

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών
2019-20

Διασύνδεση Εισόδου-Εξόδου

(συσκευές και δίαυλοι E/E)

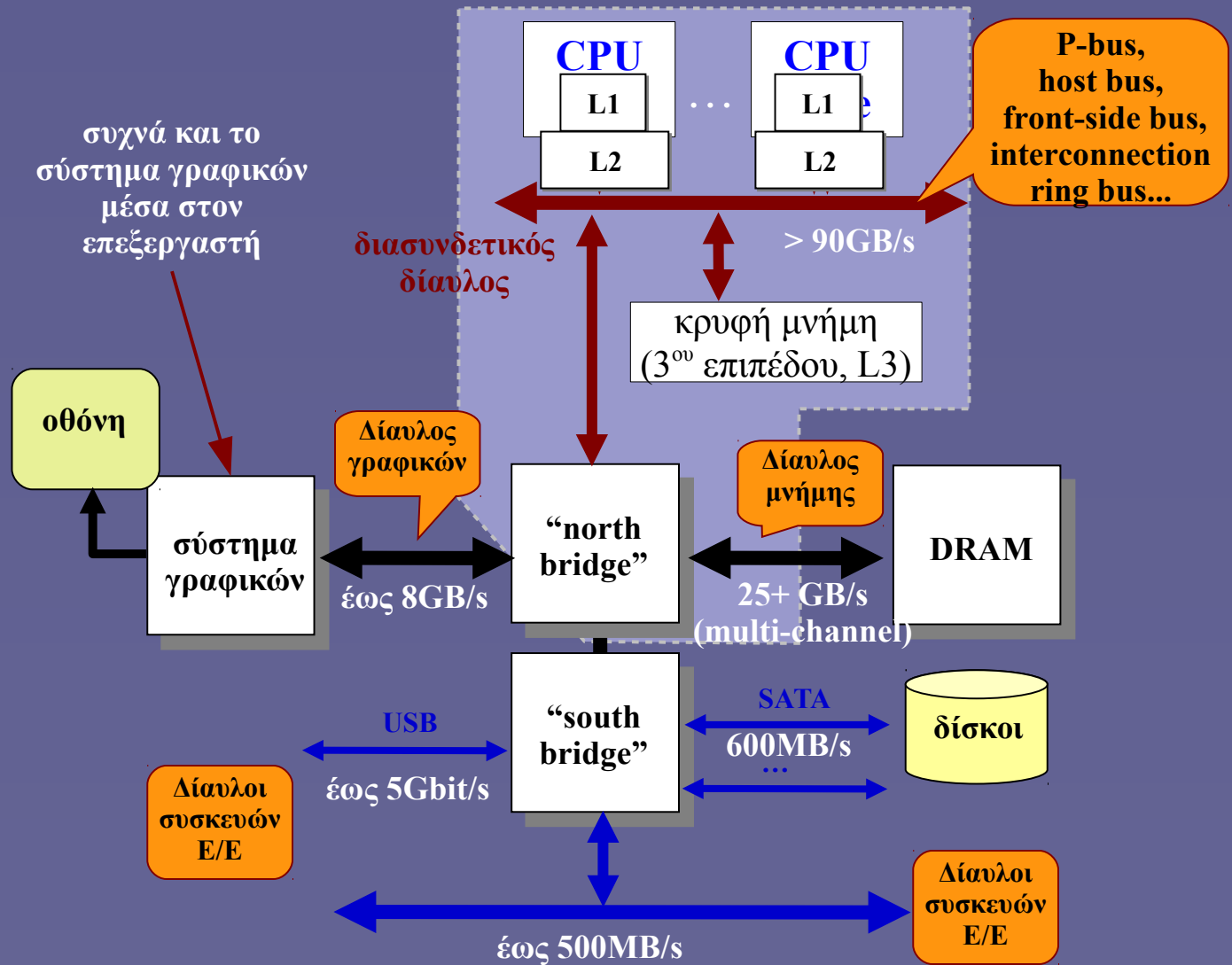
<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>

