



PROBLEMAS SISTEMAS EMPOTRADOS MEMORIA

1.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 64 K palabras y una memoria cache Mc de 4 K palabras con líneas de 64 palabras. En él se ejecuta 9 veces consecutivas un bucle de programa que recorre secuencialmente desde la dirección 0 de memoria a la dirección 4351. Si se supone inicialmente vacía la memoria cache y que el tiempo de acceso a Mp es 4 veces superior al de Mc, calcular el número de fallos, aciertos y tiempo medio de acceso en los siguientes supuestos:

- a) Memoria cache con correspondencia directa.
- b) Memoria cache con correspondencia asociativa por conjuntos de 4 vías que utiliza la política de reemplazamiento LRU.

2.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 4 MB y una memoria cache Mc de 32 Kbytes. Mc tiene un tamaño de línea de 8 bytes, un grado de asociatividad de 4 y una política de reemplazamiento LRU. Mp está diseñada como memoria entrelazada de orden inferior de manera que direcciones consecutivas se encuentran ubicadas en módulos consecutivos y con un número de módulos tal que permita minimizar el tiempo de transferencia de bloques entre Mp y Mc. Se pide:

- a) Número de módulos de Mp y tamaño de los mismos.
- b) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mp
- c) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.
- d) Si un programa referencia direcciones pertenecientes a los bloques:

63, 64, 128, 1025, 1026, 1027, 2049, 127, 340, 4097, 1025, 1024, 6145, 6147, 6148, 3073, 128, 0, 125

determinar el contenido de los bits de etiqueta correspondientes al conjunto 1.

3.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 64 Kbytes y una memoria cache Mc de 2 Kbytes organizada en 2 conjuntos, con un grado de asociatividad de 4 y 256 bytes por línea. Se pide:

- a) Esquema de correspondencia entre Mp y Mc.
- b) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.
- c) Si en un determinado instante el conjunto 0 contiene las etiquetas (10, 8, 9, 11) y el conjunto 1 las etiquetas (8, 9, 10, 11) ¿Qué bloques de Mp están cargados en Mc ?

4.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp y una cache Mc. Mp tiene una dimensión de 128 K palabras y está estructurada como un conjunto de módulos de 256 palabras con entrelazado de orden inferior. Mc tiene un tamaño de 2 K palabras con líneas de 256 palabras y una correspondencia directa. Se pide:

- a) Número de módulos de Mp.
- b) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mp
- c) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.
- d) Correspondencia de bloques de Mp y líneas de Mc.

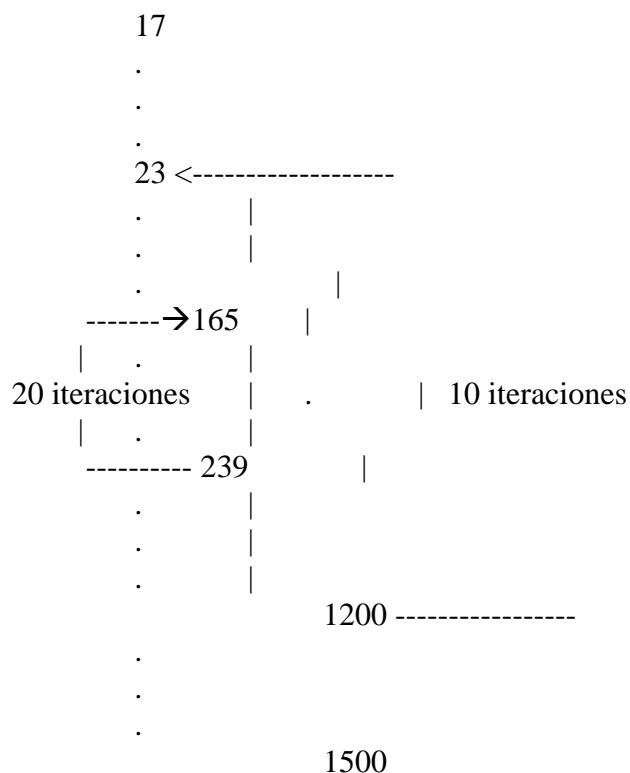
5.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 4 K palabras y una cache Mc de 1 K palabras asociativa por conjuntos, con 4 bloques por conjunto y 16 palabras por bloque, con política de reemplazamiento RLU. Se ejecuta 5 veces el programa que referencia las siguientes direcciones:

0, 1, 2, ..., 1023, 1040, 1041, ..., 1055

Si el tiempo de acceso a Mp es 10 veces superior al de Mc se pide:

- a) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.
- b) Evolución de los conjuntos de bloques durante la ejecución del programa.
- c) Tiempo medio de acceso a memoria.

