

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής  
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών  
2018-19

# Διασύνδεση Εισόδου-Εξόδου

(συσκευές και δίαυλοι E/E)

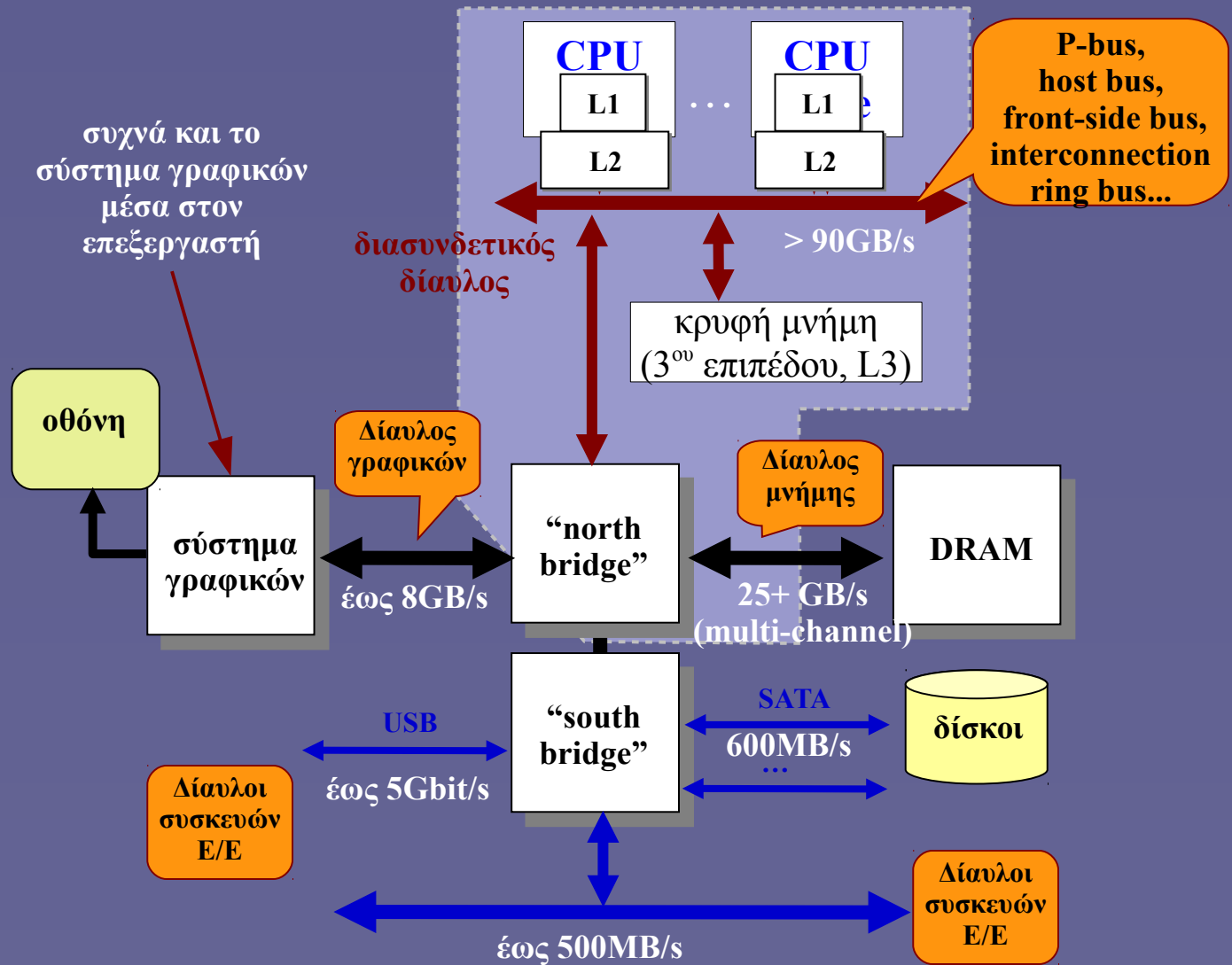
<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>

Μ.Στεφανιδάκης



# Διασυνδετικοί Δίαυλοι

- Διασυνδετικοί δίαυλοι



Διασυνδετικοί δίαυλοι:

Αναλαμβάνουν τη μεταφορά των δεδομένων σε ένα υπολογιστικό σύστημα

# Μεταφορά δεδομένων

- Διασυνδετικοί δίαυλοι

Ποιο θα μπορούσε να είναι το ζητούμενο από έναν διασυνδετικό δίαυλο εκτός της απόδοσης;

- Σε ένα υπολογιστικό σύστημα
  - Μεταφορά δεδομένων επεξεργασίας
    - Μεταξύ ΚΜΕ, κύριας μνήμης και συσκευών E/E
  - Απόδοση των διαύλων μεταφοράς
    - Σημαντική παράμετρος για τη συνολική απόδοση του υπολογιστή
- Χαρακτηριστικά διαύλων
  - Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαύλων
    - Με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά
  - Ανάλογα με τον ρόλο του καθενός διαύλου
    - Σε ένα υπολογιστικό σύστημα τα διασυνδεόμενα μέρη (και ιδίως οι συσκευές E/E) έχουν τελείως διαφορετικές ανάγκες μεταφοράς δεδομένων

# Τι διασυνδέει ένας δίαυλος;

- Διασυνδετικοί δίαυλοι

- Μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα
  - π.χ. ΚΜΕ-κρυφή μνήμη
    - Μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων, μέσω αγωγών μετάλλου “τυπωμένων” στην επιφάνεια πυριτίου
- Πάνω στο ίδιο τυπωμένο κύκλωμα
  - π.χ μεταξύ κύριας μνήμης και ελεγκτή μνήμης
    - Αγωγοί σχεδιασμένοι με ακρίβεια πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα
- Μεταξύ τυπωμένων κυκλωμάτων
  - π.χ η διασύνδεση με τις μονάδες δίσκου
    - Διασύνδεση μέσω εύκαμπτων καλωδίων σε αποστάσεις της τάξης του ενός μέτρου
- Μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων
  - π.χ η δικτυακή σύνδεση

