

Οργάνωση Υπολογιστών (II) (κύρια και κρυφή μνήμη)

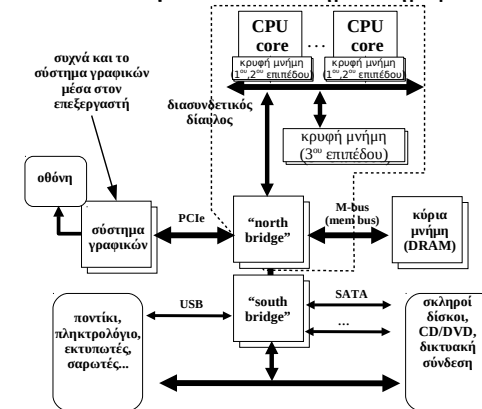
<http://mixstef.github.io/courses/csintra/>



Μ.Στεφανιδάκης

Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα σήμερα

• Εισαγωγή



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

2

Η μνήμη

• Εισαγωγή
• Μνήμη

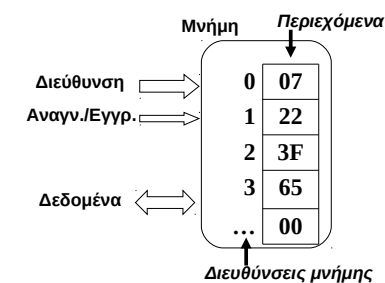
- Βασικό τμήμα του υπολογιστή
 - Αποθήκευση εντολών και δεδομένων
- Διαδοχικές θέσεις αποθήκευσης
 - Σε κάθε θέση αποθηκεύεται μια ποσότητα των n bits (εύρος, συνήθως 1 byte)
 - Σε κάθε θέση αντιστοιχεί μία μοναδική διεύθυνση (address)
 - μη προσημασμένος δυαδικός αριθμός
 - με m bits επιλέγουμε μεταξύ 2^m διευθύνσεων
 - Χώρος διευθύνσεων μνήμης: $0 \dots 2^m - 1$
 - Συνολική χωρητικότητα μνήμης:
 - $2^m \times n$ bits
- Πρόκειται για μια ιεραρχία υποσυστημάτων
 - Κρυφές μνήμες (caches), κύρια μνήμη

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

3

Μοντέλο λειτουργίας μνήμης

• Εισαγωγή
• Μνήμη



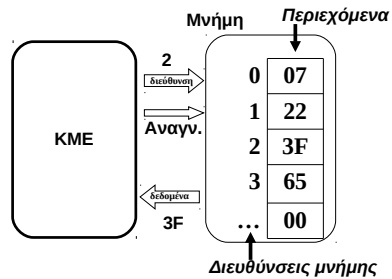
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

4

Ανάγνωση από μνήμη

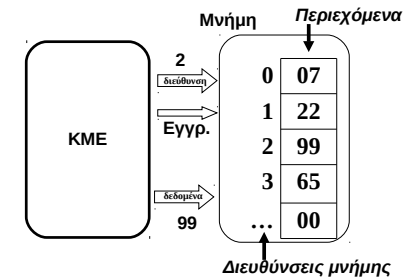
- Εισαγωγή
- Μνήμη

!
 Ακόμα κι αν μπορούμε να διαβάσουμε ή γράψουμε μεμονωμένα bytes, η φυσική επικοινωνία με τη μνήμη γίνεται σε «λέξεις» (πολλαπλά bytes)



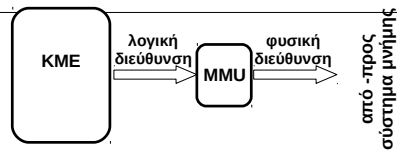
Εγγραφή στη μνήμη

- Εισαγωγή
- Μνήμη



Sneak Preview: Εικονική μνήμη

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



- Κάθε πρόγραμμα βλέπει λογικές διευθύνσεις μνήμης
 - Από το 0 έως τη μέγιστη που υποστηρίζει το λειτουργικό σύστημα
- Μετάφραση σε φυσικές διευθύνσεις μνήμης
 - Από το σύστημα διαχείρισης μνήμης (memory management unit – MMU) που συνοδεύει κάθε ΚΜΕ
- Εικονική Μνήμη (virtual memory)
 - Θα την δούμε σε μεγαλύτερο εξάμηνο

Μονάδες μέτρησης χωρητικότητας μνήμης

- Εισαγωγή
- Μνήμη

!
 Προσοχή!
 Μόνο η χωρητικότητα της μνήμης μετράται σε δυνάμεις του 2!

- 1 Byte = 8 bits
- 1 KiloByte (KB) = 2^{10} Bytes
 - 1.024 Bytes
- 1 MegaByte (MB) = 2^{10} KB = 2^{20} Bytes
 - 1.048.576 Bytes
- 1 GigaByte (GB) = 2^{10} MB = 2^{30} KB = 2^{30} bytes
 - 1.073.741.824 Bytes
- Κλπ...