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

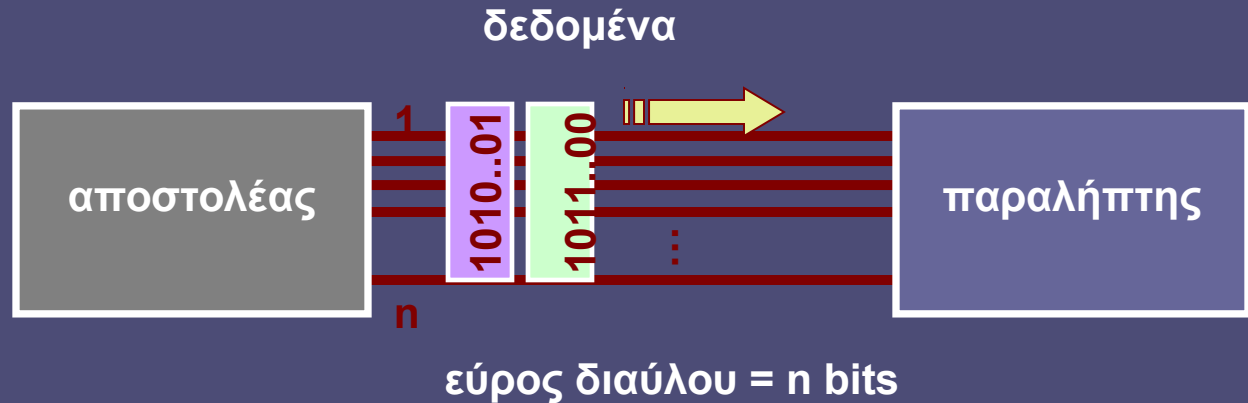


Μεταφορά δεδομένων: η γενική εικόνα

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

Παράλληλοι δίαυλοι

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου

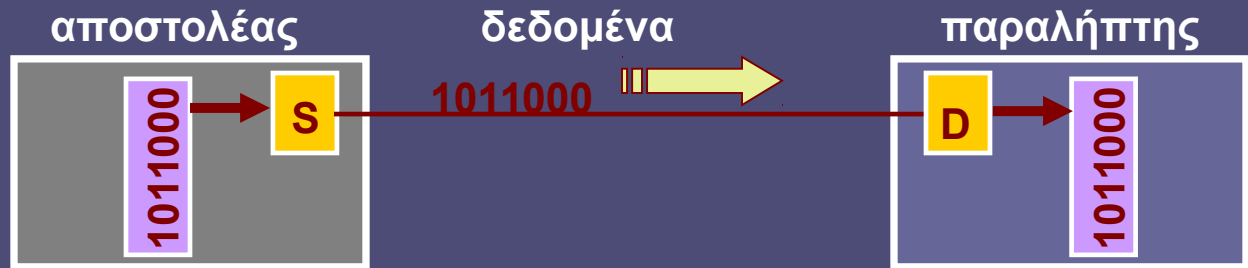


- Πολλαπλασιασμός των bits που μεταφέρονται **ταυτόχρονα**
 - Συχνά ο ρυθμός μετριέται σε μεταφορές/s (T/s)
 - Π.χ. 10MT/s για δίαυλο εύρους 64 bits → 640Mb/s
- Πολύ υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς
- Αλλά και μεγάλος ηλεκτρονικός “θόρυβος”
 - Απαιτείται ακριβής σχεδιασμός για να διατηρηθεί η ποιότητα του σήματος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

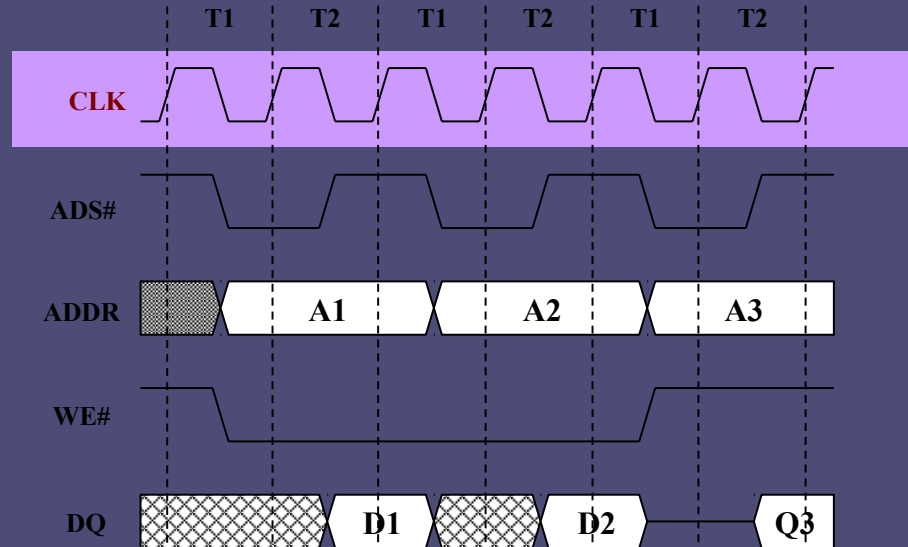


- Οι λέξεις (words) μετατρέπονται σε σειρά από bits πριν την αποστολή - και αντίστροφα μετά την παραλαβή
 - Serializer – deserializer (SerDes)
- Γιατί χρησιμοποιούνται;
 - Μεγαλύτερη ανοσία στον ηλεκτρονικό θόρυβο
 - Δυνατότητα μεταφοράς σε μεγαλύτερη απόσταση
 - Μικρότερες διαστάσεις αγωγού
 - Χρησιμοποιείται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

Χρονισμός μεταφοράς

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός

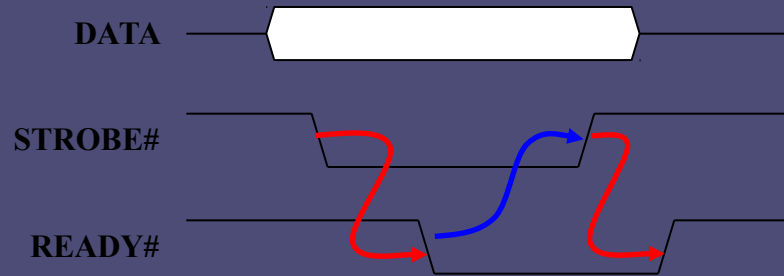
Οι σύγχρονοι δίαυλοι χρησιμοποιούνται στα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας: π.χ. στο σχήμα φαίνεται η λειτουργία ενός τυπικού διαύλου της ΚΜΕ



