

Data - Link Layer

(Στρώμα ζεύξης δεδομένων)

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

- Κόμβοι (nodes):

Hosts, Routers (και bridges), όλα αυτά τα λέμε **κόμβους (nodes)**.

- Ζεύξεις (links)

Οι ζεύξεις (links) επικοινωνίας ενώνουν τους γειτονικούς κόμβους.

- **Frames**

Messages, Segments, Datagrams, **Frames** (τα πακέτα του Στρώματος Ζεύξης Δεδομένων).

ΣΚΟΠΟΣ

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων σκοπό έχει να μεταδώσει το datagram που θα λάβει από το στρώμα δικτύου, σε ένα συγκεκριμένο link. **Ονόματα:** Ethernet, IEEE 802.11, token ring, PPP.

Διαφορετικά Links - Βασικοί Τύποι Ζεύξεων

Σημειωτέον ότι:

Σε κάθε link μιας διαδρομής επικοινωνίας μεταξύ δύο τερματικών κόμβων μπορούμε να έχουμε διαφορετικά πρωτόκολλα στρώματος ζεύξης δεδομένων (π.χ. PPP στο link από το PC σου στο σπίτι, μέχρι τον router του ISP (Internet Service Provider), και στα υπόλοιπα links, Ethernet).

- **Διαφορετικά πρωτόκολλα = διαφορετική ποιότητα εξυπηρέτησης από κάθε πρωτόκολλο.**

Π.χ. ένα πρωτόκολλο μπορεί να εξασφαλίζει ασφαλή μετάδοση των δεδομένων (π.χ. το PPP), ενώ ένα άλλο όχι (π.χ. το Ethernet – παρότι το Ethernet είναι το πιο σπουδαίο).

Κάτι πολύ βασικό: υπάρχουν 2 πολύ διαφορετικοί τύποι links:

- Broadcast channels (κανάλια εκπομπής)
- Point-to-point channels

Σχέση στρώματος ζεύξης δεδομένων με το υπερκείμενο στρώμα δικτύου:

- **ΑΝΑΛΟΓΟΝ:**

- Πάτρα - Θεσσαλονίκη. Πάρε το τραίνο για Αθήνα, πήγαινε με ταξί στο αεροδρόμιο, από το αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης στο κέντρο της πόλης με λεωφορείο.
- Κάθε ένα από τα 4 τμήματα της διαδρομής αυτής ελέγχεται από τελείως διαφορετικές εταιρείες. Χρησιμοποιούνται δε διαφορετικοί τρόποι μεταφοράς (τραίνο, ταξί, αεροπλάνο, λεωφορείο), ωστόσο καθένας τους προσφέρει την **βασική υπηρεσία της μεταφοράς επιβάτη (του τουρίστα)** από μία τοποθεσία σε μια άλλη. Η υπηρεσία αυτή λαμβάνεται υπ' όψη από τον υπάλληλο του πρακτορείου ταξιδίων στον καθορισμό της διαδρομής του τουρίστα.

- Να διακρίνουμε το ανάλογον τώρα:

- (α) Τουρίστας αντιστοιχεί σε ένα **datagram**.
- (β) Κάθε τμήμα της διαδρομής του ταξιδιού αντιστοιχεί σε **link**.
- (γ) Ο τρόπος μεταφοράς αντιστοιχεί στο **πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης δεδομένων**.
- (δ) Ο υπάλληλος του πρακτορείου που σχεδίασε την διαδρομή αντιστοιχεί σε **πρωτόκολλο δρομολόγησης (network layer)**.

Άλλες λειτουργίες (υπηρεσίες) των πρωτοκόλλων του στρώματος ζεύξης δεδομένων:

- Framing (Πλαισίωση) (π.χ. ... physical address)
- Link Access (πρόσβαση στην ζεύξη επικοινωνίας) - MAC (Media Access Control)
- Reliable Delivery (Αξιόπιστη Μετάδοση)
- Flow Control (Έλεγχος Ροής)
- Error Detection (Ανίχνευση Λαθών)
- Error Correction (Διόρθωση Λαθών)
- Half-duplex και Full-duplex (Μονοκατευθυντήρια και Δικατευθυντήρια / Αμφίδρομη Μετάδοση).

Επειδή πολλές απ' αυτές τις λειτουργίες υπάρχουν και στο στρώμα μεταφοράς, μη ξεχνάς ότι στο στρώμα μεταφοράς όλες οι υπηρεσίες προσφέρονται μεταξύ των τερματικών hosts (end-to-end), ενώ στο στρώμα ζεύξης δεδομένων προσφέρονται μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων.

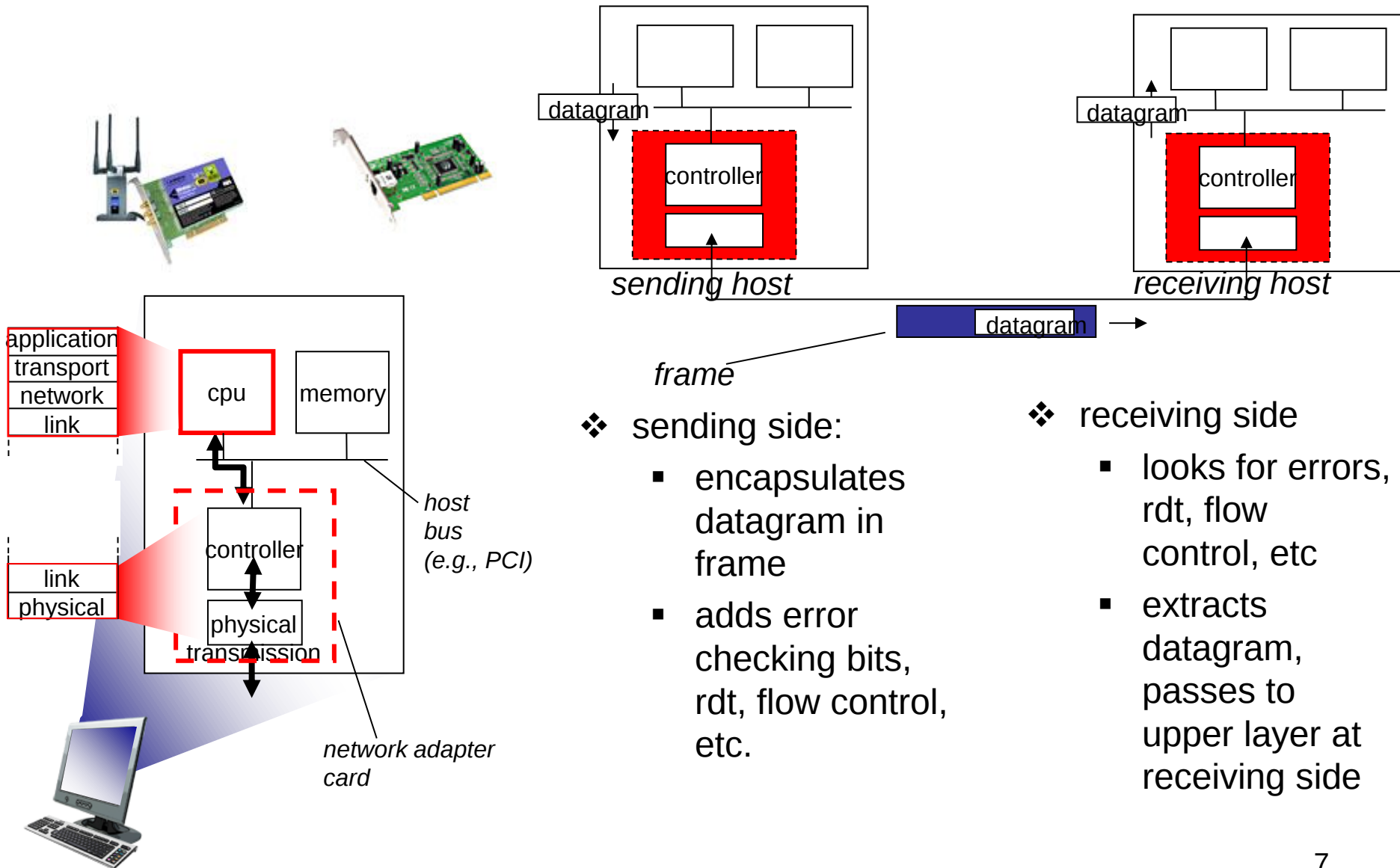
Adaptors (Προσαρμοστές):

- Το μέρος ενός κόμβου όπου υλοποιούνται τα πρωτόκολλα του στρώματος ζεύξης δεδομένων λέγεται **adaptor** (θα το ξέρεις και από το PC σου). Λέγεται επίσης **Network Interface Card**.
- Επίσης (λεγόταν) **PCMCIA** (*Personal Computer Memory Card International Association*) **κάρτα** ή PC card (παράλληλη σύνδεση).
- Από το 2003, λέγεται NEWCARD και τελικά **ExpressCard** (με συνδεσιμότητα USB και σειριακή PCI-Express).
 - **ExpressCards** είναι **hot-pluggable** (εγκατάσταση ενώ ο Η/Υ λειτουργεί) και συνδέουν ποικιλία συσκευών σε έναν υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων των κινητών ευρυζωνικών μόντεμ (ή connect cards), IEEE 1394 connectors (ή FireWire – Apple για real-time επικοινωνία), USB connectors, Ethernet network ports, Serial ATA mass storage devices, solid-state drives (δίσκους SSD), PCI Express graphics cards, wireless network interface controllers (NIC), TV tuner cards, Common Access Card (CAC) readers (π.χ. αστυνομική ταυτότητα), και κάρτες ήχου.

