

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Η/Υ
2025-26

Οργάνωση Υπολογιστών (II)

(κύρια και κρυφή μνήμη)

<https://mixstef.github.io/courses/csintro/>

Μ.Στεφανιδάκης



Η μνήμη

- Βασικό τμήμα του υπολογιστή
 - Αποθήκευση εντολών και δεδομένων
- Πρόκειται για μια ιεραρχία υποσυστημάτων
 - Κύρια μνήμη
 - Κρυφές μνήμες (caches)
 - Για να καλυφθεί το κενό απόδοσης μεταξύ γρήγορου επεξεργαστή και αργής κύριας μνήμης

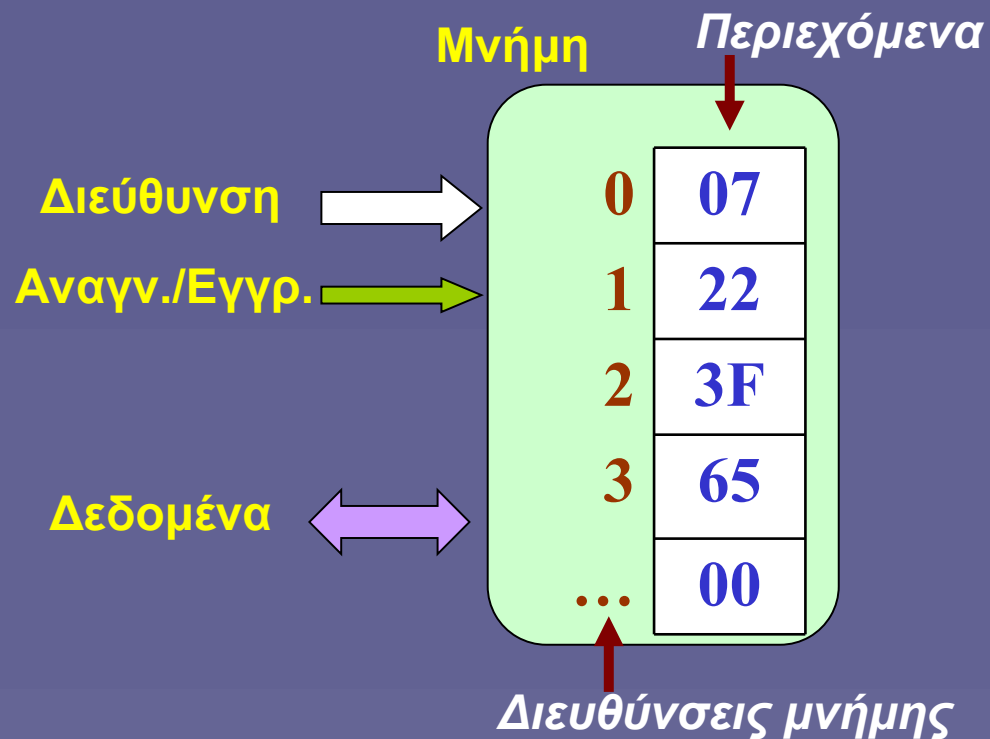
Αποθήκευση στη μνήμη

- Μνήμη: διαδοχικές θέσεις αποθήκευσης
 - Σε κάθε θέση αποθηκεύεται μια ποσότητα των n bits (συνήθως 1 byte)
 - Σε κάθε θέση αποθήκευσης αντιστοιχεί μία μοναδική διεύθυνση (address)
 - Δυαδικός αριθμός χωρίς πρόσημο
 - Με m bits επιλέγουμε μεταξύ 2^m διευθύνσεων
 - Χώρος διευθύνσεων μνήμης: $0 \dots 2^m - 1$
 - Συνολική χωρητικότητα μνήμης:
 - $2^m \times n$ bits

