

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



**ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

(2020-2021)

*4<sup>η</sup> Σειρά Ασκήσεων*

Ονοματεπώνυμο:

➤ Χρήστος Τσούφης

A.M.:

➤ 03117176

Στοιχεία Επικοινωνίας:

➤ [el17176@mail.ntua.gr](mailto:el17176@mail.ntua.gr)

## Μέρος Α

Δίνονται οι εξής παράμετροι σχετικά με το σύστημα της εικονικής μνήμης ενός υπολογιστικού συστήματος:

- Εικονικός χώρος διευθύνσεων: 48 bits
- Φυσική μνήμη συστήματος: 16GB
- Μέγεθος σελίδας: 4KB
- Μέγεθος εγγραφής πίνακα σελίδων: 4B

A. Αν το σύστημα υλοποιείται με ένα πίνακα σελίδων μοναδικού επιπέδου, απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:

i) Πόσες εγγραφές πίνακα σελίδων χρειάζονται;

Αφού ο χώρος διευθύνσεων έχει 48 bits και το offset είναι  $\log_2^{12} = 12$  bits, παραμένουν 36 bits. Άρα  $2^{36}$  εγγραφές στον πίνακα σελίδων.

ii) Πόση φυσική μνήμη απαιτείται για την αποθήκευση του πίνακα σελίδων;

Η φυσική μνήμη ισούται με τον αριθμό των εγγραφών επί το μέγεθος εγγραφής του πίνακα σελίδων. Άρα, απαιτούνται  $2^{36} \cdot 2^2 = 2^{38}$  bytes για την αποθήκευση του πίνακα σελίδων.

B. Όπως είδαμε στο μάθημα, ένας πίνακας σελίδων πολλαπλών επιπέδων μπορεί να μειώσει την φυσική μνήμη που καταναλώνει ο ίδιος ο πίνακας σελίδων, αφού κρατάει μόνο τις ενεργές εγγραφές, δηλαδή εγγραφές για τα κομμάτια φυσικής μνήμης που χρησιμοποιεί μια διεργασία.

i) Όπως συζητήσαμε στο μάθημα, επιλέγουμε ο πίνακας του κάθε επιπέδου να καταλαμβάνει μια σελίδα φυσικής μνήμης. Γιατί κάνουμε αυτή την επιλογή;

Αυτή η επιλογή γίνεται ώστε να είναι εφικτός ο εντοπισμός όλων των αντιστοιχίσεων γρήγορα διότι η εικονική μνήμη είναι πιο μεγάλη από τη φυσική. Επιπλέον, υπάρχει 1-1 αντιστοίχιση μιας σελίδας σε μια διεργασία το οποίο προσφέρει ασφάλεια.

ii) Πόσα επίπεδα θα χρειαστούν για την υλοποίηση του πίνακα σελίδων σε αυτή τη περίπτωση;

Θα χρειαστούν  $4 \text{ Kbytes} / 4 \text{ bytes} = 1024$  εγγραφές  $= 2^{10} \rightarrow 10$  bits ανά επίπεδο. Οπότε, για 36 bits θα χρειαστούν 4 επίπεδα.

iii) Πόσες αναφορές στη μνήμη απαιτούνται για την μετάφραση μιας διεύθυνσης που προκάλεσε αστοχία (miss) στο TLB;

1<sup>η</sup> προσέγγιση:

Εφόσον χρειάζονται 4 επίπεδα και υπάρχει και TLB miss, θα γίνουν 6 προσβάσεις στην μνήμη για τον page table.

- Αν υπάρχει hit στον page table τότε ελέγχεται η cache, οπότε θα γίνουν 5 προσβάσεις.
  - Αν υπάρχει miss στη cache τότε πηγαίνει στην RAM που υπάρχει hit λόγω του ότι υπήρχε hit στον page table, οπότε θα γίνουν 6 προσβάσεις.
- Αν όμως υπάρχει miss στον page table τότε πηγαίνει στον δίσκο που θα φέρει τη διεύθυνση στην RAM και cache και θα ενημερώσει το page table και TLB.

## 2<sup>η</sup> προσέγγιση:

Εφόσον χρειάζονται 4 επίπεδα και υπάρχει και TLB miss, τότε θα γίνουν 4 προσβάσεις.