Adapters (Προσαρμοστές) (συνέχεια):

- Σε μια κάρτα-adaptor διακρίνουμε εννοιολογικά 2 μέρη:
 - **Bus Interface:** περιλαμβάνει την επικοινωνία του adaptor με τον υπόλοιπο κόμβο (π.χ. την ηλεκτρική τροφοδοσία της κάρτας)
 - **Link Interface:** περιλαμβάνει την υλοποίηση του πρωτοκόλλου του στρώματος ζεύξης δεδομένων και συνήθως δίνει το όνομα σε όλη την κάρτα-adaptor π.χ. Ethernet card/adaptor, αν το πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης δεδομένων είναι το Ethernet.

Adaptors communicating



ΟΙ ΠΙΟ ΣΠΟΥΔΑΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΖΕΥΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- A. Error Detection και Error Correction Techniques
– Τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών
- B. Multiple Access Protocols (Πρωτόκολλα
πολλαπλής προσπέλασης)

Error Detection και Error Correction Techniques

– Τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών:

- Το στρώμα ζεύξης δεδομένων φημίζεται για τον πλούτο των τεχνικών ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών, σε επίπεδο bit. Ονομαστικά:
 - **Parity check.**
 - **Checksum.** Αν το αποτέλεσμα του checksum στο δέκτη είναι μια κωδική λέξη όλο «1» (111...), αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει κανένα λάθος στην επικοινωνία. Διαφορετικά υπάρχουν λάθη.
 - **Cyclic Redundancy Check (CRC).** Τα bits που στέλνουμε θεωρούνται ως συντελεστές (0 ή 1) πολυωνύμων, και κάνουμε πράξεις μεταξύ πολυωνύμων για να βγάλουμε άκρη (να βρούμε τα λάθη).

Παράδειγμα Parity Check (ελέγχου ισοτιμίας)

- Η ικανότητα ενός δέκτη να ανιχνεύει και να διορθώνει λάθη (σε bits) λέγεται FORWARD ERROR CORRECTION (FEC).
- Το παράδειγμα αυτό αναφέρεται στην μέθοδο της **διδιάστατης** (λόγω της διάταξης των bits σε πίνακα δύο διαστάσεων) **άρτιας ισοτιμίας (even parity)**. Έστω ότι θέλουμε να ανιχνεύσουμε και να διορθώσουμε λάθη ενός bit στα εξής 4 bytes:

11100111 11011101 00111001 10101001

- (a) Βρείτε την διάταξη των bits σε πίνακα και τα parity bits που πρέπει να στείλει ο αποστολέας στην δέκτη. Επίσης, προστατεύσατε τα parity bits με ένα ακόμη bit άρτιας ισοτιμίας.
- (b) Αν γίνει λάθος στο 4ο bit του 4ου byte, εξηγήσατε αν μπορεί να ανιχνευθεί και διορθωθεί.
- (c) Αν γίνει λάθος στο 1ο και 3ο bit του 4ου byte, εξηγήσατε αν μπορούν να ανιχνευθούν και διορθωθούν τα λάθη αυτά.

Παράδειγμα Parity Check

(συνέχεια)

(a) Ο πίνακας, όπου η τελευταία γραμμή και στήλη περιέχει τα bits (άρτιας) ισοτιμίας, έχει ως εξής:

```
11100111 - 0
11011101 - 0
00111001 - 0
10101001 - 0
-----
10101010 - 0
```

(b) Αν συμβεί λάθος στο 4ο bit του 4ου byte (μόνο), θα έχουμε:

```
11100111 - 0
11011101 - 0
00111001 - 0
10111001 - 0
```

```
10101010 - 0
```

Το ο τελευταίο bit είναι μηδέν αφού ο συνολικός αριθμός των «1» στα parity bits είναι άρτιος.)

(c) Αν συμβεί λάθος στο 1ο και στο 3ο bit του 4ου byte, θα έχουμε:

```
11100111 - 0
11011101 - 0
00111001 - 0
00001001 - 0
```

```
10101010 - 0
```

Το λάθος ανιχνεύεται (**0**) και εντοπίζεται στον πίνακα, επομένως μπορεί να διορθωθεί.

Στον πίνακα ανιχνεύονται 2 λάθη (**1**), αλλά δεν εντοπίζονται, επομένως δεν μπορούν να διορθωθούν.

Παράδειγμα CRC

← d bits → ← r bits →

D: data bits to be sent | R: CRC bits

$$R = \text{remainder}\left[\frac{D \cdot 2^r}{G}\right]$$

XOR

$$0 * 0 = 0$$

$$0 * 1 = 1$$

$$1 * 0 = 1$$

$$1 * 1 = 0$$

$$\begin{array}{r}
 G = 1\ 0\ 0\ 1 \quad \Bigg| \quad 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 1\ 0\ 1 \\
 \underline{0\ 0\ 0} \\
 1\ 0\ 1\ 0 \\
 \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 1\ 1\ 0 \\
 \underline{0\ 0\ 0} \\
 1\ 1\ 0\ 0 \\
 \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 1\ 0\ 1\ 0 \\
 \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 0\ 1\ 1 \\
 \hline
 R
 \end{array}$$

Έστω $D = 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0$ (δηλ. $d = 6$)

Generator $G = 1\ 0\ 0\ 1$ (μήκος 4), οπότε $r = 3$

Το G το γνωρίζει και ο δέκτης!

Διαιρώ το $1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0$ (δηλ. D με $r=3$ μηδενικά στο τέλος)

με το G , και τότε $R =$ «το υπόλοιπο αυτής της διαίρεσης».

Επειδή δεν ενδιαφέρει το πηλίκον αλλά μόνο το υπόλοιπο

ο υπολογισμός του υπολοίπου γίνεται εύκολα με πράξεις

XOR. Στέλνω στον δέκτη $[D, R] = [D, \text{CRC}] = 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1$

Ο δέκτης κάνει την διαίρεση: $[D, \text{CRC}] / G$ και αν βρει

ΜΗ μηδενικό υπόλοιπο, ξέρει ότι έγινε λάθος.

B. Multiple Access Protocols (Πρωτόκολλα πολλαπλής προσπέλασης):

- Μιλάμε για πρωτόκολλα link access, για την περίπτωση των broadcast channels που χρησιμοποιούνται συχνά στα LAN (Local Area Networks) (πρωτόκολλο Ethernet) ή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN) (πρωτόκολλο IEEE 802.11). Η βασική λειτουργία (υπηρεσία) των πρωτοκόλλων αυτών είναι ο συντονισμός της πρόσβασης στο κοινό μέσο μετάδοσης (link) των πολλών κόμβων που θέλουν να στείλουν και να λάβουν frames (**Multiple Access Problem**).
- **ΑΝΑΛΟΓΟΝ:** Το **Cocktail Party** όπου πολλοί κάθονται γύρω από ένα τραπέζι για μια γενική συζήτηση, αναλόγως των ενδιαφερόντων του καθενός. Ο αέρας είναι το κοινό κανάλι εκπομπής. Ποιος παίρνει τον λόγο και πότε; Να ορισμένοι κανόνες που όλοι οι ομοτράπεζοι πρέπει να τηρούν:
 - ✓ Δώσε και στον άλλο την ευκαιρία να μιλήσει.
 - ✓ Μη μιλάς αν δεν σου απευθύνουν τον λόγο.
 - ✓ Μη μονοπωλείς την συζήτηση.
 - ✓ Σήκωνε το χέρι σου αν έχεις κάποια ερώτηση.
 - ✓ Μη διακόπτεις αυτόν που μιλάει.
 - ✓ Μη κοιμάσαι όταν κάποιος άλλος έχει τον λόγο.
- Τα δίκτυα υπολογιστών έχουν παρόμοιους κανόνες πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης που λέγονται **Multiple Access Protocols**. Το σύνολο των πρωτοκόλλων αυτών απαρτίζουν το υπόστρωμα του στρώματος ζεύξης δεδομένων που λέγεται **MAC (Media Access Control) sublayer**.

Multiple Access Protocols - Κατηγορίες

- **Channel Partitioning Protocols** (Πρωτόκολλα επιμερισμού του καναλιού).
- **Random Access Protocols** (Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπάελασης).
- **Taking-Turns Protocols** (Πρωτόκολλα που μεταδίδεις όταν έλθει η σειρά σου).

Channel Partitioning protocols (πρωτόκολλα επιμερισμού του καναλιού).