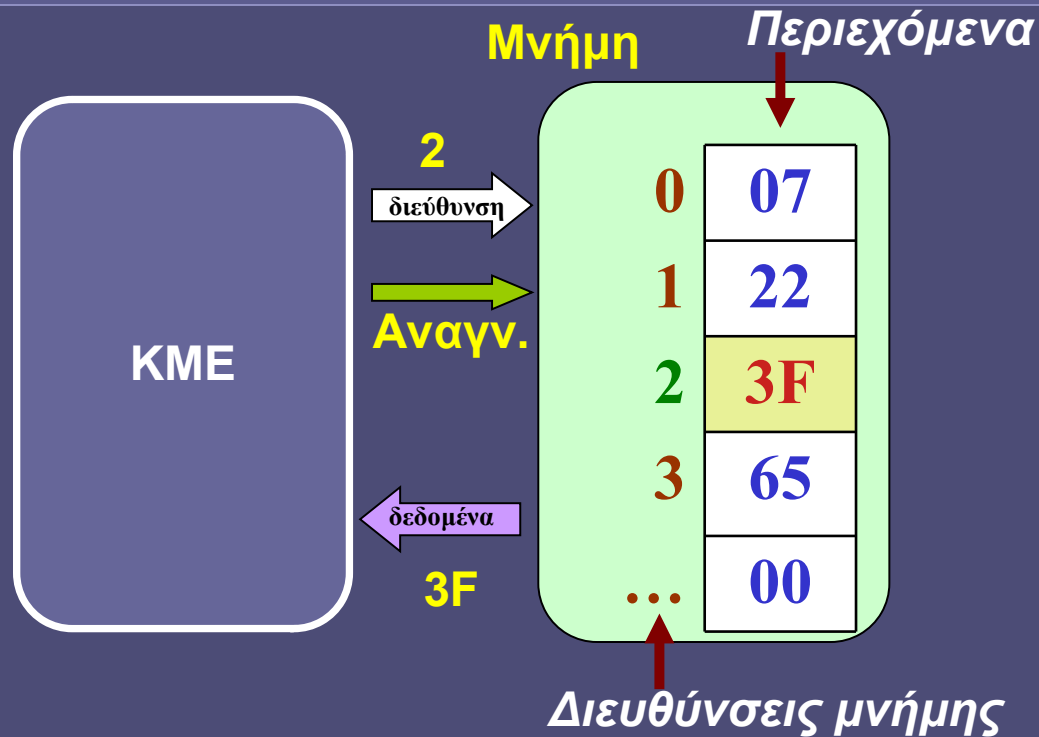
Μονάδες μέτρησης χωρητικότητας μνήμης

- Η χωρητικότητα της μνήμης μετράται σε δυνάμεις του 2
 - Κι όχι του 10 όπως στο μετρικό σύστημα (SI)
- 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^{20} KB = 2^{30} bytes
 - 1.073.741.824 Bytes
- Ομοίως για TeraByte (2^{40} bytes), PetaByte (2^{50} bytes)

