

EJERCICIOS RESUELTOS

PROBLEMA 1. (Examen Arquitectura de Computadores de Septiembre de 2013) Un sistema computador (sin memoria virtual) tiene una memoria principal de 1 Mpalabras de 8 bits cada una de ellas y una memoria caché de 1 Kpalabras, dividida en 4 bloques/conjunto, con 128 palabras/bloque. Se supone que, después de haber estado la memoria caché “vacía”, en el *instante 1* se encuentran en la memoria caché los bloques de memoria principal 12 a 18, ambos inclusivos, leídas todas las direcciones de cada uno de ellos una vez y en el mismo orden que les corresponde en la memoria principal. Suponer que el algoritmo de reemplazamiento de bloques es el LRU (Least Recently Used).

- a) Mostrar el formato de la dirección que define la unidad central de proceso, definiendo cada uno de los campos en los que se divide.
- b) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 1*.
- c) ¿Qué frecuencia de uso, en relación con la frecuencia de uso global de la caché, tiene en ese *instante 1* cada uno de los bloques que se encuentran en dicha memoria caché?

A continuación, la CPU lee la secuencia de direcciones de memoria: 2433, 2434, 2435, 1536, 1537, 1538, 1539, 5, 6, 7, 8, 9, 130, 131, 132, 133, 134 y 135 (*instante 2*), según el orden marcado en la misma.

- d) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 2*.
- e) ¿Qué frecuencias de uso (referida al conjunto 0 nada más) tendrían los bloques que se encuentran en el conjunto 0?. Si se tuviera que aplicar el algoritmo LFU, ¿qué bloque de los que están en ese conjunto se sustituiría?.

Siguiendo con las lecturas de la CPU, se vuelven a leer todas las direcciones de memoria de los bloques 12 a 18 una vez (*instante 3*).

- f) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 3*.
- g) Hasta ese *instante 3*, ¿cuántos fallos de cada uno de los tipos posibles se han producido?.
- h) Cada vez que se compara la etiqueta de la dirección para saber si el bloque que la contiene está o no está en la memoria caché, ¿cuántas comparaciones se hacen a la vez?.

SOLUCIÓN:

Memoria Principal de 1 Mpalabras: Dirección de 20 bits

$$\frac{\text{Memoria Caché}}{1\text{Kpalabras}} \cdot \frac{128 \text{ palabras}}{\text{Bloque}} = \frac{\text{Memoria Caché} \cdot 2^7 \text{ palabras}}{\frac{2^{10} \text{ palabras} \cdot \text{Bloque}}{4 \text{ Bloques}} \cdot \text{Conjunto}} = \frac{\text{Memoria Caché}}{2^3 \text{ Bloques}} \quad \left. \vphantom{\frac{\text{Memoria Caché}}{1\text{Kpalabras}}} \right\} \Rightarrow$$

⇒ La Memoria Caché tiene 2 conjuntos con cuatro bloques cada uno de ellos

a) Formato de la dirección:

12bits	1 bit	7 bits
Etiqueta	Conjunto	Palabra

b) *Instante 1*: En Memoria Principal se encuentran los bloques 12(1536-1663) a 18(2304-2431):

C0	C1
B12	B13
B14	B15
B16	B17
B18	

c) Frecuencia de uso de cada uno de los bloques que se encuentran en Memoria Caché, relacionándola con la frecuencia de uso global:

$$\frac{n^{\circ} \text{ de referencias de un bloque}}{n^{\circ} \text{ de referencias totales}} = \frac{128 \text{ referencias}}{128 \frac{\text{referencias}}{\text{bloque}} \cdot 7 \text{ bloques}} = 0,142857 \equiv 14,29 \%$$

d) CPU lee la secuencia de direcciones: 2433, 2434, 2435, 1536, 1537, 1538, 1539, 5, 6, 7, 8, 9, 130, 131, 132, 133, 134 y 135 (*instante 2*):

