

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 7.6

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

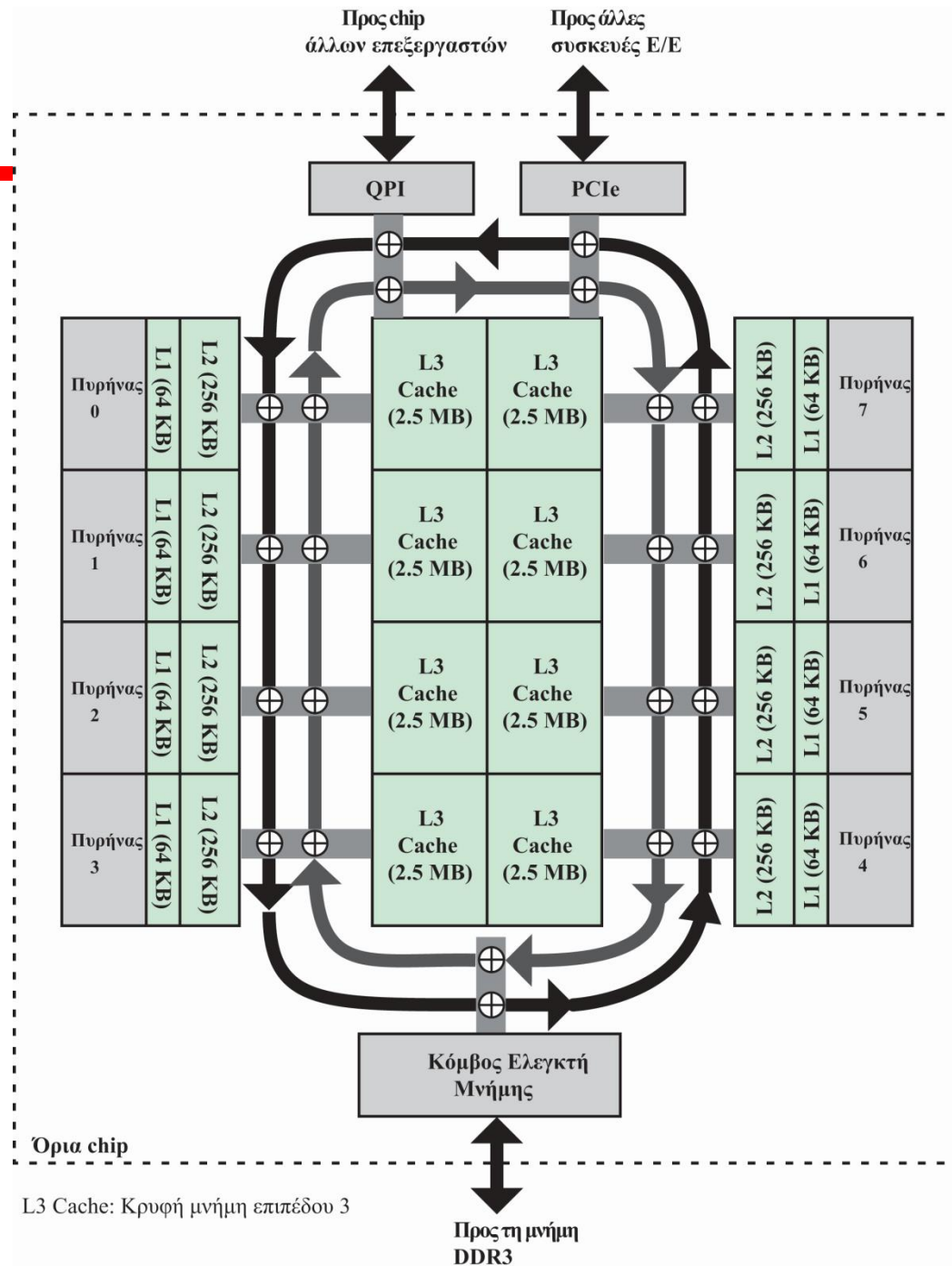
- Η άμεση προσπέλαση της μνήμης έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικός τρόπος αύξησης της απόδοσης της E/E με περιφερειακές συσκευές. Με τις μεγάλες απαιτήσεις στους ρυθμούς δεδομένων δικτυακής E/E, η DMA δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση.
- Αυτή προέρχεται από μεταγωγείς 10 και 100 Gbps για τεράστιες ποσότητες δεδομένων από και προς εξυπηρετητές βάσεων δεδομένων. Άλλη πηγή κυκλοφορίας που διαρκώς αυξάνεται είναι τα ασύρματα δίκτυα σε επίπεδα gigabit.
- Η λειτουργία E/E που επιτρέπεται να έχει άμεση πρόσβαση στην κρυφή μνήμη, μπορεί να ενισχύσει την απόδοση. Η τεχνική ονομάζεται άμεση προσπέλαση κρυφής μνήμης (**Direct Cache Access –DCA**)

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Εξετάζεται μόνο η προσπέλαση στην κρυφή μνήμη που βρίσκεται πλησιέστερα στην κύρια μνήμη (ονομάζεται κρυφή μνήμη τελευταίου επιπέδου). Σε ορισμένα συστήματα είναι επιπέδου 2 και σε άλλα επιπέδου 3.
- Όπως έχει ειπωθεί, στα συστήματα με πολλαπλούς πυρήνες υπάρχει κρυφή μνήμη αφιερωμένη σε κάθε πυρήνα, αλλά και κοινόχρηστη είτε επιπέδου 2 είτε επιπέδου 3.
- Οι σχεδιαστές έχουν ενισχύσει τη λειτουργία της DMA έτσι ώστε ο ελεγκτής της να έχει πρόσβαση στην κοινόχρηστη κρυφή μνήμη
- Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τον Intel Xeon γίνεται ξεκαθάρισμα της σχέσης ανάμεσα στη DMA και στην κρυφή μνήμη

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Αναλύεται ο Xeon E5-2600/4600. Έχει 8 πυρήνες σε ένα chip και κάθε πυρήνας έχει κρυφή μνήμη επιπέδου 1 και 2. Η κρυφή μνήμη επιπέδου 3 είναι 20 MB και διαιρείται σε τμήματα καθένα από τα οποία σχετίζεται με κάθε πυρήνα παρόλο που κάθε πυρήνας έχει πρόσβαση σε ολόκληρη την κρυφή μνήμη. Κάθε τμήμα έχει δική της διασωλήνωση κρυφής μνήμης.
- Η αμφίδρομη διασύνδεση δακτυλίου υψηλής ταχύτητας συνδέει τους πυρήνες, την κρυφή μνήμη τελευταίου επιπέδου, την PCIe και τον ελεγκτή ενοποιημένης μνήμης IMC.
- Ο δακτύλιος λειτουργεί ως εξής:
 - 1) Κάθε στοιχείο που συνδέεται στον αμφίδρομο δακτύλιο (QPI, PCIe, κρυφή μνήμη) υλοποιεί λογική πράκτορα δακτυλίου



Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- 2) Οι πράκτορες συνεργάζονται μέσα από ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο για να ζητούν και να αποκτούν προσπέλαση στον δακτύλιο, σε μορφή χρονικών σχισμών.
 - 3) Όταν ένας πράκτορας έχει δεδομένα προς αποστολή, επιλέγει την κατεύθυνση του δακτυλίου με το μικρότερο μονοπάτι προς τον προορισμό και στέλνει τα δεδομένα όταν είναι διαθέσιμη μια σχισμή.
- Αυτή η αρχιτεκτονική δακτυλίου έχει καλή απόδοση και προσαρμόζεται κατάλληλα για πολλαπλούς πυρήνες μέχρι ένα όριο. Για συστήματα με περισσότερους πυρήνες χρησιμοποιούνται πολλαπλοί δακτύλιοι και καθένας από αυτούς υποστηρίζει ορισμένους από τους πυρήνες

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Χρήση της Κρυφής μνήμης από την DMA
- Τα δεδομένα ανταλλάσσονται ανάμεσα στην κρυφή μνήμη και σε μια συσκευή E/E μέσω μιας δομής διασύνδεσης (δίαυλος, δακτύλιος ή πίνακας QPI)
- Με την κλασσική DMA τα δεδομένα εξόδου θα προχωρούσαν ως εξής:
- Ένας οδηγός E/E που εκτελείται σε κάποιο πυρήνα θα έστελνε εντολή στον ελεγκτή E/E με τη θέση και το μέγεθος του απομονωτή της κύριας μνήμης που περιέχει τα δεδομένα προς μεταφορά
- Ο ελεγκτής E/E παράγει μια αίτηση ανάγνωσης που δρομολογείται από τον κόμβο ελεγκτή μνήμης (MCH) ο οποίος προσπελαύνει τα δεδομένα και τα τοποθετεί στον δακτύλιο για να παραδοθούν στον Ελεγκτή E/E

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Η κρυφή μνήμη 3^{ου} επιπέδου δεν εμπλέκεται σε αυτή τη συναλλαγή και απαιτούνται μία ή και περισσότερες λειτουργίες ανάγνωσης της μνήμης εκτός chip.
- Για λειτουργίες εισόδου τα δεδομένα φτάνουν από τον ελεγκτή E/E και παραδίδονται μέσω του δακτυλίου στο MCH και τελικά γράφονται στην κύρια μνήμη. Ο MCH απενεργοποιεί κάθε γραμμή της κρυφής μνήμης (επιπέδου 3) που συνδέεται με τις θέσεις μνήμης που ενημερώνονται. Έτσι απαιτούνται μία ή και περισσότερες εγγραφές στη μνήμη εκτός chip. Αν μια εφαρμογή επιθυμεί να προσπελάσει τα νέα δεδομένα, απαιτείται μια ανάγνωση της κύριας μνήμης.
- Στον Xeon E5-2600/4600, για έξοδο, όταν ο ελεγκτής E/E αιτείται ανάγνωση, ο MCH αρχικά εξετάζει αν τα δεδομένα υπάρχουν στην κρυφή μνήμη επιπέδου 3

Άμεση Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Είναι πιθανό να συμβαίνει, αν κάποια εφαρμογή έχει γράψει πρόσφατα κάποια δεδομένα στο τμήμα της μνήμης που πρόκειται να βγει στην έξοδο. Σε τέτοια περίπτωση ο MCH κατευθύνει τα δεδομένα από την κρυφή μνήμη επιπέδου 3 στον ελεγκτή E/E. Δεν χρειάζεται προσπέλαση της κύριας μνήμης
- Προκαλείται όμως «έξωση» των δεδομένων από την κρυφή μνήμη. Αν μια εφαρμογή χρειάζεται αυτά τα δεδομένα στο μέλλον, αυτά θα πρέπει να γραφτούν πίσω στην κρυφή επιπέδου 3 από την κύρια μνήμη
- Η βελτίωση της απόδοσης εμπεριέχει μόνο λειτουργίες εξόδου.
- Χρησιμοποιείται ο όρος για το πρωτόκολλο εφαρμογής E/E.

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- Η δικτυακή κυκλοφορία γίνεται με πακέτα. Το επίπεδο σύνδεσης είναι τυπικά το Ethernet. Κάθε πακέτο Ethernet περιέχει ωφέλιμο φορτίο το πακέτο υψηλότερου επιπέδου. Αυτά είναι το IP και το TCP.
- Για τα εξερχόμενα δεδομένα το πακέτο Ethernet σχηματίζεται σε μια περιφερειακή συσκευή όπως ένας ελεγκτής E/E ή ένας ελεγκτής διεπαφής δικτύου (NIC).
- Για την εισερχόμενη κίνηση ο ελεγκτής αφαιρεί τις πληροφορίες του Ethernet και παραδίδει το πακέτο TCP/IP στην μονάδα επεξεργασίας του τερματικού.
- Και στις δύο περιπτώσεις εμπλέκονται ο πυρήνας, η κύρια μνήμη και η κρυφή μνήμη.
- Αναλυτικά όταν έχουμε DMA και μια εφαρμογή θέλει να μεταδώσει δεδομένα γίνονται τα εξής:

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- Τα δεδομένα τοποθετούνται σε έναν απομονωτή που ορίζεται από την εφαρμογή και βρίσκεται στην κύρια μνήμη.
- Ο πυρήνας μεταφέρει αυτά τα δεδομένα στην κύρια μνήμη και δημιουργεί τις κατάλληλες επικεφαλίδες TCP και IP οι οποίες επίσης αποθηκεύονται στη μνήμη.
- Το πακέτο επιλέγεται μέσω DMA για να μεταφερθεί μέσω της διεπαφής NIC. Αυτή η διαδικασία εμπλέκει τόσο την κύρια όσο και την κρυφή μνήμη.
- Για εισερχόμενα δεδομένα απαιτούνται παρόμοιες ενέργειες.
- Δύο παράγοντες μειώνουν την απόδοση λόγω της επεξεργασίας μεγάλης κυκλοφορίας πρωτοκόλλων:

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- A. Ο πυρήνας καταναλώνει μεγάλο πλήθος κύκλων ρολογιού για να αντιγράψει δεδομένα ανάμεσα στο σύστημα και τους απομονωτές εφαρμογής.
- B. Επειδή οι ταχύτητες της μνήμης δεν συμβαδίζουν με της CPU ο πυρήνας χάνει χρόνο περιμένοντας τις αναγνώσεις και τις εγγραφές από τη μνήμη
- Σε αυτόν τον τρόπο επεξεργασίας η κρυφή μνήμη δεν βοηθά σημαντικά επειδή τα δεδομένα και οι επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων αλλάζουν σταθερά και άρα η κρυφή μνήμη πρέπει να ενημερώνεται σταθερά.
- Για να ξεκαθαριστεί το ζήτημα απόδοσης και το όφελος της DCA περιγράφεται η κυκλοφορία περισσότερο αναλυτικά
- Για εισερχόμενη κυκλοφορία έχουμε τα βήματα:

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

1. Άφιξη πακέτου: Ο ελεγκτής διεπαφής δικτύου (NIC) λαμβάνει το Ethernet πακέτο και αφαιρεί τις πληροφορίες ελέγχου. Εδώ γίνεται και ο υπολογισμός ελέγχου σφάλματος. Το υπόλοιπο TCP/IP πακέτο μεταφέρεται στη μονάδα DMA που είναι τμήμα του NIC. Ο NIC δημιουργεί την περιγραφή του πακέτου που περιέχει τις πληροφορίες γι' αυτό όπως η θέση του απομονωτή όπου αποθηκεύεται μέσα στη μνήμη.
2. DMA: Η μονάδα DMA μεταφέρει δεδομένα και την περιγραφή του πακέτου προς την κύρια μνήμη. Απενεργοποιεί τις αντίστοιχες γραμμές της κρυφής μνήμης αν είναι ενεργοποιημένες
3. Τερματικό διακοπών NIC: Μετά την μεταφορά ενός πλήθους πακέτων, ο NIC εκδίδει μια διακοπή στον επεξεργαστή του τερματικού.

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

4. Εξαγωγή περιγραφών και επικεφαλίδων: Ο πυρήνας επεξεργάζεται τη διακοπή καλώντας μια διαδικασία διαχείρισης διακοπών που διαβάσει την περιγραφή και τις επικεφαλίδες των πακέτων
5. Εμφάνιση αστοχίας της κρυφής μνήμης: Λόγω της εισαγωγής των νέων δεδομένων απενεργοποιούνται οι γραμμές της κρυφής μνήμης που αντιστοιχούν στον απομονωτή του συστήματος που περιέχουν τα νέα δεδομένα. Επομένως ο πυρήνας πρέπει να καθυστερήσει για να διαβάσει τα δεδομένα από την κύρια μνήμη και να τα περάσει στην κρυφή και μετά στους καταχωρητές του πυρήνα
6. Επεξεργασία της επικεφαλίδας: Το λογισμικό πρωτοκόλλου εκτελείται στον πυρήνα για να αναλυθούν τα περιεχόμενα των επικεφαλίδων TCP και IP. →

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

→ Αυτή η εκτέλεση πιθανόν να χρειαστεί την προσπάθεια ενός τμήματος ελέγχου μεταφοράς το οποίο περιέχει πληροφορίες περιβάλλοντος που σχετίζονται με το TCP. Η προσπάθεια μπορεί να προκαλέσει (ή να μην) αστοχία της κρυφής μνήμης αναγκάζοντας έτσι προσπάθεια στην κύρια μνήμη

- 7. Μεταφορά ωφέλιμου φορτίου: Το τμήμα δεδομένων του πακέτου μεταφέρεται από τον απομονωτή του συστήματος στον κατάλληλο απομονωτή εφαρμογής
- Υπάρχει παρόμοια ακολουθία βημάτων για την εξερχόμενη κυκλοφορία πακέτων αλλά υπάρχουν ορισμένες διαφορές που επηρεάζουν τον τρόπο χειρισμού της κρυφής μνήμης.
- Τα βήματα για την εξερχόμενη κυκλοφορία είναι:

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- 1) Αίτηση μεταφοράς πακέτου: Όταν μια εφαρμογή έχει να μεταφέρει ένα τμήμα δεδομένων προς απομακρυσμένο σύστημα, τοποθετεί τα δεδομένα σε έναν απομονωτή εφαρμογής και ενεργοποιεί το ΛΣ με κάποια κλήση συστήματος
- 2) Δημιουργία πακέτου: Το ΛΣ καλεί μια διεργασία TCP/IP για να δημιουργήσει το πακέτο προς μετάδοση. Αυτή η διαδικασία προσπελαύνει το TCB (μπορεί να δημιουργήσει αστοχία κρυφής μνήμης) και δημιουργεί τις κατάλληλες επικεφαλίδες. Διαβάζει τα δεδομένα από τον απομονωτή εφαρμογής και τοποθετεί το πλήρες πακέτο σε απομονωτή συστήματος. Η διαδικασία δημιουργεί έναν περιγραφέα πακέτων που τοποθετείται στη μνήμη που μοιράζεται με τη μονάδα DMA

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- 3) Κλήση λειτουργίας εξόδου: Χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα οδηγού συσκευής για να δώσει σήμα στη μονάδα DMA ότι η έξοδος είναι έτοιμη για τον NIC
- 4) Μεταφορά DMA: Η μονάδα DMA διαβάζει τον περιγραφέα πακέτων και μετά εκτελείται η μεταφορά DMA από την κύρια μνήμη ή από την κρυφή τελευταίου επιπέδου προς τη NIC. Οι μεταφορές DMA απενεργοποιούν τη γραμμή της κρυφής μνήμης ακόμη και στην περίπτωση ανάγνωσης. Αν η γραμμή τροποποιηθεί, αυτό προκαλεί μια εγγραφή προς τα πίσω. Ο πυρήνας δεν απενεργοποιεί γραμμές. Γίνονται μόνο όταν η μονάδα DMA διαβάζει τα δεδομένα.
- 5) Σηματοδότηση ολοκλήρωσης από τον NIC: Μετά την ολοκλήρωση της μεταφοράς ο NIC στέλνει σήμα στον οδηγό του πυρήνα που εκκίνησε το σήμα αποστολής.

Ζητήματα Απόδοσης που σχετίζονται με την Κρυφή Μνήμη

- 6) Ο οδηγός απελευθερώνει τον απομονωτή: Από τη στιγμή που ο οδηγός λαμβάνει την ειδοποίηση ολοκλήρωσης, απελευθερώνει το χώρο του απομονωτή για επαναχρησιμοποίηση. Ο πυρήνας απενεργοποιεί τις γραμμές της κρυφής μνήμης που περιέχουν τα δεδομένα του απομονωτή.
- Η Ε/Ε του δικτύου περιλαμβάνει ένα πλήθος προσπελάσεων στην κρυφή και κύρια μνήμη και τη μεταφορά δεδομένων ανάμεσα σε απομονωτή εφαρμογής και συστήματος.
- Η σημαντική εμπλοκή της κύριας μνήμης αποτελεί εμπόδιο καθώς η απόδοση του πυρήνα και του δικτύου ξεπερνάν τα κέρδη σε χρόνους προσπέλασης της μνήμης.

