

Ejercicio 5. Problemas Adicionales de Memoria Virtual

Sea un computador con memoria virtual paginada y memoria cache con las características siguientes:

- Memoria virtual de 32 páginas de 8 KB cada una, con traducción asociativa y reemplazamiento LRU
 - Memoria física de 32 KB
 - Memoria cache de direcciones físicas de 512 bytes, asociativa por conjuntos, con bloques de 128 bytes, 2 bloques por conjunto y reemplazamiento LRU.
 - La política de actualización de la memoria principal es escritura directa sin asignación en escritura
- a) Indicar el formato de la dirección virtual y de la dirección física, esta última desde el punto de vista de la memoria virtual y de la memoria cache.

Memoria Virtual de 32 páginas = $2^5 \rightarrow 5$ bits

Páginas de 8KB = $2^{13} \rightarrow 13$ bits

Dirección virtual:

Página virtual	Desplazamiento
5	13

Memoria Principal de 32 KB = $2^{15} \rightarrow 15$ bits

Memoria cache de 512 bytes, con bloques de 128 bytes = $2^9 / 2^7 = 4$ bloques

Asociativa por conjuntos de 2 vías $\rightarrow 4/2 = 2$ conjuntos

Dirección física:

Página física	Desplazamiento
2	13

Etiqueta	Conjunto	Palabra
7	1	7

- b) Si en un momento dado los contenidos de la tabla de páginas y de la cache son los siguientes:

Tabla de páginas asociativa		Etiquetas en la cache		
Nº de página	Nº de marco	Etiqueta	Conjunto	Vía
06	3	23	0	0
01	0	47	0	1
04	2	73	1	0
0C	1	08	1	1

Expresar en hexadecimal el rango de direcciones virtuales y físicas ubicadas en cada marco de página de la memoria principal, así como el rango de direcciones virtuales y físicas ubicadas en cada bloque de la memoria cache.

Rango de direcciones virtuales y físicas de cada página de memoria principal:

La página virtual 06 está en memoria principal en la página 3 (marco de página 3). Su rango de direcciones virtuales es:

00110 0000000000000 – 00110 111111111111 (en hexadecimal 0x0C000-0x0DFFF)

Para calcular el rango de direcciones físicas se sustituyen los 5 bits más significativos de las direcciones anteriores por los 2 bits que indican el número de página física, en este caso el marco de página 3:

11 0000000000000 – 11 111111111111 (en hexadecimal 0x0000-0x1FFF)

Para el resto de páginas los rangos de direcciones se calculan igual, obteniéndose los siguientes resultados:

Marco de MP	Direcciones Físicas	Direcciones Virtuales
0	0x0000-0x1FFF	0x02000-0x03FFF
1	0x2000-0x3FFF	0x18000-0x19FFF
2	0x4000-0x5FFF	0x08000-0x09FFF
3	0x6000-0x7FFF	0x0C000-0x0DFFF

Rango de direcciones virtuales y físicas de cada bloque de memoria cache:

El rango de direcciones físicas del bloque del conjunto 0 vía 0 es:

010 0011 0 0000000 – 010 0011 0 1111111 (en hexadecimal: 0x2300 – 0x237F)

Para calcular el rango de direcciones virtuales se sustituyen los 2 bits más significativos de las direcciones anteriores por los 5 bits que indican el número de página virtual. En este caso sería sustituir los bits que indican el marco de página 1, por los que indican la página virtual 0C (esta información se obtiene de la tabla de páginas dada):

01100 0 0011 0 0000000 – 01100 0 0011 0 1111111 (en hexadecimal: 0x18300 – 0x1837F)

Para el resto de bloques los rangos de direcciones se calculan igual, obteniéndose los siguientes resultados:

Conjunto	Vía	Direcciones Físicas	Direcciones Virtuales
0	0	0x2300-0x237F	0x18300-0x1837F
0	1	0x4700-0x477F	0x08700-0x0877F
1	0	0x7380-0x73FF	0x0D380-0x0D3FF
1	1	0x0880-0x08FF	0x02880-0x028FF

- c) Supongamos que un programa realiza la siguiente cadena de referencias virtuales (en hexadecimal): 08770, 02080-0209F, 02880-0289F, 0D3F0-0D410, 27000-2701F. Calcular el tiempo total de acceso a memoria para satisfacer esa cadena de referencias, suponiendo que inicialmente los contenidos de la cache son los que se muestran en la tabla anterior. Indicar claramente cómo evolucionan los contenidos de la memoria principal y de la memoria cache

(indicando las direcciones virtuales que se ubican en cada bloque y los cambios en las etiquetas), cuando se realiza la cadena de referencias anterior.