Τεχνολογίες μνημών

- Εισαγωγή
- Μνήμη

i

“κελί” (cell):
ο χώρος
αποθήκευσης ενός
bit.

DRAM: 1
τρανζίστορ/κελί

SRAM: 6
τρανζίστορ/κελί

- Μνήμη “τυχαίας προσπέλασης”
 - Random Access Memory (RAM)
 - Ανάγνωση-Εγγραφή
 - Στατική (SRAM) και δυναμική (DRAM)
 - Διαφορετική μέθοδος υλοποίησης “κελιών” (cells) μνήμης
 - SRAM: πολύ γρήγορη – μικρότερη ολοκλήρωση (χρήση: κρυφή μνήμη)
 - DRAM: αργότερη – μεγάλη ολοκλήρωση (χρήση: κύρια μνήμη)
 - Απαιτείται περιοδική ανανέωση των δεδομένων κάθε 16 έως 128 ms (DRAM refresh)
 - Και στις δύο χάνονται τα δεδομένα με τη διακοπή της τροφοδοσίας

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

9

Τεχνολογίες μνημών

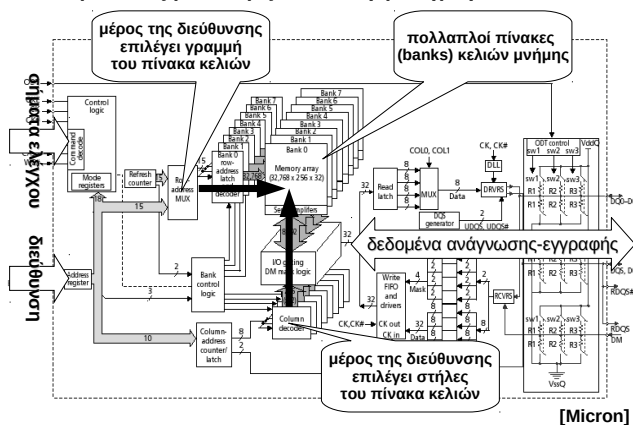
- Εισαγωγή
- Μνήμη

- Μνήμες μόνιμης αποθήκευσης
 - Διατήρηση δεδομένων χωρίς τροφοδοσία
- Μόνο για ανάγνωση
 - Read Only Memory (ROM)
 - Ακολουθεί το κλασσικό μοντέλο μνήμης
 - Αποθήκευση κώδικα αρχικοποίησης υπολογιστή
- Αργή ανάγνωση-εγγραφή αλλά μαζική αποθήκευση
 - FLASH
 - Μοιάζει με δίσκο αποθήκευσης κι όχι με το κλασσικό μοντέλο μνήμης
 - Ανάγνωση-εγγραφή μπλοκ δεδομένων

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

10

Παράδειγμα: οργάνωση μνήμης DRAM



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

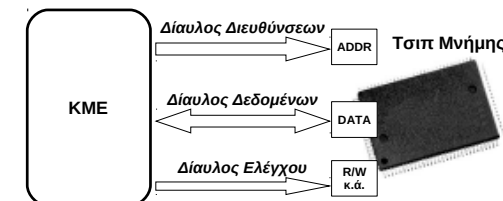
11

Την «παλιά εποχή»: Απευθείας διασύνδεση ΚΜΕ – κύριας μνήμης

- Εισαγωγή
- Μνήμη

i

Διάλογοι: ομάδες
αγωγών για τη
μεταφορά
πληροφορίας.



- Διεύθυνση
 - Προς/από πού γίνεται η προσπέλαση;
- Δεδομένα
 - Τα δεδομένα ανάγνωσης/εγγραφής
- Έλεγχος
 - Ανάγνωση ή εγγραφή; και συγχρονισμός μεταφοράς

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

12

Η κύρια μνήμη σήμερα

- Εισαγωγή
- Μνήμη

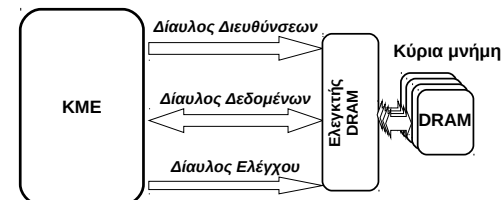
- Υποσύστημα κύριας μνήμης
 - Μεγάλες χωρητικότητες (GBs)
 - Μεγάλο εύρος (bits) διαύλου μεταφοράς
 - Για την ικανοποίηση των αναγκών των ΚΜΕ
 - 64 και πλέον bits ανά μεταφορά
 - ≥ 400 MTransfers/sec, ≥ 3.2 GB/s
- Ελεγκτής κύριας μνήμης
 - Λόγω της πολυπλοκότητας της διασύνδεσης
 - Μια ΚΜΕ δεν συνδέεται απευθείας με τη μνήμη
 - Αλλά: παρεμβάλλεται ο ελεγκτής κύριας μνήμης
 - Το μοντέλο προσπέλασης δεν αλλάζει

