Conjunt (11 bits) | Bits redireccionament byte (4 bits) |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|

Els accesos a la memòria cau seran:

| VALOR | Direcció | Tipu      | Conjunt | Linia | Esdeveniment |
|-------|----------|-----------|---------|-------|--------------|
| b[0]  | 393D3692 | Lectura   | 369     | 0     | Fallada      |
| c[0]  | 39413692 | Lectura   | 369     | 1     | Fallada      |
| d[0]  | 39453692 | Lectura   | 369     | 2     | Fallada      |
| a[0]  | 39393692 | Espectura | 369     | 3     | Fallada      |
| -     | -        | -         | -       | -     | -            |

|      |          |            |     |   |         |
|------|----------|------------|-----|---|---------|
| b[1] | 393D3696 | Lectura    | 369 | 0 | Encert  |
| c[1] | 39413696 | Lectura    | 369 | 1 | Encert  |
| d[1] | 39453696 | Lectura    | 369 | 2 | Encert  |
| a[1] | 39393696 | Escriptura | 369 | 3 | Encert  |
| -    | -        | -          | -   | - | -       |
| b[2] | 393D369A | Lectura    | 369 | 0 | Encert  |
| c[2] | 3941369A | Lectura    | 369 | 1 | Encert  |
| d[2] | 3945369A | Lectura    | 369 | 2 | Encert  |
| a[2] | 3939369A | Escriptura | 369 | 3 | Encert  |
| -    | -        | -          | -   | - | -       |
| b[3] | 393D369E | Lectura    | 369 | 0 | Encert  |
| c[3] | 3941369E | Lectura    | 369 | 1 | Encert  |
| d[3] | 3945369E | Lectura    | 369 | 2 | Encert  |
| a[3] | 3939369E | Escriptura | 369 | 3 | Encert  |
| b[4] | 393D36A2 | Lectura    | 36A | 0 | Fallada |
| c[4] | 394136A2 | Lectura    | 36A | 1 | Fallada |
| d[4] | 394536A2 | Lectura    | 36A | 2 | Fallada |
| a[4] | 393936A2 | Escriptura | 36A | 3 | Fallada |
| -    | -        | -          | -   | - | -       |
| b[5] | 393D36A6 | Lectura    | 36A | 0 | Encert  |
| c[5] | 394136A6 | Lectura    | 36A | 1 | Encert  |
| d[5] | 394536A6 | Lectura    | 36A | 2 | Encert  |
| a[5] | 393936A6 | Escriptura | 36A | 3 | Encert  |
| -    | -        | -          | -   | - | -       |
| b[6] | 393D36AA | Lectura    | 36A | 0 | Encert  |
| c[6] | 394136AA | Lectura    | 36A | 1 | Encert  |
| d[6] | 394536AA | Lectura    | 36A | 2 | Encert  |
| a[6] | 393936AA | Escriptura | 36A | 3 | Encert  |
| -    | -        | -          | -   | - | -       |
| b[7] | 393D36AE | Lectura    | 36A | 0 | Encert  |
| c[7] | 394136AE | Lectura    | 36A | 1 | Encert  |
| d[7] | 394536AE | Lectura    | 36A | 2 | Encert  |
| a[7] | 393936AE | Escriptura | 36A | 3 | Encert  |
| b[8] | 393D36B2 | Lectura    | 36B | 0 | Fallada |
| c[8] | 394136B2 | Lectura    | 36B | 1 | Fallada |
| d[8] | 394536B2 | Lectura    | 36B | 2 | Fallada |
| a[8] | 393936B2 | Escriptura | 36B | 3 | Fallada |

|      |          |           |     |   |        |
|------|----------|-----------|-----|---|--------|
| b[9] | 393D36B6 | Lectura   | 36B | 0 | Encert |
| c[9] | 394136B6 | Lectura   | 36B | 1 | Encert |
| d[9] | 394536B6 | Lectura   | 36B | 2 | Encert |
| a[9] | 393936B6 | Espectura | 36B | 3 | Encert |

Al estar inicialment buida com abans, els 4 primers valors donaràn errada, però després, al tenir el mateix conjunt i etiqueta els vectors de 0 a 3 , trobarem encert en les 3 pròximes iteracions. En b[4] tornarem a tenir una fallada ja que l'etiqueta és la mateixa però el conjunt ha variat. Per tant, podem deduir el patró que seguirà la memòria cau, que serà de 3\*4 encerts cada 4 fallades. Per tant, el percentatge d'encerts serà:

$$freqüència d'encert (\%) = \frac{Nombre\ encerts}{Nombre\ total\ accesos} * 100 = \frac{12}{16} * 100 = 75\%$$