- 2433, 2434 y 2435 pertenecen al B19 (Primera referencia un fallo forzoso)
- 1536, 1537, 1538 y 1539 pertenecen al B12 (Aciertos)
- 5, 6, 7, 8 y 9 pertenecen al B0 (Primera referencia un fallo forzoso)
- 130, 131, 132, 133, 134 y 135 pertenecen al B1 (Primera referencia un fallo forzoso)

Por lo tanto, y dado que el algoritmo de reemplazo es el LRU, el estado de la Memoria Caché en el *Instante 2* es:

C0	C1
B12	B13 B1
B14 B0	B15
B16	B17
B18	B19

e) Frecuencia de uso de los bloques del C0, referida al C0:

B12: (128+4) referencias

B0: 5 referencias

B16: 128 referencias

B18: 128 referencias

Por lo tanto:

$$B12: \begin{cases} \frac{128+4}{128+4+5+128 \cdot 2} = 0,3359 \equiv 33,59 \% \text{ (B12, B0, B16, B18)} \\ \frac{128+4}{128+4+5+128 \cdot 2+128} = 0,2534 \equiv 25,34 \% \text{ (B12, B0, B16, B18, B14)} \end{cases}$$

$$B0: \begin{cases} \frac{5}{128+4+5+128 \cdot 2} = 0,0127 \equiv 1,27 \% \text{ (B12, B0, B16, B18)} \\ \frac{5}{128+4+5+128 \cdot 2+128} = 0,0095 \equiv 0,95 \% \text{ (B12, B0, B16, B18, B14)} \end{cases}$$

$$B16: \begin{cases} \frac{128}{128+4+5+128 \cdot 2} = 0,3257 \equiv 32,57 \% \text{ (B12, B0, B16, B18)} \\ \frac{128}{128+4+5+128 \cdot 2+128} = 0,2457 \equiv 24,57 \% \text{ (B12, B0, B16, B18, B14)} \end{cases}$$

$$B18: \begin{cases} \frac{128}{128+4+5+128 \cdot 2} = 0,3257 \equiv 32,57 \% \text{ (B12, B0, B16, B18)} \\ \frac{128}{128+4+5+128 \cdot 2+128} = 0,2457 \equiv 24,57 \% \text{ (B12, B0, B16, B18, B14)} \end{cases}$$

Con el algoritmo LFU el bloque que se sustituiría sería el B0 y con el algoritmo LRU se sustituye el B16.

f) Se vuelven a leer las direcciones de B12 a B18 una vez (*Instante 3*), el estado de la Memoria Caché se muestra a continuación:

C0	C1
B12	B13 B1
B14 B0 B18	B15 B13
B16 B14	B17 B15
B18 B16	B19 B17

g) Fallos que se han producido de cada uno de los tipos posibles hasta el *instante 3*:

- Hasta el *instante 1* se produjeron: 7 Fallos Forzosos (uno por la lectura de cada primera dirección de los bloques B12 a B18).
- Después del *instante 1* y hasta el *instante 2* se han producido: 3 Fallos Forzosos (uno al leer la dirección 2433 del B19; otro al leer la dirección 5 del B0; y, por último, un fallo al leer la dirección 130 del B1).
- Después del *instante 2* y hasta el *instante 3* se han producido: 6 Fallos de Capacidad (uno al leer la primera dirección del B13; otro al leer la primera dirección del B14; otro al leer la primera dirección del B15; otro al leer la primera dirección del B16; otro al leer la primera dirección del B17; y, por último, otro al leer la primera dirección del B18). Estos fallos son de Capacidad porque los bloques estuvieron anteriormente en la Memoria Caché, fueron

sacados de la misma y han tenido que volver, estando la Memoria Caché llena.

h) Cada vez hay que hacer tantas comparaciones a la vez como bloques tiene el conjunto; en este caso 4.

PROBLEMA 2. (Examen Arquitectura de Computadores de Junio de 2014) Un sistema computador (sin memoria virtual) tiene una memoria principal de 2 Mpalabras de 8 bits cada una de ellas y una memoria caché de 2 Kpalabras, dividida en 4 conjuntos, con 256 palabras/bloque.