- 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

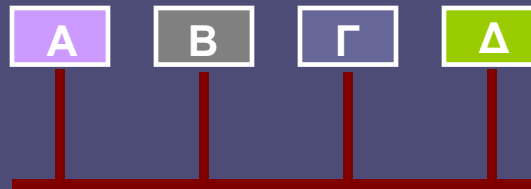


- **Ασύγχρονοι δίαυλοι (χωρίς ρολόι)**
 - Σήματα συγχρονισμού
 - Ανοσία σε παραμορφώσεις σημάτων
 - Αλλά: αργότερη μεταφορά – πολύπλοκη ανταλλαγή σημάτων
- **Ενσωμάτωση ρολογιού στα δεδομένα**
 - Δεν υπάρχει ξεχωριστή γραμμή clock
 - Αλλά ο παραλήπτης μπορεί να **συμπεράνει για το ρολόι του αποστολέα**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

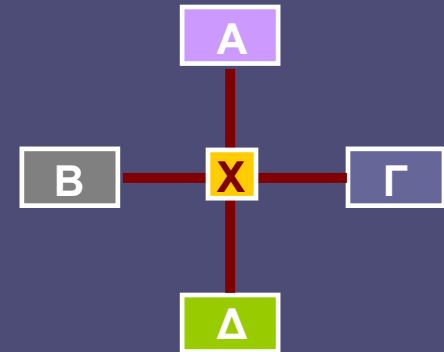
Σειριακοί δίαυλοι με ενσωμάτωση της χρονικής πληροφορίας στα δεδομένα χρησιμοποιούνται στα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας (π.χ. ο δίαυλος USB)

