

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 3.5

Προβλήματα απλού διαύλου

- Πολλές συσκευές σε ένα δίαυλο οδηγούν:
 - Σε καθυστερήσεις μετάδοσης
 - Μεγαλύτερα μονοπάτια → μεγαλύτερες καθυστερήσεις
 - Περισσότερες συσκευές → περισσότεροι έλεγχοι
 - Μεγάλη πιθανότητα προσέγγισης μέγιστης ικανότητας διαύλου
- Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν πολλαπλούς διαύλους για να αποφύγουν τα παραπάνω προβλήματα

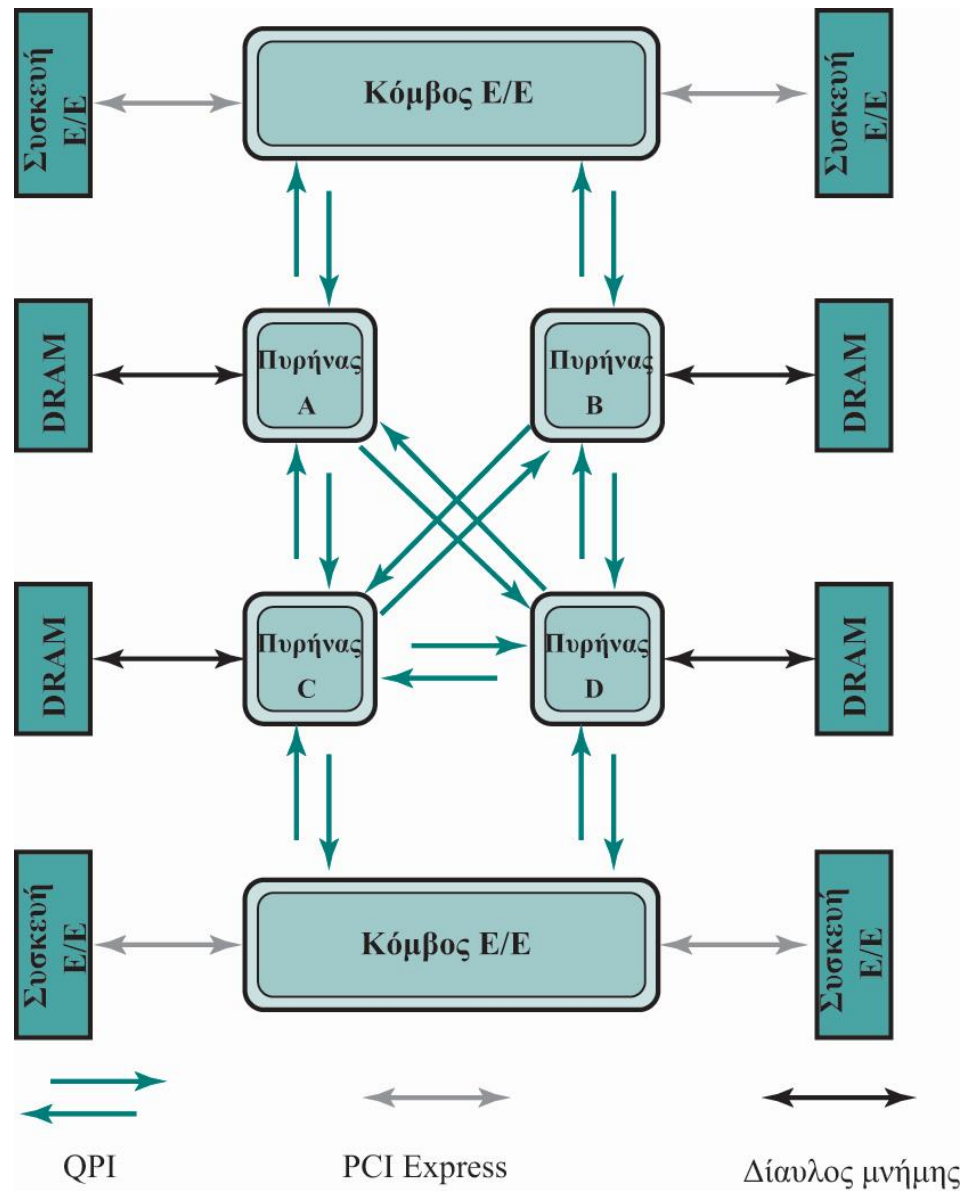
Διασύνδεση από σημείο σε σημείο

- Οι περιορισμοί στα θέματα ηλεκτρισμού που υπήρχαν όταν αυξανόταν η συχνότητα των σύγχρονων διαύλων οδήγησε σε αυτή την αλλαγή. Με μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων ήταν δυσκολότερο να υλοποιηθούν λειτουργίες συγχρονισμού και διαιτησίας.
- Με την είσοδο των πολλαπλών πυρήνων όπου κάθε Chip είχε πολλούς επεξεργαστές και σημαντική ποσότητα μνήμης, η χρήση του κοινόχρηστου διαύλου δυσκόλεψε σημαντικά την αύξηση του ρυθμού δεδομένων στο δίαυλο και τη μείωση της επιβάρυνσης έτσι ώστε να συμβαδίζει με τους επεξεργαστές.
- Έχει μικρότερη επιβάρυνση, μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων και καλύτερη επεκτασιμότητα
- Τεχνολογία Quick Path Interconnection QPI της Intel

Διασύνδεση από σημείο σε σημείο

- Πολλαπλές άμεσες συνδέσεις (Πολλά στοιχεία εντός του συστήματος έχουν κατά ζεύγη άμεσες συνδέσεις με άλλα στοιχεία. Δεν υπάρχει η ανάγκη διαιτησίας όπως σε κοινόχρηστα)
- Αρχιτεκτονική με πρωτόκολλα ανά επίπεδο (Όπως και σε δικτυακά περιβάλλοντα οι διασυνδέσεις σε επίπεδο επεξεργαστή χρησιμοποιούν αρχιτεκτονική με πρωτόκολλα ανά επίπεδο και όχι απλά σήματα ελέγχου)
- Μετάδοση δεδομένων σε μορφή πακέτων (Τα δεδομένα δεν αποστέλλονται ως ακατέργαστη ροή bits αλλά ως πακέτα με επικεφαλίδες ελέγχου και κώδικες ελέγχου σφαλμάτων)

Διασύνδεση από σημείο σε σημείο

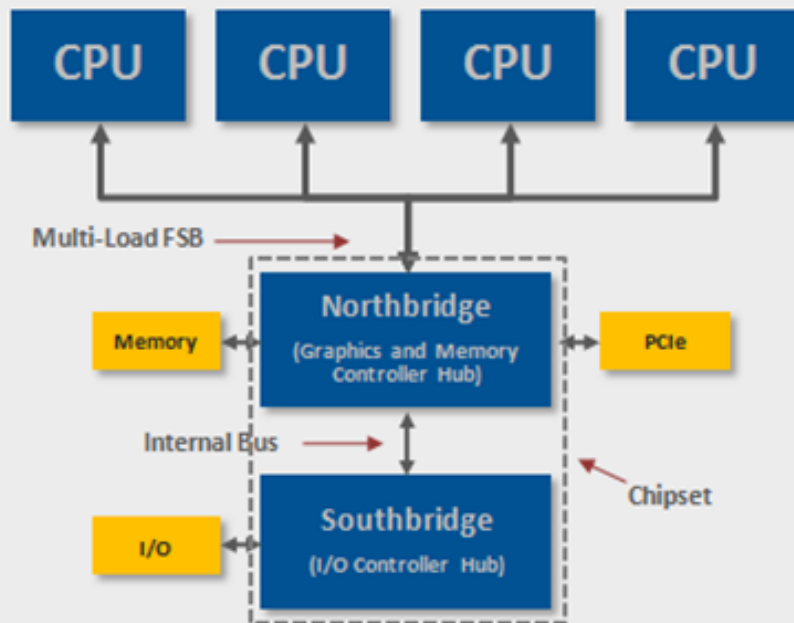


Διασύνδεση από σημείο σε σημείο

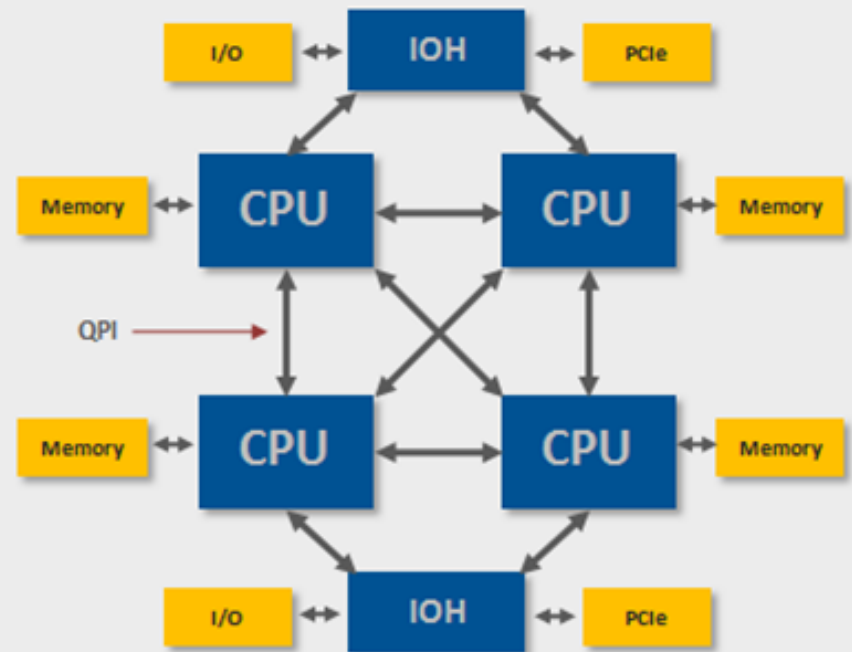
- Είναι δυνατή η υλοποίηση άμεσων συνδέσεων QPI ανάμεσα σε κάθε ζεύγος πυρήνων. Σε συστήματα με 8 ή περισσότερους μπορούν να υλοποιηθούν με επεξεργαστές που έχουν 3 συνδέσμους και να δρομολογούν τα πακέτα χρησιμοποιώντας ενδιάμεσους επεξεργαστές.
- Η QPI χρησιμοποιείται για τη σύνδεση σε μια μονάδα E/E, η οποία ονομάζεται κόμβος E/E (I/O Hub-IOH), η οποία λειτουργεί ως μεταγωγέας ο οποίος κατευθύνει τα πακέτα από και προς τις μονάδες E/E. Στα νεότερα συστήματα η σύνδεση από τον IOH στον ελεγκτή μιας συσκευής E/E χρησιμοποιεί τεχνολογία PCI Express (PCIe) που περιγράφεται στην συνέχεια.

