

# Exemple Memòria caché (2)

## Enunciat del problema

Sigui el següent sistema:

- Mida de les paraules de 1 Byte.
- Memòria Principal = 1MBytes. Amb temps d'accés =  $10 \cdot T_C$
- Caché:
  - Mida: 4kBytes.
  - Associativa de 4 camins.
  - 64 paraules per bloc.
  - Temps d'accés:  $T_C$

Volem executar un programa que té un bucle d'instruccions en el qual s'agafen les primeres 4352 posicions de memòria (de 0 a 4351) 10 vegades.

S'ha de calcular:

1. El número de bits en cada un dels camps: TAG, CONJUNT (SET) i PARAULA (WORD).
2. El benefici que obtenim amb la caché, suposant que utilitzem l'algoritme LRU de reemplaçament de blocs. La caché està inicialment buida.

## Solució primer apartat

$$C=K \cdot S$$

C=número de línies

K=número de camins = 4

S=número de Conjunts

A més,  $C = \text{Mida Caché/Bytes per línia(bloc)} = 4\text{kB}/64 = 64$

Llavors  $S = C/K = 64/4 = 16$  conjunts.

És a dir que són necessaris  $\text{Log}_2 16 = 4$  bits per definir el conjunt.

Per a definir la paraula dintre d'un bloc  $\text{Log}_2 64 = 6$  bits.

TAG (10 bits)	SET(4bits)	Word (6 bits)
---------------	------------	---------------

La resta de bits fins als 20 dels que consta una adreça ( $\text{Log}_2 1\text{MB} = 20$  bits), són de TAG =  $20-4-6 = 10$  bits.

Solució 2on apartat: Estat de la caché durant l'execució del primer bucle

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle						
CONJUNT 0	B0	B64						
	B16	B16						
	B32	B32						
	B48	B48						
CONJUNT 1	B1	B65						
	B17	B17						
	B33	B33						
	B49	B49						
CONJUNT 2	B2	B66						
	B18	B18						
	B34	B34						
	B50	B50						
CONJUNT 3	B3	B67						
	B19	B19						
	B35	B35						
	B51	B51						
...								
CONJUNT 15	B15	B15						
	B31	B31						
	B47	B47						
	B63	B63						

Solució 2on apartat: Estat de la caché 2on bucle fins bloc 15

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle	2on Bucle fins B15					
CONJUNT 0	B0	B64	B64					
	B16	B16	B0					
	B32	B32	B32					
	B48	B48	B48					
CONJUNT 1	B1	B65	B65					
	B17	B17	B1					
	B33	B33	B33					
	B49	B49	B49					
CONJUNT 2	B2	B66	B66					
	B18	B18	B2					
	B34	B34	B34					
	B50	B50	B50					
CONJUNT 3	B3	B67	B67					
	B19	B19	B3					
	B35	B35	B35					
	B51	B51	B51					
...								
CONJUNT 15	B15	B15	B15					
	B31	B31	B31					
	B47	B47	B47					
	B63	B63	B63					

Solució 2on apartat: Estat de la caché 2on bucle fins bloc 31

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle	2on Bucle fins B15	2on Bucle fins B31				
CONJUNT 0	B0	B64	B64	B64				
	B16	B16	B0	B0				
	B32	B32	B32	B16				
	B48	B48	B48	B48				
CONJUNT 1	B1	B65	B65	B65				
	B17	B17	B1	B1				
	B33	B33	B33	B17				
	B49	B49	B49	B49				
CONJUNT 2	B2	B66	B66	B66				
	B18	B18	B2	B2				
	B34	B34	B34	B18				
	B50	B50	B50	B50				
CONJUNT 3	B3	B67	B67	B67				
	B19	B19	B3	B3				
	B35	B35	B35	B19				
	B51	B51	B51	B51				
...								
CONJUNT 15	B15	B15	B15	B15				
	B31	B31	B31	B31				
	B47	B47	B47	B47				
	B63	B63	B63	B63				