Τοπολογίες Διαύλων

- Διασυνδετικοί δίαυλοι
- Εύρος Διαύλου
- Χρονισμός
- Τοπολογίες



Μοιραζόμενος δίαυλος

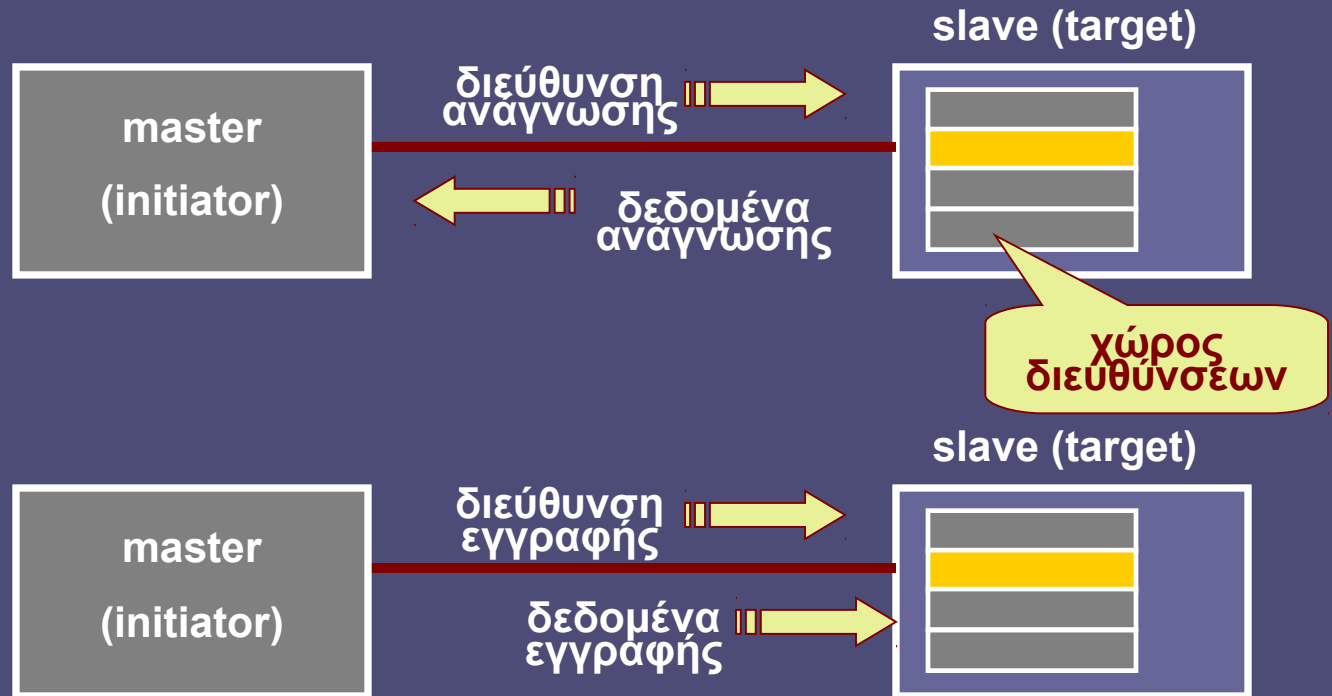


Point-to-point

- **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



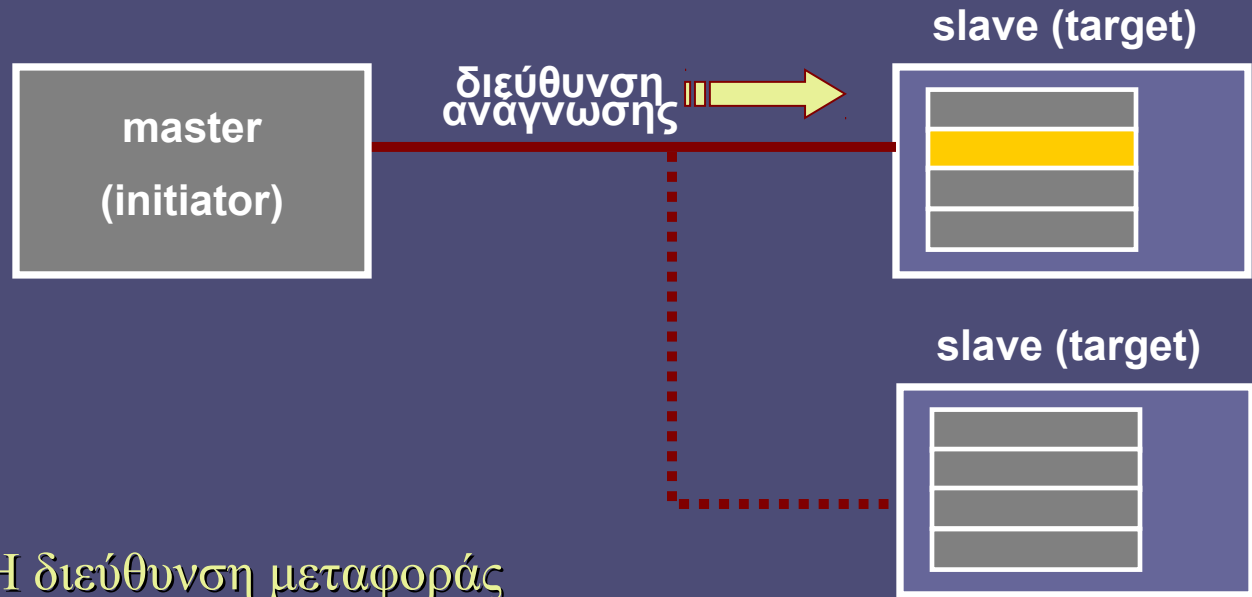
Η φορά της “ανάγνωσης” και της “εγγραφής” ορίζεται κατά σύμβαση!