0x08700

En binario: 00 1000 0111 0111 0000 → Página virtual 0x04 que sí se encuentra en la memoria principal. Además, la dirección buscada está en el bloque ubicado en la memoria cache en el conjunto 0 vía 1 (ya que se encuentra dentro del rango de direcciones virtuales calculado en el apartado anterior).

Por tanto este acceso es un acierto en memoria principal y también acierto en memoria cache.

0x02080 – 0x0209F

En binario: 00 0010 0000 1000 0000 – 00 0010 0000 1001 1111 → Todas las direcciones de este rango están en la página virtual 0x01 que sí se encuentra en la memoria principal.

Sin embargo el rango de direcciones buscado no está en la cache (lo comprobamos mirando los rangos de direcciones virtuales de los bloques calculados en el apartado anterior). Para traer el bloque a la cache calculamos las direcciones físicas de este rango (página física 0):

00 0 0000 1000 0000 – 00 0 0000 1001 1111

Separamos en las direcciones físicas los campos etiqueta, conjunto y palabra:

0000000 1 0000000 – 0000000 1 0011111

Y comprobamos que todas las direcciones de este rango están en el mismo bloque, por lo que sólo hay que traer un bloque a la cache para acceder a todas ellas. Se trae al conjunto 1 vía 0 (suponemos que de los 2 bloques del conjunto 1 el 0 es el que lleva más tiempo sin referenciarse, ya que no nos dan esta información). La etiqueta de este bloque es 00.

El acceso a este rango de direcciones produce un fallo de cache al acceder a la primera dirección y acierto en todas las demás.

Etiquetas en la cache		
Etiqueta	Conjunto	Vía
23	0	0
47	0	1
00	1	0
08	1	1

0x02880 – 0x0289F

Este rango de direcciones se encuentra en el bloque ubicado en la memoria cache en el conjunto 1 vía 1, por lo que estos accesos producen acierto en memoria principal y en memoria cache.

0x0D3F0 – 0x0D410

En binario: 00 1101 0011 1111 0000 – 00 1101 0100 0001 0000 → Todas las direcciones de este rango están en la página virtual 0x06 que sí se encuentra en la memoria principal.

Sin embargo el rango de direcciones buscado no está en la cache. Para traer el bloque a la cache calculamos las direcciones físicas de este rango (página física 3):

11 1 0011 1111 0000 – 11 1 0100 0001 0000

Separamos en las direcciones físicas los campos etiqueta, conjunto y palabra:

1110011 1 1110000 – 1110100 0 0010000

Las direcciones de este rango están en varios bloques: desde el bloque de etiqueta 0x73 y conjunto 1 hasta el bloque de etiqueta 0x74 y conjunto 0, por tanto son 2 bloques que se traen a la memoria cache que quedaría así:

Etiquetas en la cache		
Etiqueta	Conjunto	Vía
74	0	0
47	0	1
73	1	0
08	1	1

0x27000 - 0x2701F

En binario: 10 0111 0000 0000 0000 - 10 0111 0000 0001 1111 → Todas las direcciones de este rango están en la página virtual 0x13 que no se encuentra en la memoria principal. Por tanto, el acceso a la primera dirección provoca un fallo de página, y se trae la página virtual 0x13 a la memoria principal. En los accesos anteriores se han referenciado las páginas virtuales: 0x04, 0x01 y 0x06. En la memoria principal está también la página virtual 0x0C que no se ha referenciado, por tanto es la que lleva más tiempo sin ser referenciada y es la que se sustituye de la memoria principal. Al sustituir una página de memoria principal deben invalidarse (poner bit de válido a 0) los bloques de esa página que estuvieran en la cache. En este caso, originalmente había un bloque de esta página en el conjunto 0 vía 0, pero como se reemplazó por otro no hace invalidar ningún bloque de la cache.