6.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 64 K palabras y una cache Mc de 1 K palabras con correspondencia directa y 64 palabras por bloque. El tiempo de ciclo de Mp es 10 veces superior al de Mc. Se ejecuta un programa que sigue el siguiente perfil de referencias a memoria:



Se pide:

- a) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.
- b) Tiempo de ejecución del programa despreciando las posibles operaciones de lectura y escritura de operandos.

7.- Un sistema empotrado dispone de un sistema de memoria central constituido por una memoria principal Mp de 4096 bloques de 128 palabras cada uno, y una cache Mc asociativa por conjuntos de 4 vías con 64 bloques. Se pide:

- a) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mp
- b) Interpretación de los bits de la dirección física del sistema de memoria para Mc.

8.- Un sistema empotrado funciona a una frecuencia de 10 MHz (10^7 ciclos/seg) con un CPI = 4 ciclos y cada operación de lectura o escritura de memoria tarda un ciclo. Determinar la máxima velocidad de transferencia de datos, en palabras por segundo, para los cuatro casos siguientes:

- a) E/S controlada por programa que utiliza 3 instrucciones en transferir cada palabra.
- b) DMA con transferencia por ráfagas (cuando comienza la transferencia se hace completa).
- c) DMA con transferencia por robo de ciclo (en cada ciclo de instrucción se transfiere una palabra).
- d) DMA con transferencia transparente suponiendo que en cada instrucción, en promedio, hay 2 ciclos en los cuales la CPU no utiliza el bus.

9.- Un sistema empotrado tiene las siguientes características:

- longitud de palabra: 16 bits
- número medio de ciclos para ejecutar una instrucción: 4
- velocidad de ejecución de instrucciones: 2 MIPS

Se conecta un periférico que transmite a una velocidad de 19.200 bits/segundo a través de un controlador de DMA que funciona mediante robo de ciclo.

¿En qué porcentaje se reduce la velocidad del procesador?

1. Mp 64 K palabras

Mc 4 K palabras

↳ líneas de 64

$$\left. \begin{array}{l} 0 \\ \vdots \\ 4351 \end{array} \right] T_{Mp} = 4T_{Mc}$$

9 veces

$$\text{Accesos} \rightarrow 4352 \cdot 9 = 39168 \text{ accesos.}$$

$$\text{Aciertos} \rightarrow 39168 - 132 = 39136 \text{ aciertos}$$

a) Correspondencia directa:

$$n^{\circ} \text{ líneas} = \frac{2^2 \cdot 2^{10}}{2^6} = 64 \text{ líneas}$$

Del 0 al 4096 llenan las 64 líneas = 64 fallos

$$4351 - 4096 = 255 \text{ dir. que van a dar error}$$

$$\frac{255}{64} \approx 4 \text{ fallos. Total} \rightarrow 68 \text{ fallos 1a vuelta.}$$

$$\text{Resto de fallos} \rightarrow 8 \cdot 4 \cdot 2 = 64 \text{ fallos}$$

$$\text{Total fallos} = 68 + 64 = \underline{\underline{132 \text{ fallos}}}$$

$$T_{\text{medio}} = \frac{39136 \cdot T_{Mc} + 132 \cdot 4 \cdot T_{Mc}}{39168}$$

$$\underline{\underline{T_{\text{medio}} = 1'0127 T_{Mc}}}$$

b) Asociativa por ejtos de 4 vías LRU:

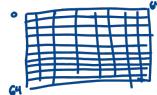
$64/4 = 16$ conjuntos de 4 bloques cada uno, 64 bloques.

