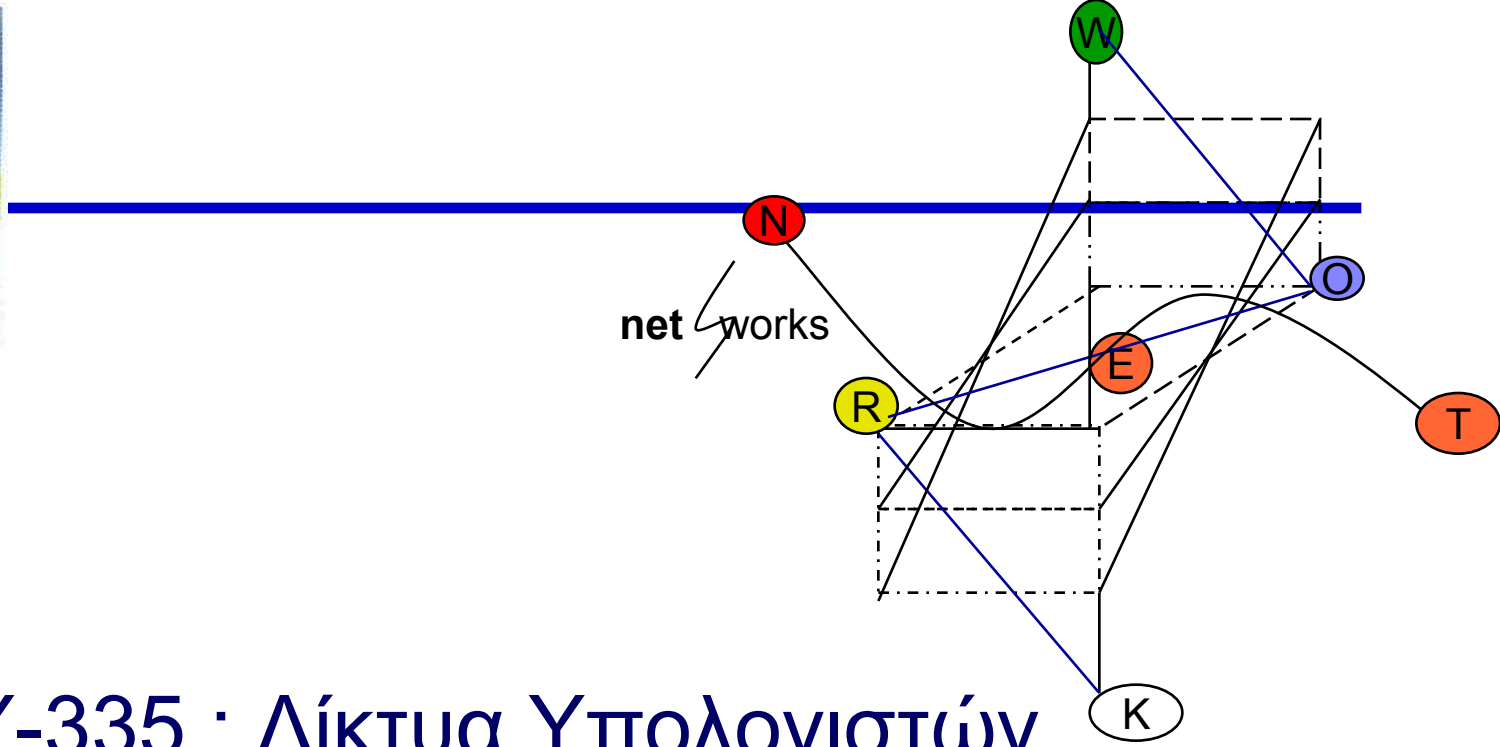


ΗΥ-335 : Δίκτυα Υπολογιστών

Επίπεδο Ζεύξης

Μαρία Παπαδοπούλη

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Κρήτης

Θέματα προς συζήτηση

... Ερωτήσεις από τα προηγούμενα lectures ...

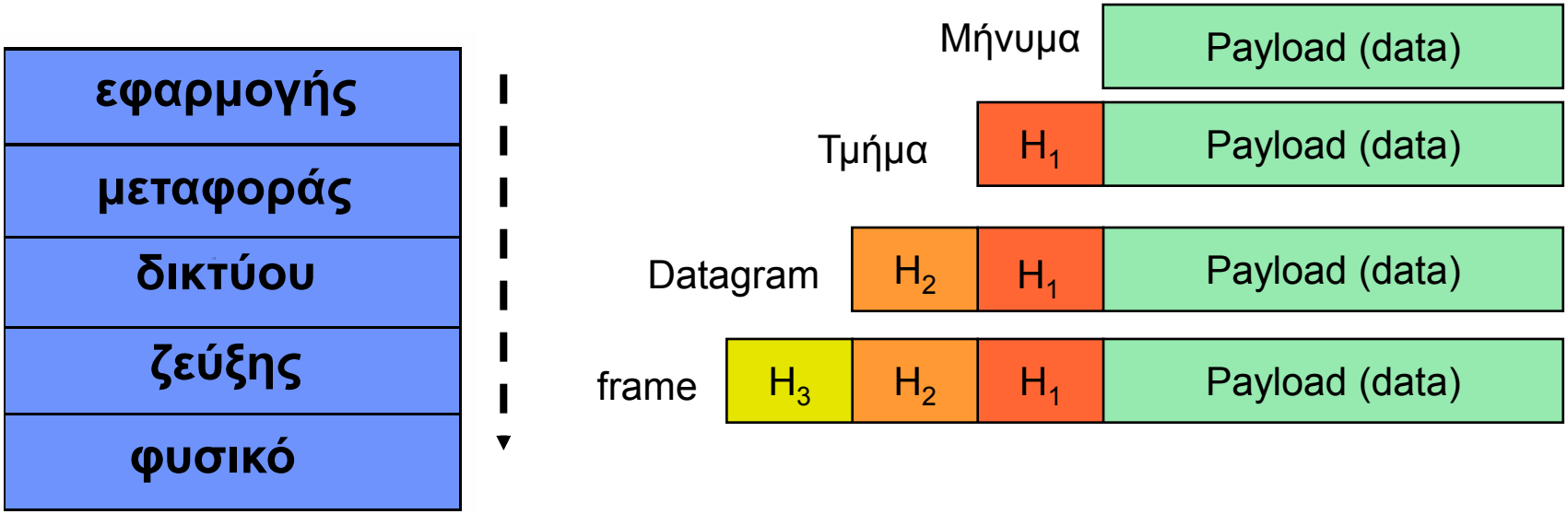
- Επίπεδο ζεύξης
- Ανίχνευση και διόρθωση λαθών
- Τυχαία πολλάπλή πρόσβαση στο κανάλι
- MAC διευθύνσεις

Βασισμένο κυρίως στο Κεφ. 5 βιβλίου Kurose

Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)

εφαρμογής	Υλοποιεί τις κατανεμημένες εφαρμογές
μεταφοράς	Υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων από τον ένα κόμβο στον άλλο
δικτύου	Καθορίζει τη διαδρομή που θα πάρει ένα πακέτο μέσω των δρομολογητών για να φτάσει τον προορισμό του
ζεύξης	Χειρίζεται μεταφορές δεδομένων μεταξύ γειτονικών στοιχείων του δικτύου
φυσικό	

Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)



Ένα τερματικό κόμβος (end-node) που στέλνει δεδομένα (πηγή):

Ενθυλάκωση

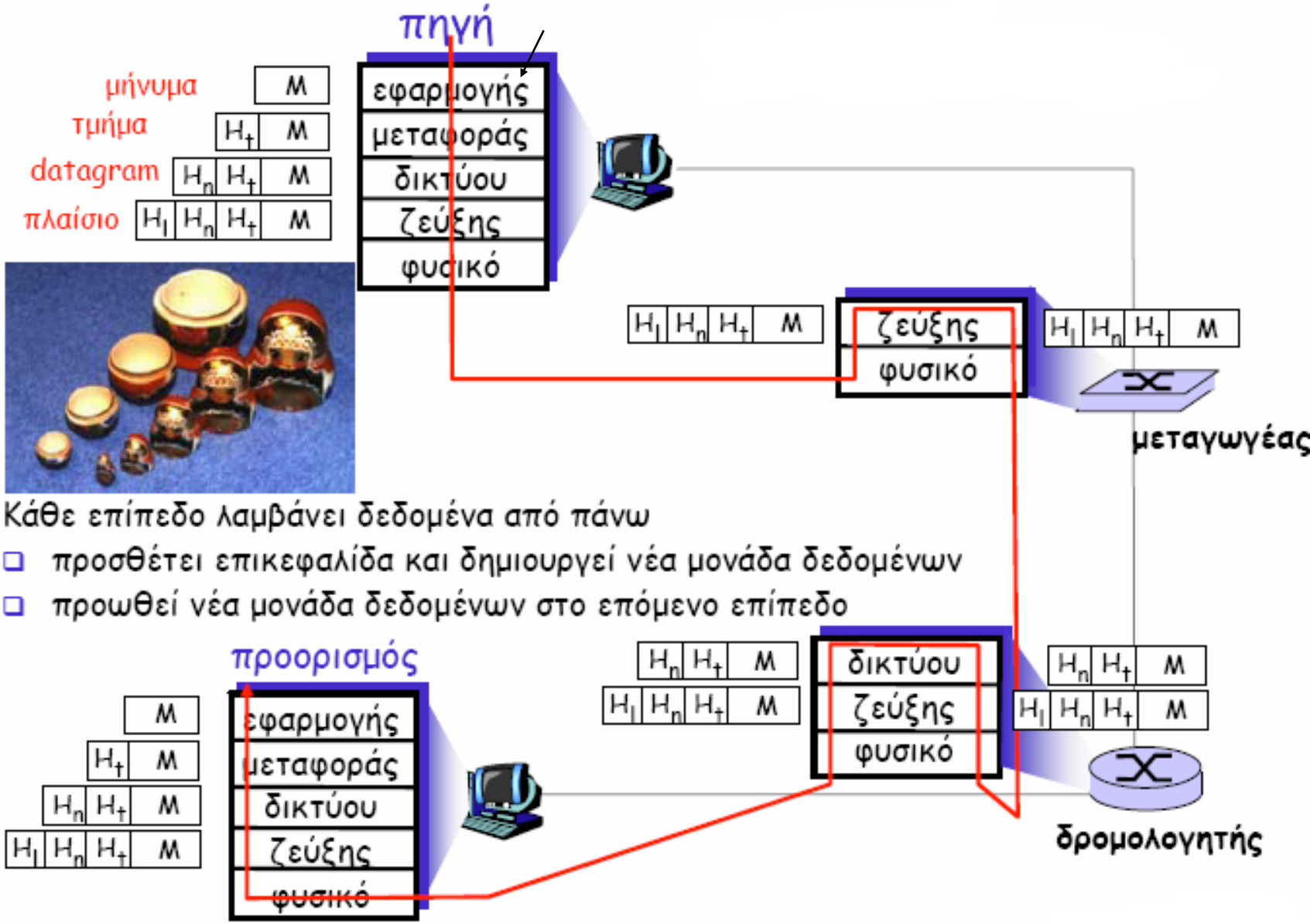
📢 Καθε επίπεδο:

Λαμβάνει δεδομένα από το ανώτερο επίπεδο

Προσθέτει επικεφαλίδα και δημιουργεί νέα μονάδα δεδομένων

Προωθεί την νέα μονάδα στο επόμενο επίπεδο

Ενθυλάκωση



Κάθε επίπεδο λαμβάνει δεδομένα από πάνω

- προσθέτει επικεφαλίδα και δημιουργεί νέα μονάδα δεδομένων
- προωθεί νέα μονάδα δεδομένων στο επόμενο επίπεδο

Επίπεδο ζεύξης

- Χειρίζεται **μεταφορές δεδομένων μεταξύ *γειτονικών* στοιχείων** του δικτύου

📢 δηλαδή τη **μεταφορά του πάνω από μία ζεύξη**

☞ ενώ το επίπεδο δικτύου χειρίζεται την **end-to-end** (από τον αποστολέα στον παραλήπτη) μεταφορά του πακέτου

- Καθορίζεται από την τεχνολογία της ζεύξης επικοινωνίας των γειτονικών στοιχείων
- Παραδείγματα:
  - Ethernet (IEEE802.3)
  - Wireless LAN (e.g., IEEE802.11)

Επίπεδο ζεύξης: εισαγωγικά σχόλια

Τα **datagrams** μεταφέρονται από **διαφορετικά** πρωτόκολλα ζεύξης **μέσω διαφορετικών ζεύξεων (links)**:

Π.χ., Ethernet στην πρώτη ζεύξη, IEEE802.11 στη δεύτερη ζεύξη, …

Κάθε πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων παρέχει διαφορετικές υπηρεσίες

Παράδειγμα-αναλογία από τις μεταφορές

- Ταξίδι από Manhattan στο Μύρτος-Κρήτης
  - τραίνο: από το Manhattan στο JFK
  - αεροπλάνο: από το JFK στην Αθήνα
  - καράβι: από την Αθήνα στο Ηράκλειο
  - Λεωφορείο: από το Ηράκλειο στον Μύρτο
- τουρίστας= *datagram*
- τμήμα μεταφοράς = *ζεύξη επικοινωνίας*
- τρόπος μεταφοράς= *πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης*
- ταξιδιωτικός πράκτορας = ***αλγόριθμος δρομολόγησης***

Χρήσιμη Ορολογία στο Επίπεδο Ζεύξης

- Κόμβους (nodes) θα ονομάζομε τα hosts (τερματικά) & τους routers (δρομολογητές)
- Ζεύξεις (links): κανάλια επικοινωνίας που ενώνουν/συνδέουν γειτονικούς κόμβους

frames επιπέδου ζεύξης

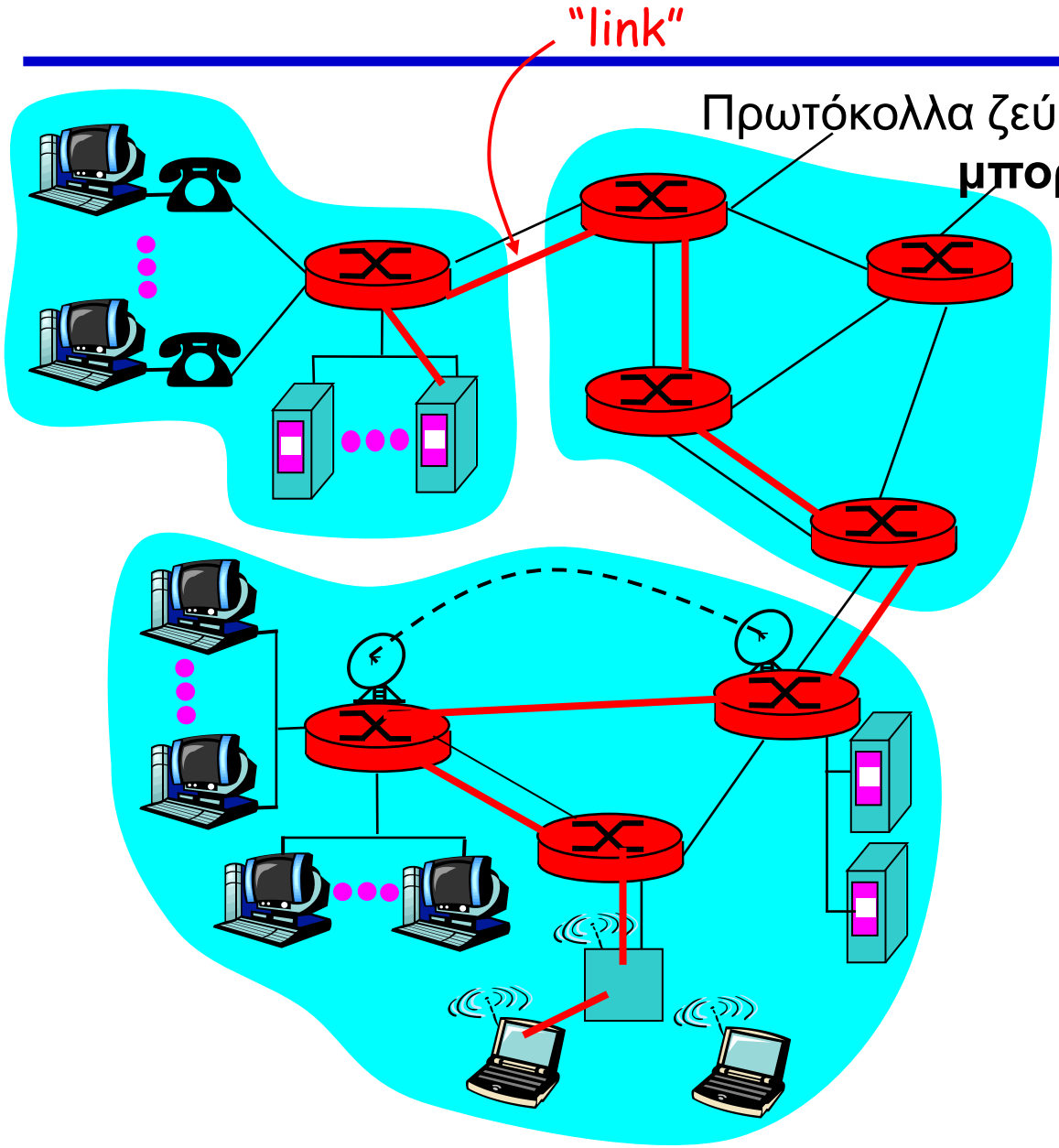
Ο κόμβος που στέλνει:

1. **Ενθυλακώνει** το ***datagram*** σε ένα frame επιπέδου ζεύξης, και
2. **μεταδίδει** το frame μέσω της ζεύξης

Ο κόμβος που λαμβάνει:

1. *λαμβάνει το* ***frame,*** και
2. αποσπά το ***datagram***

Επίπεδο ζεύξης: εισαγωγή



Πρωτόκολλα ζεύξεις διαφορετικών τεχνολογιών **μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους**

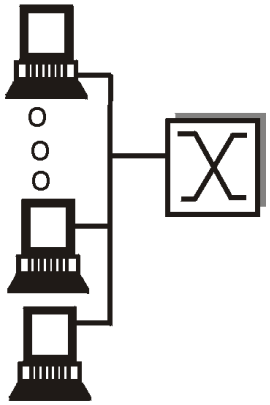
Είδη ζεύξεων

- **Μονόδρομη (simplex)**: Επιτρέπει μετάδοση σε **μία κατεύθυνση μόνο**
- **Ημιαμφίδρομη (half-duplex)**: επιτρέπει μετάδοση σε **οποιαδήποτε κατεύθυνση** αλλά όχι ταυτόχρονα
- **Πλήρως αμφίδρομη (full duplex)**: επιτρέπει **ταυτόχρονη μετάδοση** και στις δύο κατευθύνσεις

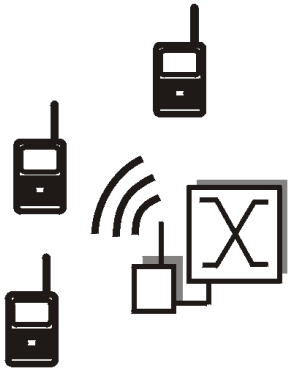
Full-duplex Ethernet connections work by making simultaneous use of two physical pairs of twisted cable (which are inside the jacket), where one pair is used for receiving packets and one pair is used for sending packets (two pairs per direction for some types of Ethernet), to a directly connected device. This effectively makes the cable itself a collision-free environment and doubles the maximum data capacity that can be supported by the connection.