Στρατηγικές DCA

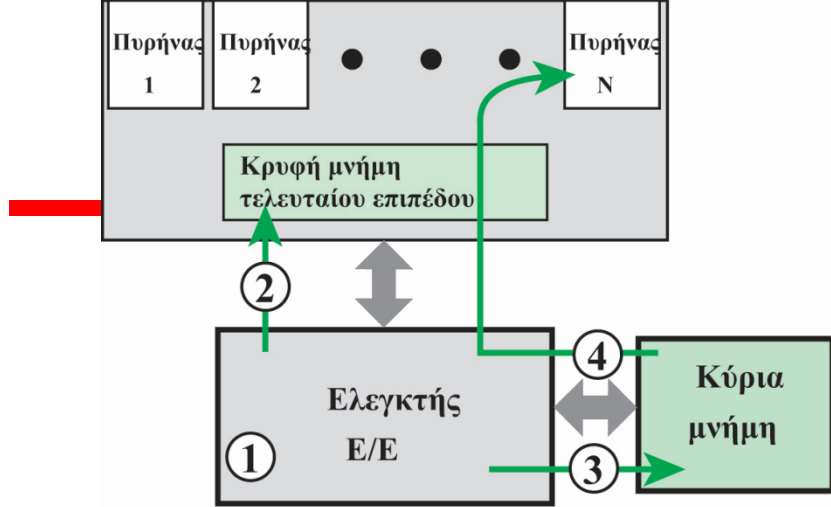
- Έχουν προταθεί διάφορες στρατηγικές. Η απλή στρατηγική του Χεον εφαρμόζεται μόνο σε εισερχόμενη κυκλοφορία δικτύου.
- Στον ελεγκτή μνήμης η λειτουργία DCA στέλνει ένα σήμα προ-ανάκλησης στον πυρήνα όταν τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στη μνήμη του συστήματος. Αυτό επιτρέπει τον πυρήνα να προ-ανακαλεί το πακέτο δεδομένων από τον απομονωτή του συστήματος, αποφεύγοντας τις αστοχίες κρυφής μνήμης και τις απώλειες κύκλων του πυρήνα.
- Είναι δυνατόν να επιτευχθούν πιο σημαντικά ωφέλη αν αποφύγουμε συνολικά τον απομονωτή συστήματος που βρίσκεται στην κύρια μνήμη.
- Οι πληροφορίες του περιγραφέα του πακέτου προσπελαύνονται μία μόνο φορά από τον πυρήνα.

Στρατηγικές DCA

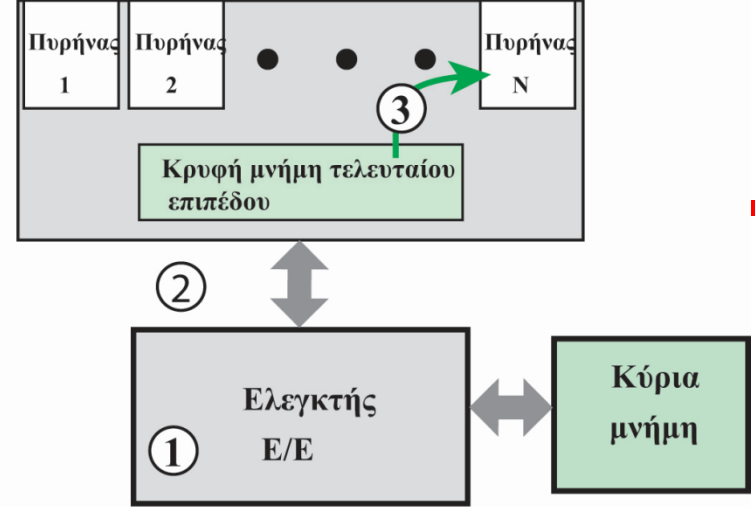
- Για τα εισερχόμενα πακέτα, ο πυρήνας διαβάζει τα δεδομένα από τον απομονωτή και μεταφέρει το ωφέλιμο φορτίο του πακέτου σε ένα απομονωτή εφαρμογής. Δεν τα προσπελαύνει ξανά.
- Για τα εξερχόμενα πακέτα, από τη στιγμή που ο πυρήνας έχει τοποθετήσει τα δεδομένα στον απομονωτή συστήματος, δεν χρειάζεται να τα προσπελάσει πάλι.
- Αν το σύστημα E/E έχει άμεση προσπέλαση της κύριας αλλά και της κρυφής μνήμης, τόσο σε λειτουργίες εισόδου όσο και εξόδου, τότε θα ήταν δυνατόν να χρησιμοποιούμε την κρυφή τελευταίου επιπέδου αντί της κύριας μνήμης, για να αποθηκεύσουμε πακέτα και περιγραφείς εισερχομένων και εξερχομένων πακέτων.
- Αυτή έχει περιγραφεί ως ένεση κρυφής μνήμης (cache injection)

Άμεση E/E Δεδομένων

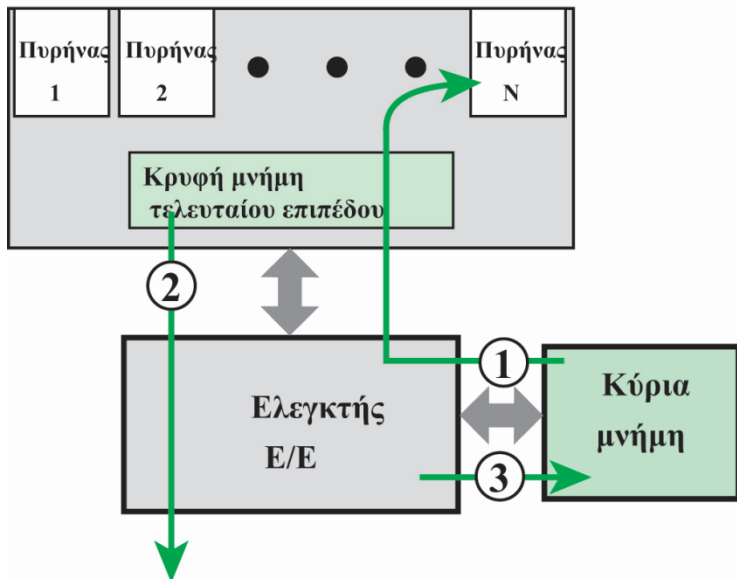
- Η άμεση E/E δεδομένων (Direct Data I/O –DDIO) υλοποιείται σε ολόκληρη την γενιά των XEON E5.
- **ΕΙΣΟΔΟΣ** πακέτων: Ένα πακέτο φτάνει σε ένα NIC από το δίκτυο. Μια λειτουργία με DMA θα απαιτούσε 4 βήματα.
- Στην κρυφή μνήμη μάθαμε ότι υπάρχουν 2 τεχνικές ενημέρωσης κάποια γραμμής της κρυφής μνήμης : Ενδιάμεση εγγραφή και Πίσω-εγγραφή
- *Ενδιάμεση εγγραφή*: Όλες οι λειτουργίες εγγραφής γίνονται και στην κύρια και στην κρυφή. Κάθε άλλη μονάδα πυρήνα-κρυφής μνήμης μπορούν να παρακολουθούν την κυκλοφορία προς την κρυφή μνήμη για να διατηρείται η σταθερότητα μέσα στη δική τους τοπική κρυφή μνήμη