- i) Justificar e indicar con un esquema la organización de la Memoria Principal y de la Memoria Caché (capacidad total, número de conjuntos si procede, número de bloques, palabras por bloque).
- j) Mostrar el formato de la dirección que define la unidad central de proceso, definiendo cada uno de los campos en los que se divide.

Se supone que, después de haber estado la memoria caché “vacía” (*instante 0*), la CPU lee la secuencia de direcciones de memoria: 1024, 1025, 1026, 254, 255, 256, 512, 513, 514, 2045, 2046, 2047, según el orden marcado en la misma (*instante 1*).

- k) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 1*.
- l) Calcular la frecuencia de uso (en %) que tiene en ese *instante 1* cada uno de los bloques que se encuentran en dicha memoria caché.

A continuación, la CPU requiere el acceso a los bloques de memoria principal 8, 9, 10 y 4, leídas todas las direcciones de cada uno de ellos una vez y en el orden que se indica (*instante 2*). Suponer que el algoritmo de reemplazamiento de bloques es el FIFO (First Input First Output).

- m) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 2*.
- n) ¿Qué frecuencia de uso (referida sólo al conjunto 0), en relación con la frecuencia de uso global de la caché, tiene hasta ese *instante 2* cada uno de los bloques que se encuentran en dicha memoria caché?
- o) Hasta ese *instante 2*, ¿cuántos fallos y de qué tipo se han producido?

SOLUCIÓN:

a) Organización de la memoria

Memoria Principal de 2 Mpalabras:

- Dirección de 21 bits.
- 2^{21} palabras / (2^8 palabras/bloque) = 2^{13} bloques

Memoria Caché de 2 Kpalabras:

- 2^{11} palabras / (2^8 palabras/bloque) = 2^3 bloques
- 2^3 bloques / 4 conjuntos = 2 bloques/conjunto

b) Formato de la dirección:

11bits	2 bits	8 bits
Etiqueta	Conjunto	Palabra

c) *Instante 1*: En Memoria Caché se encuentran los bloques siguientes:

Direcciones: 1024, 1025, 1026 – B4 de Memoria Principal

Direcciones: 254, 255 – B0 de Memoria Principal

Direcciones: 256 – B1 de Memoria Principal

Direcciones: 512, 513, 514 – B2 de Memoria Principal

Direcciones: 2045, 2046, 2047 – B7 de Memoria Principal

C0	C1	C2	C3
B4	B1	B2	B7
B0			

d) Frecuencia de uso de cada uno de los bloques que se encuentran en Memoria Caché, relacionándola con la frecuencia de uso global:

B4: 3 referencias/12 (x100)

B0: 2 referencias/12 (x100)

B1: 1 referencia/12 (x100)

B2: 3 referencias/12 (x100)

B7: 3 referencias/12 (x100)

e) Mostrar el contenido de la memoria caché en el *instante 2*.

Bloques de memoria principal 8, 9, 10 y 4, con algoritmo de reemplazamiento de bloques FIFO.

C0	C1	C2	C3
B4 B8	B1	B2	B7
B0 B4	B9	B10	

f) Frecuencia de uso de los bloques del C0, referida al C0:

B4: (3+256) referencias

B0: 2 referencias

B8: 256 referencias

Luego:

Frecuencia B8: $256/(3+256+2+256)$ (x100)

Frecuencia B4: $(3+256)/(3+256+2+256)$ (x100)

g) Fallos que se han producido de cada uno de los tipos posibles hasta el *instante 2*:

- Hasta el *instante 1* se produjeron: 5 Fallos Forzosos (uno por la lectura de la primera dirección de los bloques B4, B0, B1, B2 y B7).
- Después del *instante 1* y hasta el *instante 2* se han producido:
 - 3 Fallos Forzosos, uno por cada bloque B8, B9 y B10.
 - 1 Fallo de Conflicto al leer por segunda vez el bloque B4.