Solució 2on apartat: Estat de la caché 2on bucle fins bloc 47

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle	2on Bucle fins B15	2on Bucle fins B31	2on Bucle fins B47			
CONJUNT 0	B0	B64	B64	B64	B64			
	B16	B16	B0	B0	B0			
	B32	B32	B32	B16	B16			
	B48	B48	B48	B48	B32			
CONJUNT 1	B1	B65	B65	B65	B65			
	B17	B17	B1	B1	B1			
	B33	B33	B33	B17	B17			
	B49	B49	B49	B49	B33			
CONJUNT 2	B2	B66	B66	B66	B66			
	B18	B18	B2	B2	B2			
	B34	B34	B34	B18	B18			
	B50	B50	B50	B50	B34			
CONJUNT 3	B3	B67	B67	B67	B67			
	B19	B19	B3	B3	B3			
	B35	B35	B35	B19	B19			
	B51	B51	B51	B51	B35			
...								
CONJUNT 15	B15	B15	B15	B15	B15			
	B31	B31	B31	B31	B31			
	B47	B47	B47	B47	B47			
	B63	B63	B63	B63	B63			

Solució 2on apartat: Estat de la caché 2on bucle fins bloc 63

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle	2on Bucle fins B15	2on Bucle fins B31	2on Bucle fins B47	2on Bucle fins B63			
CONJUNT 0	B0	B64	B64	B64	B64	B48			
	B16	B16	B0	B0	B0	B0			
	B32	B32	B32	B16	B16	B16			
	B48	B48	B48	B48	B32	B32			
CONJUNT 1	B1	B65	B65	B65	B65	B49			
	B17	B17	B1	B1	B1	B1			
	B33	B33	B33	B17	B17	B17			
	B49	B49	B49	B49	B33	B33			
CONJUNT 2	B2	B66	B66	B66	B66	B50			
	B18	B18	B2	B2	B2	B2			
	B34	B34	B34	B18	B18	B18			
	B50	B50	B50	B50	B34	B34			
CONJUNT 3	B3	B67	B67	B67	B67	B51			
	B19	B19	B3	B3	B3	B3			
	B35	B35	B35	B19	B19	B19			
	B51	B51	B51	B51	B35	B35			
.									
.									
.									
CONJUNT 15	B15	B15	B15	B15	B15	B15			
	B31	B31	B31	B31	B31	B31			
	B47	B47	B47	B47	B47	B47			
	B63	B63	B63	B63	B63	B63			



Solució 2on apartat: Estat de la caché al final del 2on bucle

	1ers 4096 paraules	Fi 1er Bucle	2on Bucle fins B15	2on Bucle fins B31	2on Bucle fins B47	2on Bucle fins B63	Fi 2on Bucle		
CONJUNT 0	B0	B64	B64	B64	B64	B48	B48		
	B16	B16	B0	B0	B0	B0	B64		
	B32	B32	B32	B16	B16	B16	B16		
	B48	B48	B48	B48	B32	B32	B32		
CONJUNT 1	B1	B65	B65	B65	B65	B49	B49		
	B17	B17	B1	B1	B1	B1	B65		
	B33	B33	B33	B17	B17	B17	B17		
	B49	B49	B49	B49	B33	B33	B33		
CONJUNT 2	B2	B66	B66	B66	B66	B50	B50		
	B18	B18	B2	B2	B2	B2	B66		
	B34	B34	B34	B18	B18	B18	B18		
	B50	B50	B50	B50	B34	B34	B34		
CONJUNT 3	B3	B67	B67	B67	B67	B51	B51		
	B19	B19	B3	B3	B3	B3	B67		
	B35	B35	B35	B19	B19	B19	B19		
	B51	B51	B51	B51	B35	B35	B35		
.									
.									
.									
CONJUNT 15	B15	B15	B15	B15	B15	B15	B15		
	B31	B31	B31	B31	B31	B31	B31		
	B47	B47	B47	B47	B47	B47	B47		
	B63	B63	B63	B63	B63	B63	B63		