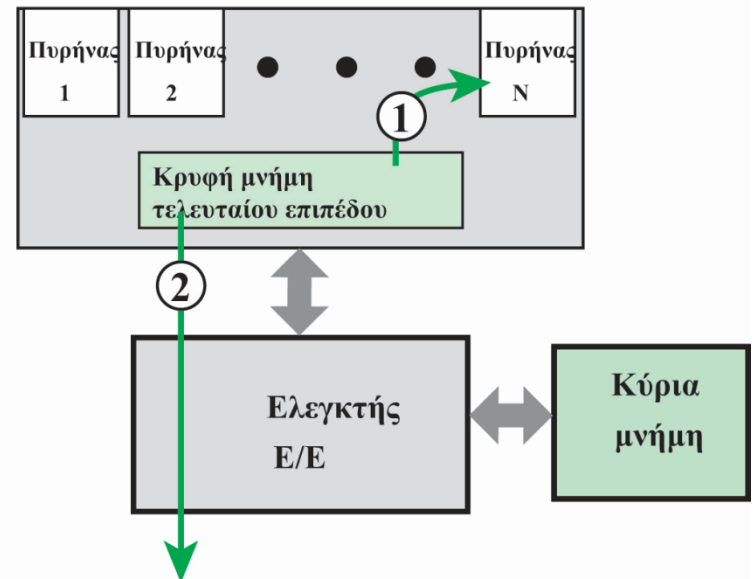
(α) Συνηθισμένη μεταφορά DMA στη μνήμη



(β) Μεταφορά DDIO στην κρυφή μνήμη



(γ) Συνηθισμένη μεταφορά DMA στην E/E



(δ) Μεταφορά DDIO στην E/E

Άμεση Ε/Ε Δεδομένων

- *Πίσω-εγγραφή*: Οι ενημερώσεις γίνονται μόνο μέσα στην κρυφή μνήμη. Όταν γίνεται μια ενημέρωση της κρυφής, το βρόμικο bit γίνεται 1 για τη συγκεκριμένη γραμμή. Όταν αντικαθίσταται ένα τμήμα, αυτό γράφεται στην κύρια μνήμη μόνο αν το βρόμικο bit είναι 1
- Η DDIO χρησιμοποιεί την πίσω-εγγραφή στην κρυφή μνήμη επιπέδου 3. Μια λειτουργία εγγραφής της κρυφής μνήμης μπορεί να συναντήσει αστοχία της κρυφής μνήμης η οποία αντιμετωπίζεται με μία από τις δύο στρατηγικές:
- **Δέσμευση εγγραφής**: Η απαιτούμενη γραμμή φορτώνεται στην κρυφή από την κύρια. Έπειτα η γραμμή της κρυφής ενημερώνεται από τη λειτουργία εγγραφής. Χρησιμοποιείται τυπικά με μια μέθοδο πίσω-εγγραφής

Άμεση Ε/Ε Δεδομένων

- **Δέσμευση μη-εγγραφής:** Το τμήμα τροποποιείται άμεσα στην κύρια μνήμη. Δεν γίνεται καμιά αλλαγή στην κρυφή. Χρησιμοποιείται τυπικά με τη μέθοδο ενδιάμεσης εγγραφής.
- Τώρα μπορεί να περιγραφεί η στρατηγική DDIO για μεταφορές που ξεκινούν από τη NIC:
 - Αν υπάρχει ευστοχία της κρυφής μνήμης, η γραμμή της κρυφής ενημερώνεται αλλά όχι η κύρια μνήμη. Αυτή είναι η στρατηγική πίσω-εγγραφής για μια ευστοχία της κρυφής. Η Intel το αναφέρει ως **ενημέρωση εγγραφής**
 - Αν υπάρχει αστοχία της κρυφής μνήμης, η λειτουργία εγγραφής λαμβάνει χώρα σε μια γραμμή της κρυφής μνήμης που δεν θα γραφτεί πίσω στην κύρια μνήμη. Οι επόμενες εγγραφές ενημερώνουν τη γραμμή της →

Άμεση Ε/Ε Δεδομένων

- κρυφής μνήμης, χωρίς καμιά αναφορά στην κύρια ή χωρίς καμιά μελλοντική ενέργεια που γράφει αυτά τα δεδομένα στην κύρια μνήμη. Η Intel το αναφέρει ως **δέσμευση εγγραφής**
- Η στρατηγική DDIO είναι αποτελεσματική για μια εφαρμογή πρωτοκόλλου δικτύου επειδή τα δεδομένα που έρχονται δεν είναι απαραίτητο να διατηρηθούν για μελλοντική χρήση. Η εφαρμογή πρωτοκόλλου θα γράψει τα δεδομένα σε έναν απομονωτή εφαρμογής και δεν υπάρχει ανάγκη προσωρινής αποθήκευσης σε έναν απομονωτή συστήματος.
 - Μια λειτουργία με DDIO θα απαιτούσε 3 βήματα.
 - **ΕΞΟΔΟΣ** πακέτων: Ο διαχειριστής πρωτοκόλλου TCP/IP που εκτελείται στον πυρήνα διαβάσει δεδομένα →