# Βασικά χαρακτηριστικά διαύλων

- Διασυνδετικοί δίαυλοι

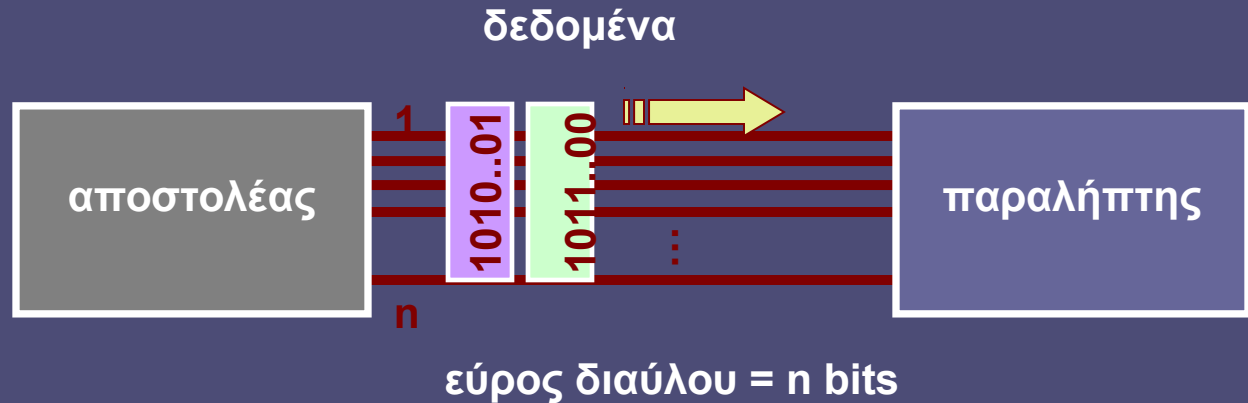


Μεταφορά δεδομένων: η γενική εικόνα

- Πόσα bits μεταφέρονται ταυτόχρονα;
- Πότε ο παραλήπτης θα διαβάσει την είσοδο;
- Ποια η τοπολογία του διαύλου;
- Πώς οργανώνεται η μεταφορά;

# Παράλληλοι δίαυλοι

- Διασυνδεδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου

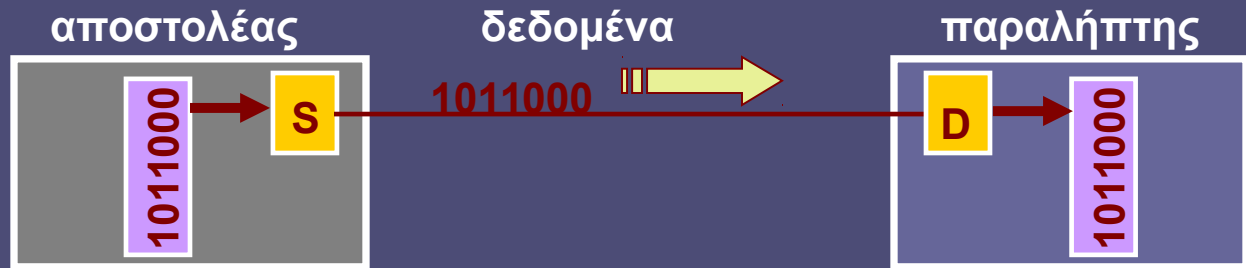


- Πολλαπλασιασμός των bits που μεταφέρονται **ταυτόχρονα**
  - Συχνά ο ρυθμός μετριέται σε μεταφορές/s (T/s)
  - Π.χ. 10MT/s για δίαυλο εύρους 64 bits → 640Mb/s
- Πολύ υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς
- Αλλά και μεγάλος ηλεκτρονικός “θόρυβος”
  - Απαιτείται ακριβής σχεδιασμός για να διατηρηθεί η ποιότητα του σήματος και ο συγχρονισμός στη μεταφορά δεδομένων
  - Χρησιμοποιείται στα υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας διαύλων

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων μετριέται πάντοτε σε μονάδες με βάση το 10: ρυθμός 1Mb/s =  $10^6$  b/s

# Σειριακοί δίαυλοι

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου

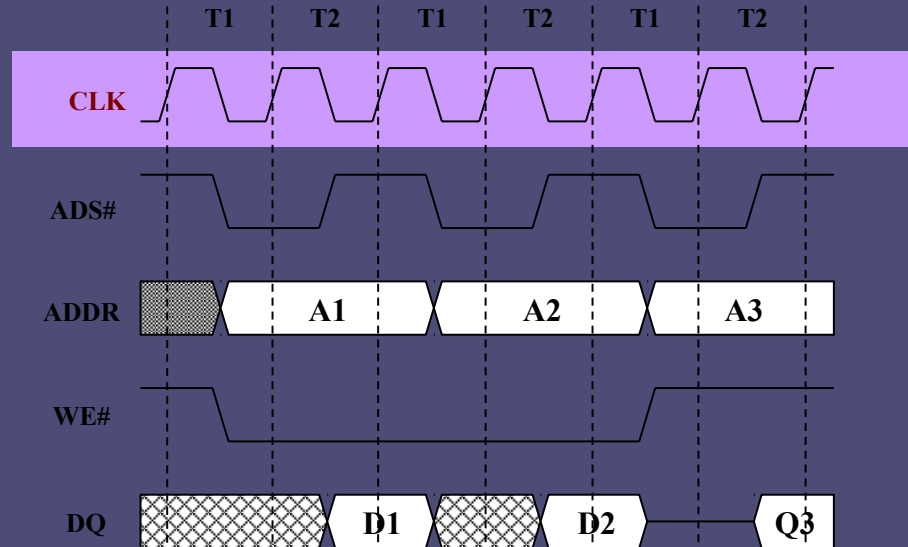


- Οι λέξεις (words) μετατρέπονται σε σειρά από bits πριν την αποστολή - και αντίστροφα μετά την παραλαβή
  - Serializer – deserializer (SerDes)
- Γιατί χρησιμοποιούνται;
  - Μεγαλύτερη ανοσία στον ηλεκτρονικό θόρυβο
  - Δυνατότητα μεταφοράς σε μεγαλύτερη απόσταση
  - Μικρότερες διαστάσεις αγωγού
  - Χρησιμοποιείται στα χαμηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας διαύλων

# Χρονισμός μεταφοράς

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός

Οι σύγχρονοι δίαυλοι χρησιμοποιούνται στα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας: π.χ. στο σχήμα φαίνεται η λειτουργία ενός τυπικού διαύλου της ΚΜΕ