La página 0x13 sustituye a la 0x0C en el marco 1, por tanto las direcciones físicas de este rango son: 011 0000 0000 0000 - 011 0000 0001 1111

Separamos en las direcciones físicas los campos etiqueta, conjunto y palabra:

0110000 0 0000000 - 0110000 0 0011111

Comprobamos que todas las direcciones de este rango están en el mismo bloque. Como el acceso a la primera dirección de este rango ha producido un fallo de página, sabemos seguro que el bloque buscado no está en la cache. Se trae al conjunto 0 vía 1, ya que es el bloque del conjunto 0 que lleva más tiempo sin referenciarse. La etiqueta de este bloque es 30.

El acceso a este rango de direcciones produce un fallo de página y un fallo de cache al acceder a la primera dirección y acierto en todas las demás.

Tabla de páginas asociativa		Etiquetas en la cache		
Nº de página	Nº de marco	Etiqueta	Conjunto	Vía
06	3	74	0	0
01	0	30	0	1
04	2	73	1	0
13	1	08	1	1

El tiempo necesario para acceder a las direcciones dadas sería:

Nº total de referencias = 1 + 32 + 32 + 33 + 32 = 130

Fallos de cache: 4

Fallo de página: 1

Suponiendo los siguientes tiempos de acceso a memoria:

TP: Tiempo de acceso a memoria principal

TC: Tiempo de acceso a la cache

TPB: Tiempo de penalización que se tarda en copiar un bloque de MP a MC (fallo de cache)

TPP: Tiempo de penalización que se tarda en copiar una página de MS (memoria secundaria) a MP (fallo de página)

El tiempo total de acceso a memoria sería: $130 \cdot (TC + TP) + TPP + 4 \cdot TPB$

Con cada dirección se accede a la MP (a la tabla de páginas que está en MP) para traducir la dirección virtual a la dirección física, y siempre se accede al dato en la memoria cache. Por ello en el cálculo anterior se multiplican todas las referencias (130) por el tiempo de acceso a la cache más el tiempo de acceso a la memoria principal.

Ejercicio 6. Problemas Adicionales de Memoria Virtual

Sea un sistema de memoria con las siguientes características:

- Memoria virtual paginada de 4GB, política de emplazamiento LRU
- Tamaño de página 2KB
- Memoria principal con 13 bits para la dirección
- Memoria cache de direcciones físicas 2048 bytes, con bloques de 256 bytes, asociativa por conjuntos con 4 bloques/cjto, política LRU

- a) Indicar el formato de la dirección virtual y de la dirección física, esta última desde el punto de vista de la memoria virtual y de la memoria cache.

Dirección Virtual

Memoria Virtual de 4GB = 2^{32} bytes \rightarrow Dirección virtual de 32 bits

Página 2KB = 2^{11} bytes

Página Virtual	Desplazamiento
21	11

Dirección Física

Memoria principal con direcciones de 13 bits

Memoria cache de 2048 bytes, con bloques de 256 bytes $\rightarrow 2^{11} / 2^8 = 2^3$

Asociativa por conjuntos de 4 vías $\rightarrow 2^3 / 2^2 = 2$ conjuntos

Página Física	Desplazamiento
2	11

Etiqueta	Conjunto	Palabra
4	1	8

- b) Se desea acceder a las siguientes direcciones: 55118FF8; 0A000000 y 11281276. Indicad si se produce algún fallo en la gestión de la memoria y los valores de las tablas al finalizar el acceso a cada una de las direcciones. Además indicar en los casos de fallo de página los bloques de memoria cache que se invalidarían.

Nº de página	Marco	Edad
000001	0	0
1B0000	1	1
0AA231	2	3
100000	3	2

Conjunto	M.Bloque	Etiqueta	Edad
0	0	F	0
	1	0	2
	2	B	3
	3	1	1
1	0	A	1
	1	2	3
	2	1	2
	3	B	0

55118FF8

En binario: 0101 0101 0001 0001 1000 1111 1111 1000 → Página virtual 0x0AA231 → Marco 2

Dirección física: 1 0111 1111 1000 → Conjunto 1, etiqueta 0xB → Acierto en MC

Nº de página	Marco	Edad	Conjunto	M.Bloque	Etiqueta	Edad
000001	0	1	0	0	F	0
1B0000	1	2		1	0	2
0AA231	2	0		2	B	3
100000	3	3		3	1	1
			1	0	A	1
				1	2	3
				2	1	2
				3	B	0

0A000000

En binario: 0000 1010 0000 0000 0000 0000 0000 0000 → Página virtual 0x014000 → No está en MP
Fallo de página, se trae la página al marco 3 (el que tiene el valor más alto de la variable edad).