Μοντέλο λειτουργίας μνήμης

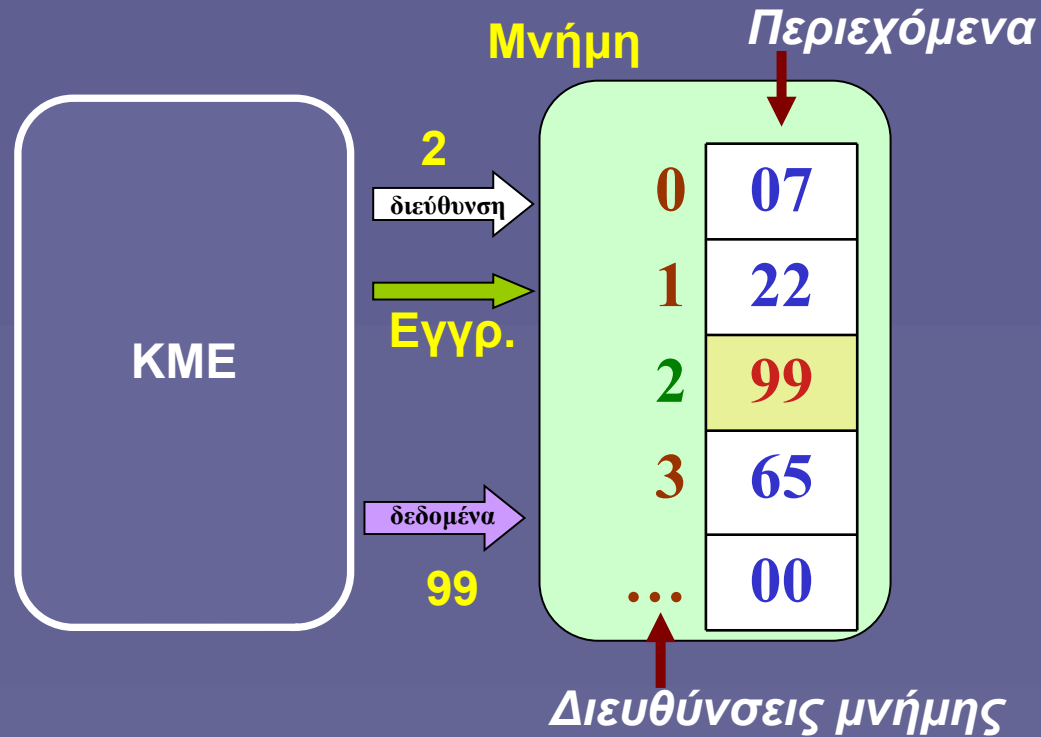


Ανάγνωση από μνήμη

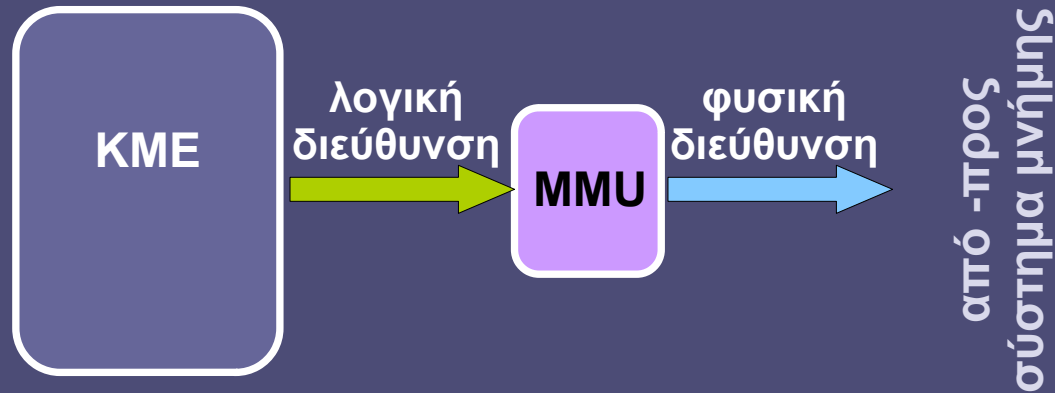


- Ακόμα κι αν το πρόγραμμά μας μπορεί να διαβάσει ή να γράψει μεμονωμένα bytes, η φυσική επικοινωνία με τη μνήμη γίνεται στην πραγματικότητα σε «**λέξεις**» (πολλαπλά bytes)

Εγγραφή στη μνήμη



Sneak Preview: Εικονική μνήμη



- 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 την KME
- **Εικονική Μνήμη (virtual memory)**
 - (θα την δούμε αργότερα)