Άμεση Ε/Ε Δεδομένων

- από έναν απομονωτή εφαρμογής και τα γράφει σε έναν απομονωτή συστήματος. Αυτές οι λειτουργίες προσπέλασης έχουν ως αποτέλεσμα αστοχίες της κρυφής μνήμης και συνεπώς ανάγνωση των δεδομένων από την κύρια μνήμη και εγγραφή τους στην κρυφή μνήμη επιπέδου 3.
- Όταν ο NIC λαμβάνει ειδοποίηση για να εκκινήσει μια λειτουργία μεταφοράς, διαβάζει τα δεδομένα από την κρυφή μνήμη επιπέδου 3 και τα μεταδίδει
 - Η προσπέλαση της κρυφής μνήμης από τον NIC έχει ως αποτέλεσμα τα δεδομένα να εξάγονται από την κρυφή μνήμη και να γράφονται πίσω στην κύρια.
 - Γίνεται σαφές ότι η τεχνική DDIO είναι αποτελεσματικότερη από την DMA για εισερχόμενα και εξερχόμενα πακέτα

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 7.7

Κανάλια Ε/Ε και Επεξεργαστές

- Τα συστήματα υπολογιστών καθώς εξελίσσονται αυξάνουν την πολυπλοκότητα και οργάνωση των επιμέρους στοιχείων τους. Φαίνεται ξεκάθαρα στη λειτουργία Ε/Ε.
- Τα βήματα αυτής της εξέλιξης είναι:
 - 1) Ο επεξεργαστής ελέγχει άμεσα μια περιφερειακή συσκευή (απλές συσκευές που ελέγχονται από μικροεπεξεργαστές)
 - 2) Προστίθεται ένας ελεγκτής ή μια μονάδα Ε/Ε. Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί προγραμματιζόμενη Ε/Ε χωρίς διακοπές. Έτσι ο επεξεργαστής κατά κάποιο τρόπο διαχωρίζεται από τις ειδικές λεπτομέρειες των διεπαφών των εξωτερικών συσκευών
 - 3) Χρησιμοποιείται η ίδια διάταξη αλλά με χρήση διακοπών

Κανάλια E/E και Επεξεργαστές

Ο επεξεργαστής δεν σπαταλά χρόνο περιμένοντας να ολοκληρωθεί μια λειτουργία E/E, επομένως αυξάνεται η αποτελεσματικότητα

- 4) Η μονάδα E/E λαμβάνει άμεση πρόσβαση στη μνήμη μέσω της τεχνικής DMA. Τώρα είναι δυνατόν να μετακινηθεί ένα μπλοκ δεδομένων προς ή από τη μνήμη χωρίς τη συμμετοχή του επεξεργαστή, με εξαίρεση την αρχή και το τέλος της μεταφοράς.
- 5) Η μονάδα E/E ενισχύεται για να γίνει ένας επεξεργαστής με τα δικά του δικαιώματα, ενσωματώνοντας ένα ειδικό σύνολο από εντολές E/E. Ο επεξεργαστής κατευθύνει τον επεξεργαστή E/E ώστε να εκτελεί ένα πρόγραμμα E/E στη μνήμη. Ο επεξεργαστής E/E προσκομίζει και εκτελεί αυτές τις εντολές χωρίς να παρεμβαίνει ο επεξεργαστής.

Κανάλια E/E και Επεξεργαστές

Αυτό το γεγονός επιτρέπει στον επεξεργαστή να καθορίζει μια σειρά από δραστηριότητες E/E και να διακόπτεται μόνο όταν έχει ολοκληρωθεί ολόκληρη η σειρά.

- 6) Η μονάδα E/E διαθέτει δική της τοπική μνήμη και στην πραγματικότητα αποτελεί έναν αυτόνομο υπολογιστή. Με αυτήν την αρχιτεκτονική είναι δυνατός ο έλεγχος ενός μεγάλου συνόλου συσκευών E/E, με ελάχιστη συμμετοχή του επεξεργαστή. Μια συνηθισμένη χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής είναι ο έλεγχος της επικοινωνίας με συνεργαζόμενα τερματικά. Ο επεξεργαστής E/E αναλαμβάνει τις περισσότερες εργασίες οι οποίες αφορούν τον έλεγχο αυτών των τερματικών.

Κανάλια E/E και Επεξεργαστές

- Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνουν οι αριθμοί οι περισσότερες λειτουργίες E/E υλοποιούνται χωρίς την εμπλοκή του επεξεργαστή. Καθώς απελευθερώνεται ο επεξεργαστής από τις εργασίες E/E, αυξάνεται η απόδοση του συστήματος. Με τα τελευταία βήματα (5-6) γίνεται μια σημαντική αλλαγή με την εισαγωγή μιας μονάδας E/E που έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει ένα πρόγραμμα. Για το 5 η μονάδα E/E αναφέρεται συχνά ως κανάλι E/E. Για το 6 χρησιμοποιείται συχνά ο όρος επεξεργαστής E/E. Και οι δύο όροι χρησιμοποιούνται και στις δύο περιπτώσεις. Εδώ χρησιμοποιείται ο όρος κανάλι E/E

Χαρακτηριστικά των Καναλιών E/E

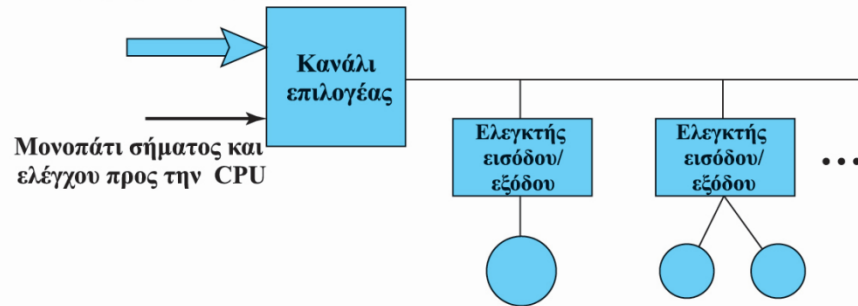
- Το κανάλι E/E αντιπροσωπεύει μια επέκταση της έννοιας της άμεσης προσπάελασης της μνήμης. Έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης εντολών E/E η οποία του δίνει τον πλήρη έλεγχο των λειτουργιών E/E.
- Σε ένα σύστημα υπολογιστών που έχει τέτοιες συσκευές ο επεξεργαστής δεν εκτελεί εντολές E/E. Τέτοιες εντολές αποθηκεύονται στην κύρια μνήμη για να εκτελεστούν από έναν επεξεργαστή ειδικού σκοπού, ο οποίος βρίσκεται στο ίδιο το κανάλι E/E.
- Ο επεξεργαστής εκκινεί μια μεταφορά E/E δίνοντας εντολή στο κανάλι E/E να εκτελέσει ένα πρόγραμμα από τη μνήμη. Το πρόγραμμα θα καθορίσει τη/τις συσκευή/ές, την/τις περιοχή/περιοχές της μνήμης για αποθήκευση, προτεραιότητα και ενέργειες οι οποίες θα πρέπει να γίνουν σε περίπτωση σφαλμάτων.