- 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

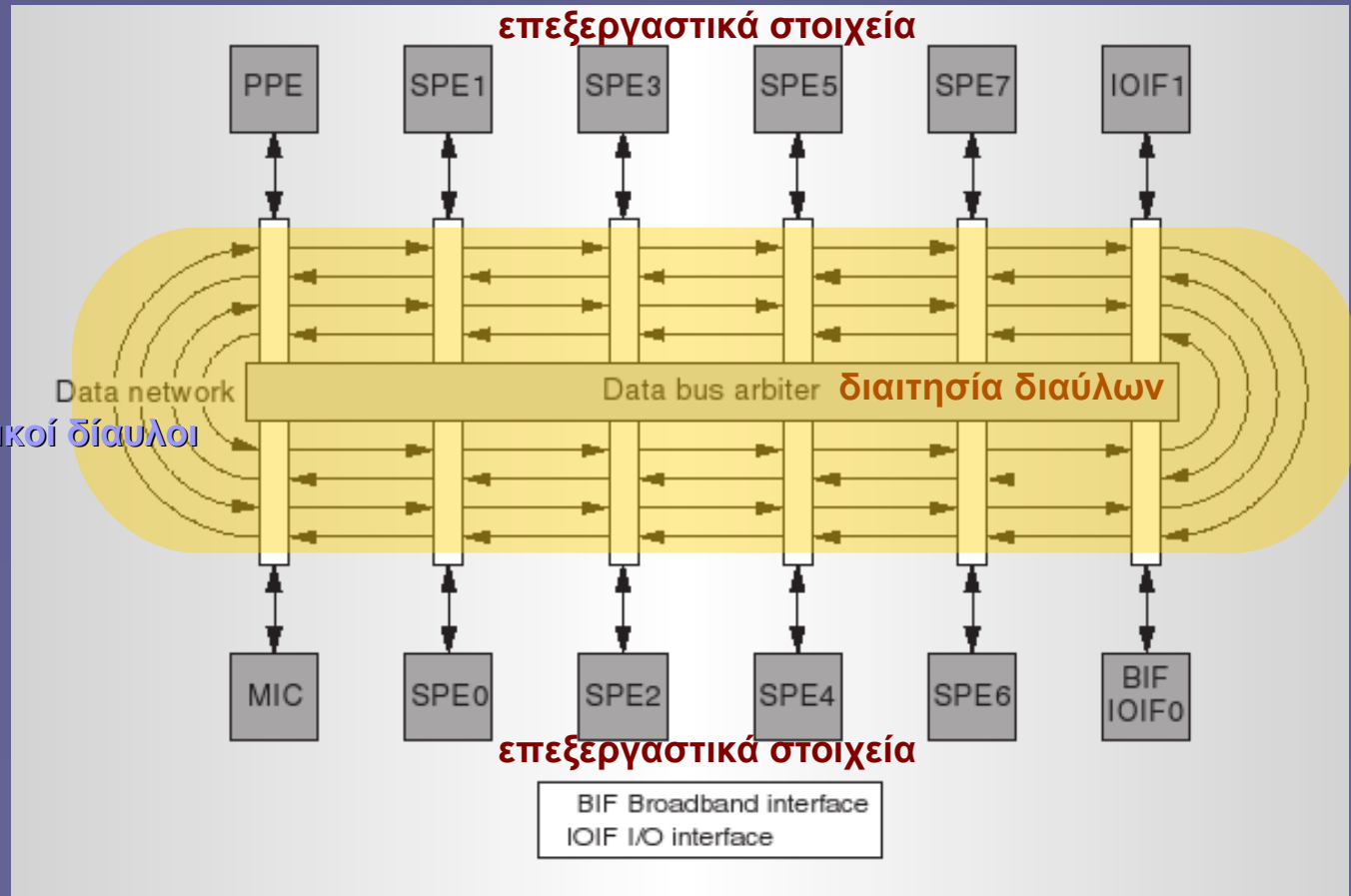
- Διεύθυνση – δεδομένα – εντολές/κατάσταση
- Παράλληλοι δίαυλοι
 - Συνήθως χρησιμοποιούνται ξεχωριστές γραμμές ανά είδος πληροφορίας
 - Συχνά κάποιες πληροφορίες είναι **χρονικά πολυπλεγμένες** για οικονομία στο πλήθος αγωγών
 - Π.χ. διεύθυνση-δεδομένα
- Σειριακοί δίαυλοι
 - Τα πακέτα δεδομένων που ανταλλάσσονται 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]