En la 1^a vuelta se producen 64 fallos + 4 = 68 fallos

Fallos restantes: $8 \cdot 4 \cdot 5 = 160 + 68 = \underline{\underline{228 \text{ fallos}}}$

Aciertos: $39168 - 228 = \underline{\underline{38940}}$

$$T_{\text{medio}} = \frac{38940 \cdot T_{Mc} + 228 \cdot 4 \cdot T_{Mc}}{39168} = \underline{\underline{1'017 T_{Mc}}}$$



$$3. Mp \text{ } 64 \text{ Kbytes} = 2^{16} \xrightarrow{\text{bits}} \text{ totals}$$

Mc 2 Kbytes $\rightarrow 2^{11}$

L> 2 ejes, asociatividad⁴
256 bytes/línea = 2^8

$$a) \frac{2^6 \cdot 2^{10}}{256} = 256 \text{ lines}$$

$$\log_2 256 = 8 \text{ bits para desplaz. byte}$$

$\log_2 2 = 1$ bit para pos en cache

$$16 - 8 - 1 = 7 \text{ bits de etiqueta}$$

$$n^{\circ} \text{ líneas en } M_c = \frac{\text{Tam. } M_c}{\text{Tam. línea}} = \frac{2''}{2^8} = 2^3 = 8 \text{ líneas}$$

$$\text{línneas por conjunto} = \frac{8 \text{ líneas}}{2 \text{ conjuntos}} = 4 \text{ líneas/conjunto.}$$

b) Dirección: Etiqu (p) desplaz.

| Caché: | | | |
|------------|-----------|------------|-----------|
| Conjunto 0 | | Conjunto 1 | |
| Etag | Línea | Etag | Línea |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| 7 bits | 256 bytes | 7 bits | 256 bytes |

c) En el conjunto O: etiquetas

En el conjunto 1 : etiquetas {

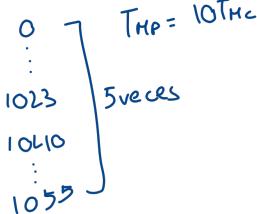
| | |
|--------------|-------------|
| 8 : 0010001 | → bloque 17 |
| 9 : 0010011 | → bloque 19 |
| 10 : 0010101 | → bloque 21 |
| 11 : 0010111 | → bloque 23 |

$$5. M_p \text{ 4K palabras} = 2^{12}$$

$$M_c \text{ 1K palabras} = 2^{10}$$

L, 4 bloques/conjunto

L, 16 palabras/bloque



$$\text{a) } 2^{12} \text{ palabras} \rightarrow \log_2 2^{12} = 12 \text{ bits en total}$$

$$\text{nº conjuntos} = \frac{2^{10}}{2^{2 \cdot 4}} = 2^4 = 16 \text{ conjuntos}$$

$$\log_2 16 = 4 \text{ bits desplaz.}$$

$$\log_2 16 = 4 \text{ bits indice conjunto.}$$

$$12 - 4 - 4 = 4 \text{ bits para etiqueta.}$$

$$\text{Dir. física: } \boxed{\begin{array}{|c|c|c|} \hline \text{Etiq} & \text{Pos.} & \text{Desplaz.} \\ \hline \end{array}}$$

b) Evolución de los conjuntos de bloques

$$\text{nº bloques} = 4 \cdot 16 = 64 \text{ bloques} \cdot 16 = 1024 \text{ palabras}$$

Con la dir. 0 a 1023 se llenan todos los bloques existentes en la caché.

$1055 - 1040 + 1 = 16$ direcciones que van a reemplazar a otras.

$$1024 - 1039 \rightarrow \text{Bloque 0}$$

$$1040 - 1055 \rightarrow \text{Bloque 1}$$

$$\frac{1040}{16} \bmod 64 = 1 \rightarrow \text{Bloque}$$

$$\frac{1055}{16} \bmod 64 = 1 \rightarrow \text{Bloque}$$

El bloque 1 entero se va a estar reemplazando continuamente.