Χαρακτηριστικά των Καναλιών E/E

- Το κανάλι E/E ακολουθεί αυτές τις εντολές και ελέγχει τη μεταφορά δεδομένων. Δύο είναι οι συνηθισμένοι τύποι καναλιών E/E:
- Ένα *κανάλι επιλογέας* ελέγχει ένα πλήθος από συσκευές μεγάλης ταχύτητας και σε κάθε χρονική στιγμή είναι δεσμευμένο να μεταφέρει δεδομένα με κάποια από αυτές τις συσκευές.
- Ένα *κανάλι πολυπλέκτης* είναι σε θέση να διαχειριστεί την E/E πολλαπλών συσκευών, την ίδια χρονική στιγμή.
- Για συσκευές χαμηλής ταχύτητας, ένα πολυπλέκτης byte αποδέχεται η μεταδίδει χαρακτήρες με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ταχύτητα.
- Για συσκευές υψηλής ταχύτητας, ένας πολυπλέκτης μπλοκ εναλλάσσει μπλοκ δεδομένων ανάμεσα σε διάφορες συσκευές

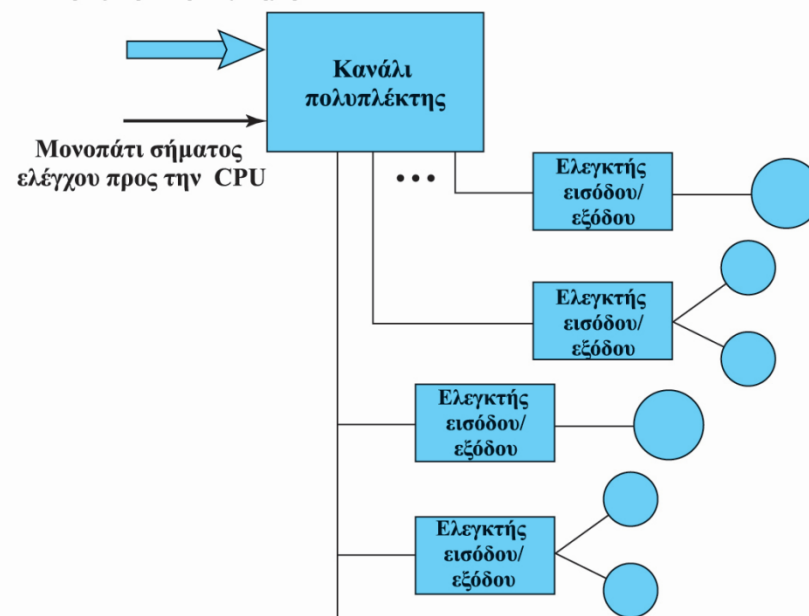
Αρχιτεκτονική I/O Καναλιού

Κανάλι διευθύνσεων και
δεδομένων προς την κύρια μνήμη



(α) Επιλογέας

Κανάλι διευθύνσεων
δεδομένων προς την κύρια μνήμη



(β) Πολυπλέκτης

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 7.8

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Παρουσιάζονται σύντομα οι πιο συνηθισμένες εξωτερικές διεπαφές (διασυνδέσεις) για την υποστήριξη της E/E
- **Καθολικός Σειριακός Δίαυλος** (Universal Serial Bus – USB) είναι η διεπαφή που χρησιμοποιείται ευρέως για περιφερειακές συνδέσεις. Είναι τυπική διεπαφή για αργές συσκευές αλλά και για υψηλής ταχύτητας με τις νέες εκδόσεις.
- Η πρώτη έκδοση 1.0 όρισε ρυθμό δεδομένων χαμηλής 1,5 Mbps και πλήρους 12 Mbps
- Η USB 2.0 παρέχει ρυθμό 480 Mbps
- Η USB 3.0 έχει έναν νέο δίαυλο με την ονομασία SuperSpeed παράλληλο με τον δίαυλο USB 2.0. Η ταχύτητα σηματοδότησης είναι 5 Gbps αλλά ο χρησιμοποιούμενος ρυθμός δεδομένων είναι 4 Gbps

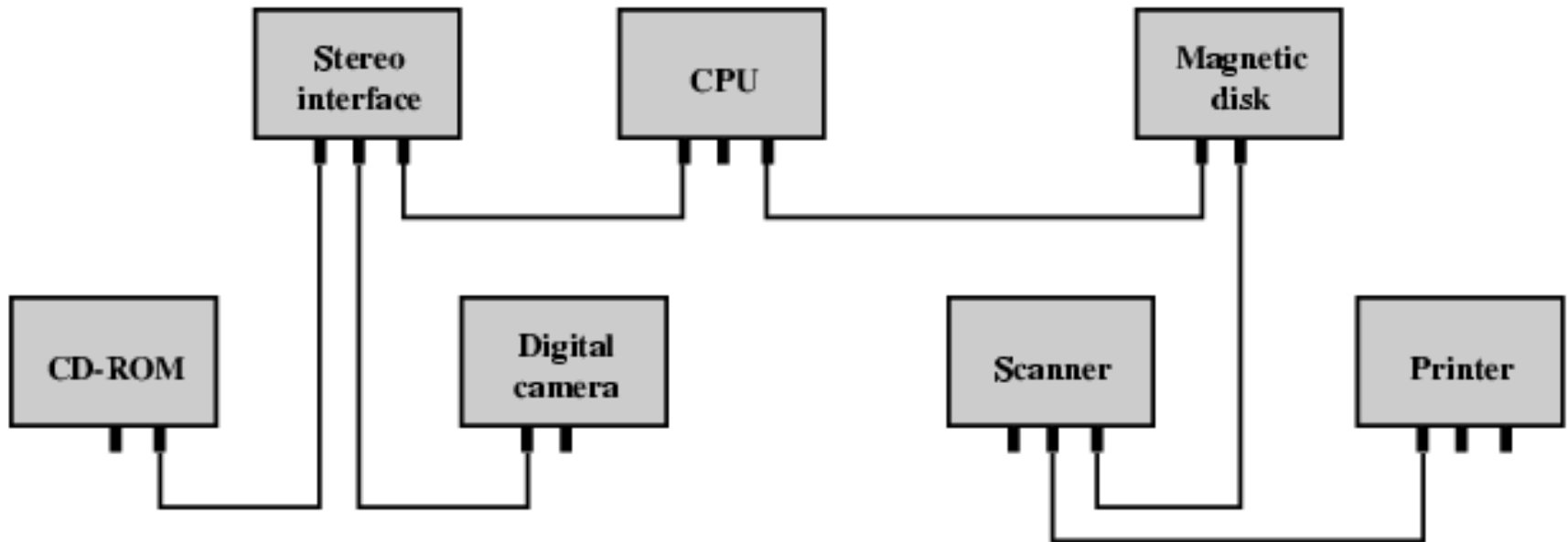
Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Η πιο πρόσφατη προδιαγραφή είναι η USB 3.1 η οποία έχει ταχύτερη λειτουργία μεταφοράς με το SuperSpeed+ πετυχαίνοντας σηματοδότηση 10 Gbps ενώ ο θεωρητικός ρυθμός δεδομένων είναι 9,7 Gbps
- Ένα σύστημα USB ελέγχεται από έναν ελεγκτή τερματικού ρίζας, ο οποίος συνδέεται με συσκευές για να δημιουργήσει ένα τοπικό δίκτυο με ιεραρχική τοπολογία δέντρου
- **Σειριακός Δίαυλος FireWire** αναπτύχθηκε ως εναλλακτική της διεπαφής μικρών συστημάτων υπολογιστών (SCSI), για να χρησιμοποιηθεί σε μικρότερα συστήματα υπολογιστών (PC, Workstation, server). Αποτέλεσμα είναι το πρότυπο IEEE 1394 για ένα Σειριακό Δίαυλο Υψηλής Απόδοσης γνωστό ως FireWire