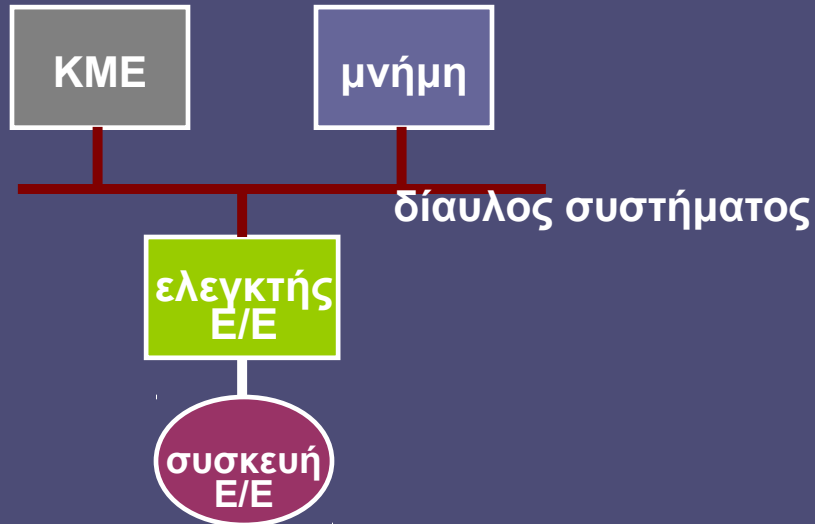
Διασύνδεση συσκευών E/E

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

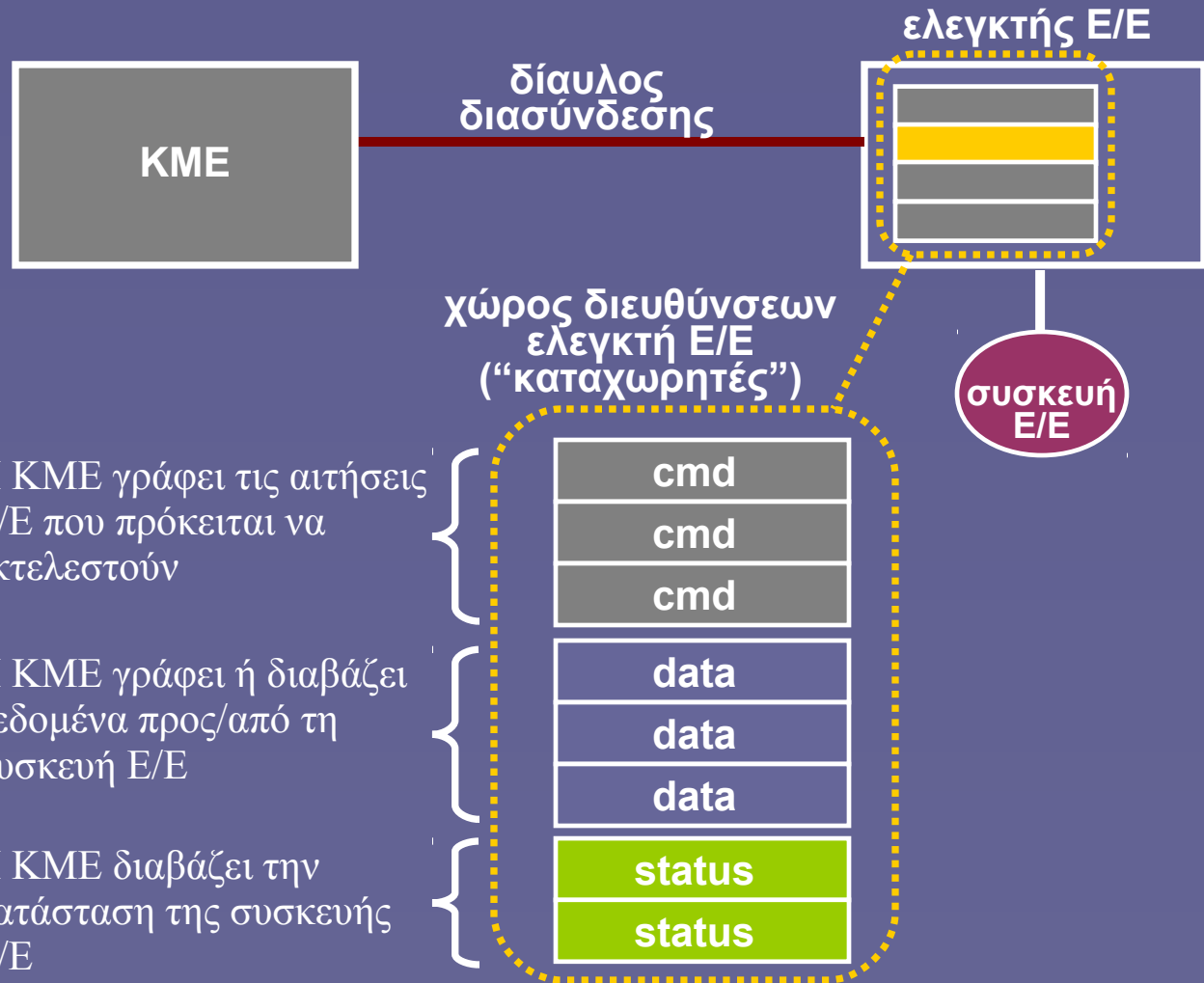
- Διασύνδεση E/E

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

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

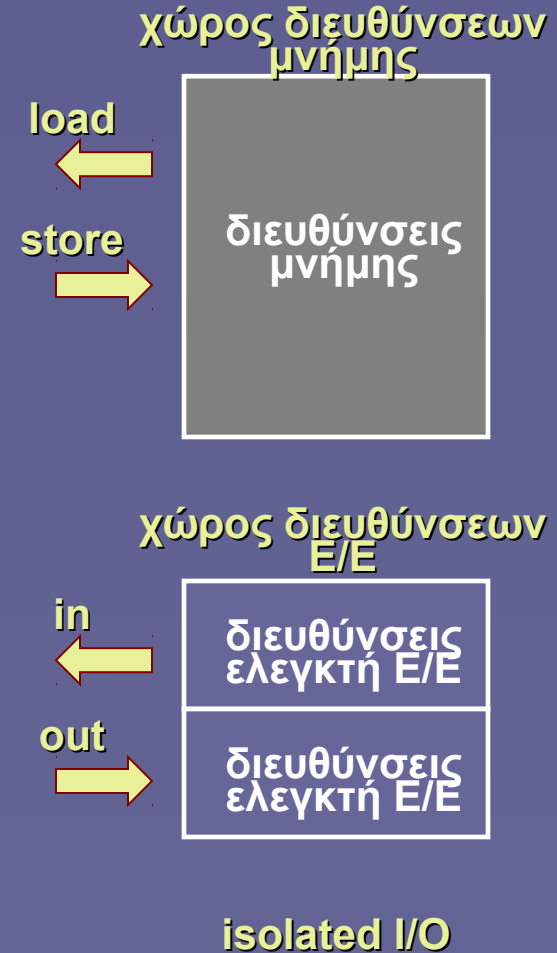
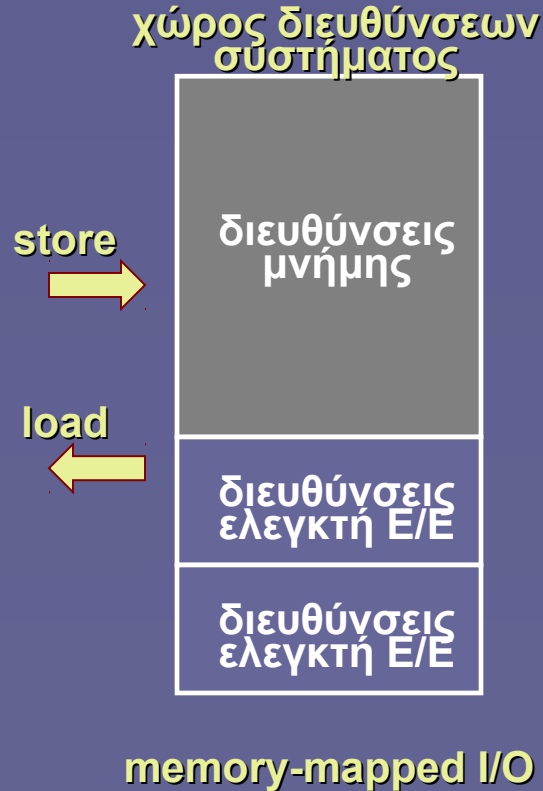
Η ΚΜΕ διαβάζει την κατάσταση της συσκευής E/E