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

13

Διασύνδεση με κύρια μνήμη

- Εισαγωγή
- Μνήμη



- Ελεγκτής κύριας μνήμης
 - Μετατρέπει τις αιτήσεις ανάγνωσης-εγγραφής της ΚΜΕ στα κατάλληλα σήματα (εντολές) προς τα τσιπ κύριας μνήμης (DRAM)

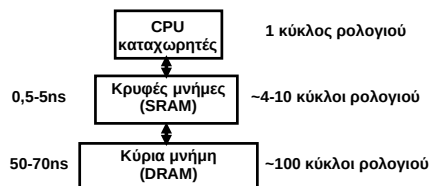
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

14

Ιεραρχία Μνήμης

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή μνήμη

- Προσέγγιση της ιδανικής μνήμης
 - Ο επεξεργαστής βλέπει “μνήμη”
 - Με την ταχύτητα του υψηλότερου επιπέδου
 - Και το μέγεθος του χαμηλότερου επιπέδου

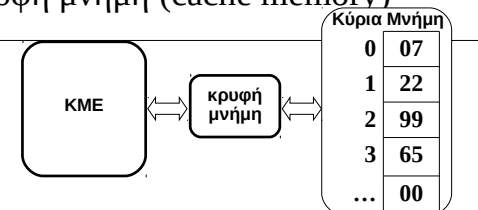


Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

15

Κρυφή μνήμη (cache memory)

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή μνήμη



- Μεταξύ ΚΜΕ και κύριας μνήμης
 - Περιέχει ένα μέρος μόνο των περιεχομένων της κύριας μνήμης
 - Διαφορετικές θέσεις κύριας μνήμης φορτώνονται στην ίδια θέση της κρυφής
 - Γρηγορότερη από κύρια μνήμη
 - Εκμετάλλευση της τοπικότητας των προσπελάσεων
 - Διαχείριση από υλικό – διαφανής στο λογισμικό!
 - Σήμερα: κρυφή μνήμη σε πολλά επίπεδα (L1, L2, L3)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

16

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή μνήμη

Η αρχή της τοπικότητας

- Χρονική Τοπικότητα**
 - Εάν προσπελαστεί μια θέση μνήμης, είναι πολύ πιθανό να προσπελαστεί ξανά στο άμεσο μέλλον
 - Π.χ. για εντολές ενός βρόχου (loop)
- Χωρική Τοπικότητα**
 - Εάν προσπελαστεί μια θέση μνήμης, είναι πολύ πιθανό να προσπελαστούν και οι γειτονικές θέσεις στο άμεσο μέλλον
 - Π.χ. συνεχόμενες εντολές προγραμμάτων
 - ή δεδομένα σε πίνακες

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

17

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή Μνήμη

Μπλοκ (γραμμές) κρυφής μνήμης

•Όταν πρέπει να μεταφερθεί μια λέξη στην κρυφή μνήμη, μεταφέρεται όλο το μπλοκ που την περιέχει (η λέξη και οι γειτονικές της)

•Το σύστημα κύριας μνήμης έχει βελτιστοποιηθεί αρχιτεκτονικά για μεταφορές μπλοκ

Οι σύγχρονοι επεξεργαστές διαθέτουν κρυφές μνήμες με τυπικό μέγεθος μπλοκ ίσο με 64 bytes

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

18

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή μνήμη

Ανάγνωση μέσω της κρυφής μνήμης

1. Ανάγνωση από διεύθυνση μνήμης Α

2α. Η διεύθυνση Α υπάρχει στην κρυφή μνήμη: Επιστροφή περιεχομένου διεύθυνσης Α (π.χ. σε 4 κύκλους ρολογιού)

2β. Η διεύθυνση μνήμης Α δεν υπάρχει στην κρυφή μνήμη: Ανάγνωση μπλοκ που περιέχει τη διεύθυνση Α από κύρια μνήμη

3β. Τα δεδομένα από την κύρια μνήμη προωθούνται στην κρυφή και στην ΚΜΕ (π.χ. σε 100 κύκλους)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

19

- Εισαγωγή
- Μνήμη
- Κρυφή μνήμη

Εγγραφή μέσω της κρυφής μνήμης

1. Εγγραφή στη διεύθυνση μνήμης Α

2α. Η διεύθυνση Α υπάρχει στην κρυφή μνήμη (παλιά δεδομένα): Ενημέρωση κρυφής μνήμης με νέα τιμή

2β. Η διεύθυνση Α δεν υπάρχει στην κρυφή μνήμη: Ανάγνωση μπλοκ που περιέχει τη διεύθυνση Α από κύρια μνήμη (παλιά δεδομένα)

3β. Τα δεδομένα από την κύρια μνήμη προωθούνται στην κρυφή όπου εισάγεται η νέα τιμή στη διεύθυνση Α από ΚΜΕ

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (II)”

20