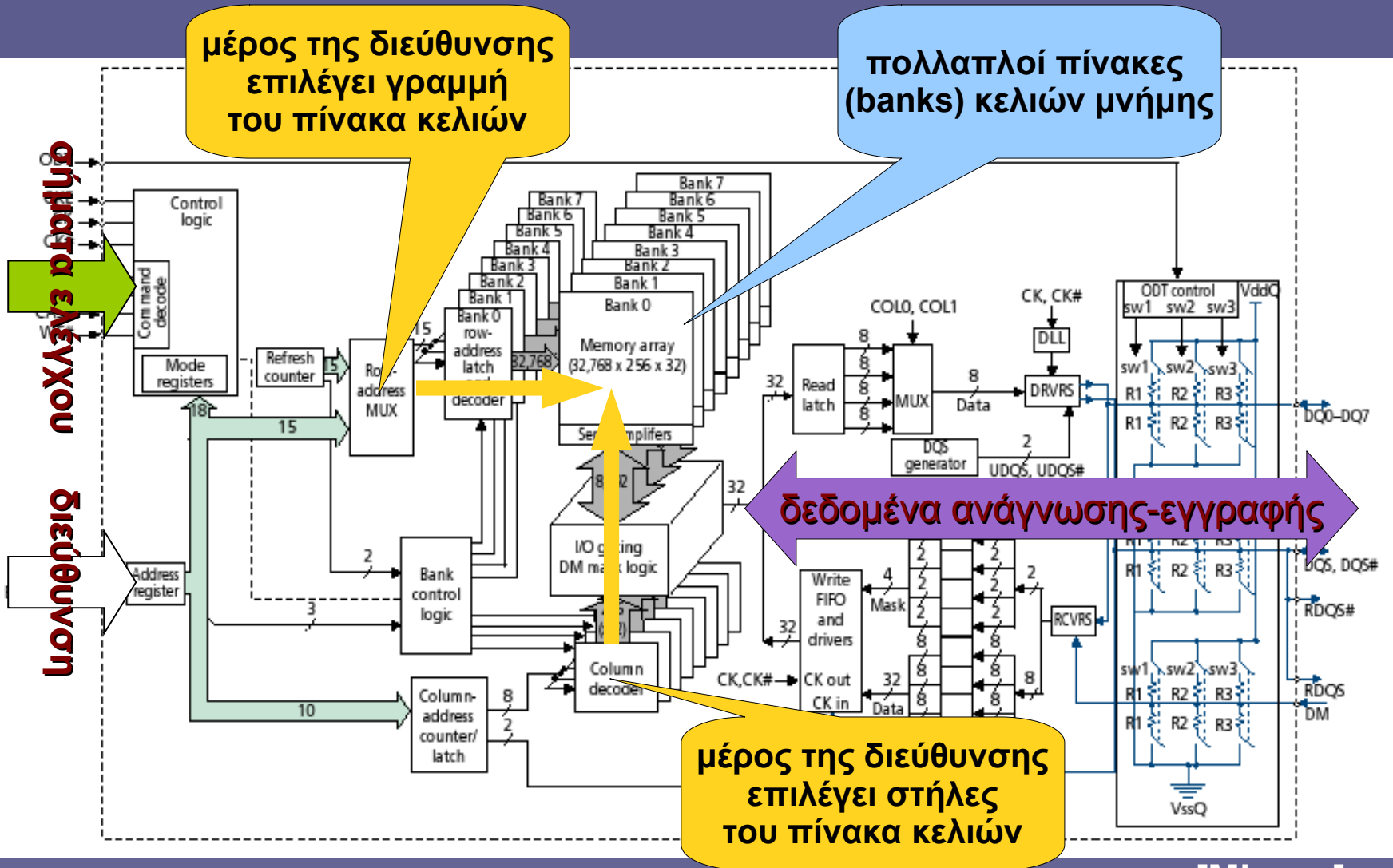
Τεχνολογίες μνημών

- Μνήμη “τυχαίας προσπέλασης”
 - Random Access Memory (RAM)
 - Ανάγνωση-Εγγραφή
 - Στατική (**SRAM**) και δυναμική (**DRAM**)
 - Διαφορετική μέθοδος υλοποίησης «κελιών» (cell, ο χώρος αποθήκευση ενός bit) 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

