



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ακ. έτος 2022-2023, 5ο Εξάμηνο, Σχολή ΗΜ&ΜΥ

Τελική Ημερομηνία Παράδοσης: 22/01/2023

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΚΟΥΣΤΕΝΗΣ ΧΡΙΣΤΟΣ
Α.Μ: el20227



ΜΕΡΟΣ Α

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$\begin{aligned}HR_1 &= 0.975 && \text{(Hit rate of L1 cache)} \\MR_1 &= 0.025 && \text{(Miss rate of L1 cache)} \\HR_2 &= 0.880 && \text{(Hit rate of L2 cache)} \\MR_2 &= 0.120 && \text{(Miss rate of L2 cache)} \\T_1 &= 1 \text{ cc} && \text{(Hit time of L1 cache)}\end{aligned}$$

$$T_{MM} = 90 \text{ cc} \quad \text{(Main Memory Access Time)}$$

AMAT... (= Average Memory Access Time)

$$\frac{AMAT_{L_1}}{AMAT_{(L_1+L_2)}} = \text{speedup} \geq 2.4$$

$$AMAT_{(L_1+L_2)}$$

ΛΥΣΗ

$$\begin{aligned}AMAT_{(L_1+L_2)} &= HR_1 \cdot T_1 + MR_1 \cdot HR_2 \cdot (T_1 + T_2) + \\&\quad + MR_1 \cdot MR_2 \cdot (T_1 + T_2 + T_{MM})\end{aligned}$$

$$AMAT_{L_1} = HR_1 \cdot T_1 + MR_1 \cdot (T_{MM} + T_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow AMAT_{L_1} = 3.25 \text{ cc}$$

$$\text{Πρέπει } \frac{AMAT_{L_1}}{AMAT_{L_1+L_2}} \geq 2.4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow AMAT_{L_1+L_2} \leq \frac{3.25}{2.4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow AMAT_{L_1+L_2} \leq 1.35 \Rightarrow$$

$$0.975 \cdot 1 + 0.025 \cdot 0.880 \cdot (1 + T_2) +$$

$$+ 0.025 \cdot 0.120 \cdot (1 + T_2 + 90) \leq 1.35 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{T_2 \leq 3.2 \text{ cc}}$$



ΜΕΡΟΣ Β

Δεδομένα

→ 0 κώδικας στη C:

```
int i, j;  
double A[8][8], B[8][8], C[8];  
for (i = 0; i < 6; i++)  
{  
    for (j = 0; j < 8; j = j + 2)  
    {  
        A[i % 3][j] = B[i % 4][j] + A[i % 3][j] + C[j];  
    }  
}
```

- 1-level cache memory
- Cache size = 256 Bytes
- 2-way associative
- LRU and write-allocate policies
- Block size = 32 Bytes
- Byte-addressable memory

A)

Με bold σημειώνουμε το lru στοιχείο για κάθε set.

Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα σετ στους παρακάτω πίνακες.

i = 0 j = 0 : B[0][0] A[0][0] C[0] A[0][0] -> m m m h
i = 0 j = 2 : B[0][2] A[0][2] C[2] A[0][2] -> m h m h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
			j = 4-7
i=1,3			j = 0-3
			j = 4-7

i = 0 j = 4 : B[0][4] A[0][4] C[4] A[0][4] -> m m m h
i = 0 j = 6 : B[0][6] A[0][6] C[6] A[0][6] -> m h m h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7



i=1,3			j = 0-3
			j = 4-7

i = 1 j = 0 : B[1][0] A[1][0] C[0] A[1][0] -> m m h h
i = 1 j = 2 : B[1][2] A[1][2] C[2] A[1][2] -> h h h h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
			j = 4-7

i = 1 j = 4 : B[1][4] A[1][4] C[4] A[1][4] -> m m h h
i = 1 j = 6 : B[1][6] A[1][6] C[6] A[1][6] -> h h h h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[1][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 2 j = 0 : B[2][0] A[2][0] C[0] A[2][0] -> m m m h
i = 2 j = 2 : B[2][2] A[2][2] C[2] A[2][2] -> m h m h

i=0,2,4	A[2][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[1][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 2 j = 4 : B[2][4] A[2][4] C[4] A[2][4] -> m m m h
i = 2 j = 6 : B[2][6] A[2][6] C[6] A[2][6] -> m h m h

i=0,2,4	A[2][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
	A[2][4-7]	C[4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3