Comprobamos si había algún bloque en MC de la página que quitamos de MP para invalidarlos. Para ello calculamos el rango de direcciones físicas de la página que quitamos de MP. Como está en el marco 3 el rango de direcciones físicas es: 11000 0000 0000 - 11111 1111 1111

Por tanto serían los bloques de etiquetas: C, D, E y F que estuviesen en cualquiera de los 2 conjuntos. En este caso invalidamos el bloque 0 del conjunto 0 (poner bit de válido a 0).

A continuación se trae la página 0x014000 al marco 3 y traducimos la dirección virtual dada a una dirección física: 1100 0 0000 0000

Al haberse producido fallo de página el dato buscado no está en la cache y se trae de MP el bloque que contiene la dirección dada al conjunto 0, reemplazándose el bloque de mayor edad (marco de bloque 2). La etiqueta del nuevo bloque es: C.

Nº de página	Marco	Edad	Conjunto	M.Bloque	Etiqueta	Válido	Edad
000001	0	2	0	0	F	0	1
1B0000	1	3		1	0	1	3
0AA231	2	1		2	C	1	0
014000	3	0		3	1	1	2
			1	0	A	1	1
				1	2	1	3
				2	1	1	2
				3	B	1	0

11281276

En binario: 0001 0001 0010 1000 0001 0010 0111 0110 → Página virtual 0x022502 → No está en MP
Fallo de página, se trae la página al marco 1.

Comprobamos si había algún bloque en MC de la página que quitamos de MP para invalidarlos. Para ello calculamos el rango de direcciones físicas de la página que quitamos de MP. Como está en el marco 1 el rango de direcciones físicas es: 01000 0000 0000 - 01111 1111 1111

Por tanto serían los bloques de etiquetas: 4, 5, 6 y 7 que estuviesen en cualquiera de los 2 conjuntos. En este caso no hay ningún bloque con estas etiquetas.

A continuación se trae la página 0x022502 al marco 1 y traducimos la dirección virtual dada a una dirección física: 0101 0 0111 0110

Al haberse producido fallo de página el dato buscado no está en la cache y se trae de MP el bloque que contiene la dirección dada al conjunto 0, reemplazándose el bloque de mayor edad (marco de bloque 1). La etiqueta del nuevo bloque es: 5.

Nº de página	Marco	Edad	Conjunto	M.Bloque	Etiqueta	Válido	Edad
000001	0	3	0	0	F	0	2
022502	1	0		1	5	1	0
0AA231	2	2		2	C	1	1
014000	3	1		3	1	1	3
			1	0	A	1	1
				1	2	1	3
				2	1	1	2
				3	B	1	0

- c) Si el computador accede a la dirección FFA34500 indicar el rango de direcciones correspondientes a su página en memoria virtual, el rango de direcciones correspondiente a su marco de página en memoria principal, el rango de direcciones correspondientes a su bloque en memoria principal y el rango de direcciones correspondientes a su marco de bloque en memoria cache (rango: dirección de comienzo y final de un conjunto). Las tablas se mantienen con los valores obtenidos a la finalización del apartado b.

FFA34500

Rango de direcciones de la página que contiene la dirección FFA34500

En binario: 1111 1111 1010 0011 0100 0101 0000 0000 → Página virtual: 0x1FF468

El rango de direcciones virtuales es:

1111 1111 1010 0011 0100 0000 0000 0000 - 1111 1111 1010 0011 0100 0111 1111 1111

En hexadecimal: 0xFFA34000 - 0xFFA347FF

Esta dirección produce fallo de página, por lo que para calcular su rango de direcciones físicas hay que traer la página a la MP, sustituyendo a la página del marco 0 (la de mayor edad).

El rango de direcciones físicas de la página es: 0 0000 0000 0000 - 0 0111 1111 1111

En hexadecimal: 0x0000 - 0x07FF

Rango de direcciones del bloque que contiene la dirección FFA34500

La dirección física correspondiente a la dirección virtual FFA34500, es 0010 1 0000 0000, y el rango de direcciones físicas del bloque en el que se encuentra es:

0010 1 0000 0000 - 0010 1 1111 1111 en hexadecimal 0x0500 - 0x05FF

Las direcciones virtuales del bloque son:

1111 1111 1010 0011 0100 0101 0000 0000 - 1111 1111 1010 0011 0100 0101 1111 1111

En hexadecimal: 0xFFA34500 - 0xFFA345FF