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Υψηλής απόδοσης σειριακός δίαυλος
- Γρήγορο
- Χαμηλού κόστους
- Εύκολα υλοποιήσιμο
- Συνδέονται ως και 63 συσκευές σε αλυσιδωτή διάταξη
- Μπορούν να συνδεθούν ως και 1022 δίαυλοι FireWire χρησιμοποιώντας γέφυρες
- Ρυθμοί δεδομένων από 25 Mbps έως 3,2 Gbps
- Χρησιμοποιείται σε κάμερες, VCRs και TV
- Αυτόματη διαμόρφωση
- Δεν υπάρχουν τερματισμοί
- Μπορεί να έχει και δενδρική δομή

Απλή διάταξη FireWire



Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- **Διεπαφή Μικρού Συστήματος Υπολογιστή** (Small Computer System Interface –SCSI) Είναι ένα συνηθισμένο πρότυπο για περιφερειακές συσκευές που συνδέονται με μικρού ή μεσαίου μεγέθους υπολογιστές.
- Έχει χάσει τη φήμη του από ανταγωνιστές όπως είναι το USB ή το FireWire. Οι ταχύτερες εκδόσεις του παραμένουν δημοφιλείς σε συστήματα enterprise.
- Ένας κοινόχρηστος δίαυλος που υποστηρίζει 16 ή 32 συσκευές αναλόγως με τη γενιά του προτύπου.
- Έχει παράλληλη μετάδοση με ένα δίαυλο 16 bits και μετά 32.
- Ταχύτητες από 5 Mbps μέχρι και 160 Mbps στη γενιά 3

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Το πιο πρόσφατο πρότυπο είναι το **Thunderbolt**. Αναπτύχθηκε από την Intel σε συνεργασία με την Apple. Σε ένα μόνο καλώδιο μπορεί να διαχειριστεί την εργασία που απαιτούνταν από πολλά καλώδια.
- Η τεχνολογία του συνδυάζει δεδομένα, βίντεο, ήχο και ισχύ σε μια απλή σύνδεση υψηλής ταχύτητας για περιφερειακά.
- Παρέχει απόδοση μέχρι 10 Gbps σε κάθε κατεύθυνση και μέχρι 10 watt ισχύ στα συνδεδεμένα περιφερειακά.
- Η **InfiniBand** είναι μια προδιαγραφή που είχε ως στόχο την αγορά υπερσύγχρονων εξυπηρετητών.
- Η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 2001
- Το πρότυπο ορίζει μια αρχιτεκτονική και προδιαγραφές >

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- > της ροής των δεδομένων ανάμεσα στους επεξεργαστές και σε έξυπνες συσκευές E/E.
- Αντικαταστάτης του PCI στους servers
- Αυξημένη χωρητικότητα, επεκτασιμότητα, ελαστικότητα
- Η αρχιτεκτονική που βασίζεται σε μεταγωγείς, είναι σε θέση να συνδέσει έως και 64000 εξυπηρετητές, συστήματα αποθήκευσης και συσκευές δικτύωσης.
- Η Διεπαφή **PCI Express**
- Αναφέρθηκε στο 3^ο κεφάλαιο

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Η διεπαφή **SATA**
- Η Serial Advanced Technology Attachment –SATA είναι μια διεπαφή για συστήματα αποθήκευσης σε δίσκους. Παρέχει ρυθμούς μέχρι 6 Gbps.
- Χρησιμοποιείται κυρίως σε φορητούς υπολογιστές και σε βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων
- **Ethernet**
- Είναι η κυρίαρχη τεχνολογία ενσύρματων δικτύων. Έχει εξελιχθεί υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 100 Gbps και αποστάσεις από μερικά μέτρα μέχρι δεκάδες χιλιόμετρα. Έχει γίνει απαραίτητο για μικρούς και μεγάλους οργανισμούς

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- Ξεκίνησε με ένα σύστημα διαύλου και ταχύτητες 3 Mbps
- Η πρώτη έκδοση του προτύπου IEEE 802.3 ήταν για συστήματα με δίαυλο με ταχύτητα 10 Mbps
- Καθώς η τεχνολογία προχώρησε, το Ethernet μετακινήθηκε από τη δομή διαύλου στη δομή μεταγωγέων και ο ρυθμός αυξήθηκε περιοδικά.
- 1983: 10 Mbps
- 1995: 100 Mbps
- 1998: 1 Gbps
- 2003: 10 Gbps
- 2010: 40 Gbps
- Σήμερα: 100 Gbps

Πρότυπα Εξωτερικής Διεπαφής

- **Wi-Fi**
- Είναι η κυρίαρχη τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο. Έχει γίνει ένα σημαντικό μέσο ενίσχυσης της παραγωγικότητας στις επιχειρήσεις και της αποτελεσματικότητας των δικτύων.
- Καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία των κεραιών, των τεχνικών ασύρματης μετάδοσης και της σχεδίασης ασύρματων πρωτοκόλλων, η IEEE 802.11 κατάφερε να εισάγει πρότυπα με ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες. Παραθέτονται με τις μέγιστες ταχύτητες:
- 802.11 (1997) : 2 Mbps 802.11n (2008): 600 Mbps
- 802.11a (1999): 54 Mbps 802.11ad (2012): 6.76 Gbps
- 802.11b (1999): 11 Mbps 802.11ac (2014): 3.2 Gbps
- 802.11g (2003): 54 Mbps