Σύγκριση Διασυνδέσεων

Previous Generation Microarchitecture



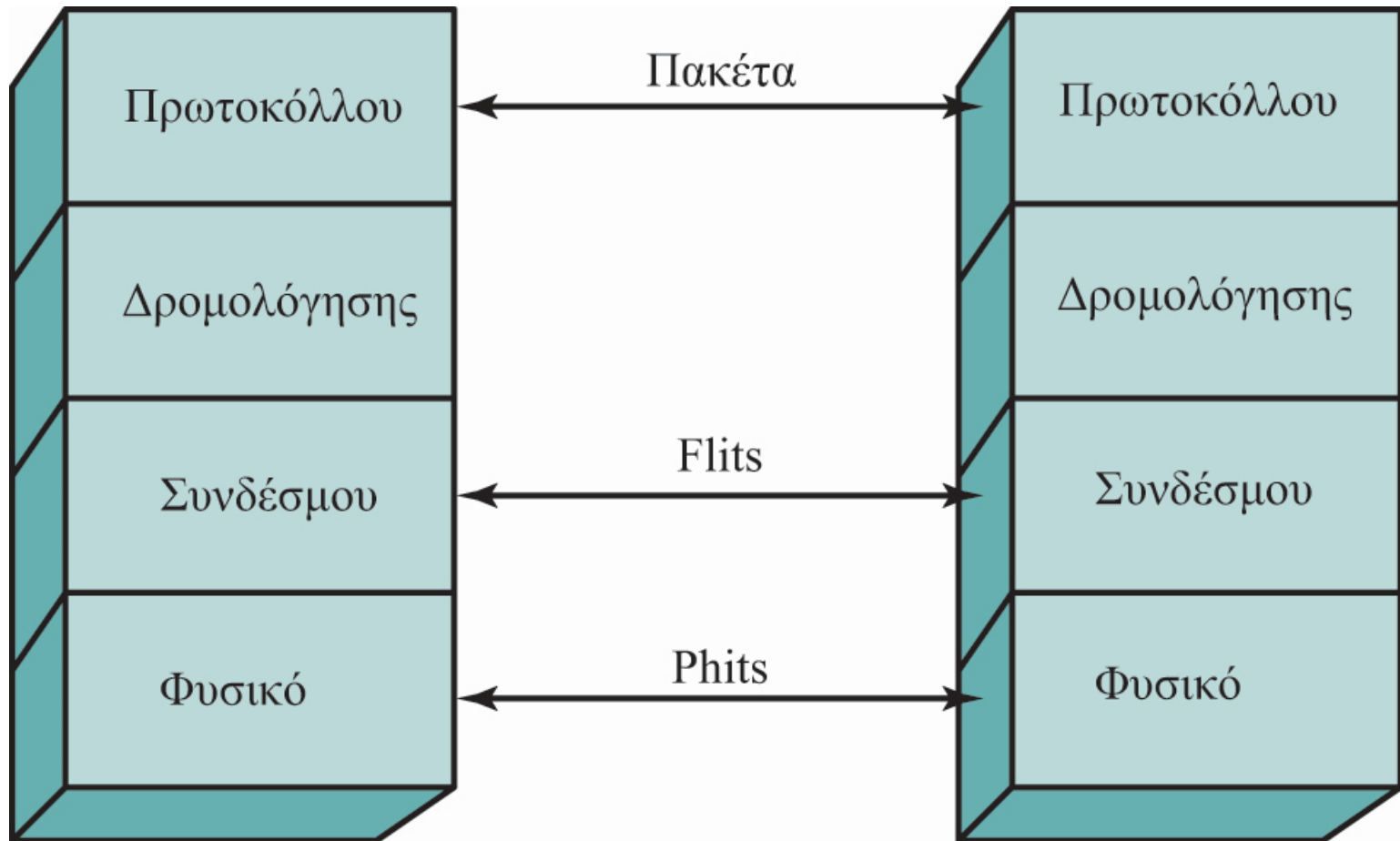
Nehalem Microarchitecture



Διασύνδεση από σημείο σε σημείο

- Ο IOH εκτελεί τη μετάφραση ανάμεσα στα πρωτόκολλα και στις μορφές QPI και στα πρωτόκολλα και στις μορφές PCIe. Κάθε πυρήνας συνδέεται επίσης με μια μονάδα κύριας μνήμης χρησιμοποιώντας έναν δεσμευμένο δίαυλο μνήμης.
- Η QPI ορίζεται ως αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων τεσσάρων επιπέδων:
 - 1) Φυσικό επίπεδο
 - 2) Επίπεδο σύνδεσης
 - 3) Επίπεδο δρομολόγησης
 - 4) Επίπεδο πρωτοκόλλου

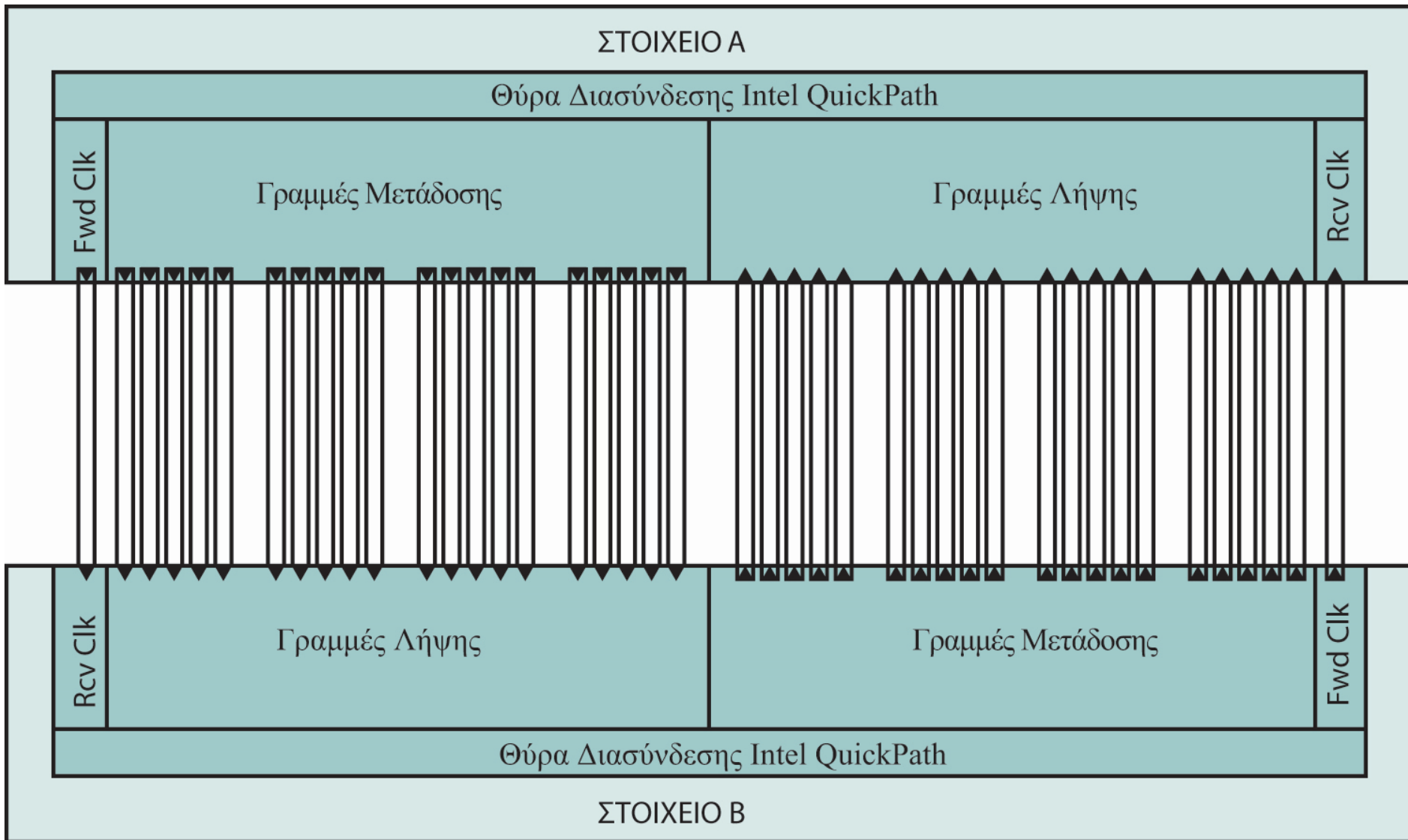
Διασύνδεση από σημείο σε σημείο



Φυσικό επίπεδο QPI

- Η θύρα QPI αποτελείται από 84 διαφορετικούς συνδέσμους οι οποίοι ομαδοποιούνται:
 - Κάθε μονοπάτι δεδομένων περιέχει ένα ζεύγος καλωδίων (**γραμμή**) που μεταφέρουν δεδομένα 1 bit κάθε φορά
 - Υπάρχουν 20 γραμμές δεδομένων σε κάθε κατεύθυνση (μετάδοση και λήψη) και μια γραμμή ρολογιού. Άρα παράλληλη μετάδοση 20 bits σε κάθε κατεύθυνση.
 - Η μονάδα των 20 bits αναφέρεται ως ***phit***
 - Με 20 bits ανά μετάδοση έχουμε ταχύτητες 16 GB/s και επειδή χρησιμοποιεί δεσμευμένα αμφίδρομα ζεύγη η συνολική ταχύτητα είναι 32 GB/s
 - Οι γραμμές ομαδοποιούνται σε 4 τετράδες, 5 γραμμές ανά τετράδα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να λειτουργεί στο μισό ή στο τέταρτο για λόγους ισχύος.