- Αν υπάρχει hit στον page table και hit στην cache τότε θα γίνουν 5 προσβάσεις.
  - Αν υπάρχει miss στην cache τότε θα υπάρχει hit στην RAM και επομένως θα γίνουν 6 προσβάσεις.
- Αν υπάρχει miss στον page table θα υπάρχουν 2 προσβάσεις από την παραπάνω περίπτωση και 1 πρόσβαση στο δίσκο οπότε συνολικά 7 προσβάσεις.

iv) Πόσος χώρος φυσικής μνήμης απαιτείται για την αποθήκευση του πίνακα σελίδων στη περίπτωση που μια διεργασία χρησιμοποιεί μόνο 4KB δεδομένων φυσικής μνήμης και στην περίπτωση που χρησιμοποιεί 8GB δεδομένων φυσικής μνήμης;

- Για 4 KB θα είναι  $4 \text{ KB} / 4 \text{ bytes} = 1024$  εγγραφές για κάθε επίπεδο.  
Άρα, για 4 επίπεδα θα είναι  $4096 \text{ εγγραφές} * 4 \text{ bytes} = 16 \text{ Kbytes}$
- Για 8 GB θα είναι  $8 \text{ GB} / 4 \text{ bytes} = 2097152$  εγγραφές για κάθε επίπεδο.  
Άρα, επειδή κάθε page table έχει 1024 εγγραφές, θα ισχύει  $2097152 / 1024 = 2048$  page tables.  
Σε κάθε επίπεδο υπάρχουν δείκτες που δείχνουν στο επόμενο. Στο τελευταίο θα είναι:  
 $(2*1024)+(2*1024)+(2048*1024)*4 \text{ bytes} = 8.015 \text{ Mbytes}$ .

C. Ένας inverted πίνακας σελίδων μπορεί να βελτιστοποιήσει επιπλέον το χώρο και χρόνο που απαιτούνται για την αποθήκευση και την προσπέλαση του.

i) Πόσες εγγραφές πίνακα σελίδων χρειάζονται για αυτή την υλοποίηση του πίνακα σελίδων;

Οι φυσικές σελίδες θα είναι:  $2^{34} \text{ bytes} / 2^{12} \text{ offset} = 2^{22}$ .

Αφού για inverted page table είναι μια εγγραφή για κάθε φυσική σελίδα, τότε  $2^{22}$  εγγραφές.

ii) Αν υποθέσουμε μία υλοποίηση βασισμένη σε πίνακα κατακερματισμού (hash table), πόσες αναφορές στη μνήμη απαιτούνται για την μετάφραση μιας διεύθυνσης που προκάλεσε αστοχία (miss) στο TLB στη καλύτερη και στη χειρότερη περίπτωση;

- Αν υπάρχει miss στον TLB τότε πηγαίνει στον Hash Anchor Table (1<sup>ο</sup> access) και από εκεί στον inverted page table (2<sup>ο</sup> access).
- Αν υπάρχει hit στον TLB τότε πηγαίνει στην cache (3<sup>ο</sup> access) και αν υπάρχει hit στην cache, τότε τελειώνει, αλλιώς, αν υπάρχει miss, πηγαίνει στην RAM όπου σίγουρα θα γίνει hit, αφού υπήρχε hit στον inverted page table (4<sup>ο</sup> access). Όμως, αν υπάρχει miss στον inverted page table, τότε θα υπάρχει miss και σε cache RAM οπότε θα πάει στον δίσκο να την φέρει και να ενημερώσει τα υπόλοιπα.

## Μέρος Β

Η εικονική μνήμη χρησιμοποιεί έναν πίνακα σελίδων για να κρατάει τις αντιστοιχίσεις των εικονικών διευθύνσεων σε φυσικές. Σας δίνονται οι εξής εικονικές διευθύνσεις οι οποίες αποτελούν μια ροή προσβάσεων στη μνήμη που παρατηρούνται σε ένα σύστημα.