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

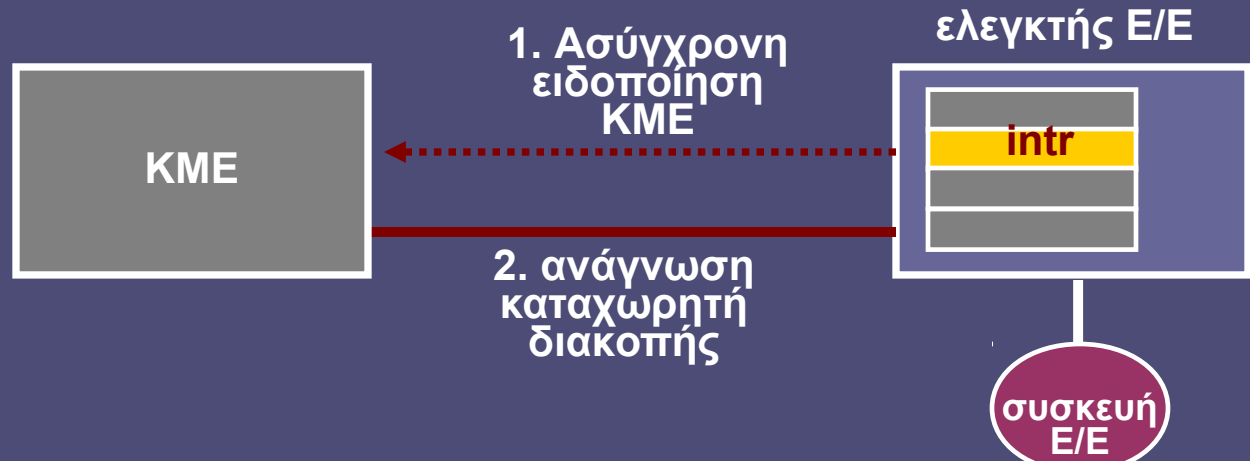


- **Περιοδική ανάγνωση καταχωρητή κατάστασης**
 - Ολοκληρώθηκε η τρέχουσα αίτηση;
 - Εμφανίστηκε κάποια αλλαγή κατάστασης στη συσκευή E/E;
 - Επαναληπτική διαδικασία **polling**
 - Επιβάρυνση ΚΜΕ με άσκοπους κύκλους εκτέλεσης – για μεγάλο διάστημα η κατάσταση θα παραμένει σταθερή περιμένοντας τη συσκευή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



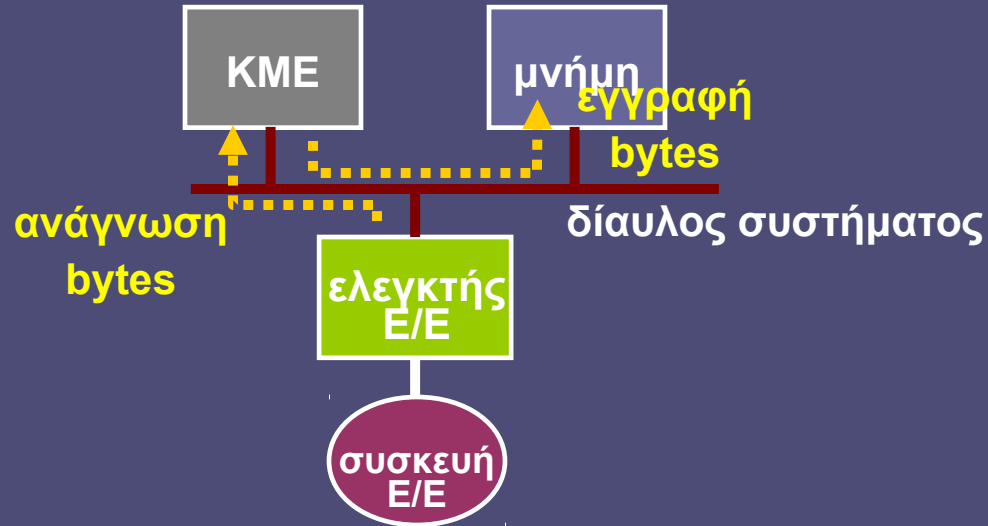
■ Ασύγχρονη ειδοποίηση ΚΜΕ (interrupts)