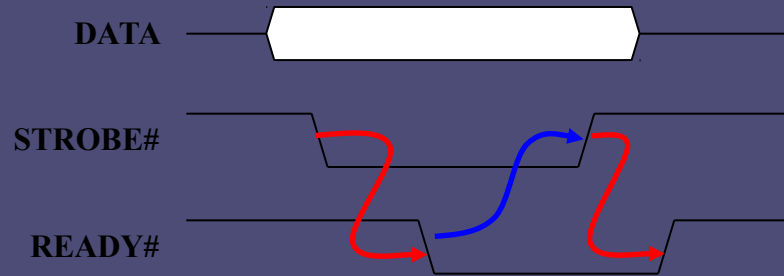


- Πότε ο αποστολέας θα στείλει τα δεδομένα στις εξόδους;
- Πότε ο παραλήπτης θα δειγματοληπτήσει τις εισόδους;
- Γραμμή ρολογιού (clock)
  - Στις ανερχόμενες ή/και κατερχόμενες ακμές
  - Σύγχρονοι δίαυλοι (synchronous)
  - Αλλά: ευαισθησία στις παραμορφώσεις του clock
  - Θόρυβος και κατανάλωση ενέργειας



# Άλλα σχήματα χρονισμού

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός

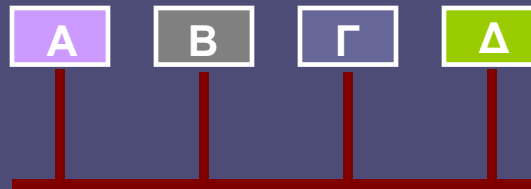


- **Ασύγχρονοι δίαυλοι (χωρίς ρολόι)**
  - Σήματα συγχρονισμού
  - Ανοσία σε παραμορφώσεις σημάτων
  - Αλλά: αργότερη μεταφορά – πολύπλοκη ανταλλαγή σημάτων
- **Ενσωμάτωση ρολογιού στα δεδομένα**
  - Δεν υπάρχει ξεχωριστή γραμμή clock
  - Αλλά ο παραλήπτης μπορεί να **συμπεράνει για το ρολόι του αποστολέα** αν το μεταδιδόμενο σήμα έχει **ικανό αριθμό ακμών** (εναλλαγές μεταξύ 0 και 1)

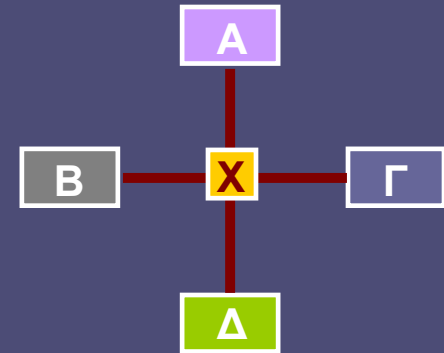
Σειριακοί δίαυλοι με ενσωμάτωση της χρονικής πληροφορίας στα δεδομένα χρησιμοποιούνται στα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας (π.χ. ο δίαυλος USB)

# Τοπολογίες Διαύλων

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες



Μοιραζόμενος δίαυλος

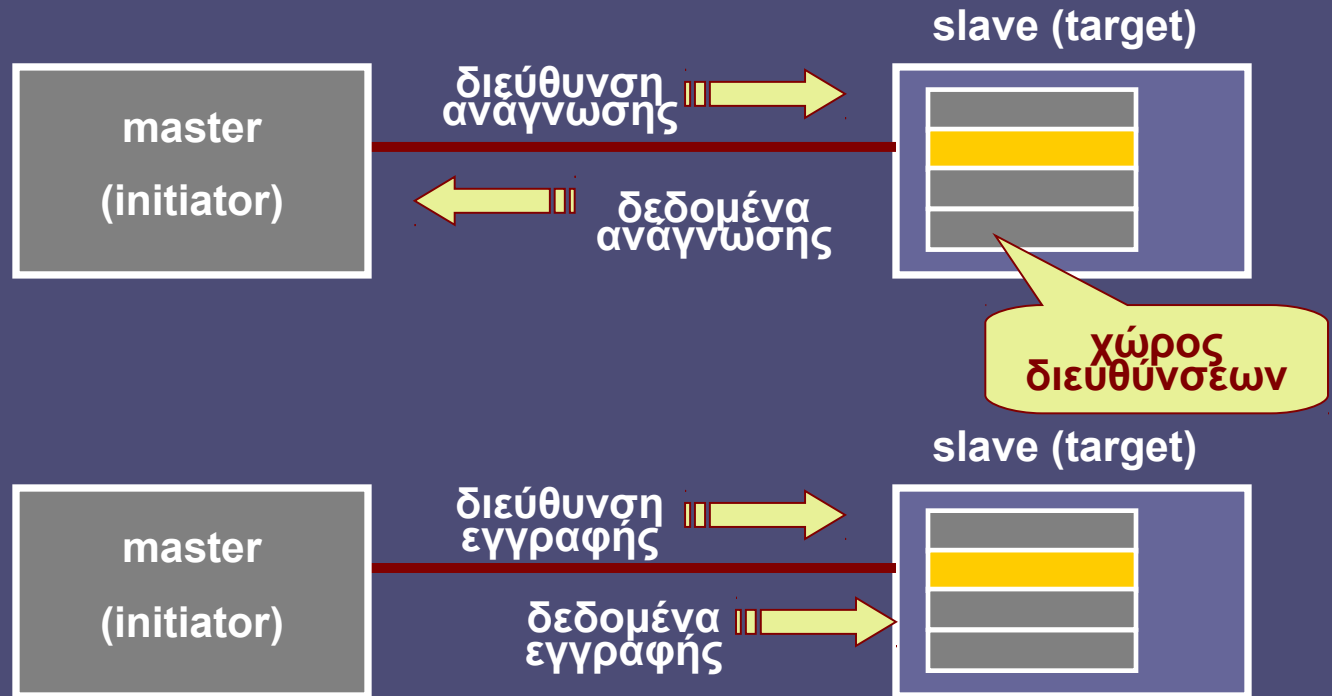


Point-to-point

- **Μοιραζόμενος δίαυλος**
  - Η παλαιότερη λύση
  - Αναγκαία η **διαιτησία** για την κατοχή του διαύλου
  - Κακή ποιότητα σημάτων → χαμηλότερη ταχύτητα
- **Point-to-point**
  - Διασύνδεση **πάντα** μεταξύ **δύο σημείων**
  - Τμήματα συγκέντρωσης-ανταλλαγής δεδομένων
    - Hubs ή switches
  - Νεώτερες λύσεις για υψηλότερη ταχύτητα μεταφοράς