0x123d, 0x08b3, 0x365c, 0x871b, 0xbee6, 0x3140, 0xc049

Υποθέτουμε μέγεθος σελίδας 4KB, έναν πλήρως συσχετιστικό TLB 4 καταχωρήσεων με πολιτική αντικατάστασης LRU (η τιμή 0 ορίζει την LRU καταχώρηση και η τιμή 3 την MRU καταχώρηση) και πίνακα σελίδων μοναδικού επιπέδου. Αν κάποια σελίδα δεν υπάρχει στη φυσική μνήμη και πρέπει να έρθει από τον δίσκο, τότε θεωρείστε ότι δεσμεύεται μια νέα σελίδα στη μνήμη στο αμέσως επόμενο ελεύθερο πλαίσιο μνήμης (αυξάνοντας κατά 1 τη τιμή του τρέχοντος μεγαλύτερου αριθμού πλαισίου μνήμης). Τέλος, δίνεται η αρχική κατάσταση του TLB και του πίνακα σελίδων.

4 KB =  $2^{12}$  bytes  $\rightarrow$  12 bits offset

- 0x123d = 001000111101 οπότε VPN = 1.  
Υπάρχει TLB miss & Page Fault (δεν υπάρχει στο Page Table και πρέπει να πάει στον δίσκο).
- 0x08b3 = 100010110011 οπότε VPN = 0.  
Υπάρχει TLB miss & hit στο Page Table.
- 0x365c = 011001011100 οπότε VPN = 3.  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- 0x871b = 011100011011 οπότε VPN = 8.  
Υπάρχει TLB miss & Page Fault.
- 0xbee6 = 111011100110 οπότε VPN = 11.  
Υπάρχει TLB miss & hit στο Page Table.
- 0x3140 = 000101000000 οπότε VPN = 3.  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- 0xc049 = 000001001001 οπότε VPN = 12.  
Υπάρχει TLB miss & Page Fault.

A. Δείξτε την τελική κατάσταση του TLB και του πίνακα σελίδων, αναφέροντας για κάθε πρόσβαση, αναφέρετε αν προκαλεί ευστοχία στο TLB, ευστοχία στον πίνακα σελίδων, ή σφάλμα σελίδας

Ο TLB γίνεται:

Valid	VPN	PPN	LRU
1	0	5	2
1	2	13	3
1	3	6	0
0	4	9	1

Ο Page Table γίνεται:

Valid	PPN
1	5
0	Disk
1	13
1	6
1	9
1	11
0	Disk
1	4
0	Disk
0	Disk
1	3
1	12

B. Θεωρώντας τώρα ότι το μέγεθος σελίδας είναι 16KB:

i) Απαντήστε τα προηγούμενα ερωτήματα.

Ο TLB γίνεται:

Valid	VPN	PPN	LRU
1	8	14	0
1	11	12	1
1	3	6	2
1	12	15	3

Ο Page Table γίνεται:

Valid	PPN
1	5
1	13
0	Disk
1	6
1	9
1	11
0	Disk
1	4
1	14
0	Disk
1	3
1	12
0	Disk

Ισχύει ότι  $16 \text{ KB} = 2^{14} \text{ bytes} \rightarrow 14 \text{ page offset}$ .

Οπότε,

- $0x123d$  οπότε  $\text{VPN} = 0$ .  
Υπάρχει TLB miss & hit στο Page Table.
- $0x08b3$  οπότε  $\text{VPN} = 0$ .  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- $0x365c$  οπότε  $\text{VPN} = 0$ .  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- $0x871b$  οπότε  $\text{VPN} = 2$ .  
Υπάρχει TLB miss & Page Fault.
- $0xb6e6$  οπότε  $\text{VPN} = 2$ .  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- $0x3140$  οπότε  $\text{VPN} = 0$ .  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.
- $0xc049$  οπότε  $\text{VPN} = 3$ .  
Υπάρχει TLB hit & hit στο Page Table.

ii) Αναφέρατε μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης μεγαλύτερου μεγέθους σελίδας.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι η μικρότερη επικάλυψη στο read/write page, τα page tables μικρότερου μεγέθους καθώς και τα λιγότερα page faults που παρατηρούνται. Όμως, στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται ο μεγάλος εσωτερικός κατακερματισμός αλλά και η χειρότερη τοπικότητα στα references.