- 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

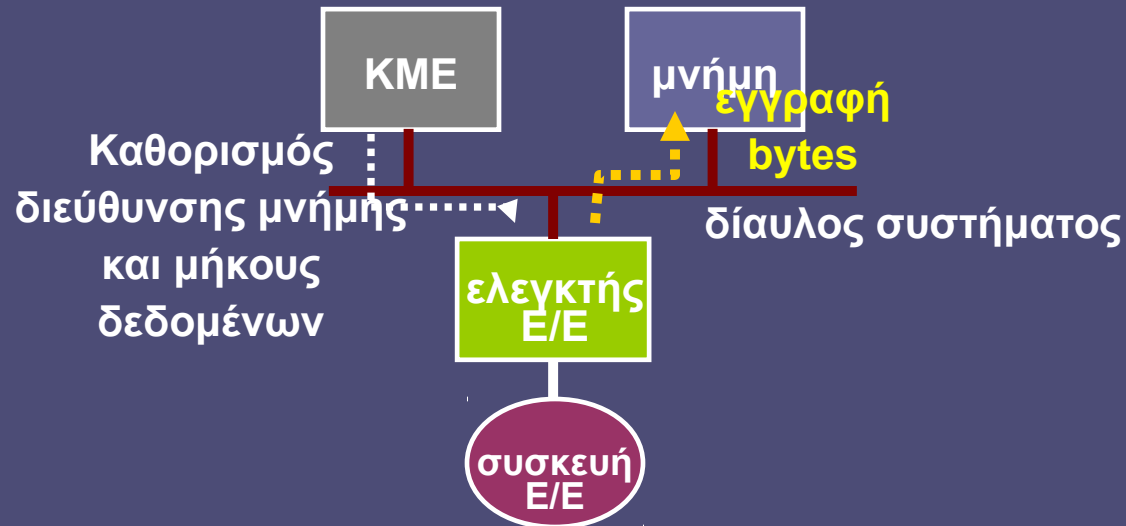


Εάν η συσκευή E/E είναι κάρτα δικτύου 100Mbps Ethernet και δημιουργεί διακοπή για κάθε πακέτο με μέσο μήκος 256 bytes, πόσες φορές/sec θα ζητηθεί εξυπηρέτηση από την KME;

- 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

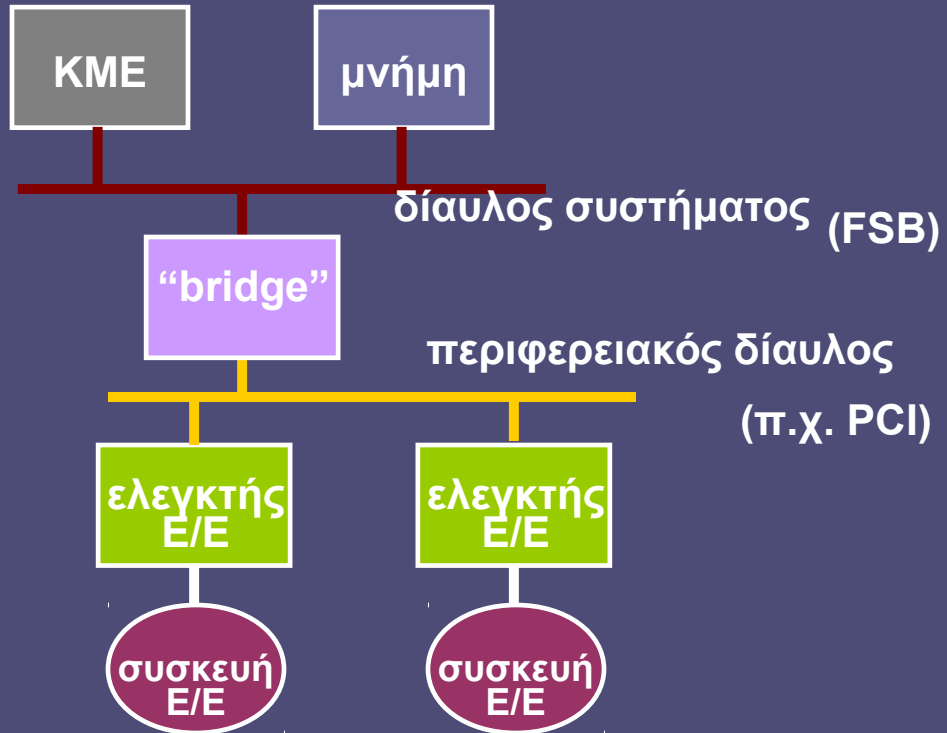


Όταν το σύστημα χρησιμοποιεί εικονική μνήμη, θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ώστε κατά τη μεταφορά DMA τα δεδομένα να τοποθετηθούν στη σωστή φυσική διεύθυνση

- Η KME απλά θέτει τις παραμέτρους της μεταφοράς
- Ο ελεγκτής διεκδικεί τον διάυλο 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