Solució 2on apartat: Fins al final tot és igual que al 2on bucle

	1ers 4096	Fi 1er Bucle	In 2on Bucle	2on Bucle	2on Bucle	2on Bucle	Fi 2on Bucle	Resta
CONJUNT 0	B0	B64	B64	B64	B64	B48	B48	A partir d'aquí, tot es repeteix. Es a dir, en cada recorregut del bucle es fan 20 substitucions de blocs. Que són 20·64bytes.
	B16	B16	B0	B0	B0	B0	B64	
	B32	B32	B32	B16	B16	B16	B16	
	B48	B48	B48	B48	B32	B32	B32	
CONJUNT 1	B1	B65	B65	B65	B65	B49	B49	
	B17	B17	B1	B1	B1	B1	B65	
	B33	B33	B33	B17	B17	B17	B17	
	B49	B49	B49	B49	B33	B33	B33	
CONJUNT 2	B2	B66	B66	B66	B66	B50	B50	
	B18	B18	B2	B2	B2	B2	B66	
	B34	B34	B34	B18	B18	B18	B18	
	B50	B50	B50	B50	B34	B34	B34	
CONJUNT 3	B3	B67	B67	B67	B67	B51	B51	
	B19	B19	B3	B3	B3	B3	B67	
	B35	B35	B35	B19	B19	B19	B19	
	B51	B51	B51	B51	B35	B35	B35	
.								
.								
.								
CONJUNT 15	B15	B15	B15	B15	B15	B15	B15	
	B31	B31	B31	B31	B31	B31	B31	
	B47	B47	B47	B47	B47	B47	B47	
	B63	B63	B63	B63	B63	B63	B63	

## Càlcul del benefici

- Temps si tot ho agafem de la Memòria Principal (si no tinguéssim caché):

$$t_{MP} = 4352 \text{ paraules} \cdot 10 \text{ cops} \cdot 10T_C = 435200T_C$$

- Temps amb una caché ideal on tenim totes les dades des del començament:

$$t_{C\_ideal\_plena} = 4352 \text{ paraules} \cdot 10 \text{ cops} \cdot T_C = 43520T_C$$

$$\text{Benefici} = t_{MP} / t_{C\_ideal\_plena} = 10$$

- Temps amb la nostra caché ( $t_C$ ):

$$\text{Omplir Caché (1er bucle)} = 4352 \text{ paraules} \cdot 1 \text{ cop} \cdot 10T_C$$

$$\text{Dades de MP a partir 2on bucle} = 20 \text{ blocs} \cdot 64 \text{ paraules/bloc} = 1280 \text{ paraules.}$$

$$\text{Dades de Caché a partir 2on bucle} = (4352 - 1280) \text{ paraules} = 3072 \text{ paraules.}$$

$$t_C = 4352 \text{ paraules} \cdot 1 \text{ cop} \cdot 10T_C + 1280 \text{ paraules} \cdot 9 \text{ cops} \cdot 10T_C + 3072 \text{ paraules} \cdot 9 \text{ cops} \cdot T_C = 186368T_C$$

$$\text{Benefici} = t_{MP} / t_C = 2.28$$

## Reflexió sobre el resultat

L'algoritme LRU és un dels que funciona millor, menys en determinades situacions. Aquesta és un d'aquests casos, l'estructura de dades és just una mica més gran que la mida de caché utilitzable.

És interessant resoldre el mateix problema però fent servir l'algoritme següent:

- Substituir l'element que fa menys temps que hem fet servir (en comptes del que fa més temps que hem fet servir: LRU).

**Exercici per entregar. Fer el mateix exercici però fent servir l'algoritme de reemplaçament MRU (es reemplaça l'element que fa menys temps que hem fet servir).**