# Οργάνωση μεταφοράς

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες
- Οργάνωση μεταφοράς



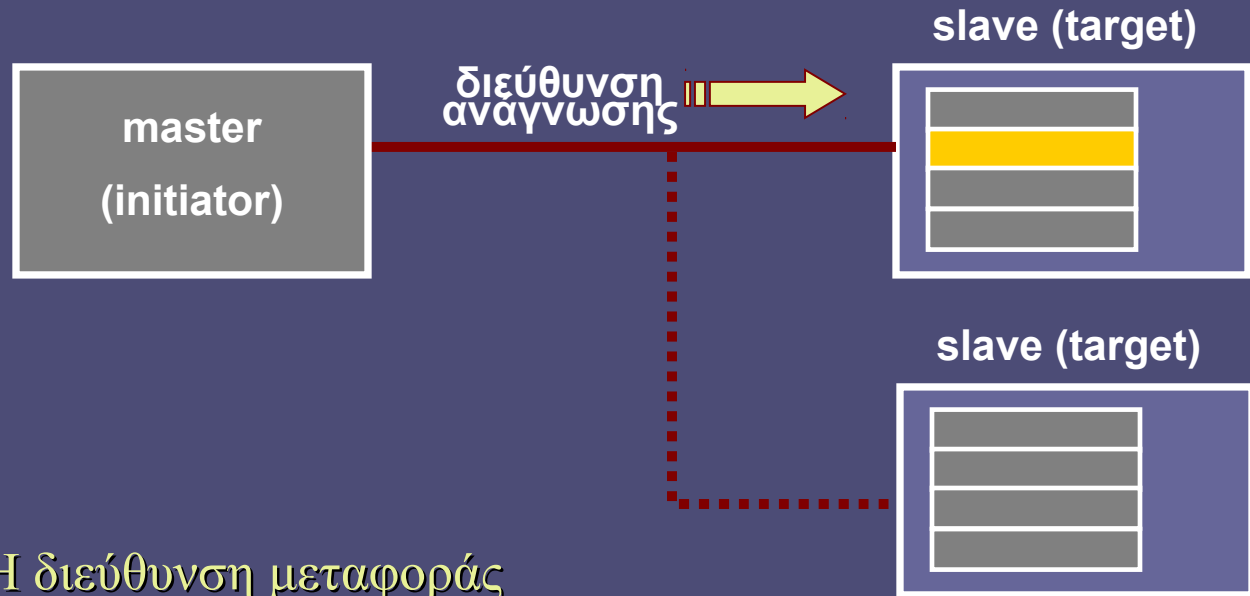
Η φορά της “ανάγνωσης” και της “εγγραφής” ορίζεται κατά σύμβαση!

- Η μεταφορά ελέγχεται από τον **master**
- Ανάγνωση ή εγγραφή από/στον **χώρο διευθύνσεων** του **slave**
  - Σε ποιον slave και σε ποιες λέξεις του slave γίνεται η μεταφορά

# Διεύθυνση μεταφοράς

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες
- Οργάνωση μεταφοράς

Το διπλανό σχήμα υλοποιείται φυσικά (σε μοιραζόμενους διαύλους) ή λογικά (όταν ο δίαυλος είναι point-to-point)



- **Η διεύθυνση μεταφοράς**
  - Επιλέγει slave
  - Επιλέγει λέξεις μέσα στον χώρο διευθύνσεων του slave
- **Κατανομή διευθύνσεων**
  - Είτε στατικά (στον σχεδιασμό)
  - Είτε δυναμικά (στην αρχικοποίηση του συστήματος)

# Φάσεις μεταφοράς

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες
- Οργάνωση μεταφοράς

Λόγω των φάσεων μεταφοράς, η χρήσιμη πληροφορία είναι (max) το 70% της μεταδιδόμενης!

Σπάνια επιτυγχάνονται οι ρυθμοί μεταφοράς (peak rates) που αναφέρονται στις προδιαγραφές!

- Σε κάθε μεταφορά σε έναν δίαυλο
- Ορισμένες (ή όλες) από τις εξής φάσεις:
  - **Διαιτησία (arbitration)**
    - Σε μοιραζόμενους διαύλους, απόκτηση του διαύλου
  - **Αίτηση (request)**
    - Αποστολή διεύθυνσης, κατεύθυνσης μεταφοράς (read/write), μήκους μεταφερόμενων δεδομένων (σε bytes)
  - **Απόκριση (response)**
    - Κατάσταση μεταφοράς (ολοκλήρωση, αποτυχία, επανάληψη, αναμονή)
  - **Δεδομένα (data)**
    - Τα μεταφερόμενα δεδομένα (όταν υπάρχουν)

# Πληροφορία μεταφοράς

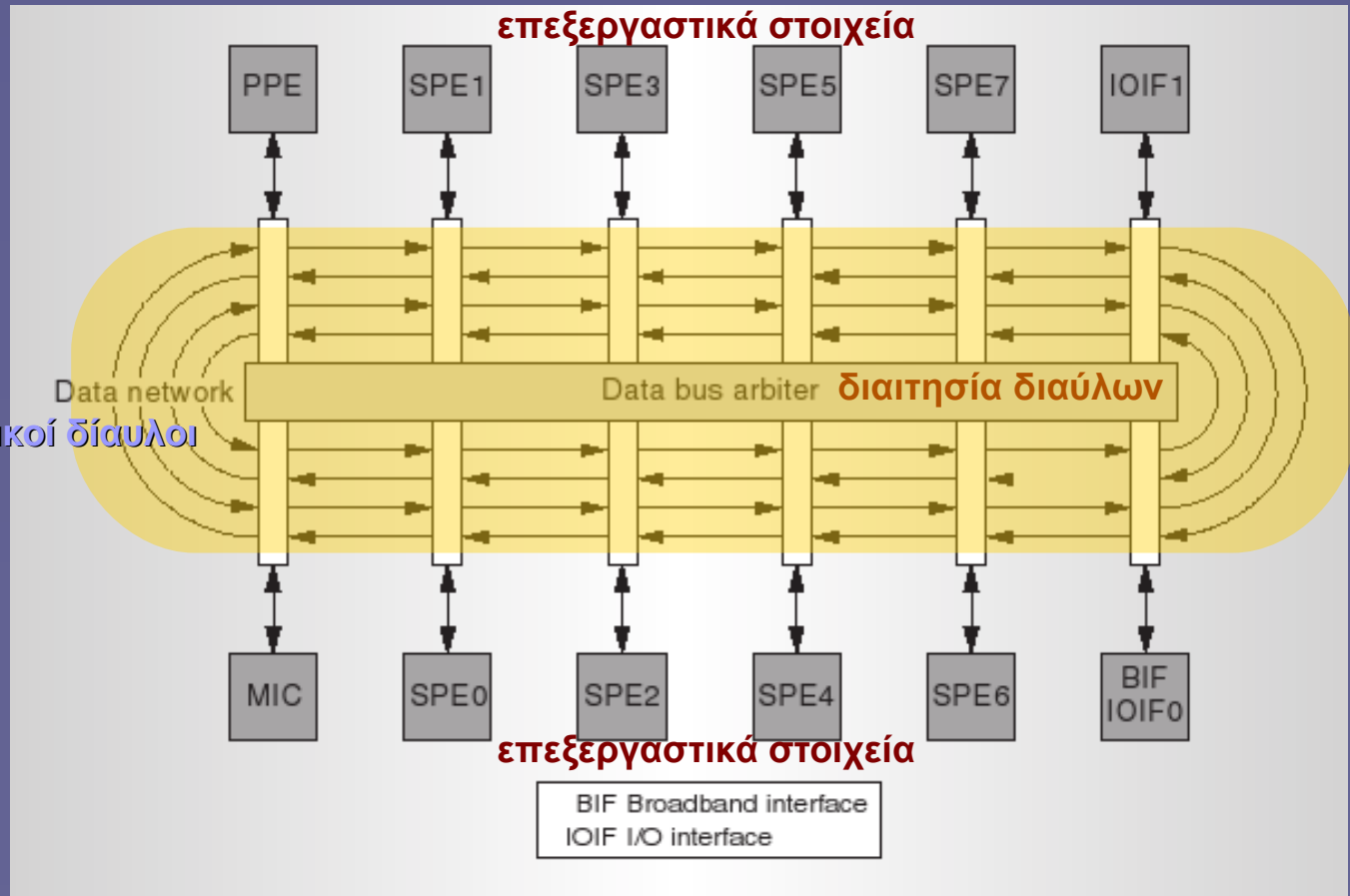
- Διασυνδετικοί δίαυλοι
  - Εύρος Διαύλου
  - Χρονισμός
  - Τοπολογίες
  - Οργάνωση μεταφοράς
- Διεύθυνση – δεδομένα – εντολές/κατάσταση
  - Παράλληλοι δίαυλοι
    - Συνήθως χρησιμοποιούνται ξεχωριστές γραμμές ανά είδος πληροφορίας
    - Συχνά κάποιες πληροφορίες είναι **χρονικά πολυπλεγμένες** για οικονομία στο πλήθος αγωγών
      - Π.χ. διεύθυνση-δεδομένα
  - Σειριακοί δίαυλοι
    - Τα πακέτα δεδομένων που ανταλλάσσονται περιέχουν **και τα 3 είδη πληροφορίας**