- **Σύστημα TDM (Time Division Multiplexing).** Αν το κανάλι έχει π.χ. ταχύτητα μετάδοσης (bandwidth) R bits/sec και έχουμε N κόμβους που θέλουν να χρησιμοποιήσουν το κανάλι αυτό, σύμφωνα με το σύστημα (πρωτόκολλο) TDM κάθε κόμβος θα λάβει ένα μέρος του συνολικού bandwidth – κατά μέσον όρον το R/N . Το bandwidth αυτό αποδίδεται στους κόμβους χρονικά, δηλαδή ανά τακτά χρονικά διαστήματα (time slots) κάθε κόμβος έχει δικαίωμα μετάδοσης με ταχύτητα R/N .
- **Σύστημα FDM (Frequency Division Multiplexing).** Ομοίως, σύμφωνα με το σύστημα (πρωτόκολλο) FDM κάθε κόμβος θα λάβει πάλι ένα μέρος του συνολικού bandwidth R του καναλιού, ανάλογα με τον αριθμό N των κόμβων που θέλουν να μοιραστούν το κανάλι. Το bandwidth αυτό (R/N) αποδίδεται στους κόμβους όχι χρονικά αλλά ταυτόχρονα, εκπέμποντας όμως κάθε κόμβος σε διαφορετική συχνότητα (απαιτούνται N συχνότητες).
- **Πρωτόκολλο Code Division Multiple Access (CDMA).** Δίνεται σε κάθε έναν από τους N κόμβους, διαφορετικός κώδικας, με βάση το οποίο θα κωδικοποιήσουν πρώτα τα δεδομένα τους και μετά θα τα στείλουν στο κανάλι εκπομπής. Τα στέλνουν ταυτόχρονα. Οι άλλοι κόμβοι ακούνε μεν τα πάντα, αλλά ξέρουν να αποκωδικοποιήσουν μόνο εκείνα που πράγματι απευθύνονται σε αυτούς. Στο ανάλογο του cocktail party, φαντάσου ότι οι ομοτράπεζοι είναι ανά δύο ίδιας εθνικότητας και μιλούν την ίδια γλώσσα (ανά δύο μόνον). Επομένως μπορούν εύκολα να συνεννοηθούν θεωρώντας τις συζητήσεις των διπλανών τους ως κοινό θόρυβο. Πρωτόκολλα CDMA χρησιμοποιούνται στα ασύρματα LAN.

Random Access Protocols

(Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης)

- Ο κόμβος μεταδίδει στο κανάλι ([link](#)) με την μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα ([R](#)). Όταν συμβεί σύγκρουση αυτοί που έστειλαν τα frames που συγκρούστηκαν, τα ξαναστέλνουν ξανά και ξανά μέχρι να μη συμβεί καμιά σύγκρουση. Αλλά πριν τα ξαναστείλουν καθυστερούν για ένα μικρό, αλλά τυχαίο χρονικό διάστημα (delay). Κάθε κόμβος που ξαναστέλνει, περιμένει για ένα δικό του τυχαίο χρονικό διάστημα ανεξάρτητα από τον άλλον, που και αυτός κάνει την ίδια δουλειά. Κάποιος θα ευνοηθεί από την τύχη και θα έχει το μικρότερο delay και επομένως θα κατορθώσει πρώτος να στείλει με επιτυχία το frame του. Ορισμένα ονόματα τέτοιων πρωτοκόλλων:
 - [Slotted ALOHA](#)
 - [ALOHA](#)
 - [CSMA \(Carrier Sense Multiple Access\)](#). Στα [Slotted ALOHA](#) και [ALOHA](#) πρωτόκολλα ένας κόμβος αρχίζει να μεταδίδει όποτε θέλει χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη του τι κάνουν οι άλλοι. Σύμφωνα όμως με το [CSMA](#) τηρείται ο εξής κανόνας:

ΑΦΟΥΓΚΡΑΣΟΥ ΠΡΟΤΟΥ ΜΙΛΗΣΕΙΣ.

Που σημαίνει ότι αν κάποιος άλλος μεταδίδει, τότε πρέπει να περιμένει ένα μικρό αλλά τυχαίο χρονικό διάστημα προτού ξανα-αφουγκραστεί το κανάλι, μέχρι φυσικά να το βρει ελεύθερο και να μεταδώσει – διαφορετικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

- [CSMA/CD \(CSMA with Collision Detection\)](#). Σύμφωνα με το [CSMA/CD](#) τηρείται και ένας δεύτερος κανόνας.

ΑΝ ΚΑΠΟΙΟΣ ΑΛΛΟΣ ΑΡΧΙΣΕΙ ΝΑ ΜΙΛΑΕΙ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΙΓΜΗ ΜΕ ΣΕΝΑ, ΣΤΑΜΑΤΑ ΝΑ ΜΙΛΑΣ ΕΣΥ.

Αυτό στη γλώσσα των δικτύων καλείται **collision detection**. Πότε θα ξαναρχίσει την μετάδοση αυτός που σταμάτησε, το καθορίζουν οι λεπτομέρειες του πρωτοκόλλου. Το **Ethernet** είναι μια μορφή ενός [CSMA/CD](#) πρωτοκόλλου.

Taking-Turns Protocols (Πρωτόκολλα που μεταδίδεις όταν έλθει η σειρά σου)

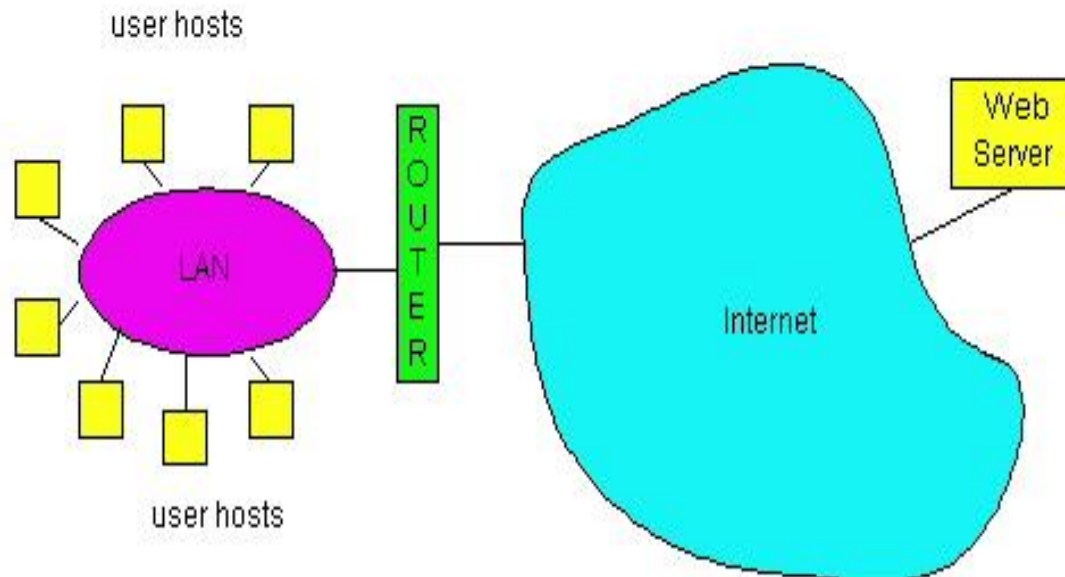
- Τα πρωτόκολλα πολλαπλής προσπέλασης έχουν 2 επιθυμητές ιδιότητες:
 - Όταν υπάρχει μόνον ένας κόμβος που θέλει να μεταδώσει, αυτός έχει την μέγιστη διεκπεραιωτική ικανότητα (R)
 - Όταν υπάρχουν N κόμβοι, τότε η διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput) κάθε κόμβου είναι (R/N) .
- Τα πρωτόκολλα ALOHA και CSMA έχουν την πρώτη ιδιότητα αλλά όχι την δεύτερη. Γι' αυτό δημιουργήθηκαν τα πρωτόκολλα που μεταδίδεις όταν έλθει η σειρά σου. Από τα πάρα πολλά που υπάρχουν 2 είναι τα πιο αξιόλογα:
- **Το πρωτόκολλο polling.** Ένας κόμβος αναλαμβάνει τον συντονισμό της μετάδοσης, ρωτώντας τον έναν μετά τον άλλον, κυκλικά, τους κόμβους αν έχουν να μεταδώσουν κάτι. Υπάρχει λοιπόν κεντρικός έλεγχος.
- **Το πρωτόκολλο token-passing.** Δεν υπάρχει κόμβος συντονιστής. Υπάρχει το token (είναι ένα ειδικό μικρό πακέτο που πηγαίνει κυκλικά από τον έναν κόμβο στον άλλον). Αν κάποιος έχει να στείλει κάτι κρατά το token (μέχρι να τελειώσει την μετάδοση) διαφορετικά το στέλνει στον διπλανό του. Υπάρχει λοιπόν κατακεντρωμένος έλεγχος.

Local Area Networks (LANs)

- Τα **πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης** χρησιμοποιούνται με πολλούς διαφορετικούς τύπους καναλιών εκπομπής, όπως σε ασύρματα και δορυφορικά κανάλια αλλά και σε ενσύρματα δίκτυα, τα LANs (**τοπικά δίκτυα υπολογιστών**).
- LAN είναι ένα δίκτυο υπολογιστών που εκτείνεται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή, όπως σε ένα κτίριο ή σε ένα ολόκληρο πανεπιστήμιο.
- Υπάρχει όμως και άλλη θεώρηση του LAN. Στα πανεπιστήμια η πρόσβαση στο Internet (**Διαδίκτυο**) γίνεται σχεδόν αποκλειστικά μέσω LAN. Ο υπολογιστής ενός χρήστη (**user host**) είναι ένας κόμβος του LAN, και το LAN προσφέρει την πρόσβαση στο Internet μέσω ενός router (**δρομολογητή**), όπως δείχνει το σχήμα στην ακόλουθη διαφάνεια:

Local Area Networks (LANs)

(συνέχεια)



Το LAN είναι ένα link ανάμεσα σε κάθε user host και τον router. Επομένως χρησιμοποιεί πρωτόκολλα του στρώματος ζεύξης δεδομένων και ειδικά τα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης αφού περισσότεροι του ενός user hosts ζητούν πρόσβαση στο Internet.