Φυσικό επίπεδο QPI



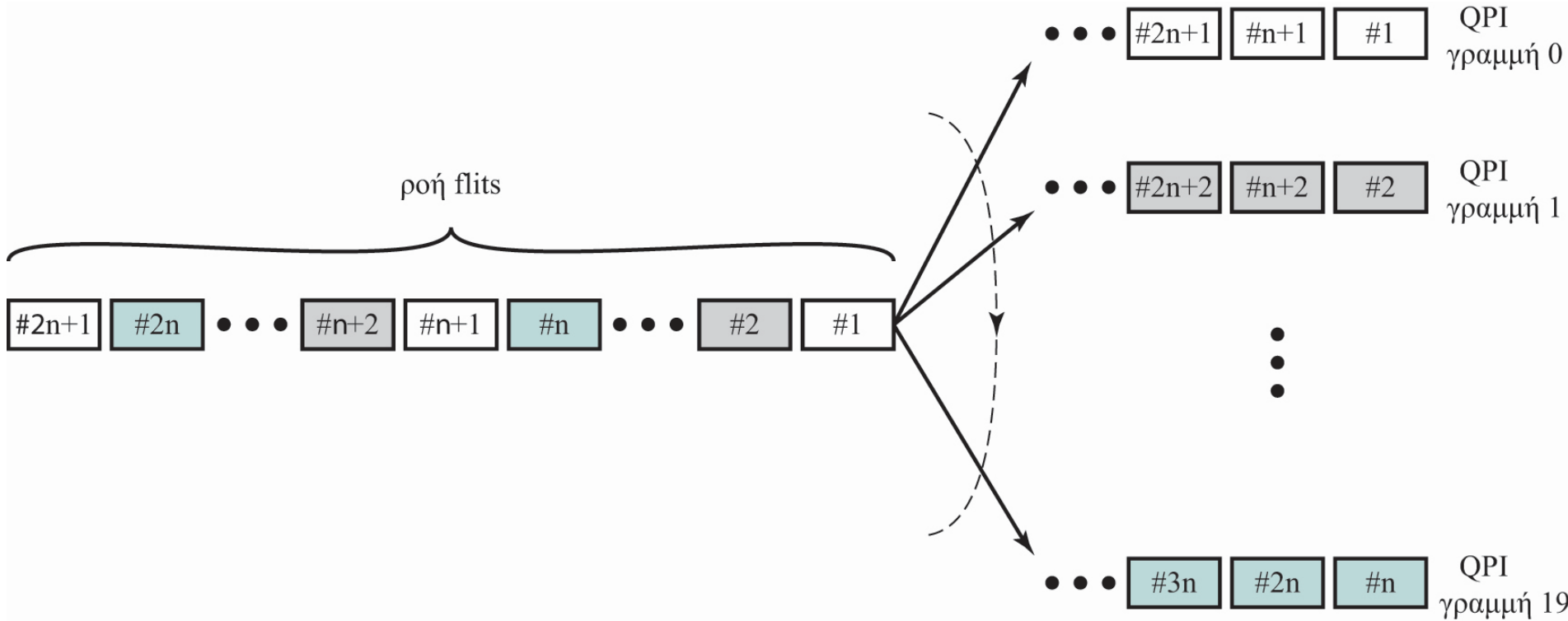
Φυσικό επίπεδο QPI

- Η μορφή μετάδοσης σε κάθε γραμμή είναι γνωστή ως εξισορροπημένη μετάδοση.
- Τα σήματα μεταδίδονται με τη μορφή ρεύματος το οποίο κινείται μεταξύ αγωγών.
- Η δυαδική τιμή εξαρτάται από τη διαφορά της τάσης.
- Τυπικά μια γραμμή έχει θετική τάση και η άλλη μηδενική τάση. Η μία σχετίζεται με το δυαδικό 1 και η άλλη με το δυαδικό 0.
- Η τεχνική που χρησιμοποιείται από την QPI ονομάζεται διαφορική σηματοδότηση χαμηλής τάσης.
- Σε μια τυπική υλοποίηση ο μεταδότης στέλνει ρεύμα στο ένα ή στο άλλο καλώδιο, αναλόγως με το λογικό επίπεδο που πρόκειται να σταλεί.
- Το ρεύμα διαπερνά μια αντίσταση στο άκρο →

Φυσικό επίπεδο QPI

- > της λήψης και έπειτα επιστρέφει στην αντίθετη κατεύθυνση μέσα από το άλλο καλώδιο.
- Ο δέκτης αντιλαμβάνεται την πολικότητα της τάσης μέσα στην αντίσταση ώστε να προσδιορίζει την λογική τιμή.
- Μια άλλη λειτουργία στο φυσικό επίπεδο είναι η διαχείριση της μετάφρασης με την τεχνική της διανομής πολλαπλών δρόμων.
- Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στην QPI να επιτυγχάνει πολύ μεγάλους ρυθμούς δεδομένων υλοποιώντας τον φυσικό σύνδεσμο ανάμεσα σε δύο θύρες με τη μορφή πολλαπλών παράλληλων καναλιών.

Φυσικό επίπεδο QPI



Επίπεδο σύνδεσης QPI

- Επιτελεί δύο σημαντικές λειτουργίες: έλεγχο ροής και έλεγχο σφαλμάτων.
- Η μονάδα μεταφοράς στο επίπεδο σύνδεσης είναι το **Flit** (flow control unit) μεγέθους 80 bits.
- Κάθε flit αποτελείται από ένα ωφέλιμο μήνυμα 72 bit και από ένα κώδικα ελέγχου σφαλμάτων 8 bit (CRC).
- Ένα ωφέλιμο flit μπορεί να αποτελείται από δεδομένα ή πληροφορίες μηνύματος.
- Τα flit των δεδομένων μεταφέρουν τα πραγματικά δεδομένα ανάμεσα σε πυρήνες ή ανάμεσα σε πυρήνα και IOH.
- Τα flit των μηνυμάτων χρησιμοποιούνται για έλεγχο ροής, έλεγχο σφαλμάτων και τη συνοχή της κρυφής μνήμης.

Επίπεδο σύνδεσης QPI

- Ο **έλεγχος ροής** είναι απαραίτητος για να εξασφαλίσουμε ότι η οντότητα αποστολής QPI δεν θα πλημμυρίσει την οντότητα λήψης QPI στέλνοντας δεδομένα με μεγαλύτερη ταχύτητα από εκείνη που μπορεί ο δέκτης να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να αδειάσει τις ενδιάμεσες μνήμες (απομονωτές) για να υποδεχτεί τα εισερχόμενα δεδομένα.
- Τεχνική πίστωσης. Κατά την αρχικοποίηση ένας αποστολέας λαμβάνει ένα σύνολο πιστωτικών μονάδων για να στείλει flits σε ένα παραλήπτη. Όταν ένα flit στέλνεται, ο αποστολέας μειώνει των μετρητή μονάδων του κατά ένα. Όταν ελευθερωθεί ένας απομονωτής στην πλευρά του παραλήπτη η μονάδα πίστωσης επιστρέφεται στον αποστολέα για αυτόν τον απομονωτή.

Επίπεδο σύνδεσης QPI

- Επομένως ο παραλήπτης ελέγχει τον ρυθμό δεδομένων με τον οποίο τα δεδομένα μεταδίδονται μέσα από ένα σύνδεσμο QPI.
- Αν συμβεί αλλαγή σε ένα bit λόγω θορύβου τότε ο **έλεγχος σφαλμάτων** στο επίπεδο σύνδεσης ανιχνεύει και διορθώνει αυτά τα σφάλματα. Έτσι απομονώνονται τα υψηλότερα επίπεδα σύνδεσης από τη διαχείριση αυτών των σφαλμάτων.
- Για μια ροή η διαδικασία έχει ως εξής:
 1. Κατά τη μετάδοση ο A υπολογίζει την τιμή CRC για κάθε flit και την εισάγει στο πεδίο των 8 bit CRC.
 2. Ο B υπολογίζει μια τιμή CRC για το ωφέλιμο μήνυμα των 72 bit και την συγκρίνει με την εισερχόμενη τιμή CRC. Αν δεν είναι ίδιες τότε υπάρχει σφάλμα.

Επίπεδο σύνδεσης QPI

3. Όταν ο B ανιχνεύσει σφάλμα, στέλνει μια αίτηση στον A να ξαναμεταδώσει το flit στο οποίο υπήρχε σφάλμα. Επειδή ο A μπορεί να είχε αρκετές μονάδες πίστωσης για να στείλει μια ροή από flits, μπορεί να έχει μεταδώσει επιπλέον flits μετά από αυτό που βρέθηκε το σφάλμα. Σε αυτή την περίπτωση ζητείται από τον A να σταματήσει και να ξαναστείλει το flit που εμφάνισε σφάλμα αλλά και όλα τα επόμενα flits.

Επίπεδο δρομολόγησης QPI

- Το επίπεδο δρομολόγησης χρησιμοποιείται για να ορίζεται η πορεία που θα ακολουθήσει το πακέτο κατά μήκος των διαθέσιμων διασυνδέσεων του συστήματος.
- Ορίζονται πίνακες δρομολόγησης οι οποίοι περιγράφουν τα πιθανά μονοπάτια που μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο.
- Σε μικρές διατάξεις, όπως μια πλατφόρμα με 2 υποδοχές οι επιλογές είναι περιορισμένες και οι πίνακες αρκετά απλοί.
- Για μεγαλύτερα συστήματα, οι επιλογές των πινάκων είναι πιο πολύπλοκες και δίνουν την ευελιξία δρομολόγησης και επαναδρομολόγησης ανάλογα με:
 1. Την τοποθέτηση των συσκευών στην πλατφόρμα
 2. Τον τρόπο διαμερισμού των πόρων του συστήματος
 3. Τον τρόπο με τον οποίο τα γεγονότα που σχετίζονται με την αξιοπιστία έχουν ως αποτέλεσμα τη δρομολόγηση μέσω ενός πόρου που έχει καταρρεύσει.

Επίπεδο πρωτοκόλλων QPI

- Σε αυτό το επίπεδο το πακέτο ορίζεται ως μονάδα μεταφοράς.
- Ο ορισμός των περιεχομένων του πακέτου είναι τυποποιημένος αλλά δίνεται ευελιξία ώστε να ικανοποιούνται διαφορετικές απαιτήσεις.
- Μια βασική λειτουργία είναι το πρωτόκολλο συνοχής της κρυφής μνήμης, το οποίο εξασφαλίζει ότι οι τιμές της κύριας μνήμης που υπάρχουν αποθηκευμένες σε πολλές κρυφές μνήμες παραμένουν συνεπείς.
- Ένα τυπικό πακέτο ωφέλιμων δεδομένων είναι ένα τμήμα δεδομένων το οποίο αποστέλλεται προς ή από μια κρυφή μνήμη.

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 3.6

Η τεχνολογία PCI EXPRESS

- Η διασύνδεση περιφερειακού στοιχείου (Peripheral Component Interconnect –PCI) είναι ένας δημοφιλής δίαυλος υψηλού εύρους ζώνης και ανεξάρτητος από τον επεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργεί ως περιφερειακός δίαυλος.
- Προσδίδει καλύτερη απόδοση συστήματος για υποσυστήματα E/E υψηλής ταχύτητας (π.χ. προσαρμογείς γραφικών, ελεγκτές διασύνδεσης δικτύου και ελεγκτές δίσκων).
- Ξεκίνησε από την Intel για τα συστήματα που βασίζονταν στην αρχιτεκτονική Pentium. Κυκλοφόρησε όλες τις πατέντες και προώθησε την δημιουργία μιας ένωσης με την ονομασία PCI Special Interest Group (SIG) για να αναπτυχθεί και να διατηρηθεί η συμβατότητα των προδιαγραφών της τεχνολογίας PCI.

Η τεχνολογία PCI EXPRESS

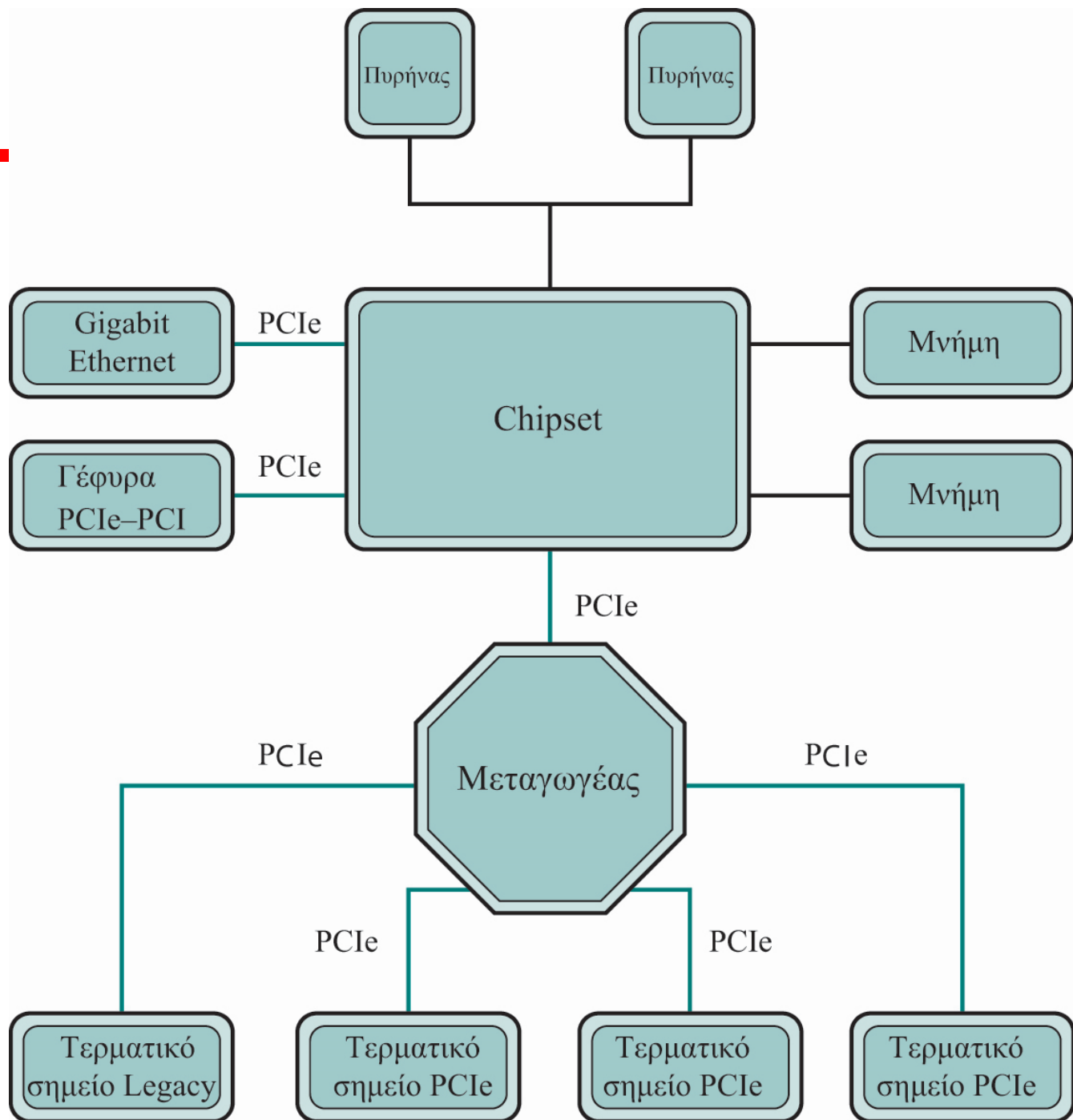
- Επειδή οι προδιαγραφές είναι ελεύθερες, υποστηρίζονται από ένα μεγάλο τμήμα της βιομηχανίας των μικροεπεξεργαστών και των περιφερειακών συσκευών που έχει ως αποτέλεσμα τα προϊόντα διαφορετικών κατασκευαστών να είναι συμβατά μεταξύ τους.
- Η τεχνική διαύλου PCI δεν κατάφερε να ανταποκριθεί στους ρυθμούς δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών.
- Αναπτύχθηκε μια νέα έκδοση η PCI Express (PCIe). Είναι όπως η QPI διασύνδεση από σημείο σε σημείο.
- Στόχος της η αντικατάσταση των τεχνικών διαύλου όπως η PCI.
- Βασική απαίτηση είναι η υψηλή ταχύτητα για να υποστηρίζει τις ανάγκες υψηλού ρυθμού →

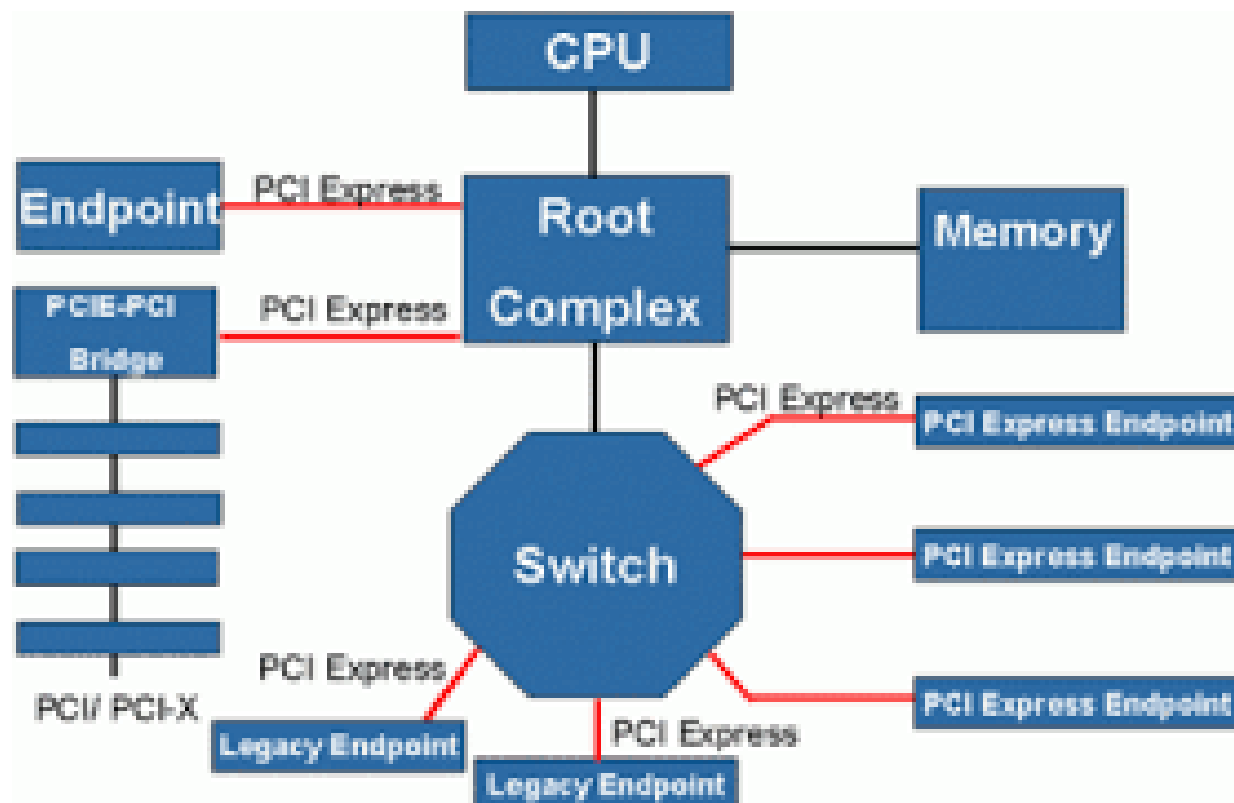
Η τεχνολογία PCI EXPRESS

- δεδομένων των συσκευών E/E όπως το Gigabit Ethernet.
- Άλλη απαίτηση είναι η ανάγκη υποστήριξης ροών δεδομένων που εξαρτώνται από τον χρόνο. Εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως το βίντεο κατ' απαίτηση και η αναδιανομή ήχου επιβάλλουν περιορισμούς στους εξυπηρετητές.
 - Πολλές εφαρμογές επικοινωνιών και πλατφόρμες πρέπει να διαχειρίζονται πολλαπλές ταυτόχρονες μεταφορές σε πολύ μεγάλους ρυθμούς δεδομένων.
 - Δεν είναι πλέον αποδεκτή η διαχείριση όλων των δεδομένων ως ίδιων. Προτεραιότητα στις ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου.
 - Τα δεδομένα πλέον έχουν ετικέτα έτσι ώστε ένα σύστημα E/E να ορίζει προτεραιότητες στις ροές.

Φυσική και Λογική Αρχιτεκτονική PCIe

- Μια πολύπλοκη συσκευή ρίζας που αναφέρεται ως chipset ή γέφυρα τερματικού συνδέει τον επεξεργαστή και το υποσύστημα μνήμης με τη δομή μεταγωγής PCIe δημιουργώντας μια ή περισσότερες συσκευές PCIe και συσκευές μεταγωγής PCIe.
- Η ρίζα λειτουργεί ως προσωρινή αποθήκευση με σκοπό να διαχειριστεί τις διαφορές των ρυθμών δεδομένων που υπάρχουν σε ελεγκτές E/E και στοιχεία μνήμης και του επεξεργαστή.
- Το chipset υποστηρίζει πολλαπλές θύρες ορισμένες από τις οποίες συνδέονται με μια συσκευή και μία ή περισσότερες που συνδέονται με ένα μεταγωγέα που διαχειρίζεται πολλαπλές ροές PCIe.





Transaction Layer



Data Link Layer



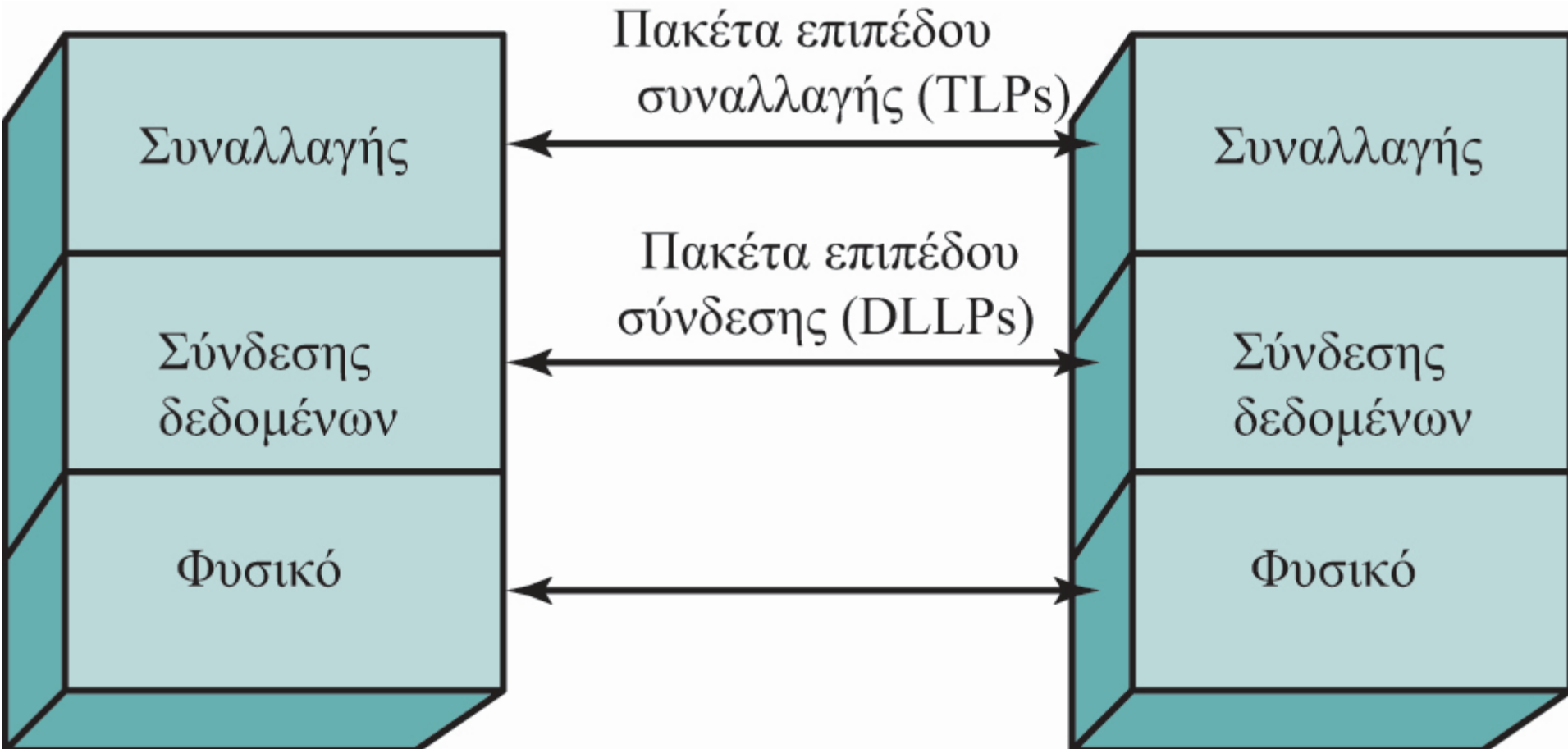
Physical Layer



Φυσική και Λογική Αρχιτεκτονική PCIe

- Οι μορφές συσκευών που υλοποιούν συνδέσεις PCIe:
 - a) Μεταγωγέας
 - b) Τερματικό σημείο PCIe
 - c) Τερματικό σημείο Legacy (είναι η κατηγορία τερματικών σημείων που έχει στόχο την εξυπηρέτηση υπαρχουσών σχεδιάσεων που έχουν ενσωματωθεί στην PCIe και επιτρέπει κληρονομικές συμπεριφορές)
 - d) Γέφυρα PCIe/PCI
- Όπως με την QPI οι επικοινωνίες PCIe ορίζονται με την αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων.
 - Φυσικό
 - Σύνδεσης δεδομένων
 - Συναλλαγής

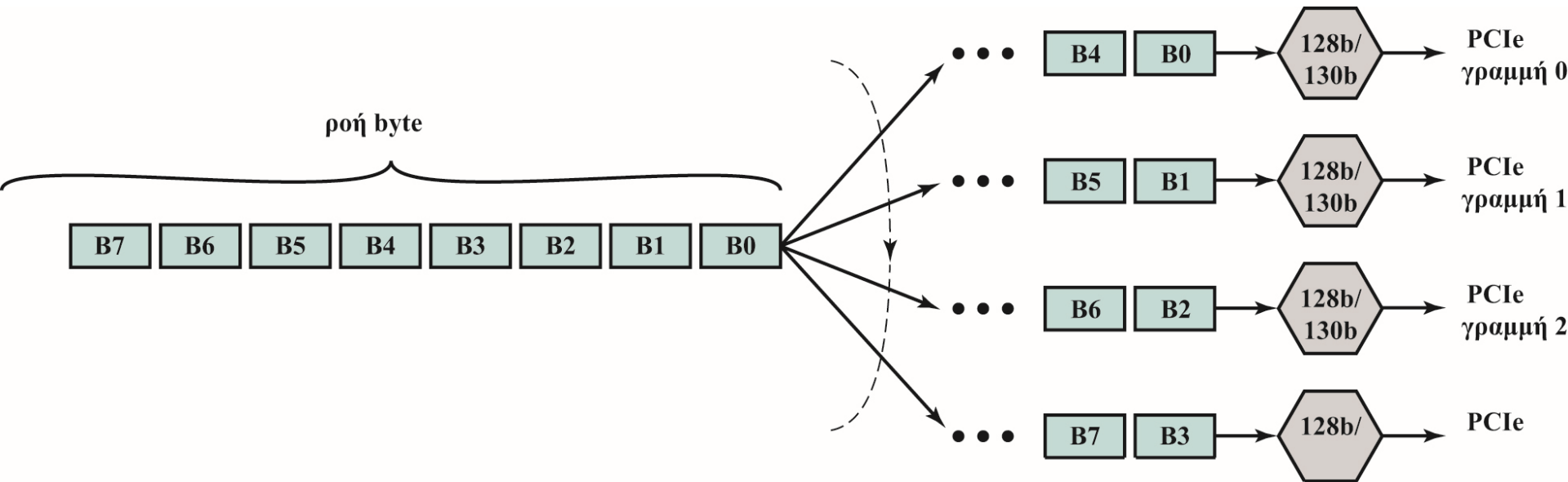
Επίπεδα πρωτοκόλλων PCIe



Φυσικό επίπεδο PCIe

- Κάθε θύρα PCIe αποτελείται από ένα πλήθος αμφίδρομων γραμμών. Η μεταφορά προς κάθε κατεύθυνση σε μια γραμμή γίνεται μέσω διαφορικής σηματοδότησης σε έναν ζεύγος καλωδίων. Μια θύρα μπορεί να παρέχει 1,4,16 ή 32 γραμμές. Το 2010 εισήχθη το PCIe 3.0
- Χρησιμοποιεί διανομή πολλαπλών γραμμών. Τα δεδομένα διανέμονται σε 4 γραμμές, 1 byte τη φορά χρησιμοποιώντας μια απλή τεχνική εκ περιτροπής. Σε κάθε φυσική γραμμή τα δεδομένα αποθηκεύονται σε απομονωτές και η επεξεργασία τους γίνεται ανά δεκαεξάδες (128 bits). Κωδικοποιείται και μια μοναδική κωδικολέξη 130 bit για να μεταδοθεί. Αναφέρεται ως κωδικοποίηση 128b/130b.

Φυσικό επίπεδο PCIe



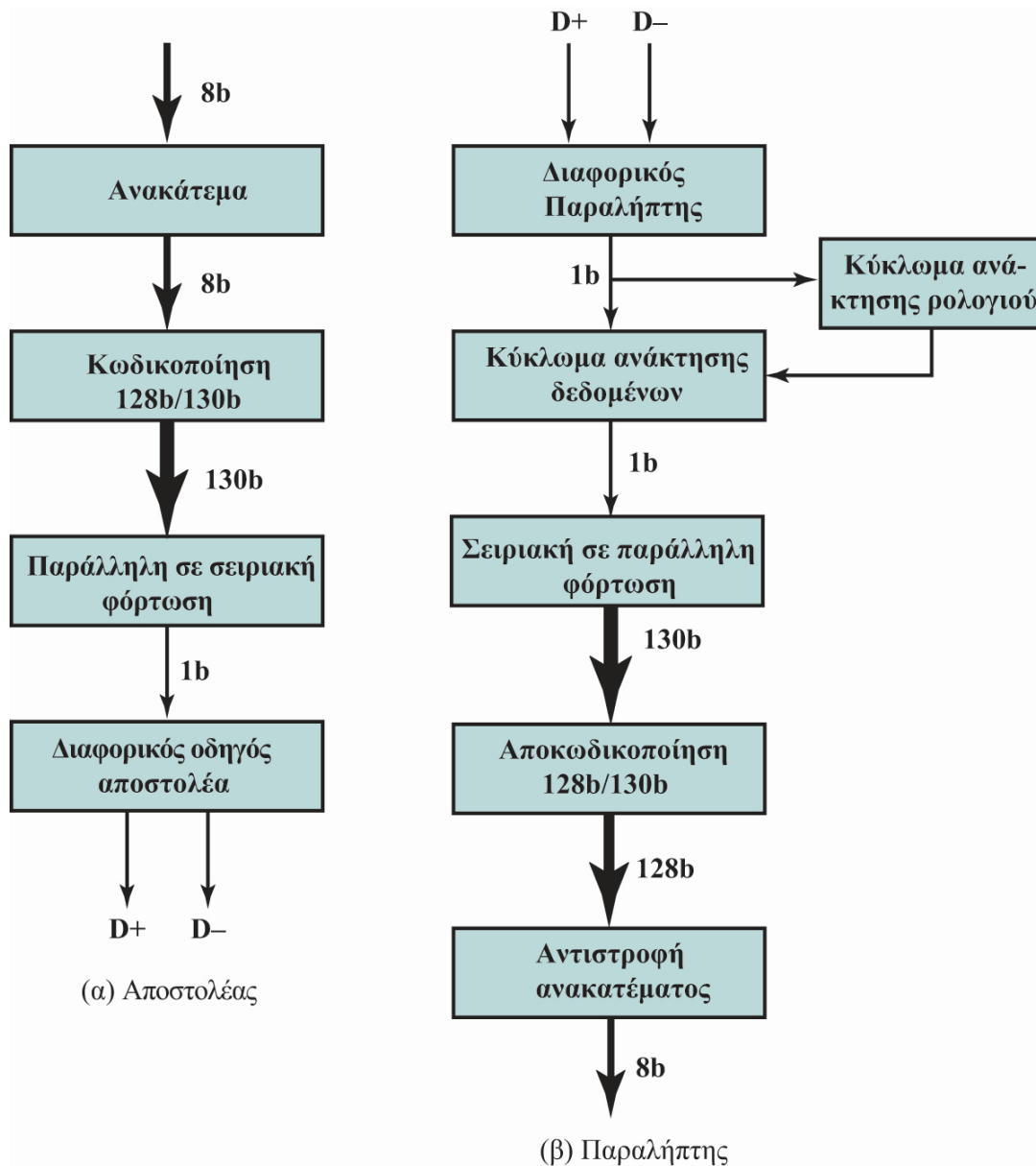
Φυσικό επίπεδο PCIe

- Δεν χρησιμοποιεί τη γραμμή ρολογιού για συγχρονισμό της ροής όπως η QPI. Είναι για άλλους λόγους σηματοδότησης. Είναι βέβαια απαραίτητο να είναι συγχρονισμένος ο αποστολέας με τον παραλήπτη. Αν υπάρχει διαφορά μπορεί να συμβούν σφάλματα.
- Βασίζεται στον συγχρονισμό των δύο πλευρών με βάση το μεταδιδόμενο σήμα. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται από τον παραλήπτη αν αυτός αναζητά συναλλαγές δεδομένων και συγχρονίζει το ρολόι του με τη συναλλαγή.
- Στην PCIe 3.0 για να ξεπεραστεί το ζήτημα των συμβολοσειρών μεγάλου μήκους χρησιμοποιούν μια τεχνική που δεν αυξάνει το πλήθος των μεταδιδόμενων bits αλλά τείνει να τα απεικονίζει πιο τυχαία.

Φυσικό επίπεδο PCIe

- Το ανακάτεμα έχει την τάση να εξαπλώνει το πλήθος των συναλλαγών έτσι ώστε να εμφανίζονται στον παραλήπτη πιο ομοιόμορφες χρονικά, κάτι που είναι καλό για τον συγχρονισμό.
- Μια άλλη τεχνική που βοηθά τον συγχρονισμό είναι η κωδικοποίηση όπου επιπλέον bits εισέρχονται στη ροή για να ενισχύσουν τις συναλλαγές.
- Κάθε ομάδα 128 bits απεικονίζεται σε ένα τμήμα 130 bit προσθέτοντας μια επικεφαλίδα συγχρονισμού 2 bit.
- ❖ Η τιμή 10 είναι για τμήματα δεδομένα
- ❖ Η τιμή 01 είναι για τμήμα διατεταγμένου συνόλου το οποίο αναφέρεται σε ένα τμήμα πληροφορίας του επιπέδου σύνδεσης.

Φυσικό επίπεδο PCIe

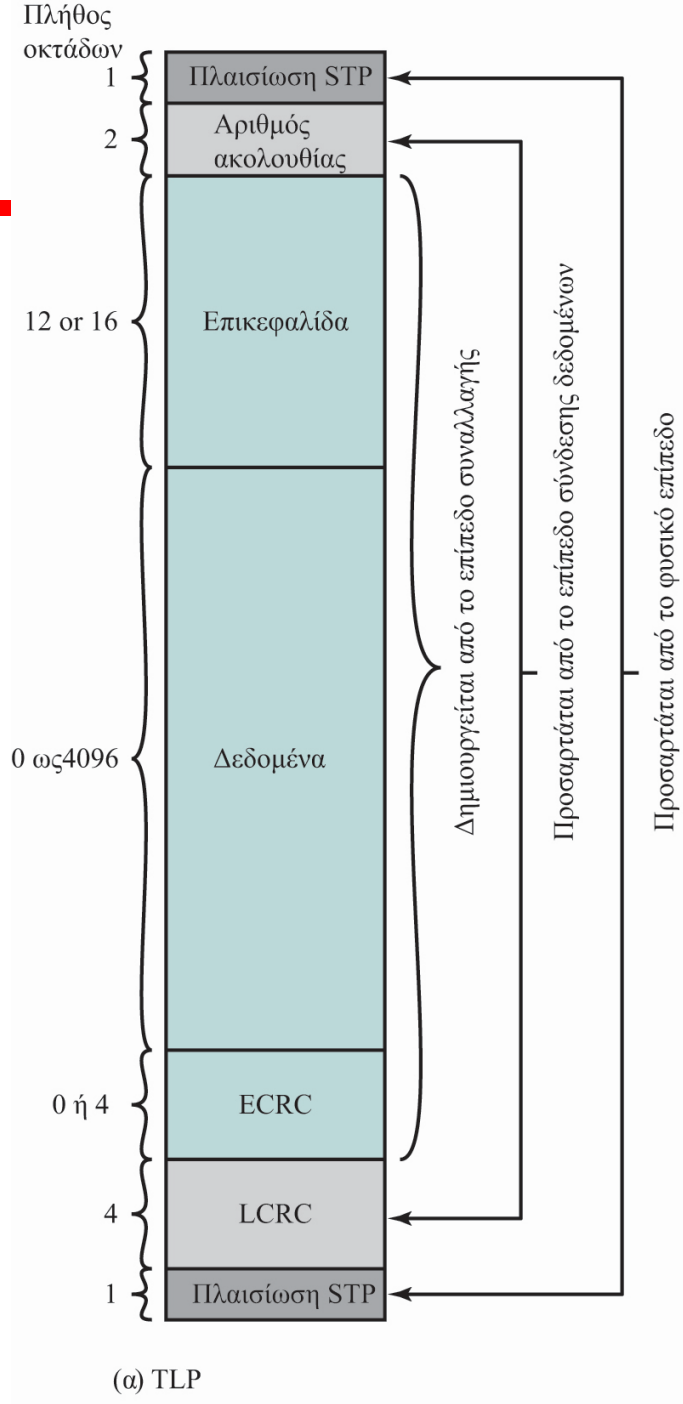


Φυσικό επίπεδο PCIe

- Ο αποστολέας χρησιμοποιώντας την τεχνική του ανακατέματος τροφοδοτεί ένα κωδικοποιητή 128b/130b. Αποθηκεύει τα 128 και έπειτα τα απεικονίζει σε ένα τμήμα των 130 bit. Το τμήμα περνά ένα μετατροπέα από παράλληλη σε σειριακή φόρτωση και μεταδίδεται 1 bit τη φορά με διαφορεική σηματοδότηση.
- Ο παραλήπτης με ένα ρολόι συγχρονίζεται με τα εισερχόμενα δεδομένα για να ανακτήσει τη ροή των bit. Η ροή περνά από ένα μετατροπέα από σειριακή σε παράλληλη φόρτωση για να παράγει ένα τμήμα 130 bit. Κάθε τμήμα περνά από τον αποκωδικοποιητή 128b/130b για να αποκτήσει το αρχικό ανακατεμένο υπόδειγμα bit και ακολουθεί η αντιστροφή του ανακατέματος για να παραχθεί η αρχική ροή bit.
- Επιτυγχάνεται ρυθμός δεδομένων 16 GB/s

Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων PCIe

- Ο σκοπός του επιπέδου είναι να εξασφαλίσει την αξιόπιστη μετάδοση των πακέτων πάνω στο σύνδεσμο PCIe. Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων συμμετέχει στο σχηματισμό των πακέτων αλλά και μεταδίδει πακέτα του ίδιου επιπέδου (Data Link Layer Packets-DLLPs)
- Τα πακέτα ξεκινούν από αυτό το επίπεδο της συσκευής αποστολής και τερματίζουν στο ίδιο επίπεδο της συσκευής λήψης.
- Υπάρχουν τρεις ομάδες:
 - 1) Πακέτα ελέγχου ροής
 - 2) Πακέτα διαχείρισης ισχύος
 - 3) Πακέτα Transaction Layer Packet ACK και NAK



Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων PCIe

- Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων προσθέτει δύο πεδία στον πυρήνα του πακέτου TLP που δημιουργείται από το επίπεδο συναλλαγής.
- Ένα αριθμό ακολουθίας 16 bit και ένα αριθμό LCRC 32 bit. Τα δύο αυτά πεδία υφίστανται επεξεργασία σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο μέχρι τον τελικό προορισμό.
- Όταν φτάσει σε μια συσκευή ελέγχεται το LCRC
 - ☐ Αν ανιχνευτεί σφάλμα, το επίπεδο σύνδεσης σχεδιάζει ένα NAK για να το επιστρέψει στον μεταδότη.
 - ☐ Αν δεν ανιχνευτεί σφάλμα το τμήμα του πυρήνα θα παραδοθεί στο τοπικό επίπεδο συναλλαγής. Αν είναι αυτή η συσκευή ο τελικός προορισμός, επεξεργάζεται το TLP. Διαφορετικά το επίπεδο συναλλαγής προσδιορίζει μια δρομολόγηση και το περνά προς τα κάτω για μετάδοση στον επόμενο κόμβο που βρίσκεται στη διαδρομή προς τον τελικό προορισμό.

Επίπεδο συναλλαγής PCIe

- Το επίπεδο μεταφοράς (Transport Layer) λαμβάνει αιτήσεις ανάγνωσης και εγγραφής από το λογισμικό που βρίσκεται πάνω από αυτό και δημιουργεί αιτήσεις πακέτων για μετάδοση προς έναν προορισμό μέσω του επιπέδου σύνδεσης.
- Οι περισσότερες συναλλαγές χρησιμοποιούν την τεχνική διαχωρισμού συναλλαγής:
 - Μια αίτηση στέλνεται από μια συσκευή αφετηρίας η οποία αναμένει μια απόκριση (πακέτο ολοκλήρωσης).
 - Η ολοκλήρωση που ακολουθεί μια αίτηση ξεκινά από τη συσκευή, μόνο όταν έχει τα δεδομένα και/ή βρίσκεται σε κατάσταση έτοιμη για αποστολή.
 - Κάθε πακέτο έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό επιτρέποντας τα πακέτα ολοκλήρωσης →

Επίπεδο συναλλαγής PCIe

- Να κατευθύνονται προς τη συσκευή εκκίνησης
- Η ολοκλήρωση έτσι διαχωρίζεται από την αίτηση σε αντίθεση με την λειτουργία διαύλου.
 - Ανάμεσα στην αίτηση και την ολοκλήρωση άλλες κυκλοφορίες μπορούν να χρησιμοποιούν τον σύνδεσμο.
 - Τα μηνύματα του επιπέδου συναλλαγής και ορισμένες συναλλαγές εγγραφής είναι *αναπάντητες συναλλαγές* επειδή δεν αναμένεται κάποια απόκριση.
 - Η μορφή του πακέτου υποστηρίζει διευθυνσιοδότηση μνήμης 32-bit επεκτάσιμη σε 64-bit.
 - Το επίπεδο υποστηρίζει 4 χώρους διευθύνσεων:
1) Μνήμη 2) E/E 3) Διαμόρφωση 4) Μήνυμα

Επίπεδο συναλλαγής PCIe

- Για τους χώρους μνήμης , E/E και διαμόρφωσης υπάρχουν συναλλαγές ανάγνωσης και εγγραφής.
- Στις συναλλαγές μνήμης υπάρχει και μια λειτουργία αίτησης κλειδώματος ανάγνωσης.
- Ένας οδηγός συσκευής μπορεί π.χ. να διαβάσει ατομικά, να τροποποιήσει και έπειτα να γράψει σε ένα καταχωρητή.
- Για να γίνει αυτό ο οδηγός αναγκάζει τον επεξεργαστή να εκτελέσει μία ή ένα σύνολο εντολών.
- Η ρίζα μετατρέπει αυτές τις εντολές σε μια σειρά συναλλαγών PCIe οι οποίες υλοποιούν ατομικές αιτήσεις ανάγνωσης και εγγραφής για τον οδηγό της συσκευής.
- Οι συναλλαγές αυτές πρέπει να εκτελεστούν ατομικά.

Επίπεδο συναλλαγής PCIe

- Η ρίζα κλειδώνει τον σύνδεσμο PCIe καθώς εκτελεί τις συναλλαγές. Έτσι αποτρέπονται οι συναλλαγές που δεν είναι μέρος της ακολουθίας. Η ακολουθία αυτή ονομάζεται κλειδωμένη λειτουργία. Το συγκεκριμένο σύνολο εντολών του επεξεργαστή που έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει μια κλειδωμένη λειτουργία, εξαρτάται από το chipset του συστήματος και από την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή.
- Για λόγους συμβατότητας με την PCI υπάρχουν κύκλοι διαμόρφωσης τύπου 0 και τύπου 1.
- Μια τύπου 1 μεταδίδει μια ροή μέχρι τη γέφυρα διασύνδεσης όπου την μετατρέπει σε τύπο 0 στο σύνδεσμο προορισμού.
- Τα μηνύματα ολοκλήρωσης χρησιμοποιούνται με ξεχωριστές συναλλαγές

Επίπεδο συναλλαγής PCIe

- Οι συναλλαγές μεταφέρονται με πακέτα (TLPs). Ξεκινά από το επίπεδο συναλλαγής της συσκευής αποστολής και τερματίζεται στο επίπεδο συναλλαγής της συσκευής λήψης.
- Το λογισμικό του ανωτάτου επιπέδου στέλνει τις πληροφορίες στο επίπεδο συναλλαγής για να δημιουργήσει τον πυρήνα του TLP που έχει τα πεδία:
 - Επικεφαλίδα
 - Δεδομένα
 - ECRC

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 4

Συστήματα μνήμης

- Η μνήμη παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος τύπων, τεχνολογίας, οργάνωσης, απόδοσης και κόστους σε σχέση με κάθε άλλο χαρακτηριστικό ενός υπολογιστικού συστήματος.
- Καμιά τεχνολογία δεν είναι βέλτιστη να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε μνήμη.
- Το τυπικό υπολογιστικό σύστημα είναι εξοπλισμένο με μια ιεραρχία υποσυστημάτων μνήμης
- **Εσωτερικά**
- Στο ανώτερο επίπεδο δηλ. πιο κοντά στον επεξεργαστή, βρίσκονται οι καταχωρητές.
- Ακολουθούν ένα ή περισσότερα επίπεδα κρυφής μνήμης.
- Μετά είναι η κύρια μνήμη που είναι μια δυναμική μνήμη τυχαίας προσπέλασης.

Συστήματα μνήμης

- **Εξωτερικά**
- Η ιεραρχία συνεχίζει με την εξωτερική μνήμη, (προσπελάσιμη από τον επεξεργαστή μέσω μιας μονάδας E/E) με τον σταθερό σκληρό δίσκο, πιο κάτω από αυτόν αφαιρούμενα μέσα, οπτικοί δίσκοι και ταινίες.
- Κατεβαίνοντας την ιεραρχία συναντούμε
 - Μειωμένο κόστος/bit
 - Αυξανόμενη χωρητικότητα
 - Μεγαλύτερους χρόνους προσπέλασης
- Η κύρια μνήμη βασικός παράγων αποθήκευσης αλλά είναι ακριβή.
- Ανταλλάσσεται χρόνος προσπέλασης με πιο μικρό κόστος.

Συστήματα μνήμης

- Σχεδιαστική προσπάθεια για οργάνωση εντολών και δεδομένων στην κύρια μνήμη έτσι ώστε οι λέξεις μνήμης που προσπελαύνονται να βρίσκονται στην κύρια μνήμη.
- Είναι πιθανό οι επόμενες προσπελάσεις στην κύρια μνήμη από τον επεξεργαστή να γίνονται σε θέσεις που έχουν προσπελαστεί πρόσφατα.
- Στόχος, ο επεξεργαστής να ζητά λέξεις που ήδη βρίσκονται στην κρυφή μνήμη.
- Κρυφή μνήμη ... κατάλληλος σχεδιασμός.

Οργάνωση και Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 4.1

Χαρακτηριστικά των συστημάτων μνήμης

Location Internal (e.g. processor registers, cache, main memory) External (e.g. optical disks, magnetic disks, tapes)	Performance Access time Cycle time Transfer rate
Capacity Number of words Number of bytes	Physical Type Semiconductor Magnetic Optical Magneto-optical
Unit of Transfer Word Block	Physical Characteristics Volatile/nonvolatile Erasable/nonerasable
Access Method Sequential Direct Random Associative	Organization Memory modules

Table 4.1

Key Characteristics of Computer Memory Systems

Χαρακτηριστικά των συστημάτων μνήμης

- Το πολύπλοκο αντικείμενο της μνήμης γίνεται πιο εύκολα διαχειρίσιμο αν κατηγοριοποιήσουμε τα συστήματα μνήμης με βάση τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους.
- Θέση
 - Εσωτερική
 - Εξωτερική
- Χωρητικότητα
 - Πλήθος λέξεων
 - Πλήθος bytes
- Μονάδα Μεταφοράς Πληροφορίας
 - Λέξη
 - Μπλοκ

Χαρακτηριστικά των συστημάτων μνήμης

- Μέθοδος Προσπέλασης
 - Σειριακή
 - Άμεση
 - Τυχαία
 - Συσχετιστική
- Απόδοση
 - Χρόνος προσπέλασης
 - Χρόνος κύκλου
 - Ρυθμός μετάδοσης
- Φυσικός Τύπος
 - Ημιαγωγός
 - Μαγνητική
 - Μαγνητο-οπτική

Χαρακτηριστικά των συστημάτων μνήμης

- Φυσικά Χαρακτηριστικά
 - Πτητική/μη πτητική
 - Επαναπρογραμματιζόμενη / μη επαναπρογ/μενη
- Οργάνωση
 - Μονάδες μνήμης

Θέση

- Θέση της μνήμης ως προς τον Επεξεργαστή- CPU
- Εσωτερική (καταχωρητές, κύρια και κρυφή μνήμη)
- Εξωτερική (περιφερειακές συσκευές αποθήκευσης, πχ δίσκος ή dvd)
- Εν γένει οι εξωτερικές συσκευές είναι προσπελάσιμες από τον επεξεργαστή μέσω μονάδας E/E

Χωρητικότητα

- Για την εσωτερική μνήμη εκφράζεται σε bytes ή λέξεις
- Μέγεθος Λέξης 8, 16, 32, 64 bits
 - Η φυσική μονάδα οργάνωσης
 - Ισούνται με το μήκος της εντολής και με το μήκος παράστασης ακεραίου αριθμού σε bits
- Για την εξωτερική μνήμη εκφράζεται σε bytes.

Μονάδα Μεταφοράς Πληροφορίας

- Για την εσωτερική μνήμη είναι το πλήθος των ηλεκτρικών γραμμών εντός και εκτός της μονάδας.
- Για την εσωτερική μνήμη πρέπει να ξεκαθαριστούν οι έννοιες:
- Λέξη: Η φυσική μονάδα οργάνωσης της μνήμης. Τυπικά το μέγεθος μια λέξης ισούται με το πλήθος των bits τα οποία χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν έναν ακέραιο αριθμό και με το μήκος της εντολής. Η αρχιτεκτονική της Intel x86 διαθέτει μια μεγάλη ποικιλία από μήκη εντολών, τα οποία εκφράζονται σε πολλαπλάσια του byte και μήκος λέξης 32 bits.
- Μονάδες που επιτρέπεται να διευθυνσιοδοτηθούν: Σε ορισμένα συστήματα η μονάδα είναι η λέξη. Πολλά συστήματα επιτρέπουν την διευθυνσιοδότηση →

Μονάδα Μεταφοράς Πληροφορίας

- σε επίπεδο byte. Η σχέση ανάμεσα στο μήκος σε bits A μιας διεύθυνσης και στο πλήθος των μονάδων που είναι δυνατόν να διευθυνσιοδοτηθούν είναι $2^A = N$
- Μονάδα μεταφοράς: Στην κύρια μνήμη είναι το πλήθος των bits τα οποία μεταφέρονται από τη μνήμη ή γράφονται σε αυτήν. Δεν είναι απαραίτητα ίση με μια λέξη ή με μια μονάδα η οποία επιτρέπεται να διευθυνσιοδοτηθεί. Για την εξωτερική μνήμη, τα δεδομένα συχνά μεταφέρονται σε πολύ μεγαλύτερες μονάδες από τη λέξη και σε αυτή την περίπτωση οι μονάδες αναφέρονται ως μπλοκ.

Μέθοδοι Προσπέλασης

- Σειριακή Προσπέλαση
 - Η προσπέλαση γίνεται με μια καθορισμένη γραμμική σειρά (οι μονάδες δεδομένων καλούνται εγγραφές)
 - Ο χρόνος προσπέλασης είναι σε μεγάλο βαθμό μεταβλητός
 - π.χ. μονάδες ταινίας
- Άμεση Προσπέλαση
 - Κάθε τμήμα έχει ξεχωριστή μοναδική διεύθυνση η οποία βασίζεται στη φυσική θέση.
 - Η προσπέλαση υλοποιείται άμεσα σε κοντινό σημείο και μετά απαιτείται σειριακή αναζήτηση, μέτρηση ή αναμονή προκειμένου να φτάσουμε στην τελική θέση
 - Ο χρόνος προσπέλασης είναι μεταβλητός
 - Πχ. Σκληρός Δίσκος

Μέθοδοι Προσπέλασης

- Τυχαία Προσπέλαση
 - Κάθε διευθυνσιοδοτούμενη θέση στη μνήμη έχει ένα μοναδικό φυσικό κυκλωματικό μηχανισμό διευθυνσιοδότησης
 - Ο χρόνος προσπέλασης είναι ανεξάρτητος από την ακολουθία των προηγούμενων προσπελάσεων στη μνήμη και είναι σταθερός
 - π.χ. RAM
- Συσχετιστική Προσπέλαση
 - Σύγκριση των επιθυμητών θέσεων bit μέσα σε μια λέξη για να εντοπίσουμε ένα συγκεκριμένο «ταίριασμα», ταυτόχρονα σε όλες τις λέξεις

Μέθοδοι Προσπέλασης

- Ο χρόνος προσπέλασης είναι ανεξάρτητος από την ακολουθία των προηγούμενων προσπελάσεων στη μνήμη και είναι σταθερός
- Π.χ. Οι κρυφές μνήμες χρησιμοποιούν συσχετιστική προσπέλαση

Απόδοση μνήμης

- Από τη μεριά του χρήστη χρησιμοποιούνται δυο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά :
 - Χωρητικότητα
 - Απόδοση
- Για την απόδοση χρησιμοποιούνται τρεις παράμετροι.
 - ❖ **Χρόνος προσπέλασης** (Λανθάνων χρόνος)
 - Για μνήμη τυχαίας προσπέλασης: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να εκτελεστεί μια λειτουργία ανάγνωσης ή εγγραφής. Ο χρόνος από τη στιγμή που τροφοδοτείται μια διεύθυνση στη μνήμη μέχρι τη στιγμή που τα απαιτούμενα δεδομένα θα έχουν αποθηκευτεί ή θα είναι διαθέσιμα προς χρήση.
 - Για μνήμη μη τυχαίας προσπέλασης: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να τοποθετηθεί ο μηχανισμός ανάγνωσης / εγγραφής στην επιθυμητή θέση.

Απόδοση μνήμης

- ❖ **Χρόνος κύκλου μνήμης** : Απαιτείται χρόνος επαναφοράς σε κατάσταση ετοιμότητας πριν την επόμενη προσπάθεια.
- Χρόνος Κύκλου = Χρόνος Προσπάθεσης + Χρόνος Επαναφοράς
- Για την μνήμη τυχαίας προσπάθεσης είναι ο χρόνος προσπάθεσης συν κάθε επιπλέον χρόνο που απαιτείται για ν' αρχίσει η επόμενη προσπάθεια.
- Χρόνος για σταθεροποίηση των τιμών πάνω στις γραμμές των σημάτων.
- Ή για αναπαραγωγή κατεστραμμένων δεδομένων.
- Ο χρόνος αυτός σχετίζεται με το δίαυλο του συστήματος και όχι τον επεξεργαστή.

Απόδοση μνήμης

❖ **Ρυθμός μετάδοσης** : Ο ρυθμός με τον οποίο τα δεδομένα μεταφέρονται προς και από τη μονάδα μνήμης.

- Για μνήμη τυχαίας προσπέλασης είναι :
 $1/(\text{χρόνος κύκλου})$

- Για μνήμη μη τυχαίας προσπέλασης

$$T_N = T_A + n / R$$

T_N = Μέσος χρόνος για ανάγνωση ή εγγραφή N bits

T_A = Μέσος χρόνος προσπέλασης

n = Πλήθος των bits

R = Ρυθμός μεταφοράς bits per second (bps)

Φυσικοί τύποι μνήμης

- Κατασκευαστικά, οι πιο κοινοί τύποι μνήμης σήμερα είναι:
 - Μνήμη ημιαγωγών RAM
 - Μνήμη μαγνητικής επιφάνειας (Σκληρός δίσκος & ταινίες)
 - Οπτικοί CD & DVD
- Άλλοι
 - Bubble
 - Hologram

Φυσικά χαρακτηριστικά μνήμης

- Πτητική μνήμη: η πληροφορία χάνεται όταν σταματήσει η ηλεκτρική ισχύς.
- Μη πτητική μνήμη: οι πληροφορίες διατηρούνται και χωρίς ισχύ.
- Οι μνήμες μαγνητικής επιφάνειας είναι μη πτητικές.
- Οι μνήμες ημιαγωγών είναι ή πτητικές ή μη πτητικές.
- Η μη προγραμματιζόμενη μνήμη δεν είναι δυνατόν να τροποποιηθεί ως προς το περιεχόμενο.
- Τέτοια μνήμη είναι γνωστή ως μνήμη ανάγνωσης μόνο.
- ROM είναι μη πτητική (μνήμη ημιαγωγών).
- Αναγκαστικά, μια πρακτικά μη προγραμματιζόμενη μνήμη θα πρέπει να είναι μη πτητική

Οργάνωση

- Φυσική διάταξη των bit για τον σχηματισμό λέξεων
- Δεν είναι πάντα προφανής
- π.χ. interleaved