# Παράδειγμα διαύλου ΚΜΕ: Cell MP

- Διασυνδεδεμένοι δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες
- Οργάνωση μεταφοράς
- Παράδειγμα

διασυνδεδεμένοι δίαυλοι

peak transfer rate  
>200GB/s



[IEEE Micro, May-June 2006]

# Διασύνδεση συσκευών E/E

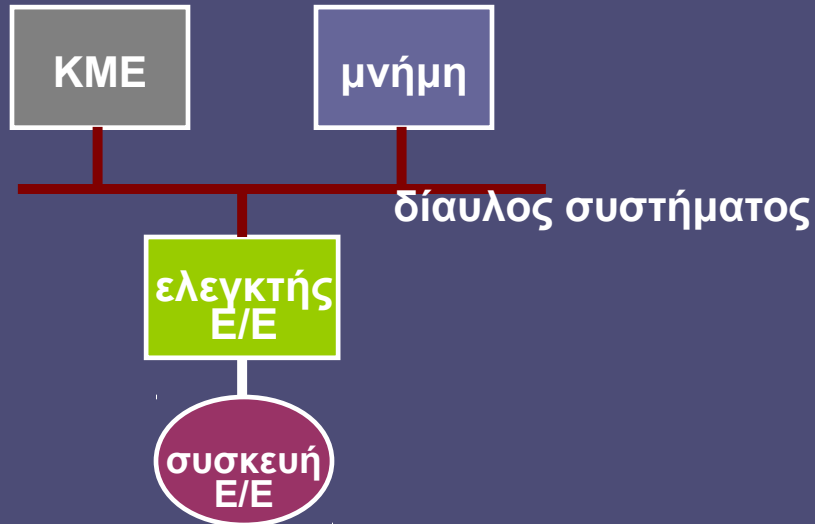
## Διασύνδεση E/E

- **Κατηγορίες συσκευών E/E ανάλογα με την διασύνδεσή τους στο σύστημα**
  1. Καθορισμός από τη σχεδίαση του συστήματος
    - Βασικά μέρη συστήματος (στη μητρική πλακέτα)
    - Το BIOS γνωρίζει ήδη για τις συσκευές αυτές
  2. Προσθήκη κατά τη σύνθεση του συστήματος
    - Κάρτες επέκτασης
    - Αναγνώριση κατά την εκκίνηση του συστήματος
  3. Προσθήκη κατά τη λειτουργία του συστήματος
    - Συσκευές που συνδέονται εξωτερικά στο σύστημα
    - Αναγνώριση κατά τη λειτουργία του συστήματος (hot-plug)



# Οι πρώτες μορφές διασύνδεσης

- Διασύνδεση E/E



- Διασύνδεση στον δίαυλο του συστήματος μέσω ενός **ελεγκτή E/E** (I/O controller ή adapter)
- Η ΚΜΕ “βλέπει” απευθείας τον ελεγκτή E/E
- Ο ελεγκτής αναλαμβάνει την επικοινωνία με την **πολύ αργότερη** συσκευή E/E