Τεχνολογίες μνημών

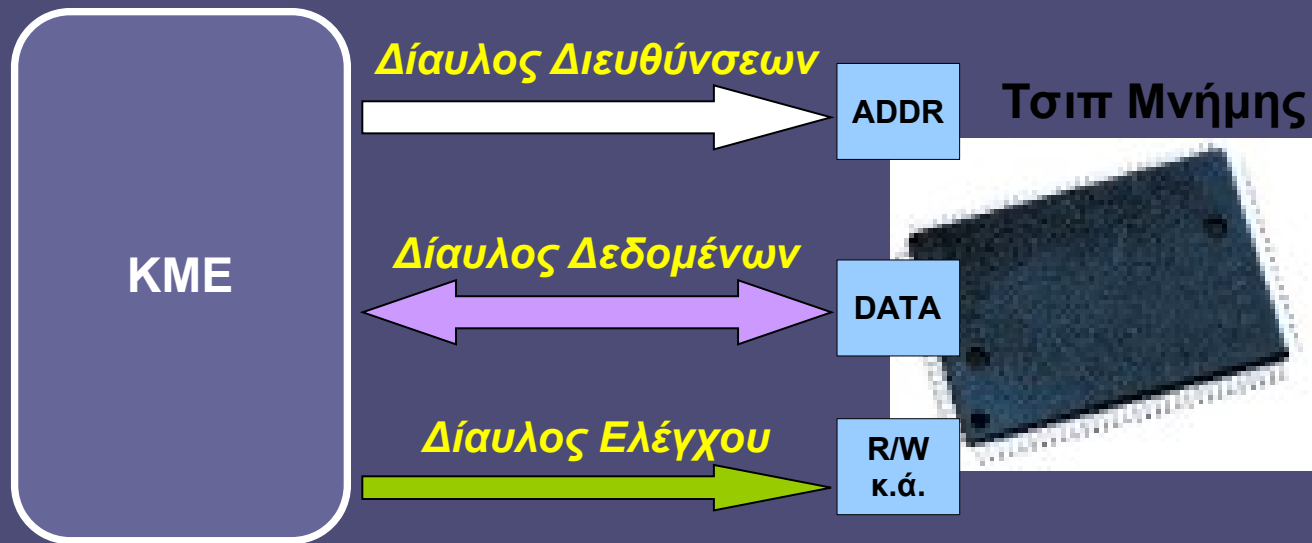
- Μνήμες μόνιμης αποθήκευσης
 - Διατήρηση δεδομένων χωρίς τροφοδοσία
- Μόνο για ανάγνωση
 - Read Only Memory (ROM)
 - Ακολουθεί το κλασσικό μοντέλο μνήμης
 - Αποθήκευση κώδικα αρχικοποίησης υπολογιστή
- Αργή ανάγνωση-εγγραφή αλλά μαζική αποθήκευση
 - FLASH
 - Μοιάζει με δίσκο αποθήκευσης κι όχι με το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

Παράδειγμα: οργάνωση μνήμης DRAM



[Micron]

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



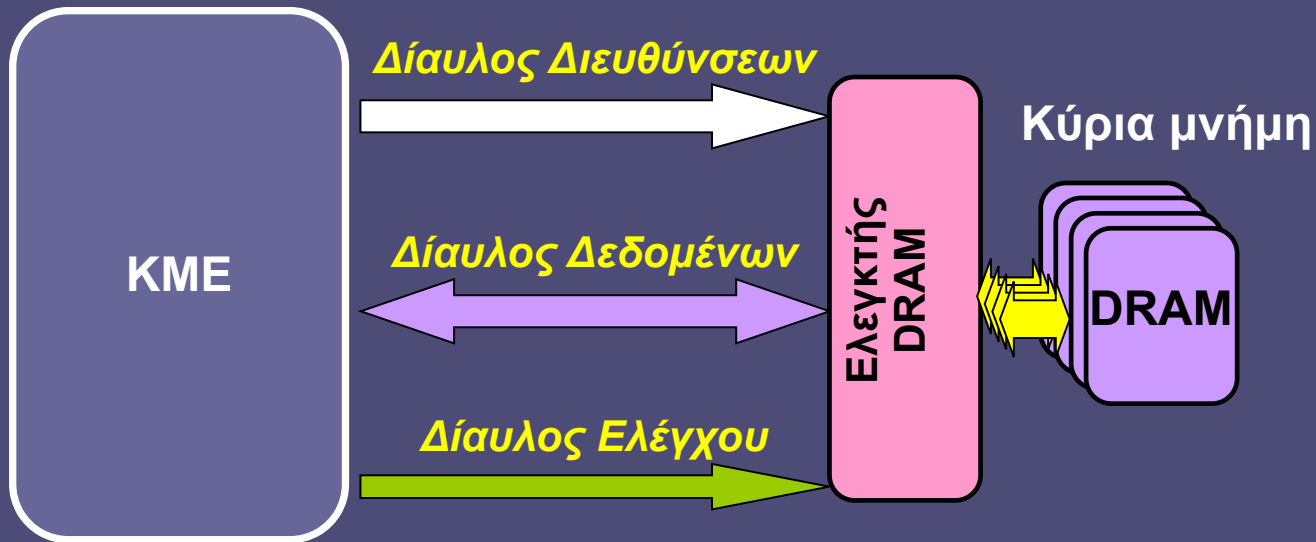
- Διεύθυνση
 - Προς/από ποια διεύθυνση γίνεται η προσπέλαση;
- Δεδομένα
 - Τα δεδομένα ανάγνωσης/εγγραφής
- Έλεγχος
 - Ανάγνωση ή εγγραφή; και συγχρονισμός μεταφοράς