$$\text{c) Accesos} \rightarrow 1024 + 16 = 1040 \cdot 5 = 5200 \text{ accesos.}$$

$$\text{Fallas} \rightarrow 1^{\text{a}} \text{ vuelta: } 64 + 1 = 65 \text{ fallas}$$

$$\text{Restantes: } 4 \cdot 1 \cdot 5 = 20 \text{ fallas}$$

$$\text{Total: } 85 \text{ fallas}$$

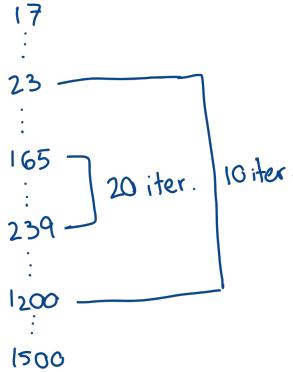
$$T_{\text{medio}} = \frac{(5200 - 85) \cdot T_{HC} + 85 \cdot 10 \cdot T_{HC}}{5200} = \underline{\underline{11471 T_{HC}}}$$

$$6. M_p \text{ 64 Kpalabras} = 2^{16}$$

$$M_c \text{ 1 Kpalabras} = 2^{10}$$

\hookrightarrow 64 palabras/bloque

$$T_{M_p} = 10 T_{M_c}$$



a) Interpretación de los bits:

$$\log_2 2^{16} = 16 \text{ bits en total}$$

$$\log_2 64 = 6 \text{ bits desplaz.byte.}$$

$$\text{nº bloques} = \frac{2^{10}}{2^6} = 2^4 = 16 \text{ bloques.}$$

$$\log_2 16 = 4 \text{ bits pos bloq.}$$

$$16 - 6 - 4 = 6 \text{ bits para la etiqueta.}$$

Dir. física:

| | | |
|--------|------|----------|
| 6 | 4 | 6 |
| Etiqu. | Pos. | Desplaz. |

b) Tiempo de ejecución:

$$\text{Accesos} \rightarrow 22 - 17 + 1 = 6$$

$$((164 - 23 + 1) + (1200 - 240 + 1)) \cdot 10 = 11030$$

$$(239 - 165 + 1) \cdot 20 = 1500 \cdot 10 = 15000$$

$$1500 - 1201 + 1 = 300 \quad \text{Total: } \underline{\underline{26336}}$$

$$\begin{aligned} &\frac{17 - 23}{64} : \\ &\left[\frac{17}{64} \right] = 0 \\ &\left[\frac{23}{64} \right] = 0 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Bloque 0} \rightarrow 1 \text{ fallo} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} &\frac{23 - 165}{64} : \\ &\left[\frac{23}{64} \right] = 0 \\ &\left[\frac{165}{64} \right] = 2 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Bloques 0-2} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} &\frac{165 - 239}{64} : \\ &\left[\frac{165}{64} \right] = 2 \\ &\left[\frac{239}{64} \right] = 3 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Bloques 2-3} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} &\frac{239 - 1200}{64} : \\ &\left[\frac{239}{64} \right] = 3 \\ &\left[\frac{1200}{64} \right] = 18 - 16 = 2 \end{aligned}$$

FALLOS:

• Inicio: solo 1 bloque accedido \rightarrow 1 fallo

• Bucle externo:

1ª vuelta: todos bucles accedidos \rightarrow 17 fallos

Resto: $9 \cdot 3 \cdot 2 = 54$ fallos

• Bucle interno:

1ª vuelta: fallo del bloque 3 \rightarrow 1 fallo

Resto: 0 fallos (acceden mismo bloques)

• Final:

Todo fallos, bloques 2-7 = 5 fallos.

$$\text{nº fallos} = 1 + 1 + 5 + 54 + 17 = 78$$

$$T_{\text{medio}} = \frac{(26336 - 78) T_{M_c} + 78 \cdot 10 T_{M_c}}{26336} = \underline{\underline{1'0277 T_{M_c}}}$$

7) Mp de 4096 bloques de 128 palabras

M_c 4 vías con 64 palabras

a) Interpretación bits para Mp:



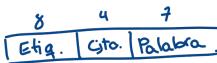
$$\text{nº palabras} = 4096 \cdot 128 = 524288 \text{ palabras}$$

$$\log_2 524288 = 19 \text{ bits en total}$$

$$\log_2 4096 = 12 \text{ bits para pos. bloque}$$

$$\log_2 128 = 7 \text{ bits para palabra}$$

b) Interpretación bits para M_c:



$$\text{nº bloques} = 64 \cdot 4 = 256$$

$$\log_2 128 = 7 \text{ bits para palabra.}$$

$$\text{nº conjuntos} = \frac{64}{4} = 16 \text{ conjuntos}$$

$$\log_2 16 = 4 \text{ bits para índice cijo.}$$

$$19 - 7 - 4 = 8 \text{ bits para etiqueta.}$$

8) f = 10 MHz con CPI=4 ciclos

op. L/E = 1 ciclo

$$10 \text{ MHz} = 10^7 \text{ ciclos/s}$$

b) DMA por ráfagas:

$$T_{palabra} = 1 \text{ ciclo.}$$

$$V_{transf.} = \frac{10^7}{1} \cancel{\text{ palabras/seg.}}$$

c) DMA robo de ciclo:

$$V_{transf.} = \frac{10^7}{CPI+1} = \frac{10^7}{5} \cancel{\text{ palabras/seg.}}$$

a) E/S controlada por programa (3 instr./palabra):
Para transferir una palabra se necesitan 3 instr.
cada instr. requiere 4 ciclos, por lo que:
 $T_{palabra} = 3 \text{ instr.} \cdot \frac{4 \text{ ciclos}}{\text{instr.}} = 12 \text{ ciclos}$
 $V_{transf.} = \frac{\text{frec.}}{T_{palab.}} = \frac{10^7}{12} \text{ palabras/seg.}$

d) DMA con transferencia transparente:

Como hay 2 ciclos por instrucción:

$$V_{transf.} = \frac{10^7}{2} \text{ p/s}$$

9. longitud palabra \rightarrow 16 bits

nº ciclos para ejecutar una instrucción \rightarrow 4

velocidad ej. instrucciones \rightarrow 2 MIPS

Vel. = 19200 bits/s , funciona mediante robo de ciclo.

$$V = \frac{19200 \text{ b/s}}{16 \text{ b/p}} = 1200 \text{ p/s} , \text{ roba } 1200 \text{ ciclos/s} \sim \frac{1200 \text{ instr./s}}{4} = 300 \text{ instr./s}$$

$$\frac{300 \text{ instr.}}{2 \cdot 10^6} = \underline{\underline{0'015\%}}$$

8.

- $f = 10 \text{ MHz} = 10^7 \text{ ciclos/seg}$ a) E/S controlada por programa c) DMA ronda de ciclo. $F = \frac{10^7}{5} \text{ p/s}$
 $CPI = 4 \text{ ciclos}$ 3 instrucciones. $F = \frac{10^7}{2} \text{ p/s}$ d) DMA $F = \frac{10^7}{2} \text{ p/s}$
 máxima velocidad de transferencia?

9. Longitud palabra: 16 bits $v = \frac{192000 \text{ b/s}}{16 \text{ b/p}} = 1200 \text{ p/s}$

$$\begin{aligned} CPI &= 4 \\ 2 \text{ MIPS} & \end{aligned}$$

$$\text{Ronda } 1200 \text{ ciclos/s} \sim \frac{1200}{4} \text{ inst/s}$$

$$\frac{300 \text{ inst}}{2 \cdot 10^6} = 0'015\% \quad \underline{\underline{}}$$

1. $M_p = 64 \text{ Kp}$

$$M_c = 4 \text{ Kp}$$

$$1 \text{ linea} \rightarrow 64 \text{ p}$$

$$t_{mp} = 4 t_{mc}$$

a) directa

$$\text{nº líneas} = \frac{2^{12} \text{ p}}{2^6 \text{ p/línea}} = 2^6 \text{ líneas} = 64$$

$$\frac{4852 \text{ p}}{64 \text{ p/bloque}} = 68 \text{ bloques}$$

1ª vuelta 63 fallos

$$2^{12-9} = 4 \cdot 2 \cdot 8 = 64$$



b) Asociativa conjuntos

$$4 \text{ vías} \quad \text{nº cítos} = \frac{64}{4} = 16$$

1ª vuelta 68 fallos

$$2^{12-9} = 4 \cdot 5 \cdot 8 = 160$$

$$\text{nº fallos} = 228$$

$$\text{nº aciertos} = 38940$$

$$t_{\text{medio}} = 1018 \text{ Tmc}$$