# Ο ρόλος ενός ελεγκτή E/E

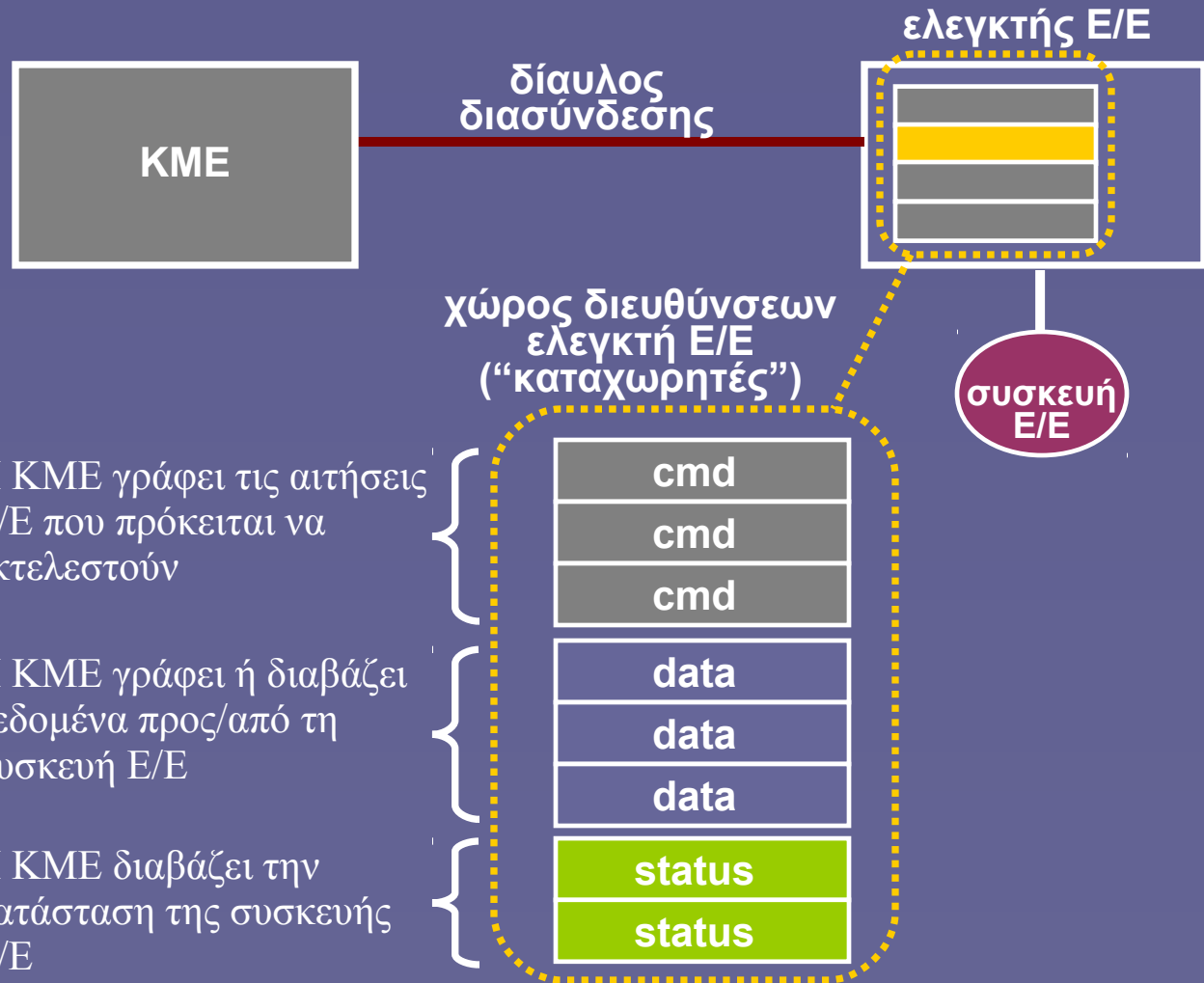
- Διασύνδεση E/E

Πώς επικοινωνεί η ΚΜΕ με τον ελεγκτή για την υλοποίηση των λειτουργιών αυτών;

- **Αποστολή εντολών προς τη συσκευή E/E**
  - Μετάφραση των αιτήσεων E/E της ΚΜΕ
    - Μόνο εντολές load-store φτάνουν στον ελεγκτή από την ΚΜΕ!
- **Λήψη ένδειξης κατάστασης συσκευής E/E**
  - Δυνατότητα ελέγχου πορείας μιας αίτησης E/E
    - Οι αιτήσεις E/E ολοκληρώνονται πολύ αργά σε σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας της ΚΜΕ!
- **Ειδοποίηση της ΚΜΕ**
  - Μετά την ολοκλήρωση αίτησης E/E
    - Μηχανισμός interrupts
- **Παροχή δεδομένων από συσκευή E/E**
  - Προς την ΚΜΕ ή αυτόνομα προς τη μνήμη
    - Μηχανισμός DMA

# Πώς βλέπει η ΚΜΕ έναν ελεγκτή E/E

- Διασύνδεση E/E



“Μοντέλο καταχωρητών” του ελεγκτή E/E

Οι καταχωρητές βρίσκονται στον χώρο διευθύνσεων του συστήματος

Η ΚΜΕ γράφει τις αιτήσεις E/E που πρόκειται να εκτελεστούν

Η ΚΜΕ γράφει ή διαβάζει δεδομένα προς/από τη συσκευή E/E

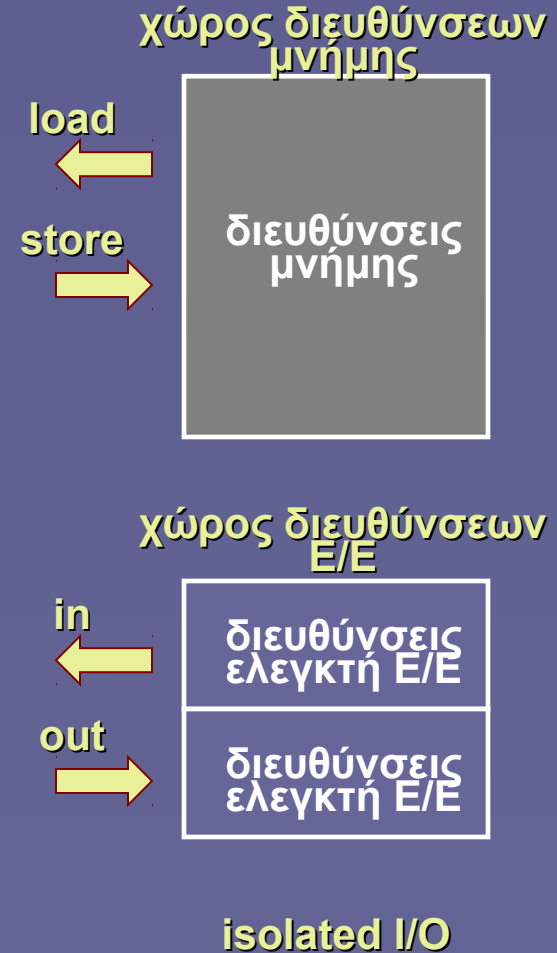
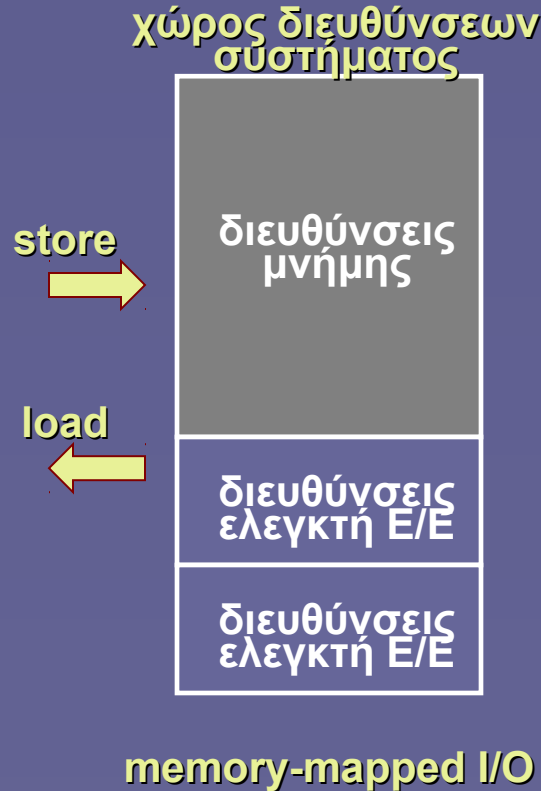
Η ΚΜΕ διαβάζει την κατάσταση της συσκευής E/E