	B[1][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7
--	------------------	------------------	----------------

i = 3 j = 0 : B[3][0] A[0][0] C[0] A[0][0] -> m m m h
i = 3 j = 2 : B[3][2] A[0][2] C[2] A[0][2] -> h h h h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
	A[2][4-7]	C[4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[3][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[1][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 3 j = 4 : B[3][4] A[0][4] C[4] A[0][4] -> m m m h
i = 3 j = 6 : B[3][6] A[0][6] C[6] A[0][6] -> h h h h

i=0,2,4	C[0-3]	A[0][0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[3][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[3][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 4 j = 0 : B[0][0] A[1][0] C[0] A[1][0] -> m h m h
i = 4 j = 2 : B[0][2] A[1][2] C[2] A[1][2] -> h h h h

i=0,2,4	B[0][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
	C[4-7]	A[0][4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[3][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[3][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 4 j = 4 : B[0][4] A[1][4] C[4] A[1][4] -> m h m h
i = 4 j = 6 : B[0][6] A[1][6] C[6] A[1][6] -> h h h h

i=0,2,4	B[0][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
---------	------------------	---------------	----------------



	B[0][4-7]	C[4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[3][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[3][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 5 j = 0 : B[1][0] A[2][0] C[0] A[2][0] -> m m h h
i = 5 j = 2 : B[1][2] A[2][2] C[2] A[2][2] -> h h h h

i=0,2,4	A[2][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
	B[0][4-7]	C[4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[3][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

i = 5 j = 4 : B[1][4] A[2][4] C[4] A[2][4] -> m m h h
i = 5 j = 6 : B[1][6] A[2][6] C[6] A[2][6] -> h h h h

i=0,2,4	A[2][0-3]	C[0-3]	j = 0-3
	A[2][4-7]	C[4-7]	j = 4-7
i=1,3	B[1][0-3]	A[1][0-3]	j = 0-3
	B[1][4-7]	A[1][4-7]	j = 4-7

Misses = 38
Hits = 58
Memory Accesses = 96
Miss Rate = 0.396
Hit Rate = 0.604

B) Για 4-way set accossiative cache ισχύει:

Με bold σημειώνουμε το lru στοιχείο για κάθε set.
Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα σετ στους παρακάτω πίνακες.

i = 0 j = 0 : B[0][0] A[0][0] C[0] A[0][0] → m m m h

i = 0 j = 2 : B[0][2] A[0][2] C[2] A[0][2] → h h h h



$i = 0, 1, 4$	B[0][0-3]	A[0][0-3]	C[0-3]	
$i = 2, 3$				

$i = 0 \ j = 4 : B[0][4] \ A[0][4] \ C[4] \ A[0][4] \rightarrow m \ m \ m \ h$

$i = 0 \ j = 6 : B[0][6] \ A[0][6] \ C[6] \ A[0][6] \rightarrow h \ h \ h \ h$

$i = 0, 1, 4$	A[0][4-7]	A[0][0-3]	C[4-7]	B[0][4-7]
$i = 2, 3$				

$i = 1 \ j = 0 : B[1][0] \ A[1][0] \ C[0] \ A[1][0] \rightarrow m \ m \ m \ h$

$i = 1 \ j = 2 : B[1][2] \ A[1][2] \ C[2] \ A[1][2] \rightarrow h \ h \ h \ h$

$i = 0, 1, 4$	A[0][4-7]	B[1][0-3]	C[0-3]	A[1][0-3]
$i = 2, 3$				

$i = 1 \ j = 4 : B[1][4] \ A[1][4] \ C[4] \ A[1][4] \rightarrow m \ m \ m \ h$

$i = 1 \ j = 6 : B[1][6] \ A[1][6] \ C[6] \ A[1][6] \rightarrow h \ h \ h \ h$

$i = 0, 1, 4$	B[1][4-7]	A[1][4-7]	C[4-7]	A[1][0-3]
$i = 2, 3$				

$i = 2 \ j = 0 : B[2][0] \ A[2][0] \ C[0] \ A[2][0] \rightarrow m \ m \ m \ h$

$i = 2 \ j = 2 : B[2][2] \ A[2][2] \ C[2] \ A[2][2] \rightarrow h \ h \ h \ h$

$i = 0, 1, 4$	B[1][4-7]	A[1][4-7]	C[4-7]	C[0-3]
$i = 2, 3$	B[2][0-3]	A[2][0-3]		