Κατηγορίες LAN (ανάλογα με τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται):

- **Ethernet LANs** (Random Access Protocols – CSMA/CD)
- **Token-passing LANs** (Πρωτόκολλα που μεταδίδεις όταν έλθει η σειρά σου, λαμβάνοντας το token με κατανεμημένο έλεγχο).

Συσκευές Διασύνδεσης LANs

- Τα πανεπιστήμια απαρτίζονται από Τμήματα, και συνήθως κάθε Τμήμα διαχειρίζεται το δικό του Ethernet LAN. Τα διάφορα Ethernet LANs διασυνδέονται μεταξύ τους με:

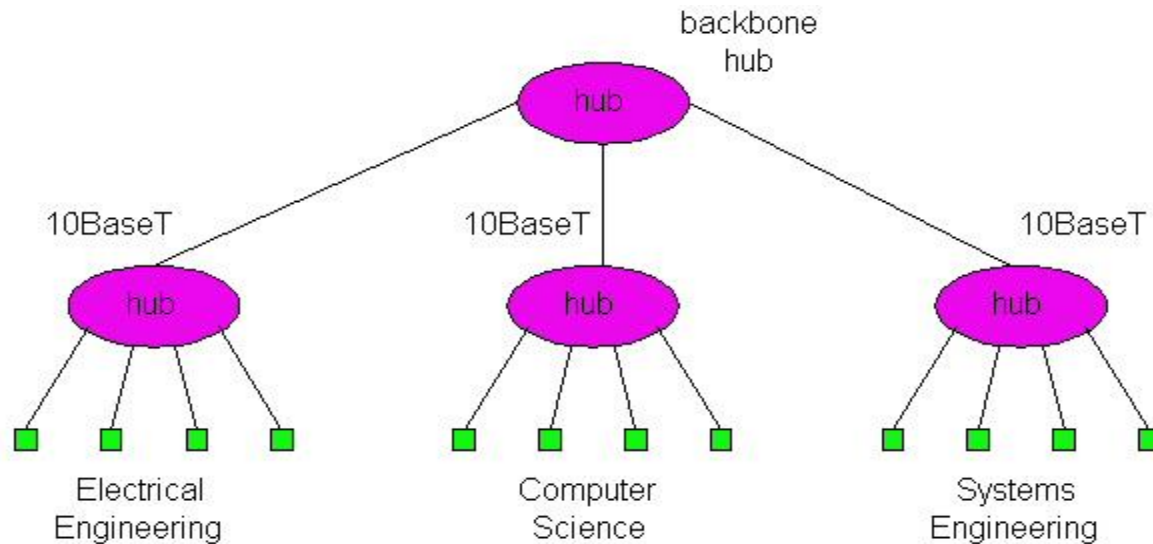
Hubs

Bridges

Switches

Τι είναι το hub:

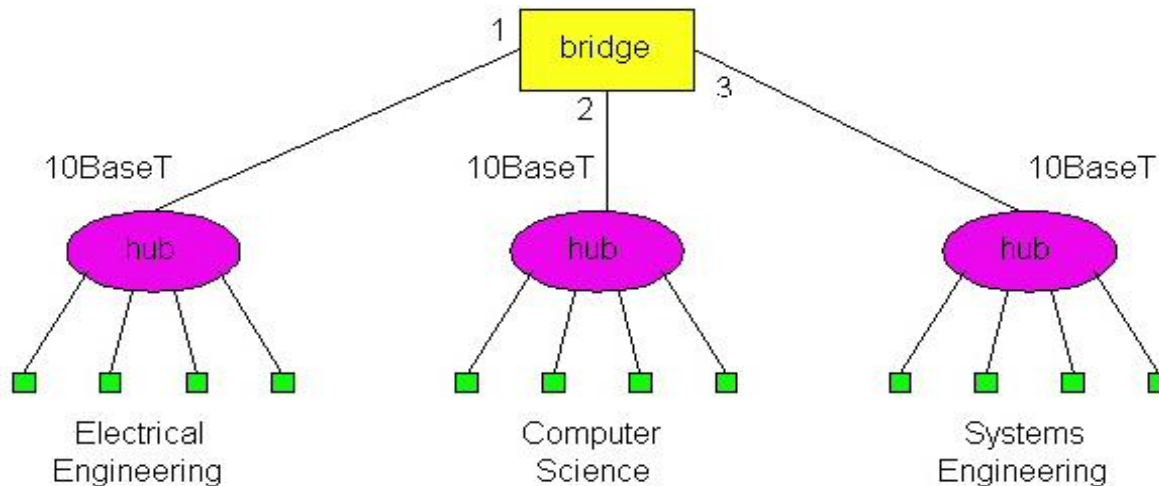
- Είναι μια απλή συσκευή που παίρνει μια είσοδο (δηλ. τα bits ενός frame) και επαναμεταδίδει την είσοδο στις εξόδους του. Πρόκειται για **repeater (επαναμεταδότη)** που δουλεύει πάνω σε bits. Είναι δηλαδή συσκευή του φυσικού στρώματος. Όταν ένα bit έρχεται σε μια διεπαφή (**interface**) του hub, το hub απλά εκπέμπει (**broadcasts**) το bit πάνω σε όλες τις άλλες διεπαφές.



Όπως δείχνει το ανωτέρω σχήμα κάθε host ενός Τμήματος είναι συνδεδεμένος σε hub και τα hubs των τριών Τμημάτων διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός τετάρτου (λέγεται **backbone hub**, γιατί διασυνδέει μόνο hubs), σχηματίζοντας μια ιεραρχική δομή δικτύου.

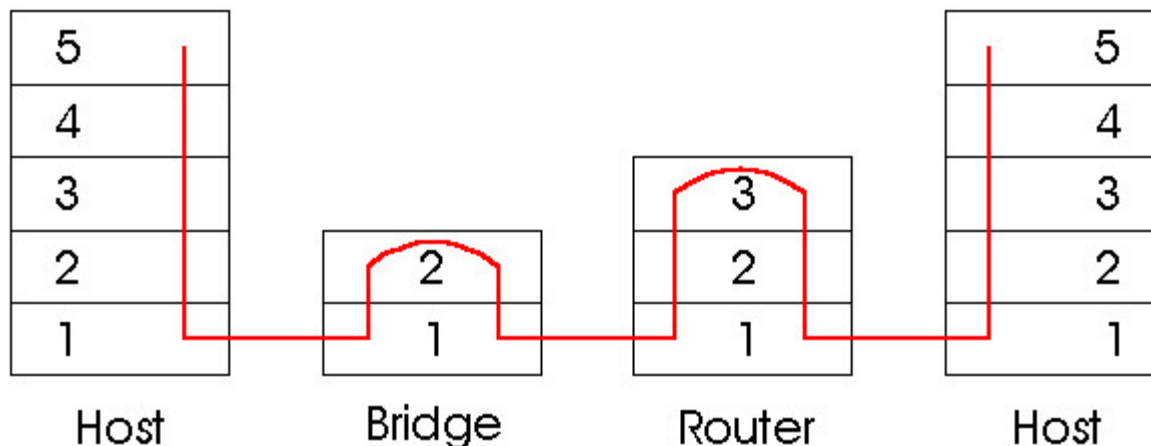
Τι είναι bridge:

- Αντιθέτως προς τα hubs που είναι συσκευές του φυσικού στρώματος (δουλεύουν με bits όπως είπαμε), οι bridges είναι συσκευές του στρώματος ζεύξης δεδομένων. Όταν ένα frame έρχεται σε μια διεπαφή μιας bridge, η bridge δεν αντιγράφει το frame σε όλες τις άλλες διεπαφές της όπως το hub, αλλά **εξετάζει την διεύθυνση προορισμού του frame** και προσπαθεί να προωθήσει το frame στην διεπαφή εκείνη που θα το οδηγήσει στον προορισμό του. Τα σχήμα που ακολουθεί δείχνει τα τρία Τμήματα να διασυνδέονται μέσω μιας bridge (έχει διευθύνσεις στις διεπαφές της).



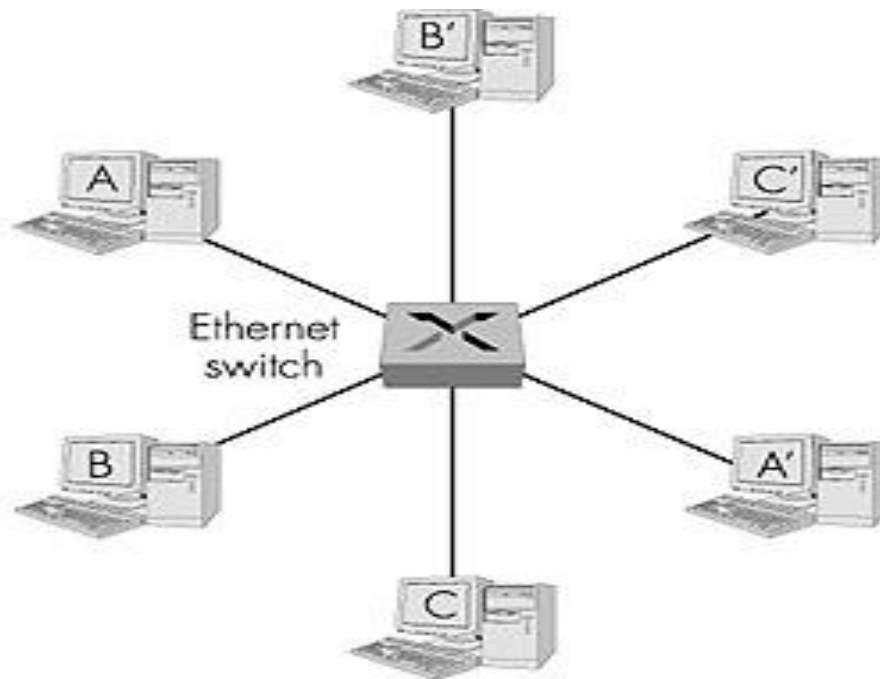
Διαφορές μεταξύ Host - Bridge - Router

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει γραφικά την διαφορά μεταξύ bridge και router. Οι routers είναι συσκευές του στρώματος δικτύου και δουλεύουν με τις IP διευθύνσεις ενώ οι bridges ως συσκευές του στρώματος ζεύξης δεδομένων δουλεύουν με LAN (Ethernet) διευθύνσεις (physical addresses).



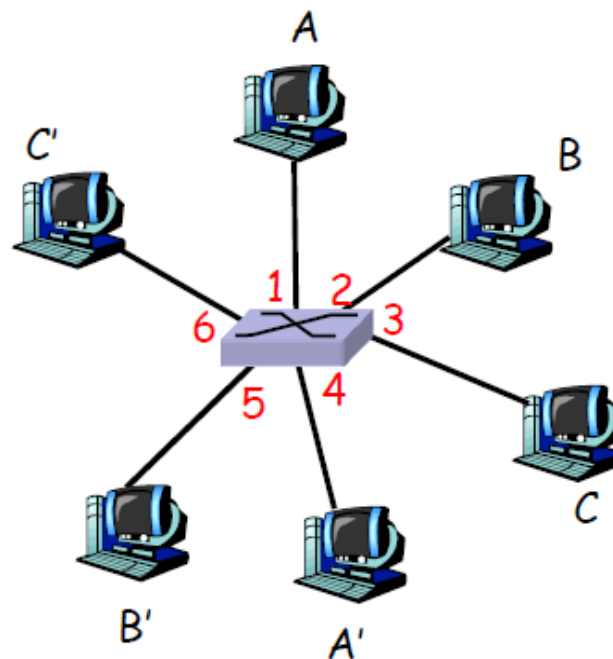
Τι είναι οι switches:

- Οι switches (μεταγωγείς – διακοπτικές συσκευές) είναι συσκευές του στρώματος ζεύξης δεδομένων που σκοπό έχουν να διασυνδέσουν τα Ethernet LANs ταχύτατα χρησιμοποιώντας physical addresses – δέχονται μεγάλο αριθμό διεπαφών. Μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονες συνδέσεις χωρίς συγκρούσεις πακέτων (π.χ. στο κατωτέρω σχήμα A–B και A'–B').



Πίνακας Προώθησης Μεταγωγέα

- **Ε:** πώς γνωρίζει ο μεταγωγέας ότι ο A' είναι προσβάσιμος μέσω της διεπαφής 4, ο B' είναι προσβάσιμος μέσω της διεπαφής 5;
- **Α:** κάθε μεταγωγέας έχει ένα **πίνακα μεταγωγής (switch table)**, κάθε καταχώριση:
 - (διεύθυνση MAC του υπολογιστή, διεπαφή για πρόσβαση στον υπολογιστή, χρονοσφραγίδα)
 - μοιάζει με ένα πίνακα δρομολόγησης!
- **Ε:** πώς δημιουργούνται, διατηρούνται οι καταχωρίσεις στον πίνακα του μεταγωγέα;
 - κάτι σαν πρωτόκολλο δρομολόγησης;



*switch with six interfaces
(1,2,3,4,5,6)*

MAC addr	interface	TTL
A	1	60

*Switch table
(αρχικά άδειος)*

Μεταγωγέας: φιλτράρισμα/προώθηση πλαισίων

Όταν λαμβάνεται πλαίσιο στον μεταγωγέα:

1. Κατάγραψε εισερχόμενη ζεύξη, MAC διεύθυνση υπολογιστή-αποστολέα
2. Διάταξε τον πίνακα μεταγωγής βάσει της διεύθυνσης MAC προορισμού

3. **if** βρεθεί καταχώριση για τον προορισμό

then {

if ο προορισμός στο τμήμα από το οποίο έφτασε το πλαίσιο

then απόρριψε το πλαίσιο

else προώθησε το πλαίσιο στη διεπαφή που υποδεικνύεται από την καταχώριση

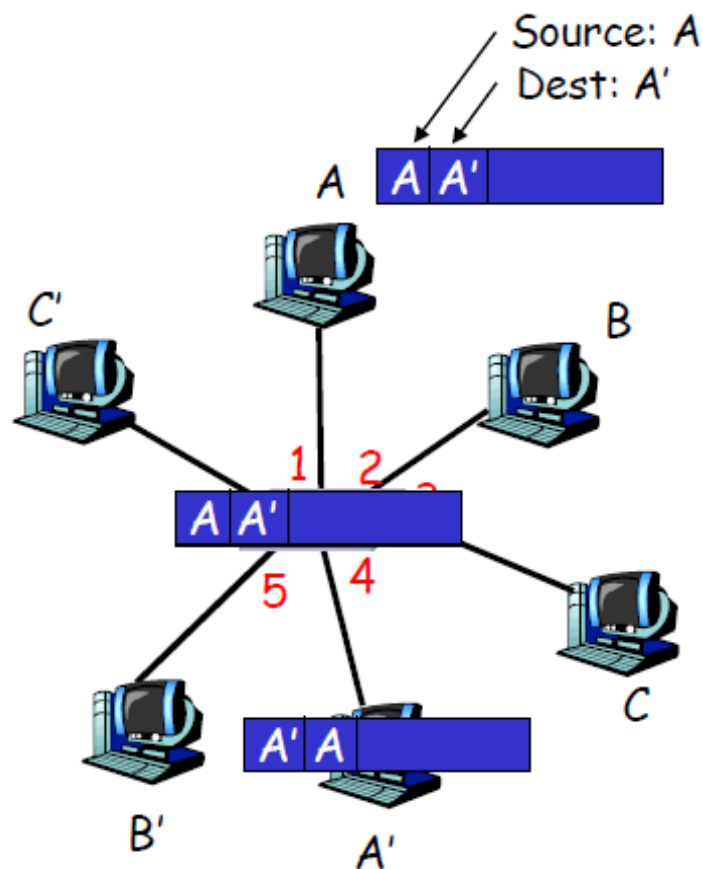
}

else flood

προώθηση σε όλες τις διεπαφές εκτός από αυτή από την οποία έφτασε το πλαίσιο

Αυτοεκμάθηση, προώθηση: παράδειγμα

- Άγνωστη θέση προορισμού πλαισίου A': **flood**
- Η θέση του προορισμού A είναι γνωστή:
επιλεκτική αποστολή σε μόνο μία ζεύξη

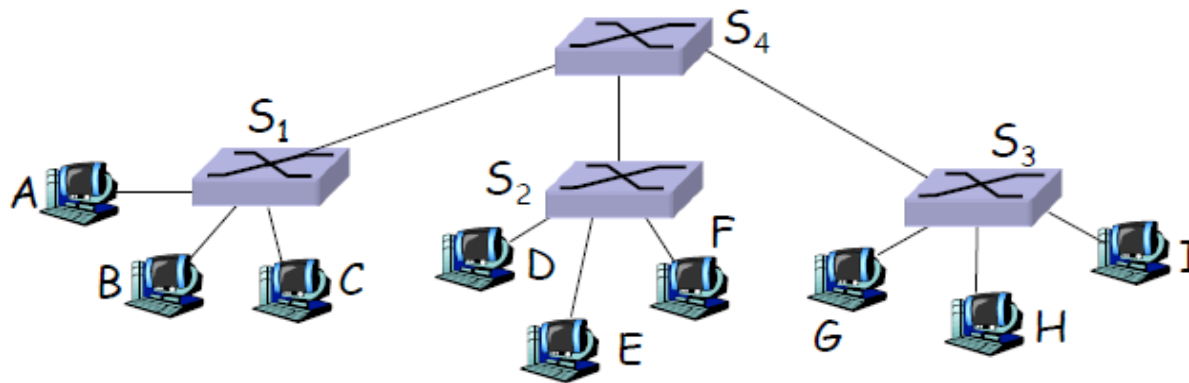


MAC addr	interface	TTL
A	1	60
A'	4	60

*Πίνακας μεταγωγέα
(αρχικά άδειος)*

Διασυνδέοντας μεταγωγείς

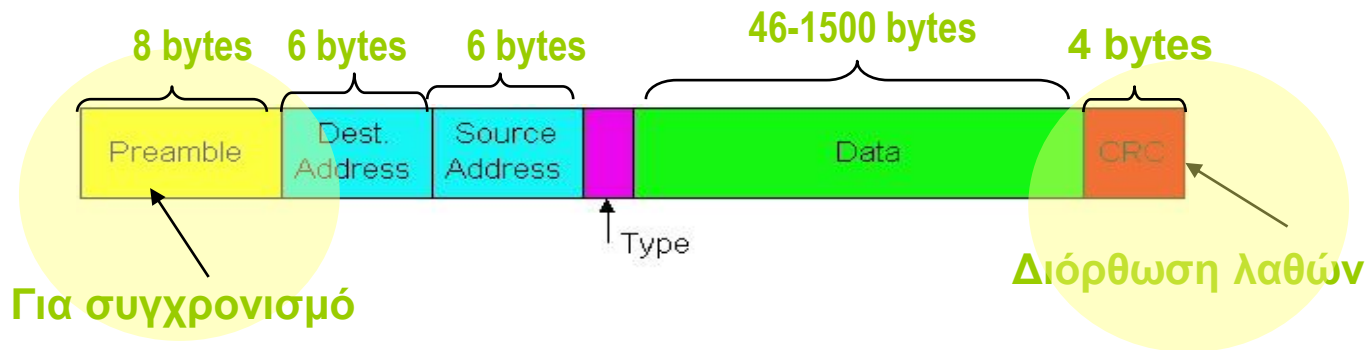
- Οι μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους



- **E**: κατά την αποστολή από *A* προς *G* - πώς γνωρίζει ο *S1* ότι πρέπει να προωθήσει πλαίσιο που προορίζεται για τον *G* μέσω των *S4* και *S3*;
- **A**: αυτοεκμάθηση! (λειτουργεί *ακριβώς* όπως και στην περίπτωση ενός μόνο μεταγωγέα!)

Το πρωτόκολλο Ethernet (IEEE 802.3)

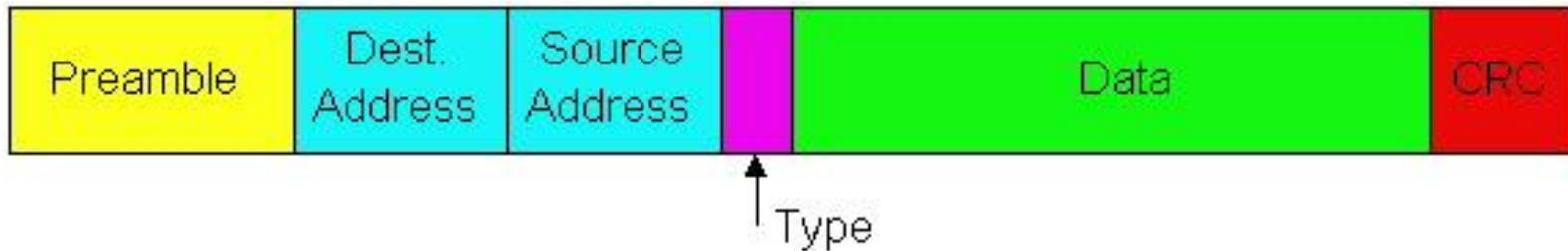
Ο adapter του κόμβου-αποστολέα λαμβάνει το **IP datagram** (ή πακέτο κάποιου άλλου πρωτοκόλλου του στρώματος Δικτύου) και το τοποθετεί στο **Ethernet-πλαίσιο (frame)**, στα data.



Preamble:

- 7 bytes με το μοτίβο *10101010* ακολουθούμενο από 1 byte με το μοτίβο *10101011*
- χρησιμοποιείται για να συγχρονίζει τις τιμές του ρολογιού του παραλήπτη και του αποστολέα
 - Ο adapter “ξέρει” πότε ένα πλαίσιο τελειώνει εντοπίζοντας την απουσία ρεύματος
 - Οι Ethernet adapters **μετράνε την τάση πριν και κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.**

Το πρωτόκολλο Ethernet (IEEE 802.3) συνέχεια 1



- **Addresses: 6 bytes** $(xx:xx:xx:xx:xx:xx)_{16}$
 - Εάν ο adapter λάβει ένα πλαίσιο με μία διεύθυνση προορισμού που να ταιριάζει, ή με μια διεύθυνση πανεκπομπής (broadcast = {όλα 1}), περνάει δεδομένα του πλαισίου στο πρωτόκολλο Στρώματος Δικτύου
 - Αλλιώς, ο adapter απορρίπτει το πλαίσιο
- **Type:** προσδιορίζει το πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου (κυρίως IP αλλά και άλλα μπορούν να υποστηρίζονται όπως, Novell IPX και AppleTalk). Αν $type = (0806)_{16}$ τότε έχουμε το πρωτόκολλο **ARP** (στρώμα ζεύξης), αλλά είναι «υπερκείμενο» του Ethernet.
- **CRC:** ελέγχεται στον παραλήπτη, αν εντοπιστεί κάποιο λάθος, το πλαίσιο απλά απορρίπτεται.

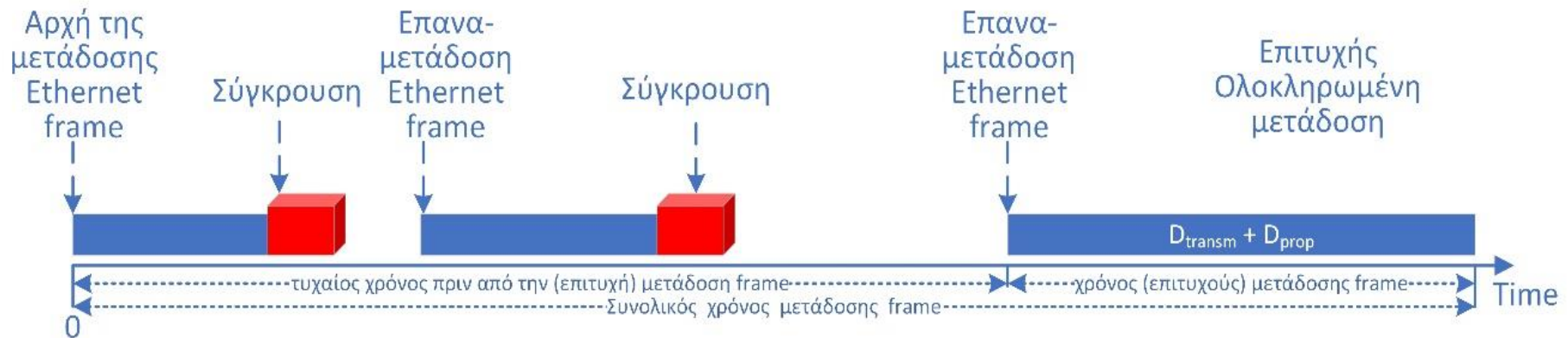
Το πρωτόκολλο Ethernet (IEEE 802.3) συνέχεια 2

ΜΗΚΟΣ ETHERNET FRAME (ΠΛΑΙΣΙΟΥ)

- Μέγιστο πλαίσιο: 1500 bytes από δεδομένα (δηλ. **MTU = 1500 bytes**)
 - **1518 bytes** Μήκος Πλαισίου (= 6+6+2+1500+4) ή 1522 για VLAN support.
- Ελάχιστο Πλαίσιο: 46 bytes από δεδομένα (bit stuffing – βρίσκουμε πόσα είναι τα bits παραγεμίσματος από το μήκος του datagram)
 - **64 Bytes** (= 6+6+2+46+4) για το «κλασσικό» 10 Mbps Ethernet
- Πώς αποφάσισαν για αυτά τα μεγέθη;
 - Ο λόγος για το μέγιστο είναι ιστορικός από την εποχή που η μνήμη ήταν ακριβή!
 - Αποφυγή μονοπωλιακής χρήσης του καναλιού από κάποιο κόμβο.
 - Error Control

Απόδοση του πρωτοκόλλου Ethernet

- $\eta = (\text{Χρήσιμος χρόνος απασχόλησης του αποστολέα}) / (\text{Συνολικός χρόνος μετάδοσης}) = 1/(5a+1)$, όπου $a = D_{\text{prop}} / D_{\text{transm}}$ είναι το πηλίκον της μέγιστης καθυστέρησης διάδοσης προς την καθυστέρηση μετάδοσης ενός πλαισίου (μέγιστου frame).

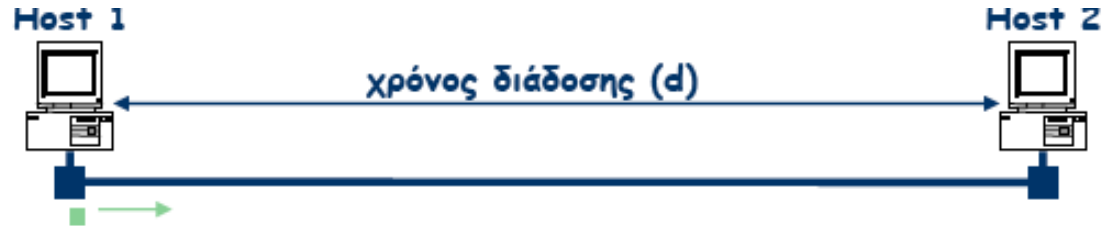


ΑΠΟΔΕΙΞΗ

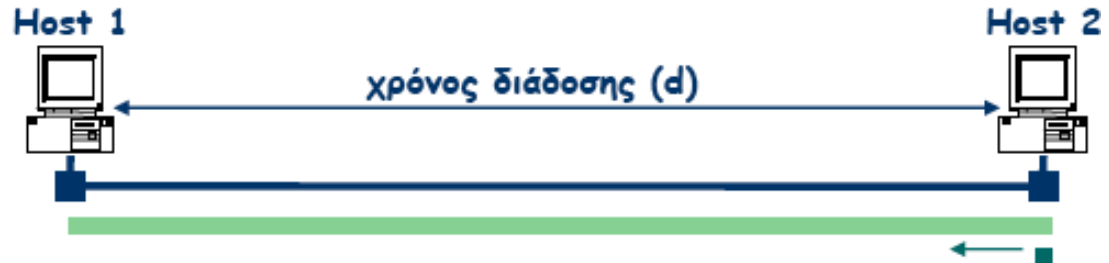
$$\begin{aligned}\eta &= (\text{Χρήσιμος χρόνος απασχόλησης του αποστολέα}) / (\text{Συνολικός χρόνος μετάδοσης}) = \\ &= D_{\text{transm}} / (\text{Μέση τιμή τυχαίου χρόνου πριν την επιτυχή μετάδοση} + D_{\text{transm}} + D_{\text{prop}}) \approx \\ &\approx D_{\text{transm}} / (4 \cdot D_{\text{prop}} + D_{\text{transm}} + D_{\text{prop}}) = D_{\text{transm}} / (5 \cdot D_{\text{prop}} + D_{\text{transm}}) = \\ &= 1 / (5 \cdot (D_{\text{prop}} / D_{\text{transm}}) + 1) = 1 / (5 \cdot a + 1), \text{ όπου } a = D_{\text{prop}} / D_{\text{transm}}\end{aligned}$$

Ethernet: Μέγιστο μήκος διασύνδεσης κόμβων

α) $\text{Time} = t$: ο host 1 αρχίζει τη μετάδοση



β) $\text{Time} = t+d$: ο host 2 αρχίζει τη μετάδοσή του, λίγο πριν αντιληφθεί τη μετάδοση του host 1



γ) $\text{Time} = t+2d$: ο host 1 ακούει τη μετάδοση του host 2



→ ανιχνεύει τη σύγκρουση

Easy in wired LANs: measure signal strengths, compare transmitted, received signals

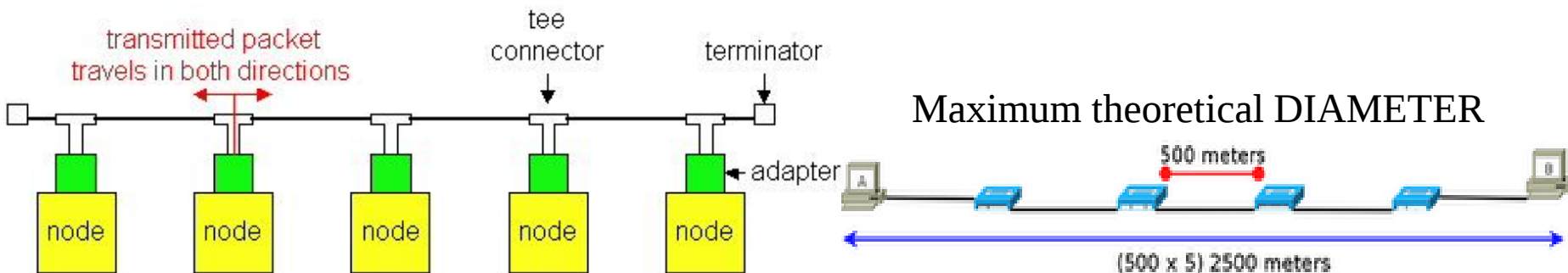
σύγκρουση: απαιτείται επαναμετάδοση
στέλνεται ένα σήμα «jam»
(48 bits) ώστε όλοι οι κόμβοι να ενημερωθούν για τη σύγκρουση.

Χρόνος Μετάδοσης ενός frame > 2*Χρόνος Διάδοσης

Οι προδιαγραφές του IEEE 802.3 ορίζουν ότι το μέγιστο επιτρεπτό διάστημα αβεβαιότητας είναι 51.2 μs (= RTT), βάσει του οποίου εκτιμάται η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ δύο κόμβων σε ένα δίκτυο Ethernet = 2500 m περίπου.

Ethernet: Μέγιστο μήκος L διασύνδεσης κόμβων (1)

- IEEE 802.3 - 10 Mbps Ethernet (transmission speed, αρχικά-αρχικά 2 Mbps)
- IEEE 802.3u - 100 Mbps Ethernet
- IEEE 802.3z - 1000 Mbps = 1 Gbps Ethernet υπάρχει και 10 Gbps Ethernet
- Σύνδεση των Hosts σε **Bus Topology** ή **Star Topology** (δηλ. ακτινωτή π.χ. μέσω Hub)

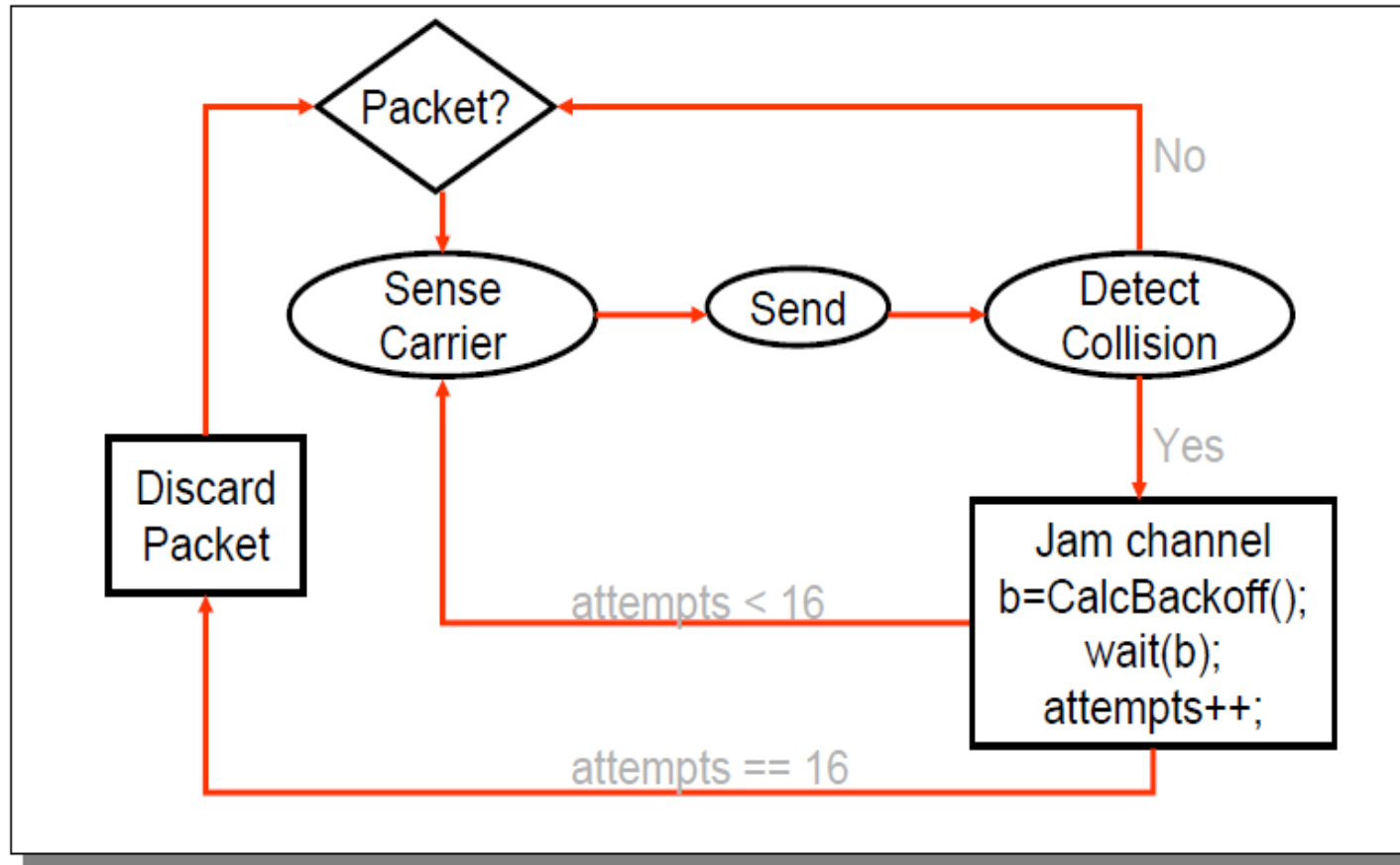


- Propagation Speed (σε χάλκινο καλώδιο) = $s = 0.60 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 180 \times 10^6 \text{ m/s}$
- Delay added by repeater (D_r) = $\sim 3\mu\text{s} \times 2 \text{ (Bi-Direction)} \times 4 \text{ Repeaters} \approx 24 \mu\text{s}$.
- $\text{RTT} = 51.2 \mu\text{s} = 2L/s + D_r \Rightarrow 51.2 = 2L/180 + 24 \Rightarrow 0.01111L = 27.2 \Rightarrow L = 2448 \approx 2500\text{m}$
- Bandwidth x Delay = **(10 Mbps) x (51.2 μs) = 512 bits $\Rightarrow 512/8 = 64$ bytes (Frame)**

Μετάδοση πλαισίου με το πρωτόκολλο Ethernet

1. Έστω ότι ο adapter έχει έτοιμο ένα πλαίσιο (frame) προς μετάδοση.
2. Ο adapter αφουγκράζεται το κανάλι και αν αισθανθεί ότι το κανάλι είναι “busy”, περιμένει μέχρι να γίνει **idle**.
3. Όταν ο adapter αισθανθεί ότι δεν υπάρχει άλλη κίνηση στο κανάλι (**idle**) επί **96 χρόνους bit** (**9.6 μs** για κανάλι 10 Mbps) αρχίζει την μετάδοση του πλαισίου και συνεχίζει να παρακολουθεί το κανάλι μήπως γίνει σύγκρουση πλαισίων (collision detection).
4. Αν ο adaptor μεταδώσει ολόκληρο το πλαίσιο χωρίς να εντοπίσει άλλη μετάδοση
 - **ο adapter κατόρθωσε να μεταδώσει επιτυχώς πλαίσιο.**
5. Αν ο adaptor εντοπίσει μια άλλη μετάδοση καθώς μεταδίδει,
 - **σταματάει την μετάδοση & στέλνει το σήμα συμφόρησης (“jamming”).**
 - ακολούθως, ο adapter μπαίνει στην διαδικασία **backoff** για να ξαναμεταδώσει το ίδιο πλαίσιο (τρέχει τον “Binary Exponential Backoff Algorithm”).
6. **Επιστρέφει στο Βήμα 2** (για να αφουγκραστεί το κανάλι για την μετάδοση του επομένου πλαισίου).

Μετάδοση πλαισίου με το πρωτόκολλο Ethernet (1)



Ethernet: Binary Exponential Backoff Algorithm

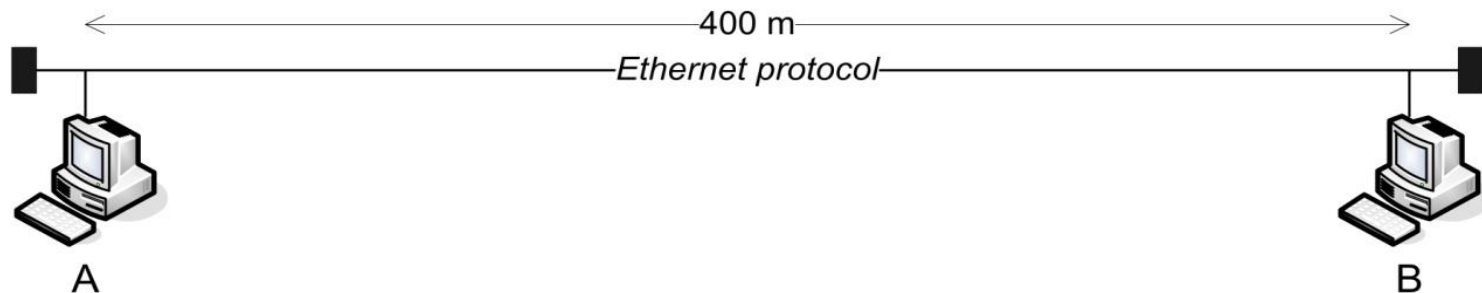
- Καθυστέρησε λίγο (Delay) μέχρι να επιχειρήσεις πάλι να ξαναμεταδώσεις το ίδιο πλαίσιο.

Think of time as divided in slots, τ μ s, τ = πολλαπλάσια (512) διάρκεια 1 bit.

- Ο χρόνος καθυστέρησης (Delay) υπολογίζεται ως εξής:
 - Collision 1: επέλεξε τυχαία (με ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων) ένα αριθμό K από το σύνολο $\{0,1\}$. Τότε, $\text{Delay} = K * \tau$.
 - Collision 2: επέλεξε τυχαία (με ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων) ένα αριθμό K από το σύνολο $\{0,1,2,3\}$. Τότε $\text{Delay} = K * \tau$.
 - Collision 3: επέλεξε τυχαία (με ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων) ένα αριθμό K από το σύνολο $\{0,1,2,3,4,5,6,7\}$. Τότε $\text{Delay} = K * \tau$.
 - ...
 - Collision v ,
 - όπου $v \leq 10$: επέλεξε τυχαία (με ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων) ένα αριθμό K από το σύνολο $\{0,1,2,\dots, 2^v-1\}$. Τότε $\text{Delay} = K * \tau$.
 - όπου $10 < v < 16$. Τότε $\text{Delay} = 1023 * \tau$.
 - Αν $v = 16$ εγκατάλειψε τις προσπάθειες μετάδοσης του πλαισίου.

Άσκηση

- Δύο Η/Υ, A και B, απέχουν 400 m και συνδέονται με ομοαξονικό καλώδιο (γραμμή μετάδοσης) που έχει χωρητικότητα 100 Mbps και ταχύτητα διάδοσης $2 \cdot 10^8$ m/s. Στην γραμμή "τρέχει" πρωτόκολλο Ethernet (CSMA/CD) με πακέτα μήκους 1500 bits.



- Να υπολογισθεί ο ελάχιστος χρόνος, t_{min} , που πρέπει να περιμένει ο Η/Υ A μετά από μια μετάδοση πακέτου.
- Στο χρονικό διάστημα t_{min} πόσα επιπλέον bits θα μπορούσαν να έχουν μεταδοθεί από τον A;
- Ποιος είναι ο ελάχιστος χρόνος $t_{success(1)}$ επιτυχημένης αποστολής πακέτου από τον A στον B, δεδομένου ότι συνέβη μία μόνο σύγκρουση;
- Ποια είναι η πιθανότητα να συμβεί και δεύτερη σύγκρουση πακέτων; Στην περίπτωση αυτή, πόσος είναι ο ελάχιστος χρόνος $t_{success(2)}$ επιτυχημένης αποστολής πακέτου από τον A στον B;

Λύση

- Ο ελάχιστος χρόνος αναμονής **μετά από την μετάδοση ενός πλαισίου** είναι διπλάσιος από τον χρόνο διάδοσης μεταξύ των A και B (**round trip propagation time**), ώστε να μπορεί να διαπιστωθεί αν η μετάδοση ήταν επιτυχής ή μη.
- Ας υποθέσουμε ότι πακέτο του A συγκρούεται με πακέτο του B, την στιγμή που το πακέτο του A φθάνει στον B, δηλαδή αφού έχει διανύσει απόσταση 400 m. Ακολούθως, για να αντιληφθεί την σύγκρουση αυτή ο A, απαιτείται να διανυθεί απόσταση πάλι 400 m (από τον B στον A). **Δηλ. θα φθάσει πίσω στον A, σήμα μεγαλύτερης εντάσεως από αυτό που έστειλε ο A, και έτσι ο A θα αντιληφθεί ότι πρόκειται για σύγκρουση.**

Άρα: $t_{min} \geq 2 * t_{prop} \rightarrow t_{min} \geq 2 * 400 / (2 * 10^8) \text{ s} = 4 \text{ } \mu\text{s}.$

- Το πολύ $(100 * 10^6 * 4 * 10^{-6}) \text{ bits} = 400 \text{ bits}.$ (= **bandwidth * delay**)
- Αρχίζει η αποστολή του πακέτου από τον A την χρονική στιγμή $t = 0$. Περνά χρόνος 4 μs και ο A αντιλαμβάνεται σύγκρουση. Υποθέτουμε ότι στέκεται τυχερός και λαμβάνει $K = 0$, οπότε ξαναμεταδίδει το πακέτο το οποίο καταφθάνει στον B χωρίς πρόβλημα, μετά από χρόνο "transmission delay + propagation delay" = $1500 / (100 * 10^6) + 400 / (2 * 10^8) = (15 + 2) * 10^{-6} = 17 \text{ } \mu\text{s}.$

Άρα $t_{success(1)} = (4 + 17) \text{ } \mu\text{s} = 21 \text{ } \mu\text{s}.$

Λύση (συνέχεια)

- Μετά την 1^η σύγκρουση, ο A έχει μία τιμή K (τυχαία) από το σύνολο {0, 1}. Αν κατά σύμπτωση ληφθεί από τον B η ίδια τιμή K, τότε θα γίνει σύγκρουση. Η πιθανότητα ο B να λάβει την ίδια τιμή K με τον A είναι **50%** (ισοπίθανα ενδεχόμενα: {0, 0}, {1, 0}, {0, 1}, {1, 1}).

Δηλ. η πιθανότητα υπολογίζεται ως: $2/4 = 50\%$.

Έστω ότι συνέβη και 2^η σύγκρουση. Ο ελάχιστος χρόνος θα είναι αν $K = 0$ (και στην 1^η και στην 2^η σύγκρουση – πιθανότητα $(1/2) \cdot (1/4) = 1/8$). Οπότε, περνάει χρόνος 4 μs για να αντιληφθεί ο A την 1^η σύγκρουση και αμέσως επαναμεταδίδει το πακέτο, αλλά συμβαίνει 2^η σύγκρουση, την οποία αντιλαμβάνεται στον ελάχιστο χρόνο των 4 μs και επαναμεταδίδει το πακέτο αμέσως ($K = 0$).

$$\text{Άρα } t_{\text{success}(2)} = (4 + 4 + 17) \mu s = \mathbf{25 \mu s}.$$