# Χώροι διευθύνσεων για E/E

- Διασύνδεση E/E

Memory-mapped I/O: ενιαίος χώρος και διαχείριση των διευθύνσεων συστήματος

Isolated I/O: εύκολος διαχωρισμός εντολών αν πρέπει E/E να γίνεται μόνο από το ΛΣ



# Ανίχνευση ολοκλήρωσης αίτησης E/E

- Διασύνδεση E/E
- Εξυπηρέτηση E/E από ΚΜΕ

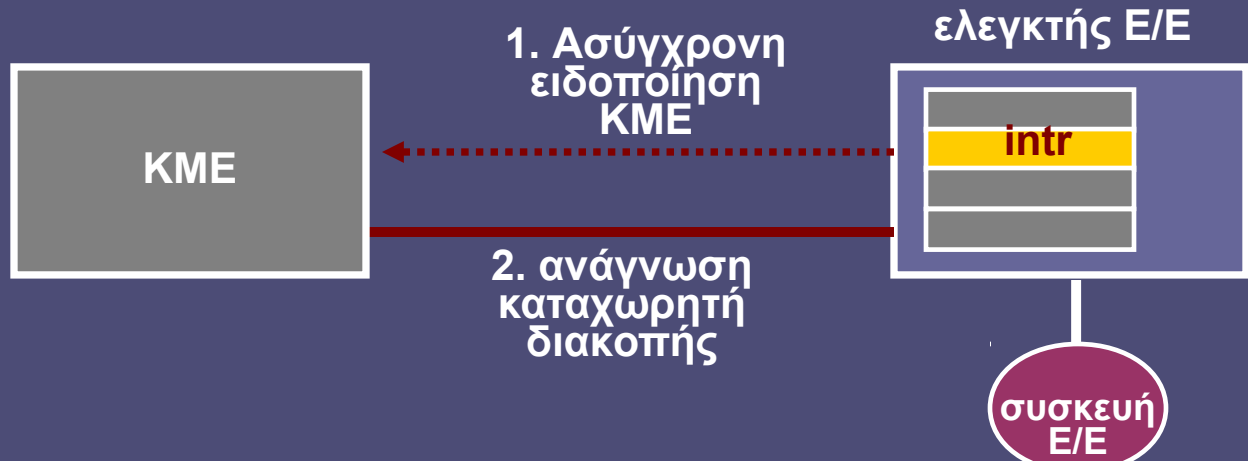


- **Περιοδική ανάγνωση καταχωρητή κατάστασης**
  - Ολοκληρώθηκε η τρέχουσα αίτηση;
  - Εμφανίστηκε κάποια αλλαγή κατάστασης στη συσκευή E/E;
  - Επαναληπτική διαδικασία **polling**
  - Επιβάρυνση ΚΜΕ με άσκοπους κύκλους εκτέλεσης – για μεγάλο διάστημα η κατάσταση θα παραμένει σταθερή περιμένοντας τη συσκευή E/E

Το polling παρά την επιβάρυνση χρησιμοποιείται σε συστήματα ελέγχου, όπου ο έλεγχος πρέπει να γίνεται σε προκαθορισμένα διαστήματα

# Ανίχνευση ολοκλήρωσης αίτησης E/E

- Διασύνδεση E/E
- Εξυπηρέτηση E/E από ΚΜΕ



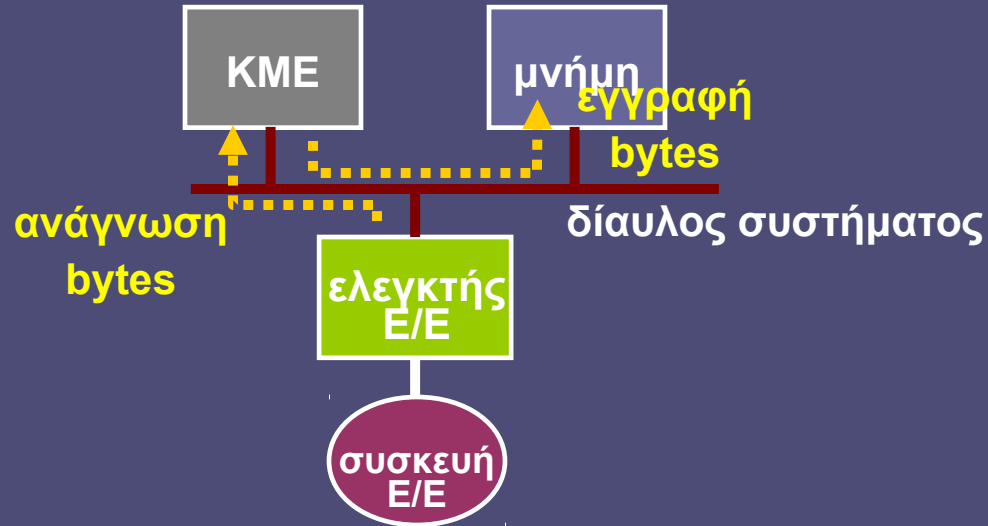
## ■ Ασύγχρονη ειδοποίηση ΚΜΕ (interrupts)

- Ο ελεγκτής ειδοποιεί την ΚΜΕ για αλλαγή κατάστασης της συσκευής E/E
- Στο μεταξύ η ΚΜΕ μπορεί να εκτελεί άλλη διεργασία
- Η διακοπή θα προκαλέσει την εκτέλεση ρουτίνας εξυπηρέτησης διακοπής (interrupt service routine – ISR)
- Ενδεχομένως η ΚΜΕ θα χρειαστεί πρόσθετη πληροφορία από ελεγκτή σχετικά με την αιτία της διακοπής

Παλαιότερα ο ελεγκτής ειδοποιούσε την ΚΜΕ με ξεχωριστό σήμα διακοπής. Σήμερα αυτό υλοποιείται με ανταλλαγή μηνυμάτων μέσω του διαύλου διασύνδεσης