$i = 2 \ j = 4 : B[2][4] \ A[2][4] \ C[4] \ A[2][4] \rightarrow m \ m \ h \ h$



$i = 2 \quad j = 6 : B[2][6] \quad A[2][6] \quad C[6] \quad A[2][6] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$

$i = 0, 1, 4$	$B[1][4-7]$	$A[1][4-7]$	$C[4-7]$	$C[0-3]$
$i = 2, 3$	$B[2][0-3]$	$A[2][0-3]$	$B[2][4-7]$	$A[2][4-7]$

$i = 3 \quad j = 0 : B[3][0] \quad A[0][0] \quad C[0] \quad A[0][0] \rightarrow m \quad m \quad h \quad h$

$i = 3 \quad j = 2 : B[3][2] \quad A[0][2] \quad C[2] \quad A[0][2] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$

$i = 0, 1, 4$	$A[0][0-3]$	$A[1][4-7]$	$C[4-7]$	$C[0-3]$
$i = 2, 3$	$B[3][0-3]$	$A[2][0-3]$	$B[2][4-7]$	$A[2][4-7]$

$i = 3 \quad j = 4 : B[3][4] \quad A[0][4] \quad C[4] \quad A[0][4] \rightarrow m \quad m \quad h \quad h$

$i = 3 \quad j = 6 : B[3][6] \quad A[0][6] \quad C[6] \quad A[0][6] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$

$i = 0, 1, 4$	$A[0][0-3]$	$A[0][4-7]$	$C[4-7]$	$C[0-3]$
$i = 2, 3$	$B[3][0-3]$	$B[3][4-7]$	$B[2][4-7]$	$A[2][4-7]$

$i = 4 \quad j = 0 : B[0][0] \quad A[1][0] \quad C[0] \quad A[1][0] \rightarrow m \quad m \quad m \quad h$

$i = 4 \quad j = 2 : B[0][2] \quad A[1][2] \quad C[2] \quad A[1][2] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$

$i = 0, 1, 4$	$A[1][0-3]$	$A[0][4-7]$	$C[0-3]$	$B[0][0-3]$
$i = 2, 3$	$B[3][0-3]$	$B[3][4-7]$	$B[2][4-7]$	$A[2][4-7]$

$i = 4 \quad j = 4 : B[0][4] \quad A[1][4] \quad C[4] \quad A[1][4] \rightarrow m \quad m \quad m \quad h$

$i = 4 \quad j = 6 : B[0][6] \quad A[1][6] \quad C[6] \quad A[1][6] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$

$i = 0, 1, 4$	$A[1][0-3]$	$B[0][4-7]$	$C[4-7]$	$A[1][4-7]$
$i = 2, 3$	$B[3][0-3]$	$B[3][4-7]$	$B[2][4-7]$	$A[2][4-7]$

$i = 5 \quad j = 0 : B[1][0] \quad A[2][0] \quad C[0] \quad A[2][0] \rightarrow m \quad m \quad m \quad h$

$i = 5 \quad j = 2 : B[1][2] \quad A[2][2] \quad C[2] \quad A[2][2] \rightarrow h \quad h \quad h \quad h$



i = 0,1,4	B[1][0-3]	C[0-3]	C[4-7]	A[1][4-7]
i= 2,3	B[3][0-3]	B[3][4-7]	A[2][0-3]	A[2][4-7]

i = 5 j = 4 : B[1][4] A[2][4] C[4] A[2][4] → m h m h

i = 5 j = 6 : B[1][6] A[2][6] C[6] A[2][6] → h h h h

i = 0,1,4	B[1][0-3]	C[0-3]	B[1][4-7]	C[4-7]
i= 2,3	B[3][0-3]	B[3][4-7]	A[2][0-3]	A[2][4-7]

Hits:64

Misses:32

Hit rate = 0.667

Miss rate = 0.333

Άρα μας συμφέρει να αντικαταστήσουμε την κρυφή μνήμη με μια 4-way associative ίδιας χωρητικότητας αφού επιτυγχάνεται μεγαλύτερο hit rate.