Δίαυλος (bus):
ομάδα αγωγών για
τη μεταφορά
πληροφορίας.

Η κύρια μνήμη σήμερα

- 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

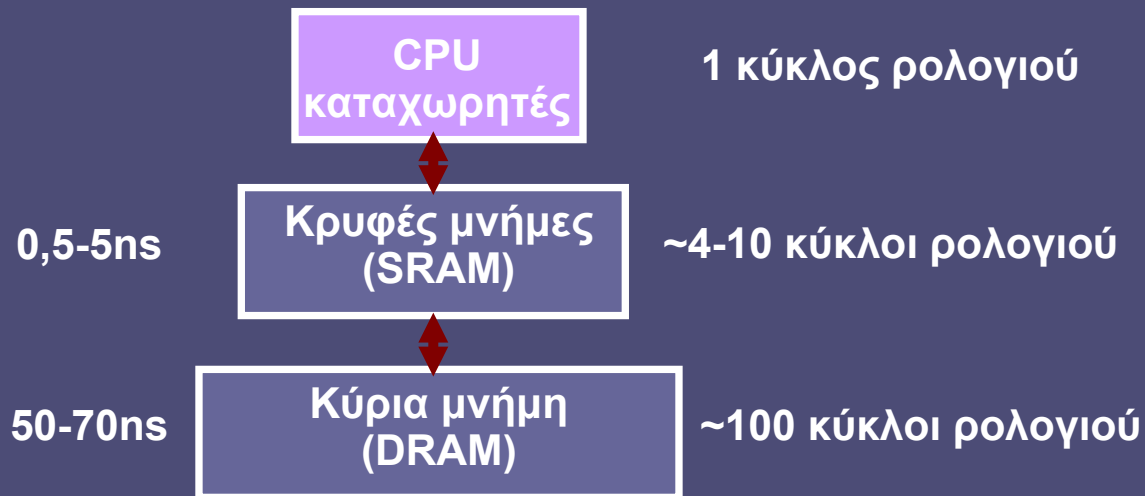
Διασύνδεση με κύρια μνήμη



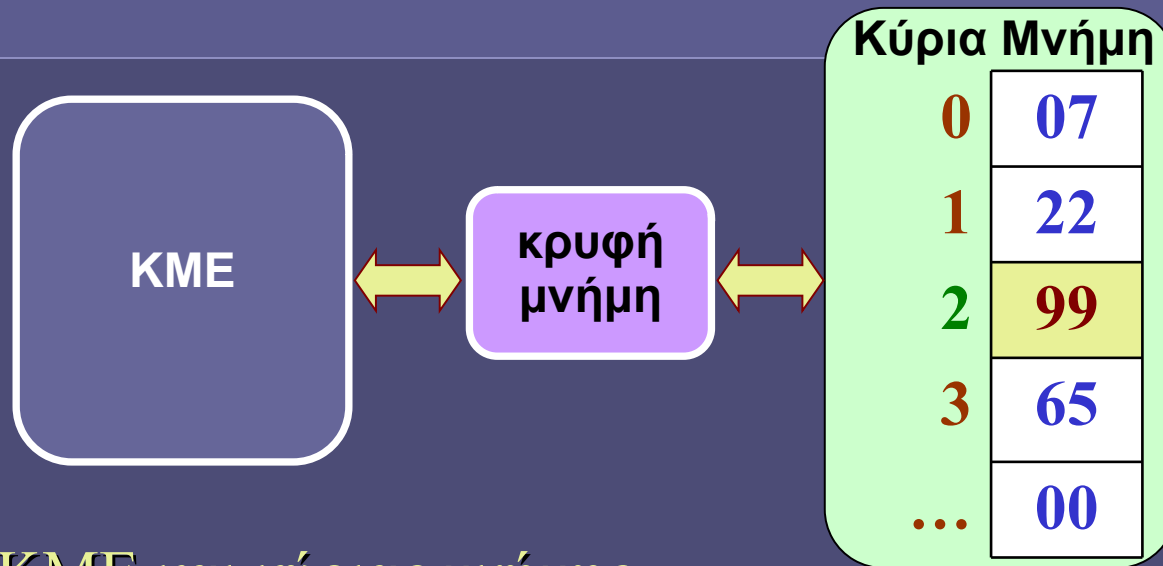
- Ελεγκτής κύριας μνήμης
 - Μετατρέπει τις αιτήσεις ανάγνωσης-εγγραφής της ΚΜΕ στα κατάλληλα σήματα (εντολές) προς τα τσιπ κύριας μνήμης (DRAM)