# Μετακίνηση δεδομένων από/προς μνήμη

- Διασύνδεση E/E
- Εξυπηρέτηση E/E από KME

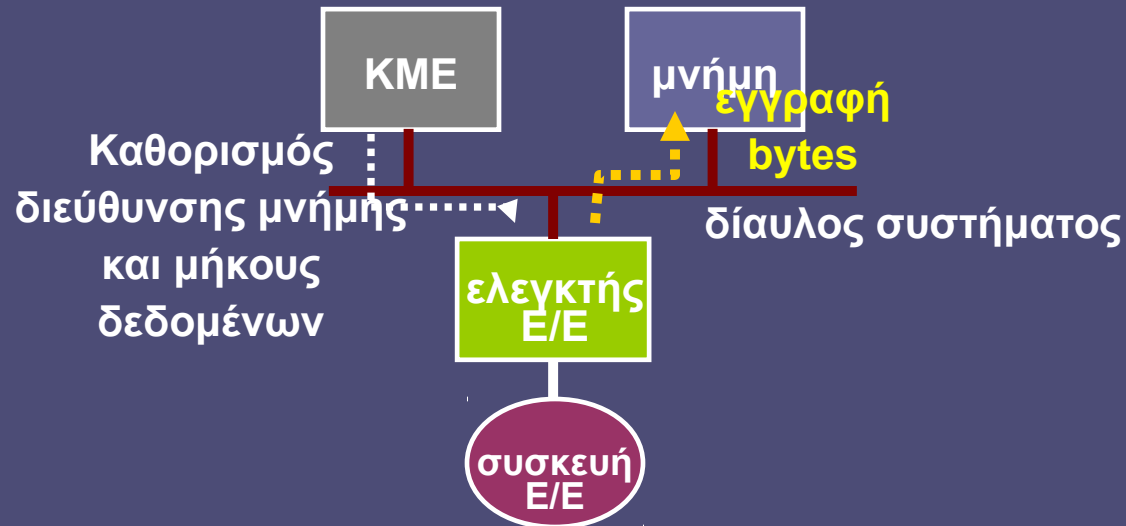


Εάν η συσκευή E/E είναι κάρτα δικτύου 100Mbps Ethernet και δημιουργεί διακοπή για κάθε πακέτο με μέσο μήκος 256 bytes, πόσες φορές/sec θα ζητηθεί εξυπηρέτηση από την KME;

- Μετά από διακοπή ή polling
- Η KME **επαναληπτικά** διαβάζει δεδομένα από τον ελεγκτή E/E και τα γράφει στη μνήμη – και το αντίστροφο
- Σημαντική επιβάρυνση της KME όσο
  - το μέγεθος των δεδομένων κάθε αίτησης E/E αυξάνονται
  - ο ρυθμός ολοκλήρωσης αιτήσεων E/E αυξάνεται

# Direct Memory Access (DMA)

- Διασύνδεση E/E
- Εξυπηρέτηση E/E από KME



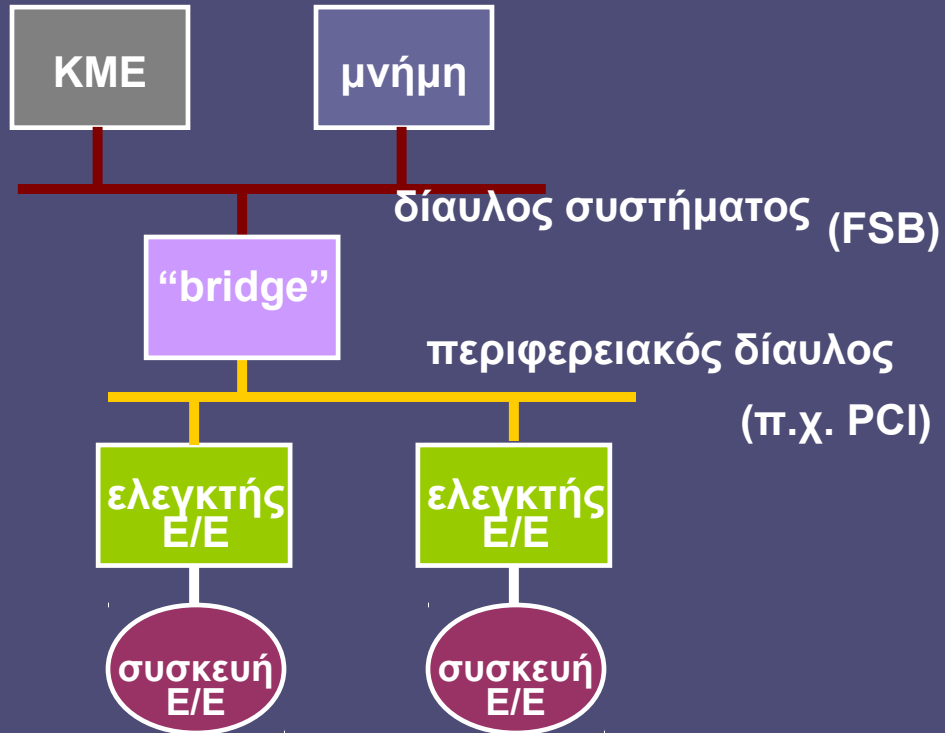
Όταν το σύστημα χρησιμοποιεί εικονική μνήμη, θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ώστε κατά τη μεταφορά DMA τα δεδομένα να τοποθετηθούν στη σωστή φυσική διεύθυνση

- Η KME απλά θέτει τις παραμέτρους της μεταφοράς
- Ο ελεγκτής διεκδικεί τον δίαυλο του συστήματος και μεταφέρει δεδομένα απευθείας προς/από τη μνήμη
  - Ή ξεχωριστός ελεγκτής DMA
  - Η KME μπορεί να εκτελεί άλλη διεργασία
  - Σύγκρουση στη μνήμη, αλλά ή KME έχει και την κρυφή μνήμη!



# Η εμφάνιση του περιφερειακού διαύλου

- Διασύνδεση E/E
- Εξυπηρέτηση E/E από ΚΜΕ
- Δίαυλοι E/E



- Οι συσκευές E/E (περιφερειακές συσκευές) συνδέονται σε **περιφερειακό δίαυλο**
- Η ΚΜΕ “βλέπει” μόνο μια “συσκευή”: **peripheral bus bridge**
  - Μέσω της οποίας γίνεται η προσπέλαση των συσκευών E/E

Εμφάνιση της ιεραρχίας διασυνδετικών διαύλων, με διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς