

Δίκτυα Υπολογιστών I

Δομικά Στοιχεία Υλικού



Ευάγγελος Παπαπέτρου

Τμ. Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν. Ιωαννίνων

Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

2 Κόμβοι

- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

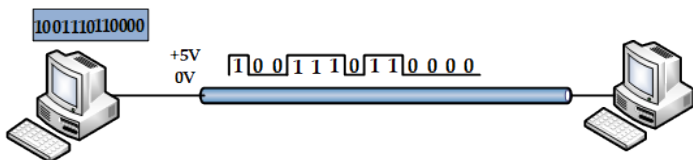
2 Κόμβοι

- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



Δεδομένα και σήματα

- Κάθε πληροφορία μεταδίδεται μέσα από ένα σύνδεσμο (κανάλι) ως ένα ψηφιακό (digital) σήμα



Ψηφιακό σήμα

Ψηφιακό καλείται ένα σήμα που λαμβάνει διακριτές τιμές

Τις περισσότερες φορές για ευκολία χρησιμοποιούμε τη φράση "μετάδοση των bits πληροφορίας" ως ισοδύναμη της φράσης "μετάδοση του σήματος πληροφορίας"



Αναλογικά και Ψηφιακά Σήματα

- Πολλές πηγές πληροφορίας (ακόμα και στους υπολογιστές) παράγουν σήματα πληροφορίας σε **αναλογική** μορφή
 - ▶ π.χ. οι εφαρμογές καταγραφής ανθρώπινης φωνής

Αναλογικό σήμα

Αναλογικό καλείται ένα σήμα με συνεχές πεδίο τιμών

- Τα αναλογικά σήματα μπορούν να μεταδοθούν μέσα από ένα κανάλι ωστόσο είναι προτιμότερο πρώτα να μετατραπούν σε ψηφιακά (**ψηφιοποίηση**)

Η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος μέσα από ένα σύνδεσμο (**αναλογική μετάδοση**) είναι εφικτή αλλά όχι **αποδοτική**

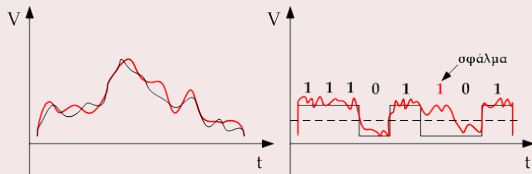


Αναλογική vs Ψηφιακή Μετάδοση (1/2)

- Βασικό μειονέκτημα αναλογικής μετάδοσης: το αναλογικό σήμα αλλοιώνεται εύκολα από το θόρυβο που υπάρχει στο κανάλι
- Τα ψηφιακά σήματα είναι ανθεκτικά στο θόρυβο επειδή λαμβάνουν διακριτές τιμές

Ανθεκτικότητα ψηφιακών σημάτων

- ένα ψηφιακό σήμα μπορεί να ανακατασκευαστεί
- η δυνατότητα ανακατασκευής είναι περιορισμένη και εξαρτάται από τα επίπεδα ισχύος του σήματος και του θορύβου



Αναλογική vs Ψηφιακή Μετάδοση (2/2)

- Επιπλέον πλεονεκτήματα της ψηφιακής μετάδοσης
 - ▶ είναι δυνατή η μετάδοση της πληροφορίας σε **μεγαλύτερες αποστάσεις** με τη χρήση αναμεταδοτών (απομόνωση θορύβου και ενίσχυση σήματος)
 - ▶ επιτρέπει τη χρήση **πιο αποδοτικών τεχνικών μεταγωγής** όπως η μεταγωγή πακέτου
 - ▶ επιτρέπει την **ασφάλεια στη μετάδοση** μέσω της κρυπτογράφησης

Ψηφιακά (Αναλογικά) δίκτυα

Όσα δίκτυα χρησιμοποιούν ψηφιακά (αναλογικά) σήματα για τη **μετάδοση** πληροφορίας

Τα δίκτυα υπολογιστών αλλά και όλα (πλέον) τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών είναι ψηφιακά



Κωδικοποίηση σήματος (1/2)

Κωδικοποίηση φυσικού επιπέδου (Encoding)

Η διαδικασία μετατροπής της πληροφορίας σε ένα ψηφιακό σήμα για μετάδοση σε ένα κανάλι

- Οι τεχνικές κωδικοποίησης διαφέρουν:
 - ▶ στο πλήθος V των διακριτών τιμών που λαμβάνει το ψηφιακό σήμα (σύμβολα)
 - ▶ στη διάρκεια των συμβόλων T_s

Η διάρκεια συμβόλων καθορίζει την ταχύτητα baud (baud rate) του κώδικα

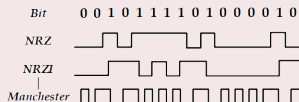
Ένα κωδικοποιημένο σήμα με V σύμβολα και ταχύτητα baud $\frac{1}{T_s} symbols/sec$ μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό $\frac{\log_2 V}{T_s} bps$



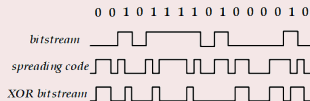
Κωδικοποίηση σήματος (2/2)

- Ένας κώδικας πρέπει να:
 - ▶ επιτρέπει το συγχρονισμό του αποστολέα και του παραλήπτη διευκολύνοντας την **ανάκτηση ρολογιού (clock recovery)**
 - ▶ επιτρέπει στον παραλήπτη την εύκολη αναγνώριση των bit (δυναμικοί κώδικες) εξαλείφοντας το φαινόμενο της **εκτροπής από τη γραμμή βάσης (baseline wander)**
 - ▶ εξοικονομεί ενέργεια και να επιτυγχάνει ανθεκτικότητα στο θόρυβο (**κώδικες διασποράς φάσματος**)

Σημαντικότεροι κώδικες: NRZ (Non Return to Zero), NRZI (Non Return to Zero Inverted), Manchester



Κωδικοποίηση με διασπορά φάσματος



Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

2 Κόμβοι

- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



Εύρος ζώνης

- Για κάθε κανάλι υπάρχει ένα όριο στο ρυθμό με τον οποίο μπορεί να μεταδώσει δεδομένα
 - ▶ το όριο αυτό ονομάζεται μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης (maximum transmission speed) ή εύρος ζώνης (bandwidth) του καναλιού

Θεώρημα Shannon

Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας μέσα από ένα κανάλι με λευκό προσθετικό θόρυβο ισούται με $C = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$ bps

- W : το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού
- S, N : η ισχύς του σήματος πληροφορίας και του θορύβου αντίστοιχα
- $\frac{S}{N}$ ή SNR : σηματοθορυβική σχέση του καναλιού

- Σε πολλές περιπτώσεις δεν μας ενδιαφέρουν οι λεπτομέρειες της μετάδοσης του σήματος αλλά μόνο το εύρος ζώνης ενός συνδέσμου
- Προσοχή: Υπάρχει πολλές φορές σύγχυση στη χρήση των όρων εύρος ζώνης και εύρος ζώνης συχνοτήτων

Καθυστέρηση (1/2)

- Η μεταφορά πληροφορίας μέσα από ένα κανάλι χαρακτηρίζεται από καθυστέρηση (delay)
 - ▶ αποτελείται από την καθυστέρηση διάδοσης (*propagation delay*) και την καθυστέρηση μετάδοσης (*transmission delay*)
 - ▶ η συνολική καθυστέρηση ονομάζεται και **λανθάνων χρόνος** (*latency*)
- Καθυστέρηση διάδοσης (t_{pr}): οφείλεται στην πεπερασμένη ταχύτητα διάδοσης του σήματος μέσα στο κανάλι
 - ▶ είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να διαδοθεί

$$t_{pr} = \frac{S}{u_s}$$

S : μήκος συνδέσμου, u_s : ταχύτητα διάδοσης του σήματος (συνηθέστερα η ταχύτητα του φωτός)

- Καθυστέρηση μετάδοσης (t_{tr}): οφείλεται στον πεπερασμένο ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας
 - ▶ είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθεί η πληροφορία

$$t_{tr} = \frac{l}{C}$$

l : μέγεθος δεδομένων σε bits, C : το εύρος ζώνης του καναλιού



Καυστέρηση (2/2)

Καυστέρηση διάδοσης και μετάδοσης

1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0

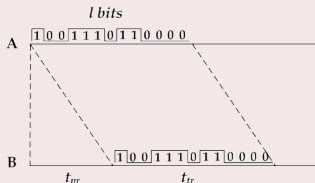
t_1 

t_2 

t_3 
A B l bits

$$t_{pr} = t_2 - t_1$$

$$t_{tr} = t_3 - t_2$$



- Σε πολλές περιπτώσεις μας ενδιαφέρει ο **χρόνος μετάβασης και επιστροφής (round trip time, RTT)**
 - ▶ είναι η καθυστέρηση για τη διάδοση και την επιστροφή μεταξύ των δύο άκρων της επικοινωνίας

Ο χρόνος RTT προσδιορίζει την **ελάχιστη καθυστέρηση** που απαιτείται για την αλληλεπίδραση δύο κόμβων

Καυστέρηση μετάδοσης vs καθυστέρηση διάδοσης

- Η σημασία κάθε συνιστώσας της καθυστέρησης εξαρτάται από:
 - ▶ τον όγκο των δεδομένων (l) που μεταδίδει μια εφαρμογή
 - ▶ την απόσταση της επικοινωνίας

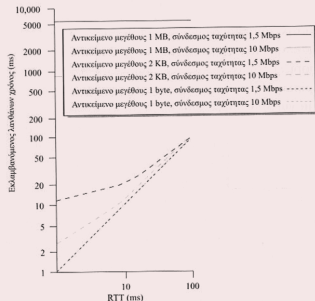
Καθυστέρηση διάδοσης και μετάδοσης

- Λίγα δεδομένα, μεγάλη απόσταση: η απόσταση (\Leftrightarrow η καθυστέρηση διάδοσης) είναι σημαντική

$$d = \frac{RTT}{2} + \frac{l}{C} \rightarrow \frac{RTT}{2}$$

- Πολλά δεδομένα, μικρή απόσταση: το εύρος ζώνης (\Leftrightarrow η καθυστέρηση μετάδοσης) είναι σημαντικό

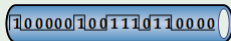
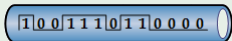
$$d = \frac{RTT}{2} + \frac{l}{C} \rightarrow \frac{l}{C}$$



Γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης

- Σημαντικές πληροφορίες μπορούμε να αντλήσουμε χρησιμοποιώντας το γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης (bandwidth-delay product)
 - ▶ το γινόμενο περιγράφει τον μέγιστο όγκο δεδομένων που μπορεί να βρίσκεται υπό μετάδοση μέσα στο κανάλι

Παραδείγματα γινομένου καθυστέρησης-εύρους ζώνης



- Το γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης είναι σημαντικό γιατί
 - ▶ προσδιορίζει τον ελάχιστο όγκο δεδομένων που πρέπει να μεταδώσει ένας κόμβος ώστε να αξιοποιήσει πλήρως το κανάλι
 - ▶ καθορίζει το μέγιστο όγκο δεδομένων που ενδέχεται να λάβει ένας κόμβος πριν μπορέσει να ενημερώσει τον αποστολέα



Σφάλματα μετάδοσης

- Ο θόρυβος που υπάρχει σε ένα κανάλι μπορεί να αλλοιώσει την μεταφερόμενη πληροφορία
 - ▶ η αλλοίωση ενός bit πληροφορίας ονομάζεται **σφάλμα bit (bit error)**
 - ▶ τα σφάλματα στο κανάλι συμβαίνουν πολλές φορές υπό τη μορφή ριπών (**σφάλματα ριπής, burst errors**)
- Κάθε κανάλι χαρακτηρίζεται από ένα **ρυθμό σφαλμάτων (bit error rate, BER)**
- Υπάρχουν κανάλια που **καταστρέφουν ολοσχερώς (packet erasure)** ένα πακέτο σε βαθμό που δεν είναι εφικτή ούτε η ανίχνευσή του
 - ▶ στις περιπτώσεις αυτές το κανάλι χαρακτηρίζεται από το **ρυθμό απώλειας πακέτων (packet error rate, PER)**

Αντιμετώπιση σφαλμάτων

Υπάρχουν μηχανισμοί για την **ανίχνευση (error detection)** ή και τη **διόρθωση σφαλμάτων (error correction)** σε ένα αλλοιωμένο πακέτο πληροφορίας

Ρυθμαπόδοση

- Το εύρος ζώνης καθορίζει ένα **ανώτατο όριο** για το ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας
- Στην πραγματικότητα ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας περιορίζεται από διάφορους παράγοντες:
 - ▶ τα σφάλματα κατά τη μετάδοση
 - ▶ ο σύνδεσμος κάποιες χρονικές στιγμές παραμένει αδρανής γιατί η μετάδοση των δεδομένων δεν είναι συνεχόμενη αλλά γίνεται τμηματικά
 - ▶ το διάστημα μεταξύ έναρξης μετάδοσης-έναρξης λήψης δεν είναι αμελητέο
- Ο *πραγματικός* ή *μετρήσιμος* ρυθμός μετάδοσης μέσα από ένα κανάλι ονομάζεται **διεκπεραιωτική ικανότητα** (throughput, R) ή **ρυθμαπόδοση**
- Ένας απλοϊκός μαθηματικός ορισμός:
$$R = \frac{l}{t} \leq C$$
 - ▶ l ο όγκος των δεδομένων σε bits, t ο χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της μετάδοσης



Ρυθμαπόδοση σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων

- Τα σύγχρονα δίκτυα χρησιμοποιούν συνδέσμους προηγμένης τεχνολογίας που προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης
 - ▶ σαν συνέπεια η καθυστέρηση μετάδοσης συνεχώς μειώνεται και τείνει να γίνει αμελητέα
- Η ρυθμαπόδοση εξαρτάται πρωτίστως από την απόσταση επικοινωνίας

$$R = \frac{l}{t} = \frac{l}{t_{pr} + t_{tr}} = \frac{l}{t_{pr} + \frac{l}{C}} \xrightarrow{C \rightarrow \infty} \frac{l}{t_{pr}} \leq C$$

Στα σύγχρονα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων ο περιοριστικός παράγοντας είναι η καθυστέρηση διάδοσης (δηλαδή η απόσταση επικοινωνίας)



Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

2 Κόμβοι

- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



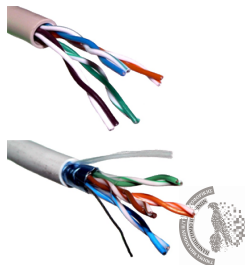
Κατηγορίες συνδέσμων

- Στα δίκτυα χρησιμοποιείται πληθώρα φυσικών μέσων ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους όπως:
 - ▶ οι παράμετροι λειτουργίας (εύρος ζώνης συχνοτήτων, επίπεδα προστασίας από το θόρυβο, εξασθένιση που προκαλούν στο σήμα)
 - ▶ το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης
 - ▶ την προστασία από υποκλοπές της μεταδιδόμενης πληροφορίας, κλπ
- Τα φυσικά μέσα συνηθέστερα κατηγοριοποιούνται σε:
 - ▶ κατευθυντικά και μη κατευθυντικά ανάλογα με το αν περιορίζουν ή όχι τη διάδοση του σήματος
 - ▶ ενσύρματα και ασύρματα
- Τα σημαντικότερα φυσικά μέσα είναι:
 - ▶ συνεστραμμένο ζεύγος (twisted pair)
 - ▶ ομοαξονικό καλώδιο (coaxial cable)
 - ▶ οπτική ίνα (optical fiber)
 - ▶ ασύρματο κανάλι (wireless channel)



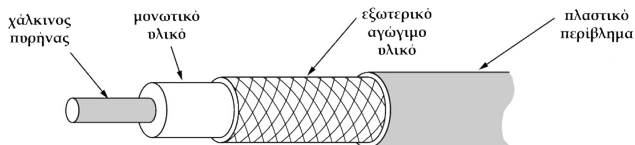
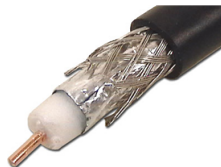
Συνεστραμμένο ζεύγος

- Το **συνεστραμμένο ζεύγος (twisted pair)** αποτελείται από ζεύγη χάλκινων αγωγών
- Χαρακτηρίζεται από:
 - ▶ σχετικά μικρό εύρος ζώνης συχνοτήτων (εύρος ζώνης ~100Mbps σε αποστάσεις έως 100m)
 - ▶ μεγάλη εξασθένιση του σήματος και ευαισθησία στην επίδραση του θορύβου
 - ▶ χαμηλό κόστος
- Υπάρχουν εκδόσεις με **θωράκιση (Shielded Twisted Pair, STP)** και **χωρίς θωράκιση (Unshielded Twisted Pair, UTP)**
- Χρησιμοποιείται κυρίως:
 - ▶ στο τηλεφωνικό δίκτυο
 - ▶ σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών (Ethernet, Token Ring)



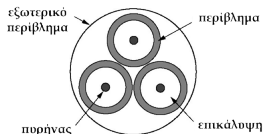
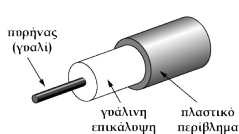
Ομοαξονικό καλώδιο

- Το ομοαξονικό καλώδιο (coaxial cable) αποτελείται από ένα μονωμένο χάλκινο αγωγό και ένα μεταλλικό πλέγμα
- Προσφέρει ένα συμβιβασμό μεταξύ κόστους και εύρους ζώνης
 - ▶ προσφέρει εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 500m)
 - ▶ η θωράκιση προσφέρει μεγαλύτερη προστασία από το θόρυβο
 - ▶ το κόστος του είναι χαμηλό αλλά μεγαλύτερο από αυτό του συνεστραμμένου ζεύγους



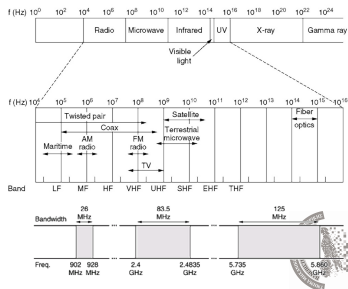
Οπτική Ίνα

- Η οπτική ίνα (optical fiber) αποτελείται από γυάλινους αγωγούς μέσα από τους οποίους διαδίδεται ένα οπτικό σήμα
 - ▶ συνήθως ένα καλώδιο περιέχει πολλούς αγωγούς
 - ▶ υπάρχουν **πολύτροπες (multi-mode)** και **μονότροπες (single-mode)** ίνες
- Αποτελεί ένα φυσικό μέσο που προσφέρει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης
 - ▶ εύρος ζώνης μέχρι 100Mbps σε αποστάσεις έως 2Km (πολύτροπη), μέχρι 10Gbps σε αποστάσεις έως 40Km (μονότροπη)
 - ▶ μικρή εξασθένιση του σήματος και μικρή ευαισθησία στην επίδραση του θορύβου
 - ▶ υψηλό κόστος
- Χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδέσεις point-to-point για διασύνδεση κόμβων του δικτύου



Ασύρματο κανάλι

- Η μετάδοση πληροφορίας μπορεί να γίνει και με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - ▶ για τη μετάδοση χρησιμοποιείται μια περιοχή συχνοτήτων που καλείται **ασύρματο κανάλι**
 - ▶ διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (εξασθένιση, μέγιστη απόσταση επικοινωνίας, κλπ)
- Η ασύρματη μετάδοση έχει πολλές εφαρμογές λόγω της ευελιξίας της
 - ▶ ασύρματα τοπικά δίκτυα, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, δορυφορικά δίκτυα, κλπ
- Η χρήση των συχνοτήτων δεν είναι ελεύθερη



Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

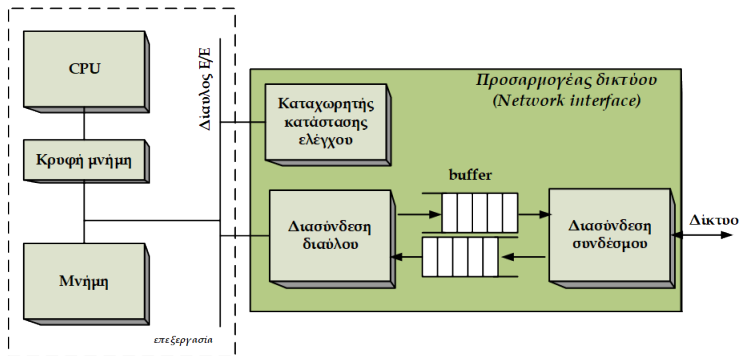
2 Κόμβοι

- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



Δομή υποσυστήματος δικτύωσης

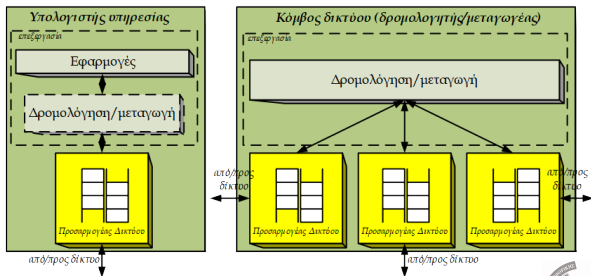
- Για τη σύνδεση ενός υπολογιστή με το δίκτυο χρησιμοποιούνται:
 - ▶ ο προσαρμογέας δικτύου (network interface) ή κάρτα δικτύου
 - ▶ η μνήμη και η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του υπολογιστή



Προσαρμογέας Δικτύου (1/2)

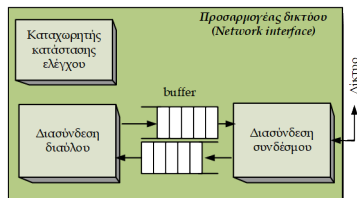
- Ο προσαρμογέας δικτύου υλοποιεί τη φυσική σύνδεση του κόμβου με ένα σύνδεσμο
- Ένας κόμβος μπορεί να διαθέτει παραπάνω από έναν προσαρμογείς δικτύου

- ▶ οι δρομολογητές έχουν τόσους προσαρμογείς όσοι οι σύνδεσμοι που διασυνδέουν



Προσαρμογέας Δικτύου (2/2)

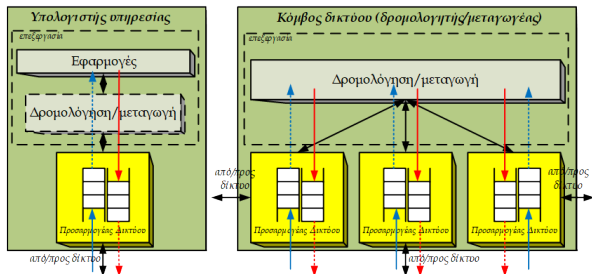
- Διασύνδεση συνδέσμου:
 - ▶ πραγματοποιεί την κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση και τη μετάδοση/λήψη του σήματος στο/απ'το σύνδεσμο
 - ▶ υλοποιεί τους κανόνες (πρωτόκολλα) χρήσης του συνδέσμου (π.χ., δημιουργία πλαισίων, πρόσβαση στο κοινό μέσο, κλπ)
- Καταχωρητής κατάστασης ελέγχου και η διασύνδεση διαύλου:
 - ▶ χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του προσαρμογέα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας
 - ▶ ελέγχονται με τη βοήθεια λογισμικού που καλείται πρόγραμμα οδήγησης συσκευής (device driver)



Υπάρχει διαφορετικός τύπος προσαρμογέα για κάθε τύπο δικτύου

Χώρος προσωρινής αποθήκευσης (1/2)

- Ο προσαρμογέας διαχειρίζεται δεδομένα σε δύο κατευθύνσεις:
 - ▶ δίκτυο → υπολογιστής και υπολογιστής → δίκτυο
- Οι ρυθμοί δεδομένων από και προς τον προσαρμογέα είναι:
 - ▶ διαφορετικοί γιατί δίκτυο και υπολογιστής λειτουργούν ανεξάρτητα
 - ▶ χρονικά μεταβαλλόμενοι



Χώρος προσωρινής αποθήκευσης (2/2)

- Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας:

$$\text{μέσος ρυθμός δεδομένων προς προσαρμογέα} \leq \text{μέσος ρυθμός δεδομένων από προσαρμογέα}$$

- Υπάρχουν περιπτώσεις που για **περιορισμένα χρονικά διαστήματα** δεν ισχύει η παραπάνω σχέση
 - ▶ συμπέρασμα: απαιτείται **χώρος για την προσωρινή αποθήκευση** των δεδομένων (**ουρά αναμονής (buffer)**)

Buffer εισόδου και Buffer εξόδου χρειάζεται όταν:

Κατεύθυνση δίκτυο-υπολογιστής (**buffer εισόδου**):

ρυθμός λήψης δεδομένων από το δίκτυο \geq ρυθμός επεξεργασίας δεδομένων από υπολογιστή

Κατεύθυνση υπολογιστής-δίκτυο (**buffer εξόδου**):

ρυθμός δεδομένων από υπολογιστή \geq ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο δίκτυο



Διάρθρωση

1 Σύνδεσμοι

- Σήμα Πληροφορίας και Μετάδοση
- Ιδιότητες Συνδέσμων
- Κατηγορίες και παραδείγματα συνδέσμων

2 Κόμβοι

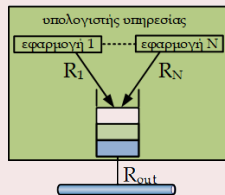
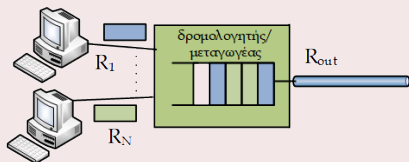
- Υλικό κόμβου
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας



Καθυστέρηση

- Η μετάδοση δεδομένων μέσα από έναν κόμβο συνοδεύεται από καθυστέρηση αναμονής και καθυστέρηση επεξεργασίας
- Καθυστέρηση επεξεργασίας (processing delay, t_s): ο χρόνος που είναι απαραίτητος για την επεξεργασία ενός πακέτου
- Καθυστέρηση αναμονής (queuing delay, t_q): ο χρόνος που ένα πακέτο αναμένει στην ουρά

Καθυστέρηση αναμονής σε δρομολογητές και υπολογιστές υπηρεσίας



Απώλεια πακέτων

- Η λειτουργία ενός κόμβου μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία του δικτύου με τη μορφή **απώλειας πακέτων**
- Απώλεια πακέτων λόγω **κατάρρευσης κόμβου**
 - ▶ μπορεί να συμβεί λόγω διακοπής λειτουργίας όλου του κόμβου (π.χ. διακοπή ρεύματος) ή της καταστροφής της διασύνδεσης κόμβου-συνδέσμου (π.χ. δυσλειτουργία του προσαρμογέα δικτύου)
 - ▶ μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της αξιοπιστίας για σημαντικό χρονικό διάστημα
 - ▶ αντιμετωπίζεται παρακάμπτοντας τον κόμβο (π.χ. δρομολόγηση)
- Απώλεια πακέτων λόγω **εξάντλησης αποθηκευτικού χώρου**
 - ▶ η αντιμετώπισή της είναι μια σύνθετη διαδικασία

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να ανιχνευθεί αν η απώλεια πακέτων οφείλεται στη λειτουργία ενός συνδέσμου, την κατάρρευση ενός κόμβου ή την εξάντληση του αποθηκευτικού του χώρου