Ιεραρχία Μνήμης

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



Κρυφή μνήμη (cache memory)



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

Η αρχή της τοπικότητας

- Χρονική Τοπικότητα

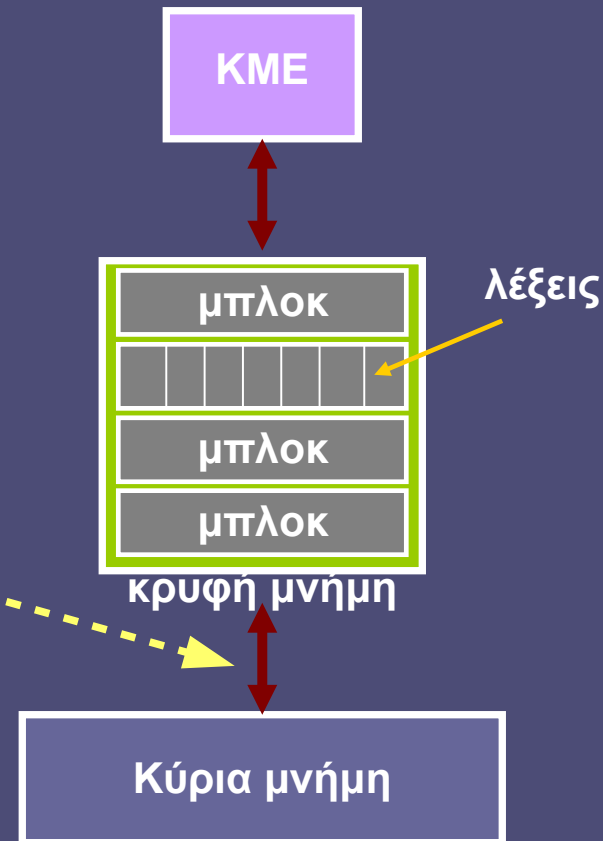
- Εάν προσπελαστεί μια θέση μνήμης, είναι πολύ πιθανό να προσπελαστεί ξανά στο άμεσο μέλλον
 - Π.χ. οι εντολές ενός βρόχου (loop)

- Χωρική Τοπικότητα

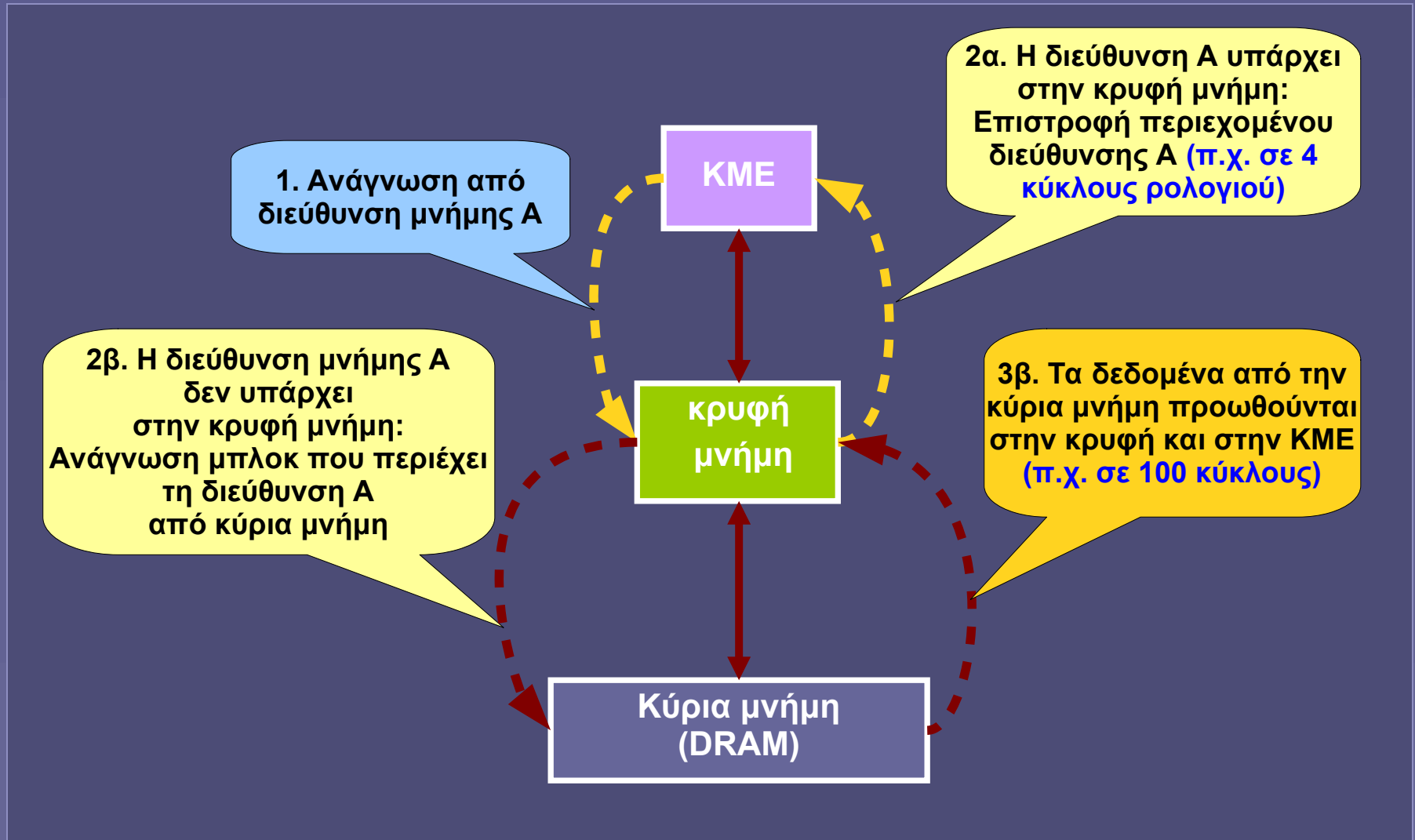
- Εάν προσπελαστεί μια θέση μνήμης, είναι πολύ πιθανό να προσπελαστούν και οι γειτονικές θέσεις στο άμεσο μέλλον
 - Π.χ. οι συνεχόμενες εντολές ενός προγράμματος
 - Ή τα διπλανά δεδομένα σε πίνακες (arrays)

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



Ανάγνωση μέσω της κρυφής μνήμης



Εγγραφή μέσω της κρυφής μνήμης