Επίπεδο ζεύξης: δυο τύποι ζεύξεων

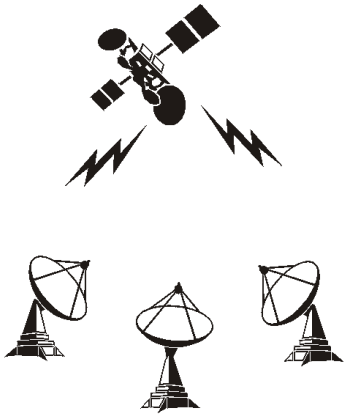
- Σημείο σε σημείο (Point-to-Point)
- Μετάδοση (διαμοιραζόμενο καλώδιο ή μέσο)



shared wire
(e.g. Ethernet)



shared wireless
(e.g. Wavelan)



satellite

cocktail party

Τύποι ζεύξεων

- Σημείο προς σημείο ζεύξη (point-to-point)

Αποτελούνται από ένα **μοναδικό** sender στο ένα άκρο της ζεύξης και από ένα μοναδικό receiver στο άλλο άκρο της

PPP για dial-up πρόσβαση
Σημείο προς σημείο ζεύξη μεταξύ Ethernet switch and host
Το MAC protocol είναι απλό (ή και "σχεδόν ανύπαρκτο"): sender can send a frame whenever the link is idle …

- Μετάδοση (broadcast) (διαμοιραζόμενο μέσο)

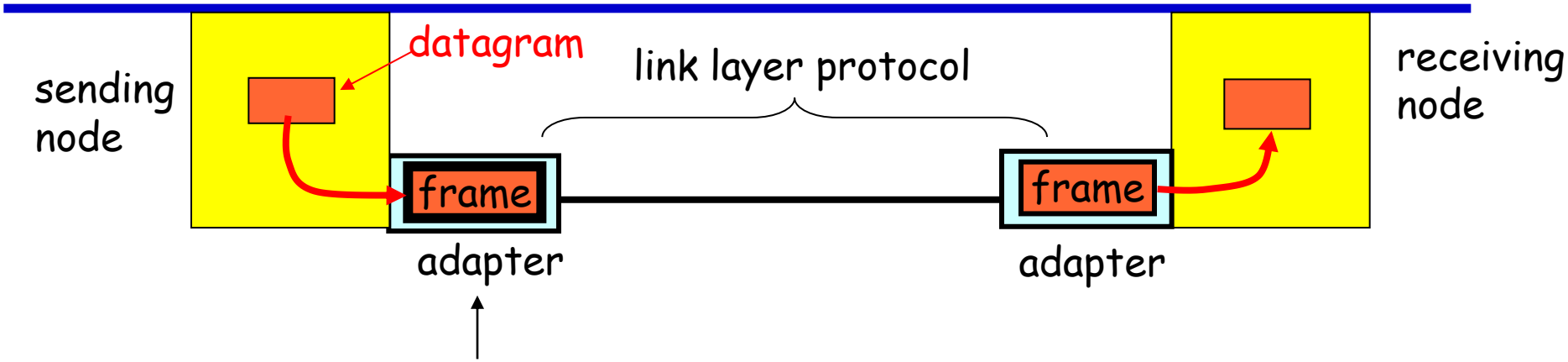
Εχει ***πολλαπλούς*** sending και receiving κόμβους

📢 Ο ***οποιοσδήποτε*** μπορεί να στείλει ένα frame

Ολοι οι υπόλοιποι το λαμβάνουν

traditional Ethernet (IEEE802.3)
upstream HFC
IEEE802.11 wireless LAN

Επικοινωνία προσαρμοστών (adapters)



- **Το επίπεδο ζεύξης υλοποιείται σε έναν adapter (NIC)**

πχ Ethernet, PCMCI, IEEE802.11 κάρτες

- Ο adapter είναι ημιαυτόνομος
- Επίπεδο ζεύξης και φυσικό επίπεδο

Αποστέλλουσα πλευρά:

- Ενθυλακώνει το datagram σε ένα frame
- Προσθέτει ***bits ελέγχου λαθών***, ελέγχου ροής, κτλ.

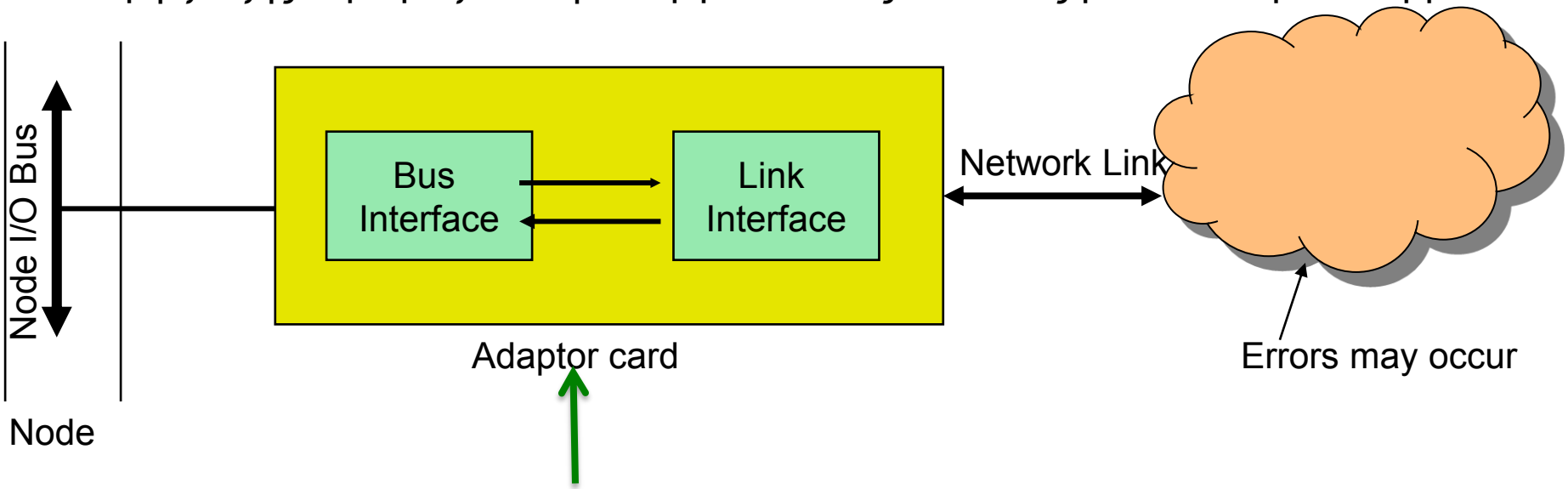
Κάτω από τον έλεγχο του τοπικού κόμβου Μοιράζεται με αυτόν ενέργεια & διαύλους

Λαμβάνουσα πλευρά:

- Κοιτάει για λάθη, έλεγχο ροής, κτλ.
- Αποσπά το datagram, και το προωθεί στον λαμβάνοντα κόμβο
- Δεν διακόπτει τον πατρικό/τοπικό κόμβο (node) όταν λαμβάνει datagram που προορίζεται για άλλο κόμβο

Προσαρμοστές (adapters)

Ο adapter περιλαμβάνει **RAM**, DSP (Digital Signal Processing) chips, δίαυλους(bus), διεπαφή ζεύξης & μοιράζεται την ενέργεια & τους δίαυλους με τον πατρικό κόμβο



Είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τον πατρικό κόμβο του adapter.
Μεταφέρει δεδομένα & πληροφορίες ελέγχου μεταξύ adapter-πατρικού κόμβου

Υλοποιεί το πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης
Παρέχει πλαισίωση (framing), αποπλαισίωση (deframing), ανίχνευση & διόρθωση λαθών και μηχανισμό τυχαίας πρόσβασης

Υπηρεσίες στο Επίπεδο ζεύξης

Πλαισίωση, πρόσβαση ζεύξης (framing, link access):

- Ενθυλάκωση του datagram του επιπέδου δικτύου σε frame, προσθήκη επικεφαλίδας (header), ουράς (trailer)
- Πρόσβαση στο κανάλι, αν είναι μέσο διαμοιραζόμενης πρόσβασης
- Οι "MAC" διευθύνσεις των επικεφαλίδων frames χρησιμοποιούνται για να **προσδιορίσουν** **<u>την πηγή και τον προορισμό</u>**
  - ☞ **διαφορετικό από την διεύθυνση IP!**

Αξιόπιστη μετάδοση πακέτων μεταξύ γειτονικών κόμβων

- **Σπάνια χρησιμοποιείται σε ζεύξεις με χαμηλές πιθανότητες λάθους (πχ fiber)**
- ☞ Όμως χρησιμοποιείται σε **ασύρματες ζεύξεις που χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά λαθών**
- Παρόμοιο θέμα αξιόπιστης μετάδοσης υπάρχει & στο επίπεδο δικτύου (UDP, TCP)

Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης (περισσότερα)

Έλεγχος ροής (flow control):

- Έλεγχος ρυθμού μεταξύ γειτονικών κόμβων αποστολέων & παραληπτών

Ανίχνευση λαθών (error detection):

- Λάθη προκαλούνται από **εξασθένηση του σήματος, θόρυβο**
- Ο παραλήπτης ανακαλύπτει την ύπαρξη λαθών:
  - Στέλνει σήμα στον αποστολέα για επαναποστολή ή απορρίπτει το frame
  - Υπάρχει πιθανότητα να έχομε στον δέκτη πακέτο με undetected errors & το πακέτο να προωθηθεί στο επίπεδο δικτύου

Διόρθωση λαθών (error correction):

- Ο παραλήπτης βρίσκει ***και διορθώνει*** τα λανθασμένα bit **χωρίς να καταφύγει στην επαναποστολή**

Ημιαμφίδρομο (half-duplex) και πλήρως αμφίδρομο (full-duplex)

- Με το ημιαμφίδρομο, οι κόμβοι και στις δύο άκρες της ζεύξης μπορούν να μεταδίδουν, **αλλά όχι ταυτόχρονα**

Ανίχνευση λαθών

- Μπορούμε να μειώσομε τη πιθανότητα μη-ανίχνευσης λαθών χρησιμοποιώντας πιο έξυπνους αλγορίθμους

Ωστόσο έτσι μπορεί να αυξήσομε τη **καθυστέρηση της προώθησης των πακέτων** λόγω αυξημένων υπολογισμών, και τη **μετάδοση περισσοτέρων bits**

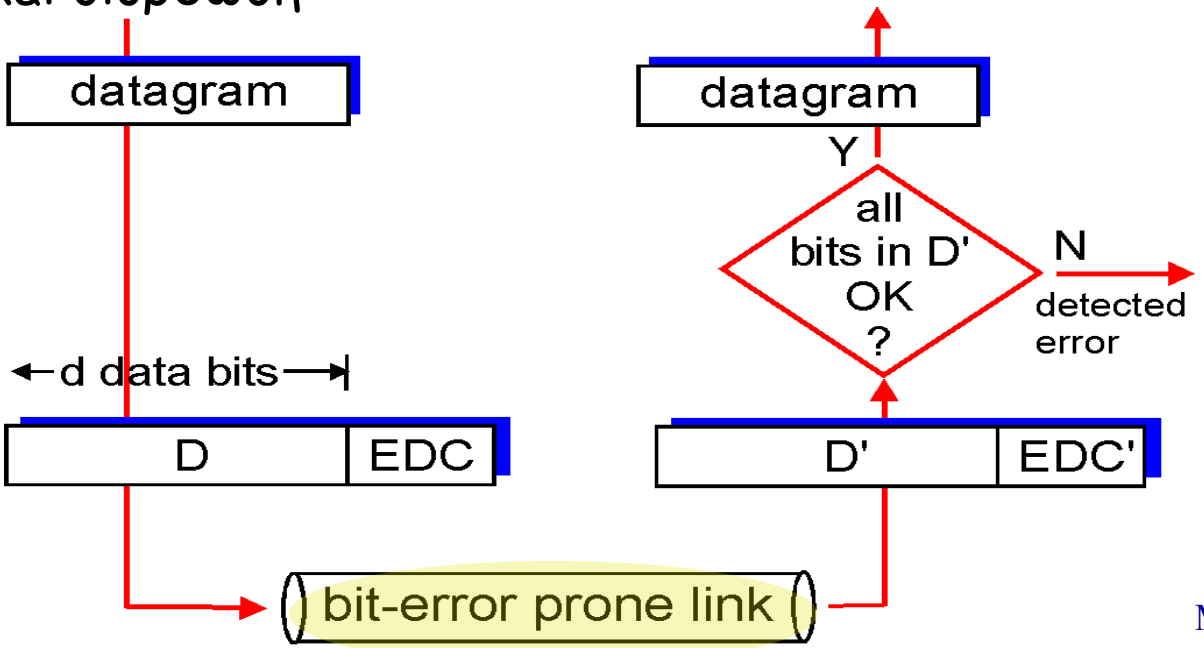
☞ **Από την άλλη** έτσι μπορεί να αποφύγομε τα **retransmissions** τα οποία **επίσης αυξάνουν την καθυστέρηση της προώθησης των πακέτων και τη μετάδοση περισσοτέρων bits**

- Τεχνικές
  - **Έλεγχοι ισοτιμίας (parity checks)**
  - **Άθροισμα ελέγχου (checksumming, συνήθως στο επίπεδο**
  - **μεταφοράς)**
  - **Κυκλικός έλεγχος πλεονασμού (cyclic redundancy check,**
  - **συνήθως στο MAC επίπεδο στον adapter)**

Ανίχνευση Λάθους

EDC= Error Detection and Correction bits (redundancy)
D = Data, προστατεύεται από τον έλεγχο λαθών, μπορεί να περιλαμβάνει τμήματα της επικεφαλίδας

- Η ανίχνευση λαθών δεν είναι 100% αξιόπιστη!
  - Το πρωτόκολλο μπορεί να χάσει κάποια λάθη, αλλά σπάνια
  - μεγαλύτερο EDC τμήμα έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη ανίχνευση και διόρθωση



Έλεγχοι ισοτιμίας

- Απλούστερο: χρήση ενός μοναδικού bit ισοτιμίας (single parity bit)

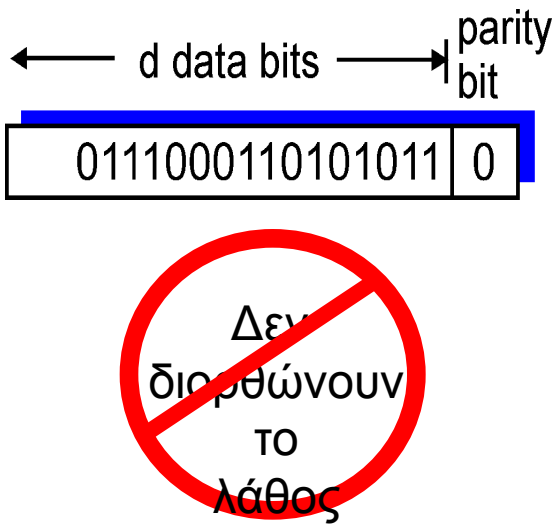
- Εστω ότι *d* bits πληροφορίας στέλνονται
- Σε ένα ***even***-parity μοντέλο, ο αποστολέας στέλνει **ένα επιπρόσθετο bit** και επιλέγει την τιμή του ώστε ο **συνολικός αριθμός 1s των *d*+1 bits είναι άρτιος**

☞ Ο δέκτης απλά ελέγχει των αριθμό των 1 και το parity bit και μπορεί να ξέρει αν ένας περιττός αριθμός λαθών έχει συμβεί

Έλεγχος ισοτιμίας

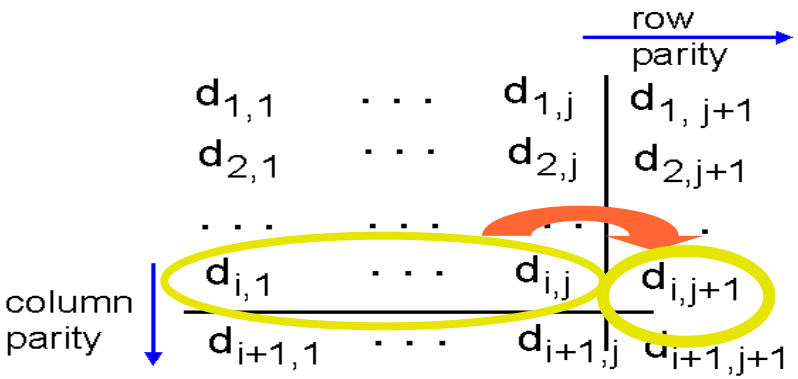
Μοναδικό Bit Ισοτιμίας:

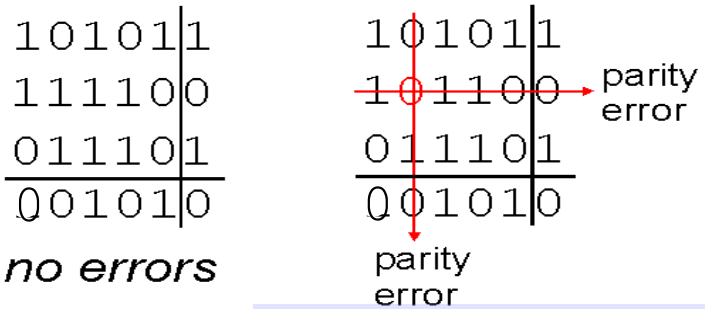
Ανιχνέυει λάθη ενός μόνο bit



Δισδιάστατο Bit Ισοτιμίας:

Ανιχνεύει και διορθώνει λάθη σε ένα μόνο bit





Προσοχή: δείτε αν διορθώνονται περισσότερα λάθη και σε ποιές περιπτώσεις

correctable single bit error

Περίπτωση πολλαπλών λαθών (Parity checks)

- Εάν το λάθος σε ένα bit συμβαίνει ανεξάρτητα από τι γίνεται στα διπλανά του bits τότε η πιθανότητα πολλαπλών λαθών σε ένα πακέτο είναι πολύ μικρή

Γιατί ???

- Ωστόσο εμπειρικές μελέτες με μετρήσεις σε πραγματικά δίκτυα δείχνουν ότι τα λάθη στα bits γίνονται σε *bursts* (έχουν "εκρηκτικό" pattern) δηλαδή υπάρχουν ***γειτονικά bits*** που έχουν λάθη

- Επομένως ένας πιο **robust** μηχανισμός πρέπει να χρησιμοποιηθεί ☺ και ευτυχώς χρησιμοποιείται στην πράξη!

Forward error correction (FEC) μηχανισμοί

- Μηχανισμοί στον δέκτη για ανίχνευση και διόρθωση λάθους
- Τυπικά χρησιμοποιούνται σε audio storage & playback devices (πχ audio CDs)
- Στα δίκτυα βοηθούν γιατί ελαττώνουν τον αριθμό των retransmissions που πρέπει να γίνουν

Μέθοδοι αθροίσματος ελέγχου (checksumming)

Σε αυτές τις τεχνικές, τα ***d* bits δεδομένων** μεταχειρίζονται σαν μία ακολουθία από ***k*-bit ακεραίους**

Internet checksum:

- **Άθροισε** αυτούς τους ***k*-bit ακεραίους,** και
- Χρησιμοποίησε το **παραγόμενο άθροισμα** ως **bits ανίχνευσης λαθών** (e.g., k=16)

☞ **TCP & UDP**: Τα checksums υπολογίζονται με βάση όλα τα πεδία (*επικεφαλίδα & δεδομένα*)

- Σε άλλα πρωτόκολλα: Ένα checksum υπολογίζεται για την επικεφαλίδα και ένα άλλο checksum υπολογίζεται για ολόκληρο το πακέτο

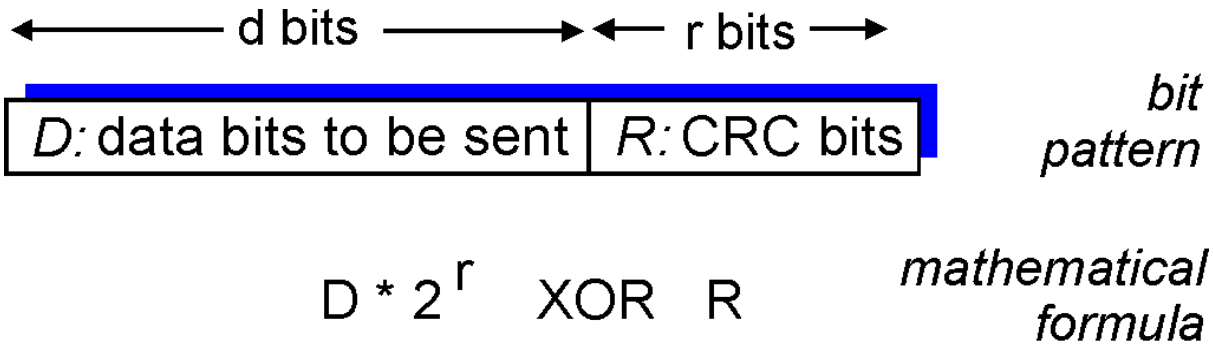
☞ Μικρή **επιβάρυνση αλλά και μικρή προστασία**

Checksumming: Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού

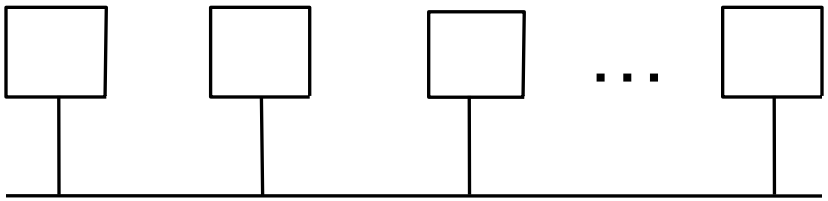
- Θεώρησε τμήμα δεδομένων ***D (d bits)***, ως ένα δυαδικό αριθμό
- Επέλεξε την γεννήτρια ***G*** των ***(r+1)*** bits (θα θεωρηθεί **γνωστή στον παραλήπτη**)
- Επέλεξε τώρα ***r*** CRC bits ***R***, έτσι ώστε
  - Το <***D***,***R***> είναι ακριβώς διαιρέσιμο από το ***G*** (modulo 2)
  - Ο παραλήπτης γνωρίζει το ***G***, διαιρεί το <***D***,***R***> με το ***G***

  Εάν το υπόλοιπο είναι *μη μηδενικό*: **λάθος ανακαλύφθηκε!**

  ✓ Μπορεί να ανακαλύψει n συνεχόμενα λανθασμένα bits (όπου n< r+1 bits)
- Ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη (IEEE link layer, ATM protocols)



Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access)



- Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access)
- Οι κόμβοι συνδέονται σε **κοινό κανάλι επικοινωνίας**
- **Συγκρούσεις συμβαίνουν όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί αποφασίσουν να στείλουν πακέτα <u>ταυτόχρονα</u>**
- Έλεγχος πρόσβασης (**access control**): περιορίζει τη μείωση της απόδοσης λόγω συγκρούσεων και κενών περιόδων

Υπενθύμιση: Σύγκρουση σε ένα δέκτη συμβαίνει όταν frames «μπερδεύονται» μεταξύ τους καθώς μεταδίδονται σε κοινό κανάλι και λαμβάνονται από το δέκτη

Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης

- **Μοναδικό διαμοιραζόμενο κανάλι μετάδοσης**
- Δύο ή περισσότερες ταυτόχρονες μεταδόσεις από τους κόμβους: παρεμβολές

  σύγκρουση **εάν ο κόμβος λαμβάνει δύο ή περισσότερα σήματα την ίδια στιγμή**

Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (multiple access protocol)

- ***Κατανεμημένος* αλγόριθμος** που ορίζει το ***πώς*** οι κόμβοι μοιράζονται το κανάλι, π.χ., καθορίζει ***πότε*** ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει
- Η επικοινωνία για τον διαμοιρασμό του καναλιού πρέπει να χρησιμοποιήσει το ίδιο το κανάλι!

  Δεν υπάρχει out-of-band κανάλι για συντονισμό στα περισσοτερα διαδεδομένα πρωτόκολλα

Ανενεργό πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης

Κανάλι μετάδοσης ρυθμού R bps

1. Όταν ένας μόνο κόμβος θέλει να μεταδώσει, μπορεί να στείλει με ρυθμό R (**Αποτελεσματικό: υψηλός ρυθμός**)
2. Όταν M κόμβοι θέλουν να μεταδώσουν,ο καθένας μπορέι να στείλει με μέσο ρυθμό R/M (**Δίκαιο**)
3. **Εντελώς αποκεντροποιημένο**:
   - Δεν υπάρχει ειδικός κόμβος για να συντονίζει τις μεταδόσεις
   - Κανένας συγχρονισμός ρολογιών, σχισμών
4. **Απλό**

Πρωτόκολλα MAC: ταξινόμηση

1. Κατανομή Καναλιού
   - χωρισμός καναλιού σε μικρότερα «τμήματα» (χρονικές σχισμές, συχνότητα, code)
   - δέσμευση τμήματος από τον κόμβο για αποκλειστική χρήση

   Παραδείγματα: TDMA, FDMA, CDMA
2. ***Τυχαία*** Πρόσβαση
   - το κανάλι δεν χωρίζεται, επιτρέπονται συγκρούσεις
   - “ανάκαμψη” από τις συγκρούσεις
3. “Παίρνοντας σειρά ***προτεραιότητας***”

   οι κόμβοι παίρνουν την σειρά τους, αλλά κόμβοι που έχουν περισσότερα να στείλουν μπορούν να πάρουν σειρά για περισσότερη ώρα

Κριτήρια Αξιολόγησης Πρωτοκόλλων Πρόσβασης

- **Αποδοτικότητα** είναι ο long-run λόγος του χρόνου κατά τον οποίο τα πλαίσια μεταδίδονται στο κανάλι χωρίς συγκρούσεις υπό συνθήκες κορεσμού

- Ποσοστό της χωρητικότητας του καναλιού που μένει αναξιοποίητη στο χρόνο

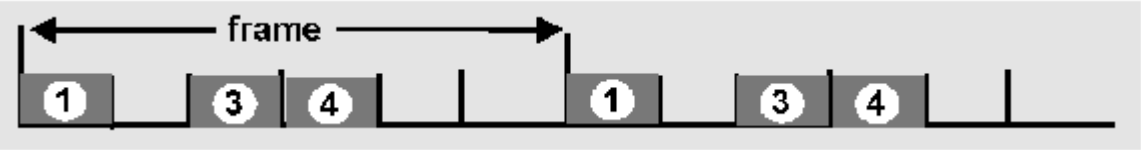
- Δικαιοσύνη μεταξύ των συσκευών που το χρησιμοποιούν

- Πολυπλοκότητα
- Απαιτήσεις σε συγχρονισμό μεταξύ των συσκευών
- Extra control μηνύματα που χρειάζονται να μεταδοθούν για το συντονισμό μεταξύ των κόμβων (protocol overhead)

MAC πρωτόκολλα κατανομής του καναλιού: TDMA

TDMA: time division multiple access

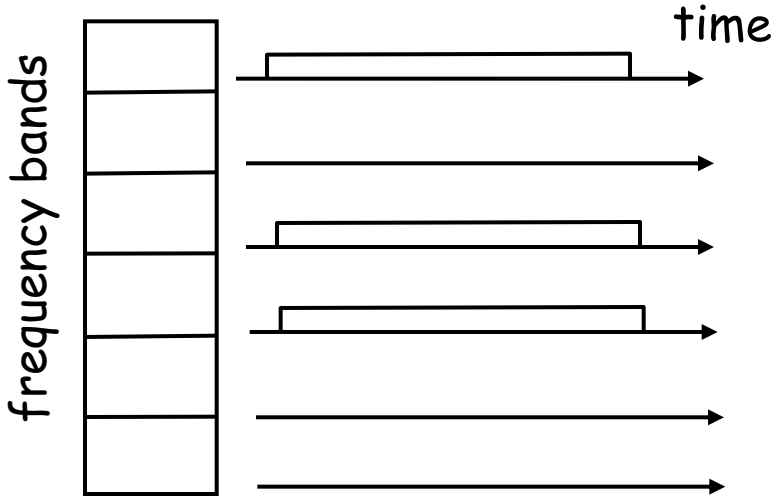
- πρόσβαση στο κανάλι σε «γύρους»
- κάθε σταθμός παίρνει μία σχισμή σταθερού μήκους (μήκος = χρόνος μετάδοσης πακέτου) σε κάθε γύρο
- η μη χρησιμοποιούμενες σχισμές παραμένουν ανενεργές
- παράδειγμα: 6-σταθμών LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, ανενεργές οι σχισμές 2,5,6



MAC πρωτόκολλα κατανομής του καναλιού: FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- το φάσμα του καναλιού χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων
- σε κάθε σταθμό δίνεται συγεκριμένη ζώνη συχνότητας
- ο αχρησιμοποιήτος χρόνος μετάδοσης στις ζώνες συχνοτήτων μένει ανενεργός
- παράδειγμα: 6-σταθμοί LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα pkt, οι ζώνες συχνοτήτων 2,5,6 είναι ανενεργές



Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης (Random Access)

1. Όταν ένας κόμβος έχει πακέτο να στείλει
   - Μεταδίδει στον πλήρη ρυθμό του καναλιού R
   - ***κανένας*** ***εκ των προτέρων συντονισμός*** μεταξύ των κόμβων

Δύο οι περισσότεροι κόμβοι μεταδίδουν ⇨ «σύγκρουση»

το MAC πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης καθορίζει:

- Πως να ανιχνευθούν οι συγκρούσεις
- Πως να ανακάμψει από τις συγκρούσεις (π.χ., μέσω καθυστερημένης αναμετάδοσης)

Παραδείγματα από MAC πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης:

- slotted ALOHA
- ALOHA
- CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

ALOHA με σχισμές (slotted ALOHA)

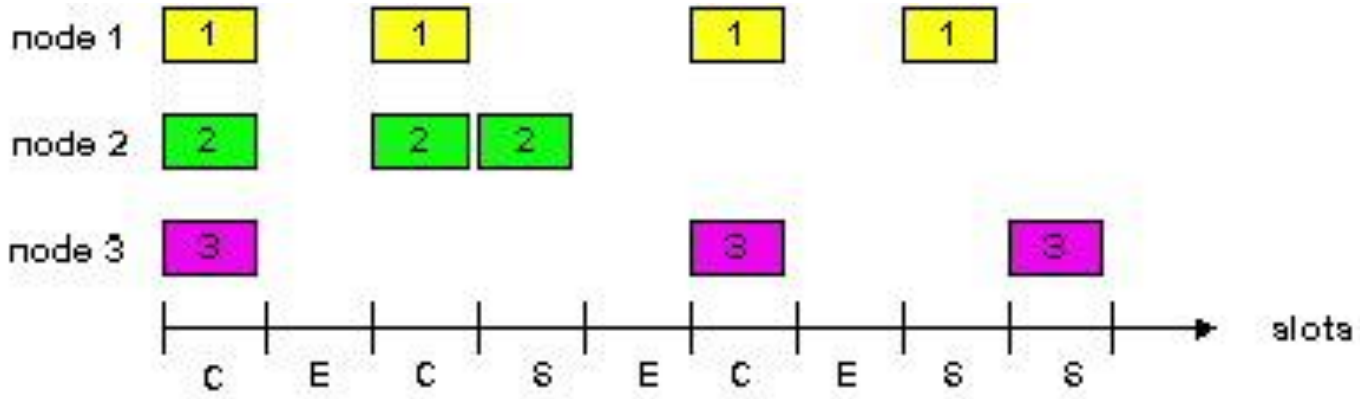
Υποθέσεις

- **όλα τα frames έχουν ίδιο μέγεθος**
- ο χρόνος χωρίζεται σε σχισμές ***ίσου μεγέθους***, τον χρόνο για τη μετάδοση ενός frame
- οι κόμβοι ξεκινούν να μεταδίδουν frames ***μόνο*** **στην αρχή των σχισμών**
- **οι κόμβοι είναι συγχρονισμένοι**
- Εάν 2 ή περισσότεροι κόμβοι μεταδίδουν σε μία σχισμή, όλοι οι κόμβοι ανιχνεύουν την σύγκρουση

Λειτουργία

- Όταν ένας κόμβος παραλαμβάνει ένα νέο frame, το μεταδίδει στην επόμενη σχισμή
- **Αν δεν έγινε σύγκρουση**, ο κόμβος μπορεί να στείλει **νέο frame στην επόμενη σχισμή**
- Σε περίπτωση σύγκρουσης, ο κόμβος ***ξαναμεταδίδει*** το **frame σε *κάθε* επόμενη σχισμή με πιθανότητα *p* έως να πετύχει**

Slotted ALOHA



πλεονεκτήματα

- μοναδικός ενεργός κόμβος μπορεί συνεχώς να μεταδίδει με τον **πλήρη ρυθμό του καναλιού**
- ***αποκεντροποιημένο***: μόνο οι σχισμές στους κόμβους χρειάζεται να είναι συγχρονισμένες
- απλό

Μειονεκτήματα

- **συγκρούσεις ⇨ χάσιμο σχισμών**

👎 ***ανενεργές*** σχισμές

☞ Οι κόμβοι μπορεί να είναι σε θέση να ανιχνεύσουν την σύγκρουση σε **λιγότερο χρόνο από αυτόν που χρειάζεται για να μεταδώσουν το πακέτο**

💣 ***Συγχρονισμός*** ρολογιού

Αποδοτικότητα του Slotted Aloha

σε βάθος χρόνου

Αποδοτικότητα είναι το κλάσμα, **σε βάθος χρόνου,** των **επιτυχημένων σχισμών** όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι, καθένας με πολλά frames να στείλουν

ασυμπτωτική συμπεριφορά

- Υποθέστε ότι υπάρχουν N κόμβοι με **πολλά frames να στείλουν**, και καθένας μεταδίδει σε μία σχισμή με πιθανότητα *p*
- Η πιθανότητα ότι ο κόμβος 1 έχει επιτυχία σε μία σχισμή = $p(1-p)^{N-1}$
- Η πιθανότητα ότι *<u>οποιοσδήποτε</u> κόμβος έχει επιτυχία* = $Np(1-p)^{N-1}$

Για μέγιστη αποδοτικότητα

εκφράζεται ως ***πρόβλημα βελτιστοποίησης***

<u>Βρείτε</u> το p^* το οποίο

<u>μεγιστοποιεί</u> το $Np(1-p)^{N-1}$

- Για μεγάλα N: παίρνουμε το όριο του $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ (όσο το N πάει στο άπειρο) ⇨ 1/e = .37

Στην καλύτερη περίπτωση: το κανάλι χρησιμοποιείται για χρήσιμες μετάδόσεις το 37% του χρόνου!

Slotted ALOHA

- Παρόμοια ανάλυση δείχνει οτι το 37% των slots έμειναν αδειανά

☹ Σκεφτείτε λοιπόν την απογοήτευση ενός network administrator που χρησιμοποιεί ένα 100Mbps slotted ALOHA σύστημα και ενώ το κανάλι έχει τη δυνατότητα να μεταδόσει ένα frame χρησιμοποιώντας όλο το channel rate (100Mbps) σε μεγάλο βάθος χρόνου το ***επιτυχημένο throughput*** του καναλιού είναι λιγότερο από 37Mbps

Καθαρό (unslotted) ALOHA (pure ALOHA)

- Απλούστερο, **καθόλου συγχρονισμός**
- Όταν ένα frame φτάνει:

Άμεση μετάδοση

Αν μία σύγκρουση **ανιχνευτεί** κατά τη διάρκεια μίας μετάδοσης (***ανεπιτυχής μετάδοση)***:

1. **Ολοκλήρωση της μετάδοσης**
2. Αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ανεπιτυχούς μετάδοσης:

   Μετάδοση ξανά του frame με πιθανότητα p

   αλλιώς,

   αναμονή ίση με το χρόνο μετάδοσης ενός frame

2. Μετά από αυτή την αναμονή, ο κόμβος
3. **Μεταδίδει** το frame με πιθανότητα p

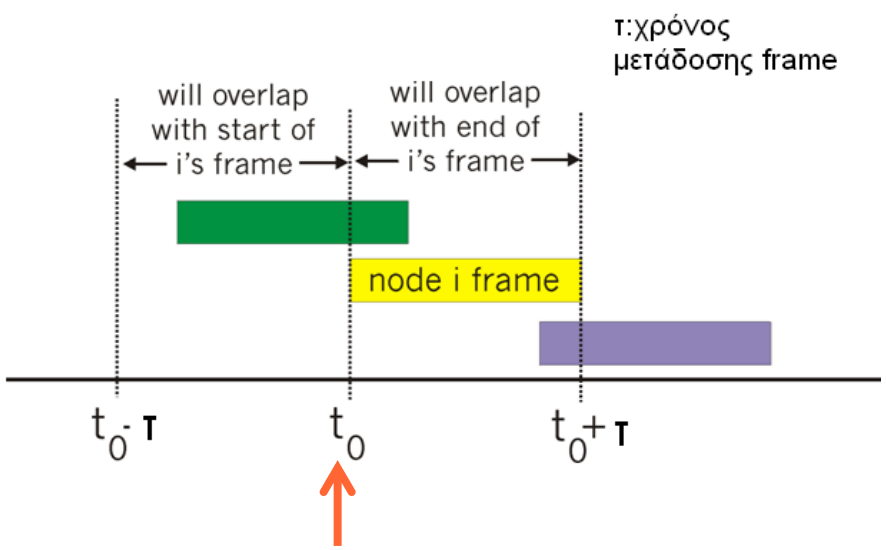
αλλιώς, **παραμένει ανενεργός** ξανά για χρόνο ίσο με το χρόνο μετάδοσης ενός frame

Καθαρό (unslotted) ALOHA (pure ALOHA)

- unslotted Aloha: Απλούστερο, **καθόλου συγχρονισμός**
- Όταν ένα frame φτάνει γίνεται **άμεση μετάδοση**
- Η πιθανότητα σύγκρουσης αυξάνεται:

Το frame που στάλθηκε την στιγμή t_0 συγκρούεται με άλλα frames που στάλθηκαν τα διαστήματα $(t_0-\tau, t_0]$ & $[t_0, t_0+\tau)$

Υπόθεση:
Μονάδα χρόνου τ είναι το frame transmission



Ο κόμβος ξεκινάει τη μετάδοση τη χρονική στιγμή $\mathbf{t_0}$

Αποδοτικότητα του Pure Aloha

Πιθανότητα (“επιτυχία ενός συγκεκριμένου κόμβου”) =

Πιθανότητα(“ο κόμβος να μεταδώσει τη χρονική στιγμή t_0”) *

Πιθανότητα(“κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει τις χρονικές στιγμές $[t_0-\tau, t_0]$ ”) *

Πιθανότητα(“κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει τις χρονικές στιγμές $[t_0, t_0+\tau]$ ”) =

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1} = p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

… Διαλέγοντας το ιδανικό p και αφήνοντας το n -> άπειρο ...

$= 1/(2e) = .18$

Ακόμα χειρότερη !

Ανεπάρκεια του ALOHA

- Τόσο στο slotted όσο και στο pure ALOHA,

η απόφαση ενός κόμβου να μεταδώσει λαμβάνεται ***ανεξάρτητα*** από τους άλλους κόμβους που είναι προσαρτημένοι στο κανάλι μετάδοσης

- Ένας κόμβος δεν δίνει καμία σημασία στο εάν ένας άλλος κόμβος τυχαίνει να μεταδίδει όταν ξεκινάει να μεταδίδει

ούτε σταματάει να μεταδίδει εάν ένας άλλος κόμβος ξεκινήσει να δημιουργεί παρεμβολές στην μετάδοσή του

Σημαντικοί κανόνες στη μετάδοση πλαισίων στην αναμετάδοση

- **Ανίχνευση του φέροντος (Carrier sensing)**

  Ένας **κόμβος "ακούει" το κανάλι πριν στείλει**
  - Εάν υπάρχει μετάδοση στο κανάλι:

    περίμενε για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα ("backs off") και μετά άκου ξανά το κανάλι
  - Εάν δεν ακούσεις κίνηση, τότε ξεκίνα τη μετάδοση του πλαισίου

- **Εντοπισμός σύγκρουσης (Collision detection)** ("Εάν κάποιος άλλος αρχίζει να μιλάει την ίδια ώρα, σταμάτα να μιλάς")
  - Ένας **κόμβος που μεταδίδει ακούει το κανάλι καθώς μεταδίδει**
  - Εάν εντοπίσει ότι κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει ένα πλαίσιο που προκαλεί παρεμβολές:

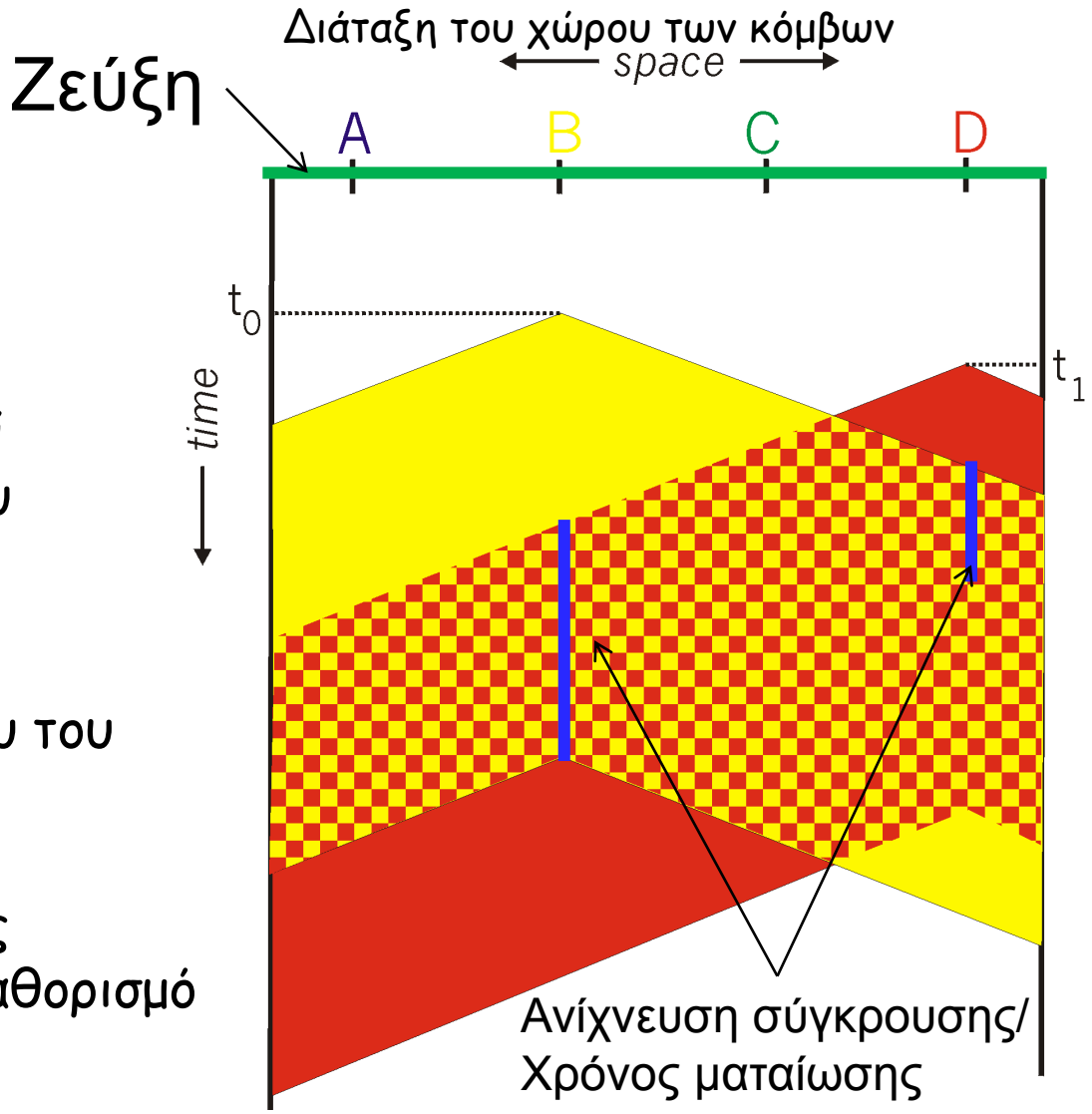
    σταματάει να μεταδίδει και χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο για να προσδιορίσει πότε θα προσπαθήσει ξανά να μεταδόσει

Carrier Sense Multiple Access: Συγκρούσεις

συγκρούσεις μπορούν ακόμα να συμβούν:
η καθυστέρηση διάδοσης σημαίνει ότι δύο κόμβοι μπορεί να μην ακούν την μετάδοση του άλλου

σύγκρουση:
ο χρόνος μετάδοσης ολόκληρου του πακέτου σπαταλήθηκε

σημείωση:
ο ρόλος της απόστασης και της καθυστέρησης διάδοσης στο καθορισμό της πιθανότητας σύγκρουσης



Εντοπισμός σύγκρουσης

("εάν κάποιος άλλος αρχίσει να μιλάει την ίδια ώρα, σταμάτα να μιλάς")

- Ένας κόμβος που μεταδίδει ακούει το κανάλι καθώς μεταδίδει
- Εάν εντοπίσει ότι κάποιος άλλος adapter μεταδίδει ένα πλαίσιο που προκαλεί παρεμβολές:

  σταματάει να μεταδίδει και χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο για να προσδιορίσει πότε θα προσπαθήσει ξανά να μεταδώσει

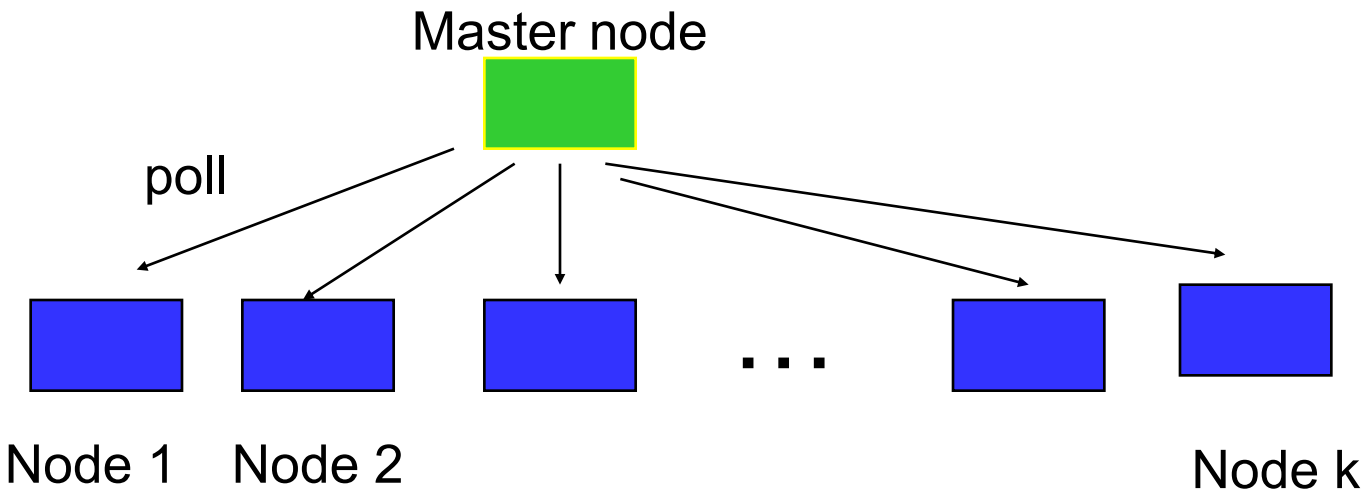
Το Ethernet χρησιμοποιεί τον εντοπισμό σύγκρουσης!

Έλεγχος πολλαπλής πρόσβασης (συνέχεια)

Παίρνοντας σειρά (taking turns) – Polling-based μηχανισμοί

Υπάρχει ένας master node που ρωτά τον κάθε άλλο κόμβο εάν έχει να στείλει δεδομένα (poll)

- Του στέλνει μήνυμα λέγοντας του ότι μπορεί να μεταδώσει μέχρι ένα μέγιστο αριθμό frames
- Το κάνει αυτό διαδοχικά για τον κάθε ένα κόμβο (“round-robin”)

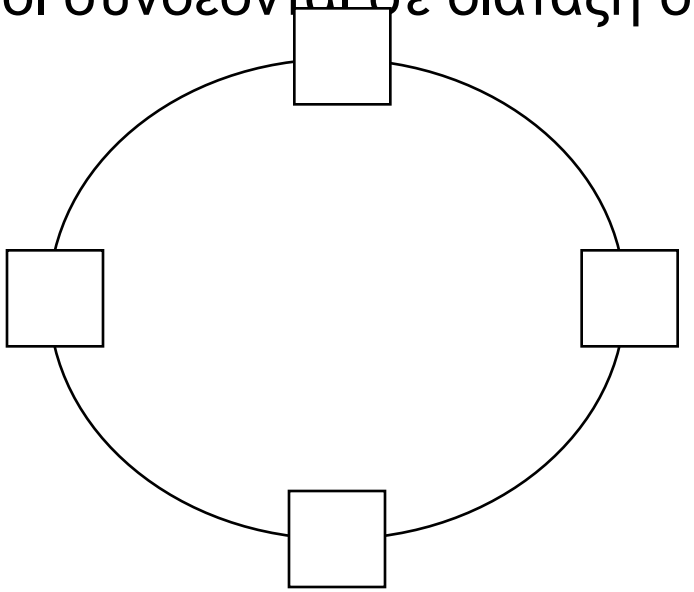


Έλεγχος πολλαπλής πρόσβασης (συνέχεια)

Έλεγχος πρόσβασης με **κουπόνι**

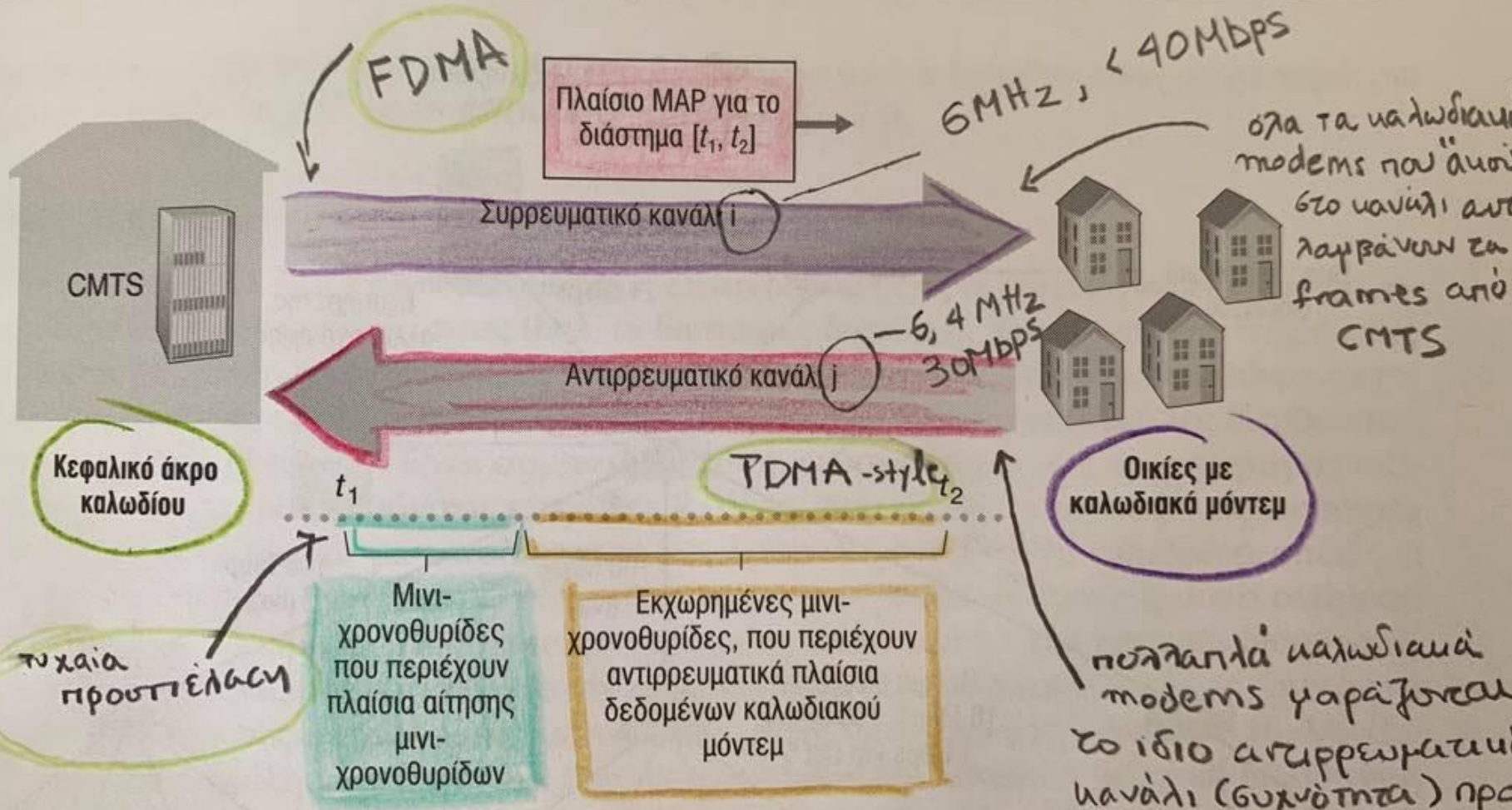
- ένα κουπόνι μεταδίδεται **κυκλικά μεταξύ των κόμβων**
- ο κόμβος που διαθέτει το κουπόνι μπορεί να μεταδώσει
- θα πρέπει να ελέγχεται αν το κουπόνι έχει χαθεί, και τυχόν άδικη συμπεριφορά κάποιου κόμβου

- Δακτύλιος: οι κόμβοι συνδέονται σε διάταξη δακτυλίου



Έλεγχος πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access Control)

- **TDM, FDM**: δεν είναι αποδοτικό
- **Ethernet**: βασίζεται στο **Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect (CSMA/CD)**
  - ***περίμενε*** μέχρι το κανάλι να είναι κενό, τότε στείλε πακέτο
  - ***σταμάτησε*** τη μετάδοση αν συμβεί σύγκρουση
  - **περίμενε *τυχαίο χρόνο* μετά την σύγκρουση**
- **ALOHA**: λιγότερο "ευγενικό" από το Ethernet
  - **μετέδωσε *όταν ένα πακέτο είναι έτοιμο***
  - **περίμενε *τυχαίο χρόνο* μετά την σύγκρουση**



Εικόνα 5.14 ♦ Συρρευματικά και αντιρρευματικά κανάλια ανάμεσα στο CMTS και στα καλωδιακά μόντεμ.

Ethernet: Αναξιόπιστο, υπηρεσία χωρίς-σύνδεση

- Χωρίς-σύνδεση

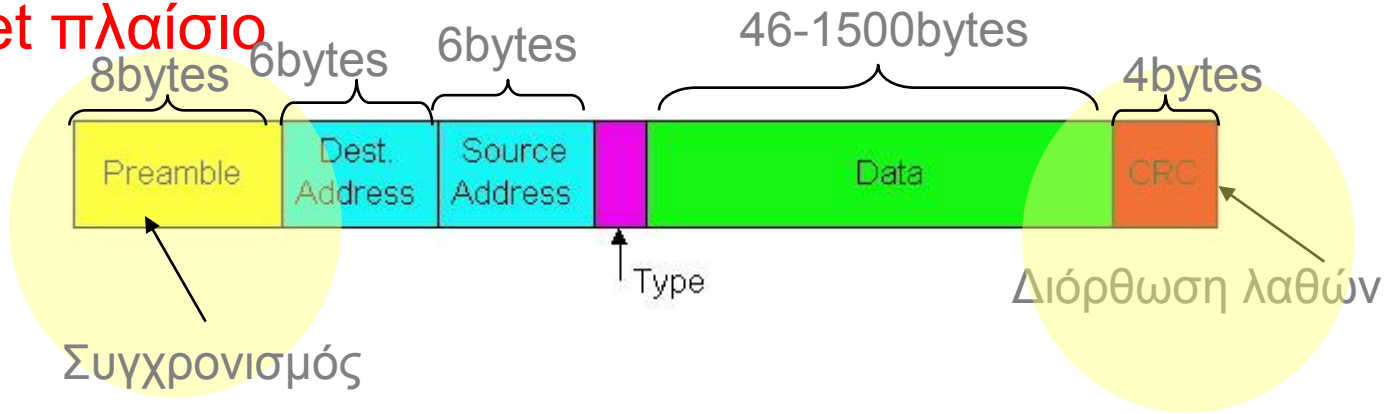
  Δεν γίνεται χειραψία μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη
- Αναξιόπιστο

Ο παραλήπτης ***δεν*** στέλνει ACK**s** ή **NACKs** στον αποστόλέα

  - η ροή datagrams που στέλνονται στο επίπεδο δικτύου μπορεί να έχει απώλειες πακέτων
  - Οι απώλειες πακέτων μπορούν να αντιμετωπιστούν, αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί TCP
  - αλλιώς, η εφαρμογή θα δει τις «δει»

Δομή πλαισίου Ethernet

Ο αποστέλλων adapter τοποθετεί το **IP δεδομενόγραμμα** (ή πακέτο κάποιου άλλου πρωτοκόλλου Επιπέδου Δικτύου) στο Ethernet πλαίσιο



Preamble:

- 7 bytes με το μοτίβο *10101010* ακολουθούμενο από ένα 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**

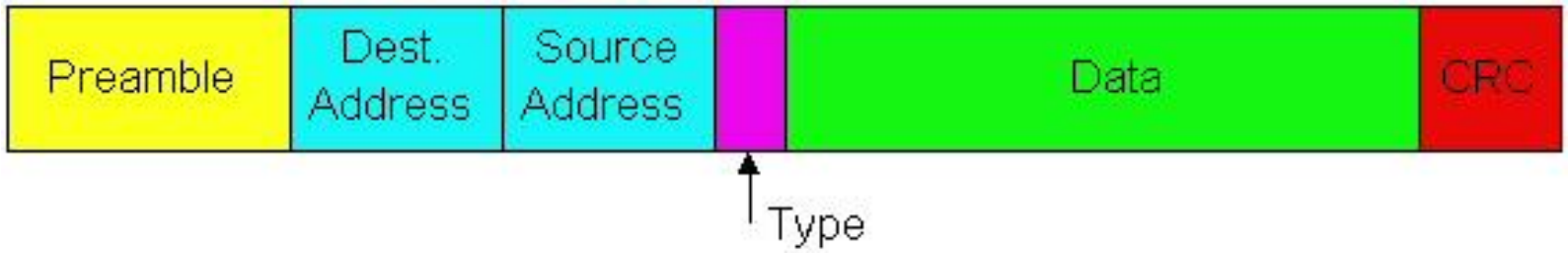
Δομή πλαισίου Ethernet (περισσότερα)

Addresses: 6 bytes

- Εάν ο adapter λάβει ένα πλαίσιο με μία διεύθυνση προορισμού που να ταιριάζει, ή με μια διεύθυνση εκπομπής (broadcast) (πχ ARP πακέτο), περνάει δεδομένα του πλαισίου στο πρωτόκολλο Επιπέδου Δικτύου
- Αλλιώς, ο adapter πετάει το πλαίσιο

Type: προσδιορίζει το πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου (κυρίως IP αλλά και άλλα μπορούν να υποστηρίζονται όπως Novell IPX και AppleTalk)

CRC: ελέγχεται στον παραλήπτη, αν εντοπιστεί κάποιο λάθος, το πλαίσιο απλά απορρίπτεται



Ethernet CSMA/CD αλγόριθμος

1. Ο adapter **λαμβάνει το δεδομενόγραμμα** από το επίπεδο δικτύου & **δημιουργεί ένα πλαίσιο (frame)**

2A. Αν ο adapter ανιχνεύσει απουσία κίνησης στο κανάλι, **αρχίζει να μεταδίδει το πλαίσιο**

2B. Αν ανιχνεύσει ότι το κανάλι είναι απασχολημένο, **περιμένει μέχρι να γίνει διαθέσιμο** & μετά **μεταδίδει**

3A. Αν ο adapter μεταδίδει ένα ολόκληρο πλαίσιο χωρίς να εντοπίσει μια άλλη μετάδοση,

☺ **ο adapter τέλειωσε με το πλαίσιο !**

3B. Αν ο adapter εντοπίσει μια άλλη μετάδοση καθώς μεταδίδει,

☹ **εγκαταλείπει & στέλνει ένα σήμα συμφόρησης**

4. Αφού εγκαταλείψει, ο adapter μπαίνει στον **εκθετικό backoff**:

μετά την m-ιοστή σύκρουση, επιλέγει ένα **K τυχαία από {0,1, 2,…, 2^m-1}**

⌛ Ο κόμβος **περιμένει K * 512(time interval) bit-φορές** και **επιστρέφει στο Βήμα 2.**

Αποδοτικότητα του CSMA/CD

T_{prop} = μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 κόμβων σε ένα LAN

t_{trans} = χρόνος για να μεταδοθεί ένα πλαίσιο με μέγιστο μέγεθος

Αποδοτικότητα είναι ο long-run λόγος του χρόνου κατά τον οποίο τα πλαίσια μεταδίδονται στο κανάλι χωρίς συγκρούσεις υπό συνθήκες κορεσμού

$$\text{αποδοτικότητα} = \frac{1}{1 + 5t_{prop} / t_{trans}}$$

- Η αποδοτικότητα πάει προς το 1 όταν το t_{prop} πηγαίνει στο 0
- Πηγαίνει στο 1 όταν t_{trans} πηγαίνει στο άπειρο
- Πολύ καλύτερο από το ALOHA, αλλά ακόμα αποκεντρωμένο, απλό και φτηνό

Σκεφτείτε πως αλλάζει η αποδοτικότητα ως προς το propagation & transmission delay

Ethernet's CSMA/CD (περισσότερα)

Σήμα συμφόρησης (Jam Signal): βεβαιώσου ότι όλοι οι άλλοι μεταδότες είναι ενήμεροι για την σύγκρουση, 48 bits

Χρόνος Bit (Bit time): .1 microsec για 10 Mbps Ethernet,
για K=1023, χρονος αναμονής είναι περίπου 50 msec

Εκθετικός Backoff:

- *Στόχος*: προσάρμοσε τις προσπάθειες αναμετάδοσης στον εκτιμώμενο τρέχοντα φόρτο
  - βαρύς φόρτος: ο τυχαίος χρόνος αναμονής θα είναι μεγαλύτερος
- πρώτη σύγκρουση: διάλεξε K από {0,1}, η καθυστέρηση είναι K· 512 bit φορές μετάδοσης
- μετά τη δεύτερη σύγκρουση: διάλεξε K από {0,1,2,3}…
- μετά από δέκα συγκρούσεις, διάλεξε K από {0,1,2,3,4,…,1023}

Διαδικασία εκθετικού backoff

- Μικρός # adapters με “παράλληλες» μεταδόσεις ⇨ στοχαστικά πιθανότητα επιλογής μικρού χρονικού διαστήματος backoff αναμονής
- Μεγάλος # adapters με παράλληλες ⇨ στοχαστικά πιθανότητα επιλογής μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος backoff αναμονής

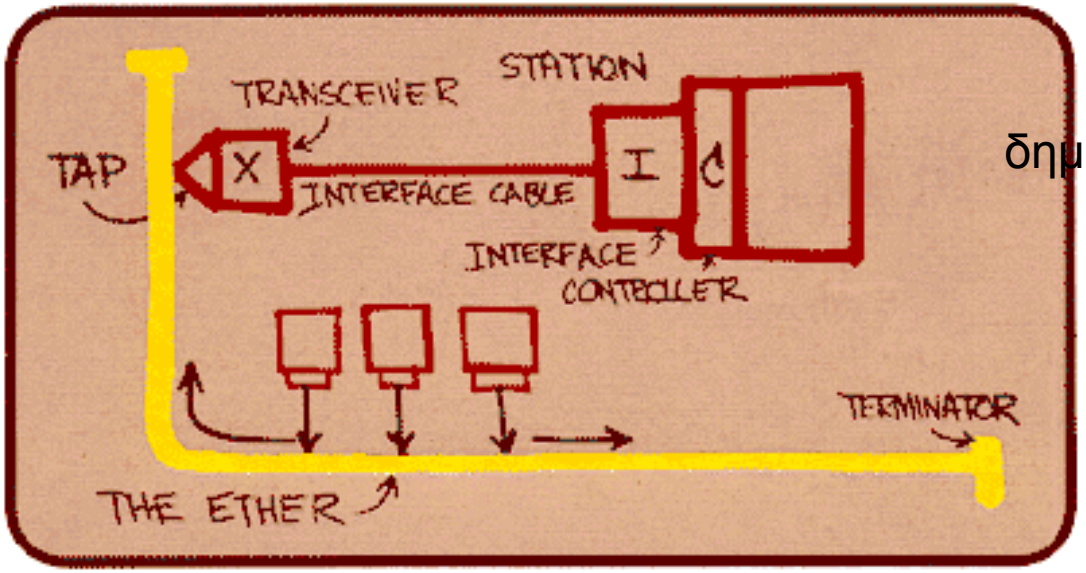
☞ Όταν ο adapter αντιμετωπίζει την πρώτη σύγκρουση, δεν έχει ιδέα πόσοι κόμβοι αναμειγνύονται με την σύγκρουση

- Αυξάνοντας το μέγεθος του set μετά από κάθε σύγκρουση με τον παραπάνω τρόπο, ο adapter **αυξάνει την πιθανότητα** να επιλέξει ένα μεγαλύτερο K
  - ☝ Ο adapter προσαρμόζεται πιο ομαλά ….

Ethernet- Τεχνολογίες

"κυρίαρχη" ενσύρματη LAN τεχνολογία:

- φτηνά $20 για 100Mbps!
- πρώτη LAN τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε ευρέως
- Απλούστερο, φτηνότερο από τα token LANs και ATM
- Ταχύτητες: 10 Mbps – 10 Gbps
- Μπορεί να τρέξει πάνω από **ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινου καλωδίου ή οπτικές ίνες**

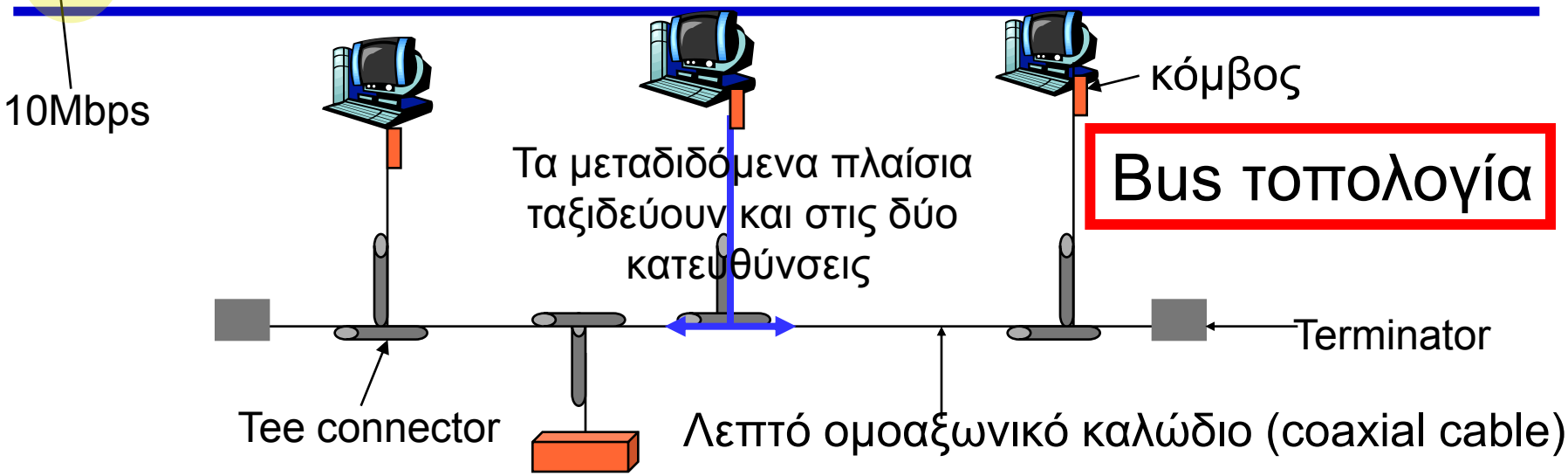


δημιουργός του CSMA/CD & Ethernet LAN

Metcalfe's Ethernet sketch

200m: μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων χωρίς αναμεταδότες ανάμεσα

10Base2 Ethernet



Οι κόμβοι συνδέονται μέσω των adapters τους γραμμικά

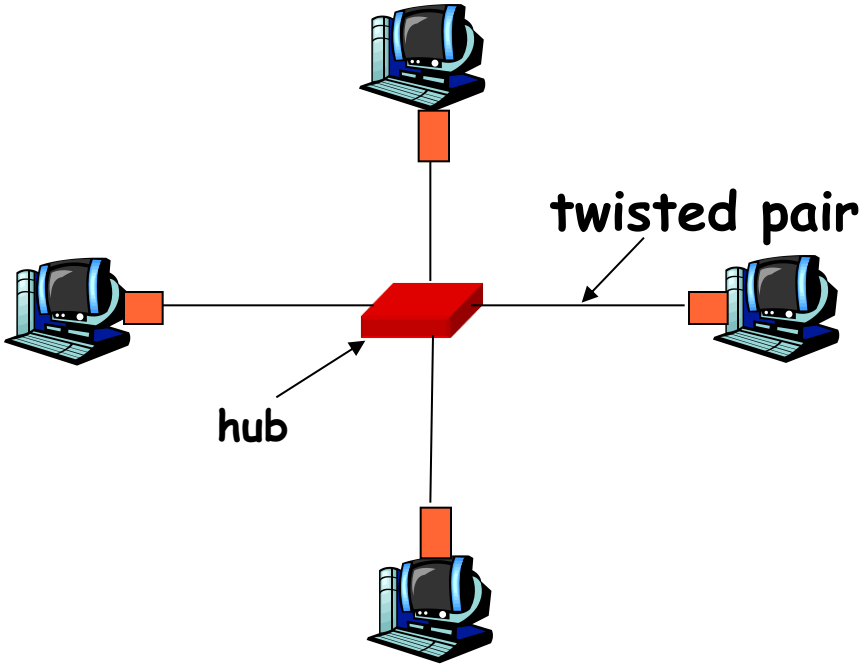
Όταν ένα πλαίσιο περνά από ένα tee connector:
ένα αντίγραφο του προωθείται προς τη μία κατεύθυνση
κι ένα άλλο προς την άλλη

Όπως προχωρούν προς τον terminator "αφήνουν" ένα αντίγραφο του πλαισίου σε κάθε adapter που συναντούν

Στην πραγματικότητα: το κάθε bit που περνά μπροστά από ένα adapter η ενέργεια του bit "διαχέεται" και στον adapter
Όταν φτάσει στον terminator η ενέργεια απορροφάται ...

10BaseT και 100BaseT

- Ρυθμός 10/100 Mbps
- 100BaseT λέγεται και “fast ethernet” (υψηλής ποιότητας, συνεστραμμένα ζεύγη από καλώδια με πολλές στροφές)
- “T” υποδηλώνει *Twisted Pair*
- Οι κόμβοι συνδέονται με ένα : “τοπολογία Αστεριού”; 100m μέγιστη απόσταση μεταξύ κόμβων και hub

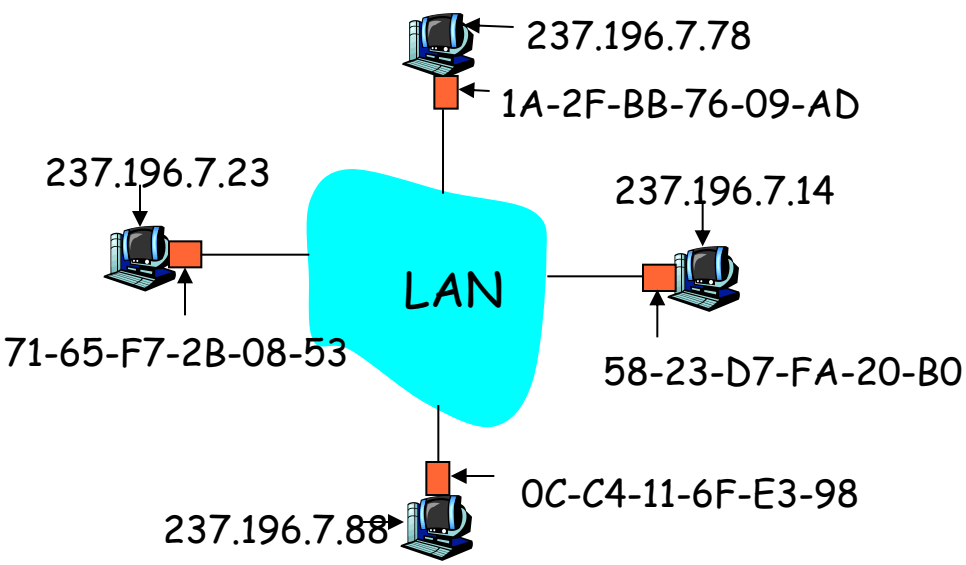


Gigabit Ethernet

- **Τοπολογία Αστεριού**
- Προσφέρει δεδομένα ρυθμού 1Gbps
- Λειτουργεί πάνω από **οπτική ίνα**
- Συμβατό με 10BaseT &100BaseT, επιτρέποντας εύκολη ενσωμάτωση με την υπάρχουσα εγκατεστημένη βάση του εξοπλισμού Ethernet
- Επιτρέπει σημείο-σε-σημείο (point-to-point) (χρησιμοποιεί switches) και **διαμοιραζόμενα κανάλια εκπομπής** (χρησιμοποιεί hubs)
- CSMA/CD για διαμοιραζόμενα κανάλια εκπομπής
- (για αποδεκτή αποδοτικότητα η μέγιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων πρέπει να περιοριστεί)
- Full duplex λειτουργία και στις δύο κατευθύνσεις για κανάλια σημείο-σε-σημείο

ARP: Address Resolution Protocol

Ερώτηση: πώς θα καθορίσουμε την MAC διεύθυνση του B ξέροντας την IP διεύθυνσή του?

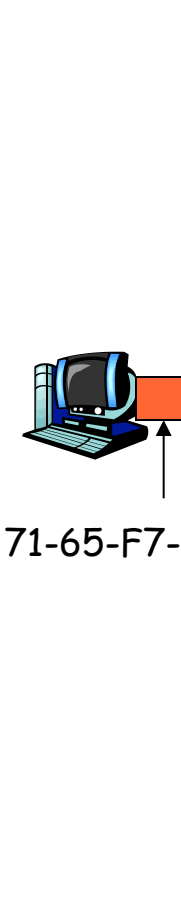


- **Κάθε IP κόμβος (Host, Router) στο LAN** έχει έναν **ARP** πίνακα
- **ARP Πίνακας**: **Αντιστοιχίσεις IP/MAC διευθύνσεων** για κάποιους LAN κόμβους
- < IP διεύθυνση, MAC διεύθυνση,TTL>
  - **TTL (Time To Live):**

  ο χρόνος μετά από τον οποίο η αντιστοίχηση μιας διεύθυνσης θα ξεχαστεί (τυπικά 20 λεπτά)

LAN Διευθύνσεις και ARP

Κάθε κόμβος στο LAN έχει μοναδική LAN διεύθυνση



ARP: address resolution protocol

Το ARP επιλύει μια IP διεύθυνση σε μία LAN διεύθυνση

Αλλά μόνο για τους κόμβους στο ίδιο LAN

LAN Διεύθυνση

- Η κατανομή (allocation) των MAC διευθύνσεων διαχειρίζεται από IEEE
- Ο κατασκευαστής αγοράζει ένα μέρος από τον χώρο των MAC διευθύνσεων (για να διασφαλίσει την μοναδικότητα)
- Αντιστοιχία:

  (a) MAC διεύθυνση: αριθμός ταυτότητας

  (b) IP διεύθυνση: αριθμός του σταθερού τηλεφώνου

- **MAC flat διεύθυνση**
  - ☞ μπορεί να μεταφέρει κάρτες LAN από ένα LAN σε ένα άλλο χωρίς να αλλάζει την MAC διεύθυνση
- **IP ιεραρχική διεύθυνση ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ φορητή**
  - ☞ εξαρτάται από το IP υποδίκτυο (subnet) στο οποίο βρίσκεται ο κόμβος

ARP πρωτόκολλο: Ίδιο LAN (δίκτυο)

- *Ο Α θέλει να στείλει ένα δεδομενόγραμμα στον Β*, & η διεύθυνση του Β δεν είναι στον ARP πίνακα του Α
- *Ο Α* **εκπέμπει** ένα πακέτο ερωτήματος (query) ARP, που περιέχει την IP διεύθυνση του Β

Όλοι οι κόμβοι σε αυτό το LAN λαμβάνουν το ARP packet

- *Ο Β* λαμβάνει το ARP πακέτο απαντάει στον *Α* με την MAC διεύθυνσή του
  - το πλαίσιο στέλνεται στην MAC διεύθυνση του Α (unicast)

- *Ο Α σώζει (caches)* το ζεύγος διευθύνσεων IP-σε-MAC στον ARP πίνακά του μέχρι η πληροφορία να παλιώσει (**times out**)

  soft state: πληροφορία που λήγει (φεύγει) αν δεν ανανεωθεί

- Το ARP είναι "**plug-and-play**":

  οι κόμβοι δημιουργούν τους ARP πίνακές τους **χωρίς την παρέμβαση του διαχειριστή του δικτύου**

Μια άλλη αντιστοιχία μεταξύ Επιπέδου Δικτύου & MAC

- Το DNS είναι αντίστοιχο με το ARP
- Το **DNS** επιλύει ***ονόματα κόμβων (hostnames) σε IP διευθύνσεις***

☞ Όμως, το DNS επιλύει ονόματα κόμβων για κόμβους ***οπουδήποτε*** **στο Internet**

ενώ

το **ARP** επιλύει IP διευθύνσεις **μόνο για κόμβους στο ίδιο LAN**

MAC Διευθύνσεις

Ή LAN ή φυσικές ή Ethernet διευθύνσεις
(άλλα ονόματα με τα οποία θα τις συναντήσετε)

☞ χρησιμοποιείται για να βάζει πλαίσια από ένα interface σε ένα άλλο interface φυσικά συνεδεμένο (ίδιο δίκτυο)

- 48-bit MAC διεύθυνση (για τα περισσότερα LANs) τοποθετημενη μέσα στη ROM του adapter

✓ 32-bit IP διεύθυνση:

- *διεύθυνση επιπέδου δικτύου*
- χρησιμοποιείται για να βάζει δεδομενογράμματα στο IP υποδίκτυο του προορισμού

Γιατί κάποια επίπεδα έχουν την δικιά τους διεύθυνση?

- ***Ονόματα κόμβων*** για το **επίπεδο εφαρμογής**
- ***IP διευθύνσεις*** για το **επίπεδο δικτύου**
- ***MAC διευθύνσεις*** για το **MAC επίπεδο**

Αν διευθύνσεις επιπέδου δικτύου χρησιμοποιόντουσαν από adapters ⇨ η διεύθυνση επιπέδου δικτύου θα έπρεπε να αποθηκευθεί στην RAM του adapter

👎 Ξαναρυθμίζονται κάθε φορά που η συσκευή μετακινείται

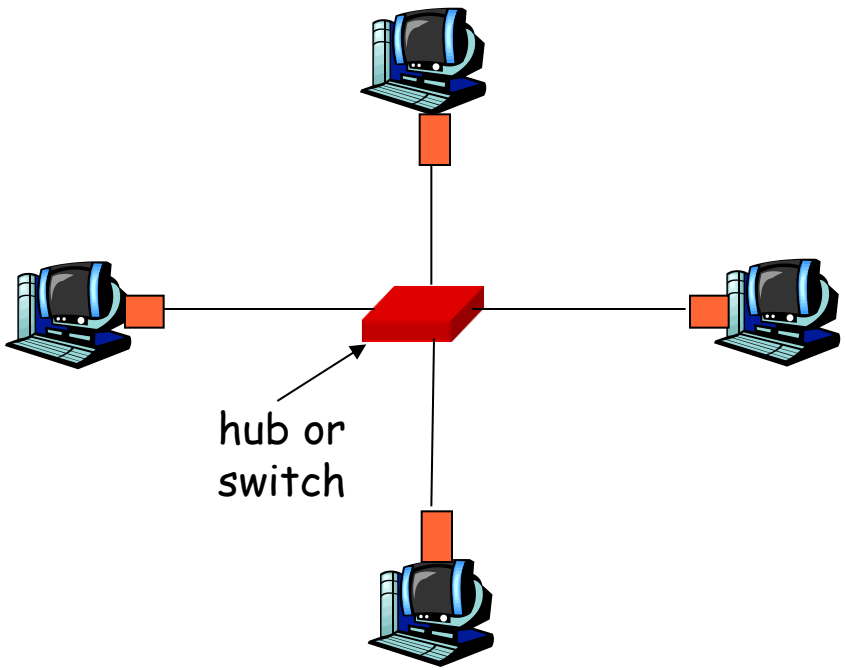
☹ Οι adapters δεν θα υποστήριζαν εύκολα διαφορετικά πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου …

Αν δεν υπήρχε **καμία διεύθυνση** στους adapters & έπρεπε ο καθένας να στείλει τα δεδομένα στον κόμβο, το οποίο θα δημιουργούσε

περιττές διακοπές (interruptions) για κάθε πλαίσιο!

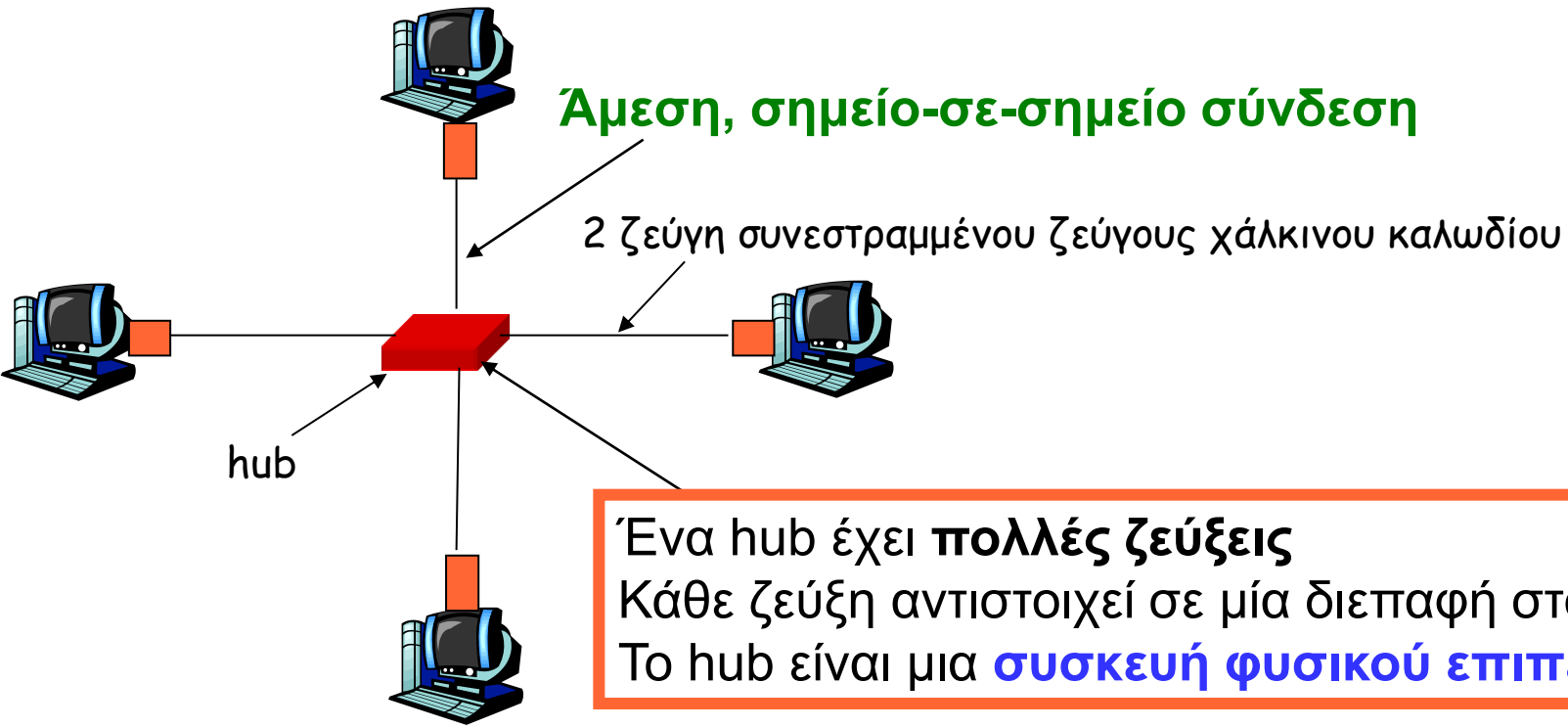
Τοπολογία Αστεριού (Star topology)

- Η τοπολογία του Διαύλου (Bus topology) ήταν δημοφιλής στα μέσα των ΄90s
- Πιο δημοφιλής τώρα είναι η τοπολογία αστεριού (star topology)
- Επιλογές σύνδεσης: **hub** ή **switch**



Hubs

- Απλούστερος τρόπος να συνδέσουμε LANs



Ένα hub έχει **πολλές ζεύξεις**
Κάθε ζεύξη αντιστοιχεί σε μία διεπαφή στο hub
Το hub είναι μια **συσκευή φυσικού επιπέδου**

Hubs

☞ Τα Hubs είναι **συσκευές φυσικού επιπέδου**: “χειρίζονται” bits και όχι frames

Είναι **repeaters**:

- Όταν ένα bit έρχεται από μία ζεύξη, το hub το **εκπέμπει** σε **όλες τις ζεύξεις**
- Παρέχουν και πρόσθετη λειτουργικότητα διαχείρισης δικτύου

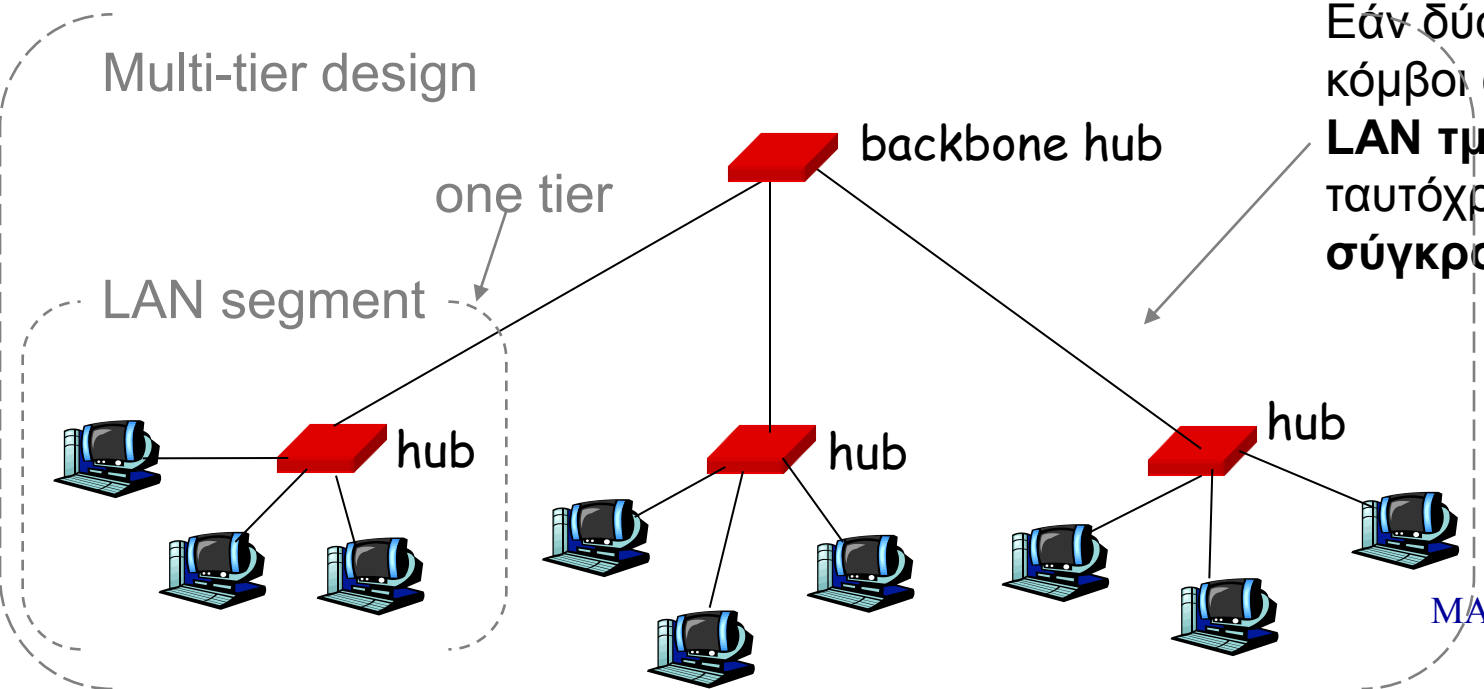
Λαμβάνει bits από μία ζεύξη και απλά εκπέμπει αυτά τα bits προς όλες τις άλλες ζεύξεις

- Στον ίδιο ρυθμό
- **Χωρίς buffering των πλαισίων**
- **Χωρίς CSMA/CD στο hub** (τα bits τα προωθεί δίχως να ακούσει το κανάλι)

οι adapters εντοπίζουν συγκρούσεις

Διασύνδεση με hubs

- Κάθε τμήμα ενός LAN αποτελείται από υπολογιστές υπηρεσίας, που συνδέονται με ένα hub.
- Τα επιμέρους τμήματα του LAN συνδέονται μεταξύ τους και αυτά με ένα hub(backbone hub)(σχεδίαση hub πολλαπλών βαθμίδων)
- **Επεκτείνει την μέγιστη απόσταση** μεταξύ κόμβων
- Αλλά ξεχωριστοί τμηματικοί τομείς συγκρούσεων (collision domains) γίνονται ένας μεγάλος τομέας συγκρούσεων



Εάν δύο ή περισσότεροι κόμβοι από τα παρακάτω **LAN τμήματα** μεταδώσουν ταυτόχρονα, θα έχουμε **σύγκρουση!!!!**

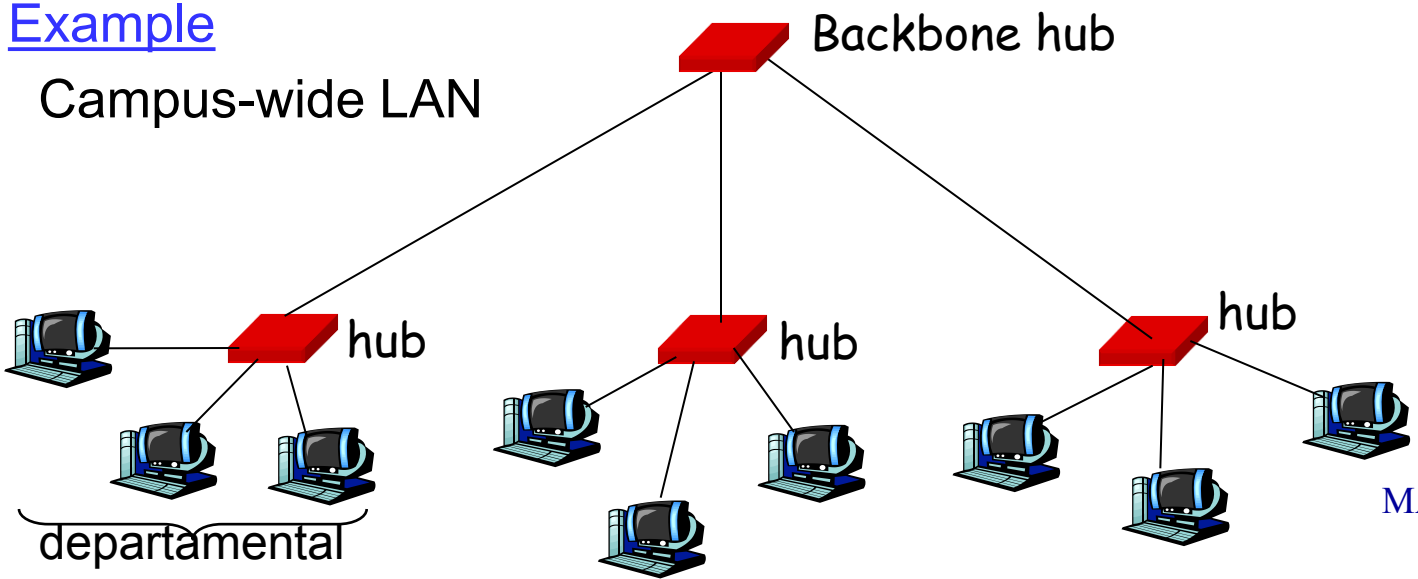
Διασύνδεση με hubs (πλεονεκτήματα)

- **Επεκτείνει** το LAN
- Προσφέρει **ευγενική υποβάθμιση (graceful degradation)**:

Εάν ένα LAN τμήμα (που έχει ένα hub) δεν δουλεύει σωστά, το backbone hub θα το ανιχνεύσει & θα αποσυνδέσει το hub αυτό από το υπόλοιπο LAN. Τα άλλα hubs που είναι συνδεμένα με αυτό το backbone hub **συνεχίζουν ομαλά τη λειτουργία τους**

Example

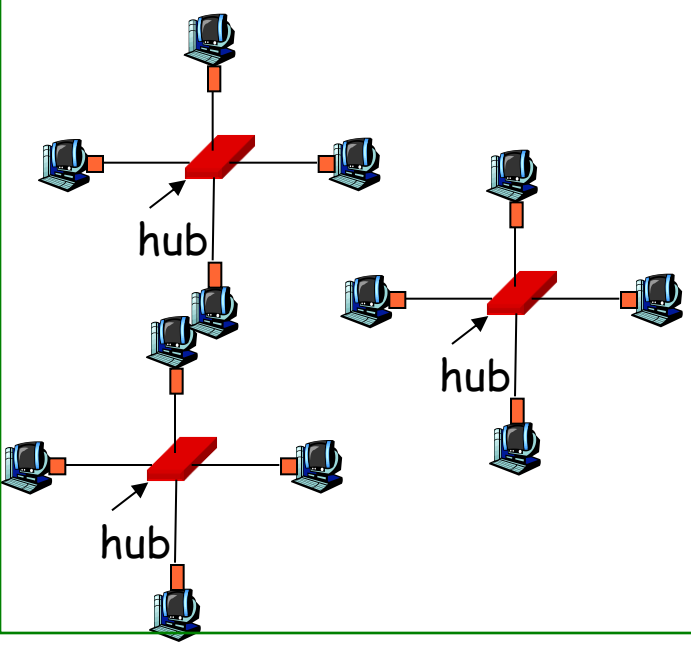
Campus-wide LAN



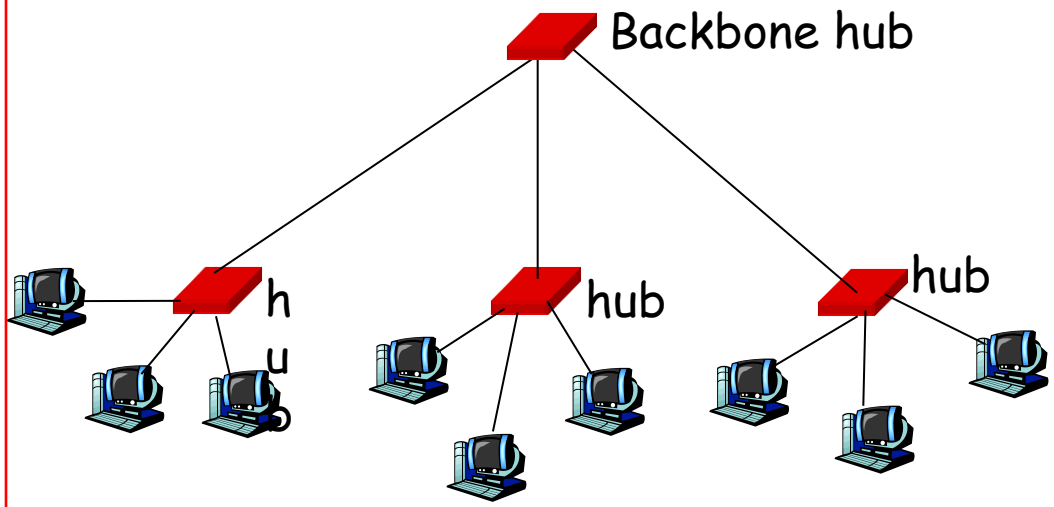
Διασύνδεση με hubs (Μειονεκτήματα)

Οι συγκρούσεις σε ένα LAN τμήμα (segment) **θα επηρεάσουν** την απόδοση των άλλων LAN τμημάτων (segments) που είναι συνδεμένα με το ίδιο backbone hub

Μέγιστο συνολικό throughput 30Mbps



Μέγιστο συνολικό throughput 10Mbps



εάν το καθένα LAN segment είναι 10Mbps

Διασύνδεση με hubs - **Μειονεκτήματα**

Το κάθε LAN segment πρέπει να είναι της **ίδιας τεχνολογίας** & **ρυθμού με τα άλλα hubs** για να μπορούν να συνδεθούν σε ένα backbone hub

π.χ. 10BaseT και 100BaseT(διαφορετικές τεχνολογίες)

Η κάθε Ethernet τεχνολογία (πχ 10Base2, 10BaseT, 100BaseT) περιορίζει τα παρακάτω:

- Μέγιστο **αριθμό κόμβων σε ένα collision domain**
- Μέγιστη **απόσταση δύο κόμβων σε ένα collision domain**
- Μέγιστο **αριθμό tiers σε ένα multi-tier design**

=>Περιορισμός στον **συνολικό αριθμό υπολογιστών υπηρεσίας**, που συνδέονται σε ένα LAN πολλαπλών βαθμίδων και **γεωγραφικής εμβέλειας** του LAN πολλαπλών βαθμίδων

Bridges (or layer-2 switches)

- **Layer-2** (MAC επιπέδου) συσκευή που
  1. **Εξετάζει την MAC διεύθυνση προορισμού του πλαισίου,** και
  2. **Προσπαθεί να προωθήσει το πλαίσιο στη ζεύξη που οδηγεί στον προορισμό**

☞ **Όχι σε όλες τις ζεύξεις** (όπως το hub)

- Επιτρέπει ***διατμηματική*** επικοινωνία **διατηρώντας** ***απομονωμένους τομείς συγκρούσεων*** **(isolated collision domains)** για κάθε τμήμα

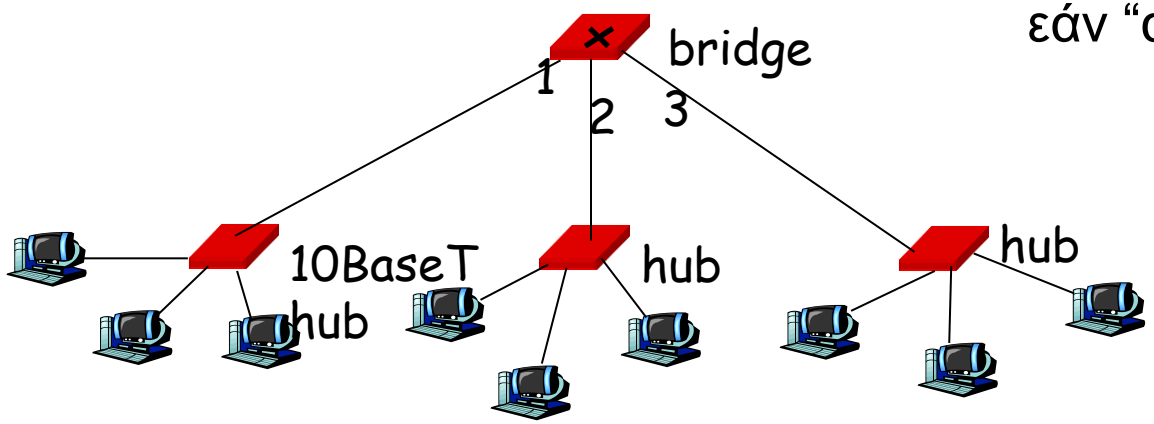
☞ Μπορεί να **διασυνδέει διαφορετικές LAN τεχνολογίες**, περιλαμβάνοντας το 10Mbps, 100Mbps Ethernet

- **Κανένα όριο στο πόσο μεγάλο ένα LAN μπορεί να είναι,** όταν τα bridges χρησιμοποιούνται για να διασυνδέουν LAN τμήματα

🌍 είναι δυνατό να χτιστεί ένα LAN που γεφυρώνει όλη την Γη χρησιμοποιώντας bridges (θεωρητικά)

Γέφυρα (bridge)

Οι γέφυρες ***εφαρμόζουν CSMA/CD*** εάν "ακούσουν" transmission **δεν** μεταδίδουν Επίσης μπαίνουν σε ***exponential backoff*** όταν διαπιστώσουν σύγκρουση ενώ μεταδίδουν



Δύο σημαντικές λειτουργίες:

- **Filtering**

Προσδιορίζει αν ένα πλαίσιο πρέπει να ***προωθηθεί σε ένα άλλο interface*** ή απλά ***να απορριφθεί***

- **Forwarding**

Προσδιορίζει τα interface(s) στα οποία ένα πλαίσιο πρέπει να κατευθυνθεί & κατευθύνει αυτό το πλαίσιο σε αυτό το interface

Για τις λειτουργίες filtering & forwarding οι γέφυρες χρησιμοποιούν τη MAC διεύθυνση προορισμού

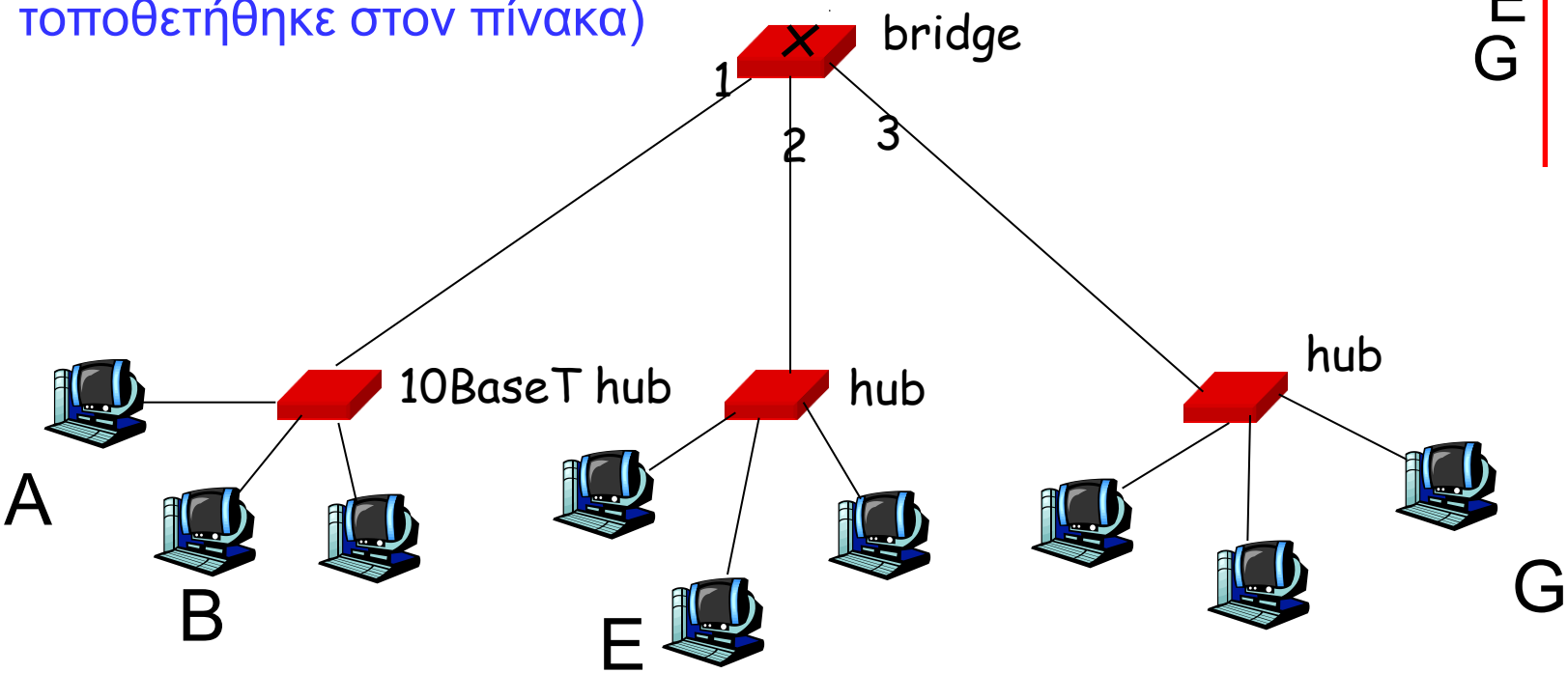
Γέφυρα

Το φιλτράρισμα (filtering) και η προώθηση (forwarding) γίνονται με ένα **πίνακα γέφυρας**

Περιέχει καταχωρήσεις για:

- address (διεύθυνση LAN)
- interface (διασύνδεση γέφυρας που οδηγεί στον κόμβο)
- Ώρα (χρόνος που η καταχώρηση για τον κόμβο τοποθετήθηκε στον πίνακα)

address	interface
A	1
B	1
E	2
G	3



Η ιδιότητα του **self-learning της γέφυρας**

Κάθε πίνακας της γέφυρας κατασκευάζεται ***αυτόματα, δυναμικά*** **και** ***αυτόνομα***,
χωρίς καμία επέμβαση από τον network administrator ή
κάποιο πρωτόκολλο παραμετροποίησης/ρύθμισης (configuration)!

- Ο πίνακας της γέφυρας είναι **αρχικά κενός**
- Όταν ένα πλαίσιο καταφθάνει σε μία από τις διασυνδέσεις & η διεύθυνση προορισμού του πλαισίου δε βρίσκεται στον πίνακα, τότε η γέφυρα προωθεί αντίγραφα του πλαισίου στους output buffers, που προηγούνται **όλων των άλλων διασυνδέσεων.**
- Σε κάθε μία από αυτές τις άλλες διασυνδέσεις, το πλαίσιο μεταδίδεται μέσα στο LAN τμήμα χρησιμοποιώντας **CSMA/CD**

Η ιδιότητα του self-learning της γέφυρας (con'td)

- Για κάθε πλαίσιο που λαμβάνεται, η γέφυρα αποθηκεύει στον πίνακα της τη διεύθυνση LAN την *source address* του πλαισίου, την *διασύνδεση* από την οποία φτάνει το πλαίσιο, την *τρέχουσα ώρα*.

Με αυτό τον τρόπο, η γέφυρα καταγράφει στον πίνακα της το LAN τμήμα, στο οποίο ο αποστολέας βρίσκεται.

Εάν κάθε κόμβος στο LAN στείλει ένα πλαίσιο, τότε κάθε κόμβος θα έχει καταγραφεί στον πίνακα …

- Όταν ένα πλαίσιο φτάνει στις διασυνδέσεις & η διεύθυνση προορισμού του πλαισίου είναι στον πίνακα, τότε η γέφυρα προωθεί το πλαίσιο στην κατάλληλη διασύνδεση
- Η γέφυρα διαγράφει μία διεύθυνση από τον πίνακα αν δεν έχει ληφθεί κανένα πλαίσιο με αύτη τη διεύθυνση σαν διεύθυνση προέλευσης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (*aging time*)

Το καλυπτόμενο δέντρο στις γέφυρες

☞ Για την **αποφυγή των κυκλικών διαδρομών και του πολλαπλασιασμού *των πλαισίων:***

οι γέφυρες χρησιμοποιούν ένα πρωτόκολλο καλυπτόμενου δέντρου (*spanning tree protocol)*

Στο πρωτόκολλο αυτό, οι γέφυρες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των LANs για να καθορίσουν ένα καλυπτόμενο δέντρο (spanning tree), δηλαδή ένα υποσύνολο της αρχικής τοπολογίας ***χωρίς loops***

Μετά που οι γέφυρες καθορίσουν ένα καλυπτόμενο δέντρο:

- οι γέφυρες **αποσυνδέουν εικονικά τις κατάλληλες διασυνδέσεις**

για να δημιουργήσουν το καλυπτόμενο δέντρο από την αρχική τοπολογία.

Εάν αργότερα, μία από τις ζεύξεις στο καλυπτόμενο δέντρο αποτύχει:

- οι γέφυρες μπορούν ***αυτόματα*** να επανασυνδέσουν τις διασυνδέσεις,
- ***να τρέξουν τον αλγόριθμο του καλυπτόμενου δέντρου ξανά***, και να καθορίσουν ένα νέο σύνολο διασυνδέσεων, που πρέπει να αποσυνδεθούν εικονικά

Switches

In general:

When a packet arrives at a switch:

It really arrives on an ***inbound link***, and leaves the switch on an ***outbound link***

Store-and-forward:

The packet is **first gathered & stored in its *entirety*** before the switch begins to transmit it on the outbound link

In the case that the output buffer becomes empty before the whole packet has arrived to the switch, this gathering generates a **store-and-forward delay** at the switch

Cut-through:

If the buffer becomes empty before the entire packet has arrived, the switch can start to transmit the front of the packet while the back of the packet continues to arrive.

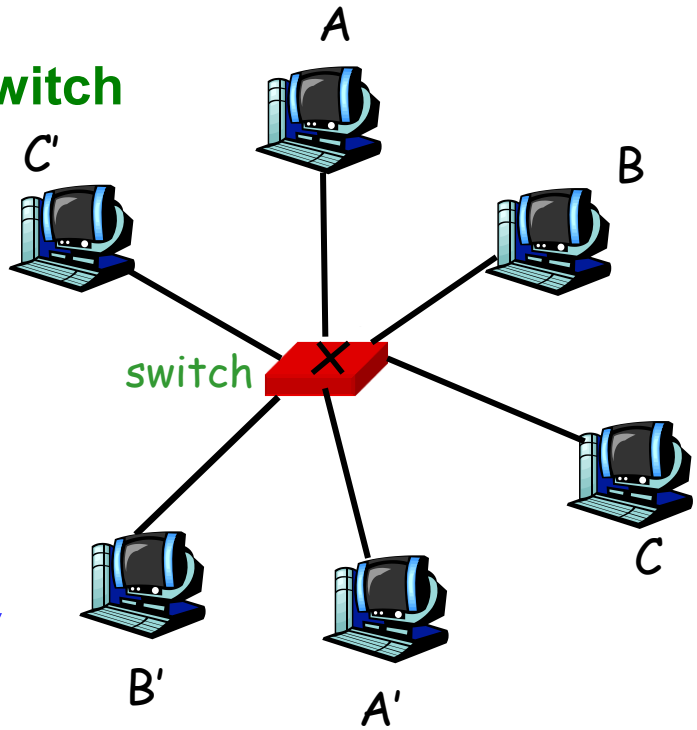
Before transmitting the packet on the outbound link, the portion of the packet that contains the destination address must first arrive

Switches: αποκλειστική πρόσβαση

- Το switch έχει ***πολλά* interfaces**
- Οι κόμβοι έχουν **άμεση σύνδεση στο switch**
- ***Full duplex***

δηλ. μπορεί **ταυτόχρονα** να στείλει & να λάβει **στο ίδιο network interface**

***Χωρίς* συγκρούσεις**



Switching: A-στο-A' και B-στο-B' **ταυτόχρονα χωρίς συγκρούσεις**

- **Τα switches έχουν *πολύ περισσότερα* network interfaces από ότι τα bridges (π.χ., 12 vs. 2-4) !!!!**

Διαφορά από τα bridges!

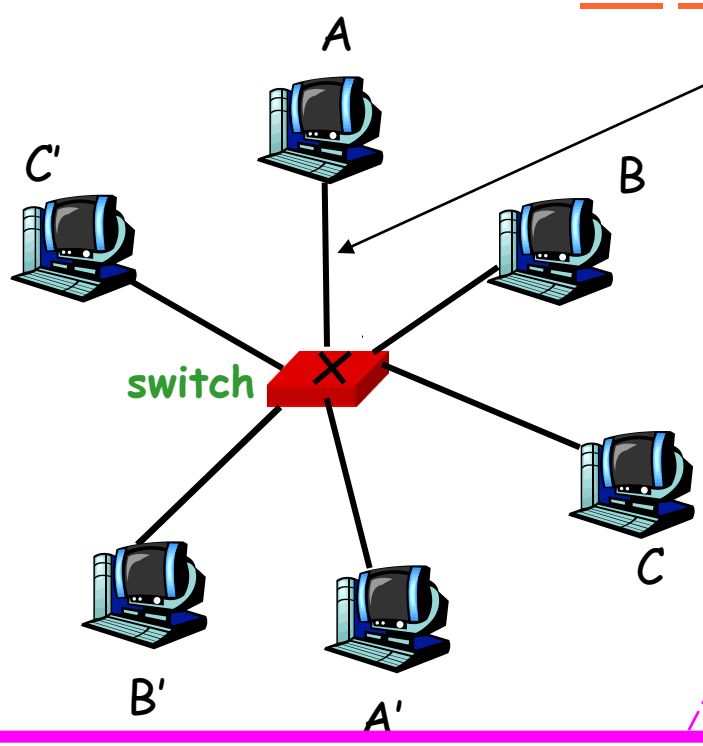
Switches operate in full-duplex mode unlike bridges!

☞ **Παρατηρείστε επίσης τη διαφορά τους με τις shared LAN συνδέσεις!!!!**

Εδώ ο κάθε κόμβος έχει ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ

Switches: ***αποκλειστική*** πρόσβαση

Ένα ζευγάρι από ***twisted pair cooper wire*** (πχ 10BaseT, 100BaseT)
Το ένα καλώδιο για τις μεταδόσεις από τον πομπό ***A*** **προς το switch**
& το άλλο καλώδιο για τις μεταδόσεις από το switch στο *A*
Δεν *υπάρχει* λοιπόν **πιθανότητα σύγκρουσης**
Επίσης τα switches έχουν
***store-and-forward* policy:**
μεταδίδουν μόνο ***ένα frame*** κάθε φορά
Τα downstream & upstream connections
λειτουργούν σαν **direct point-to-point**



☞ **Δεν χρειάζεται λοιπόν**
collision detection & carrier sensing!!!!
(προσέξτε αυτή τη διαφορά
από τα shared LANs)

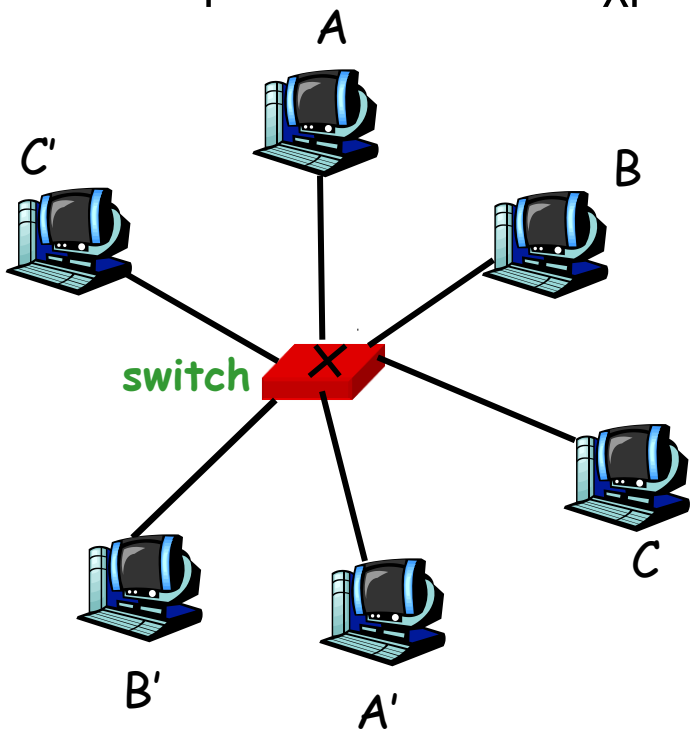
☞ Τα bridges & switches είναι store-and-forward, **σε αντίθεση με τα hubs**

Παράδειγμα

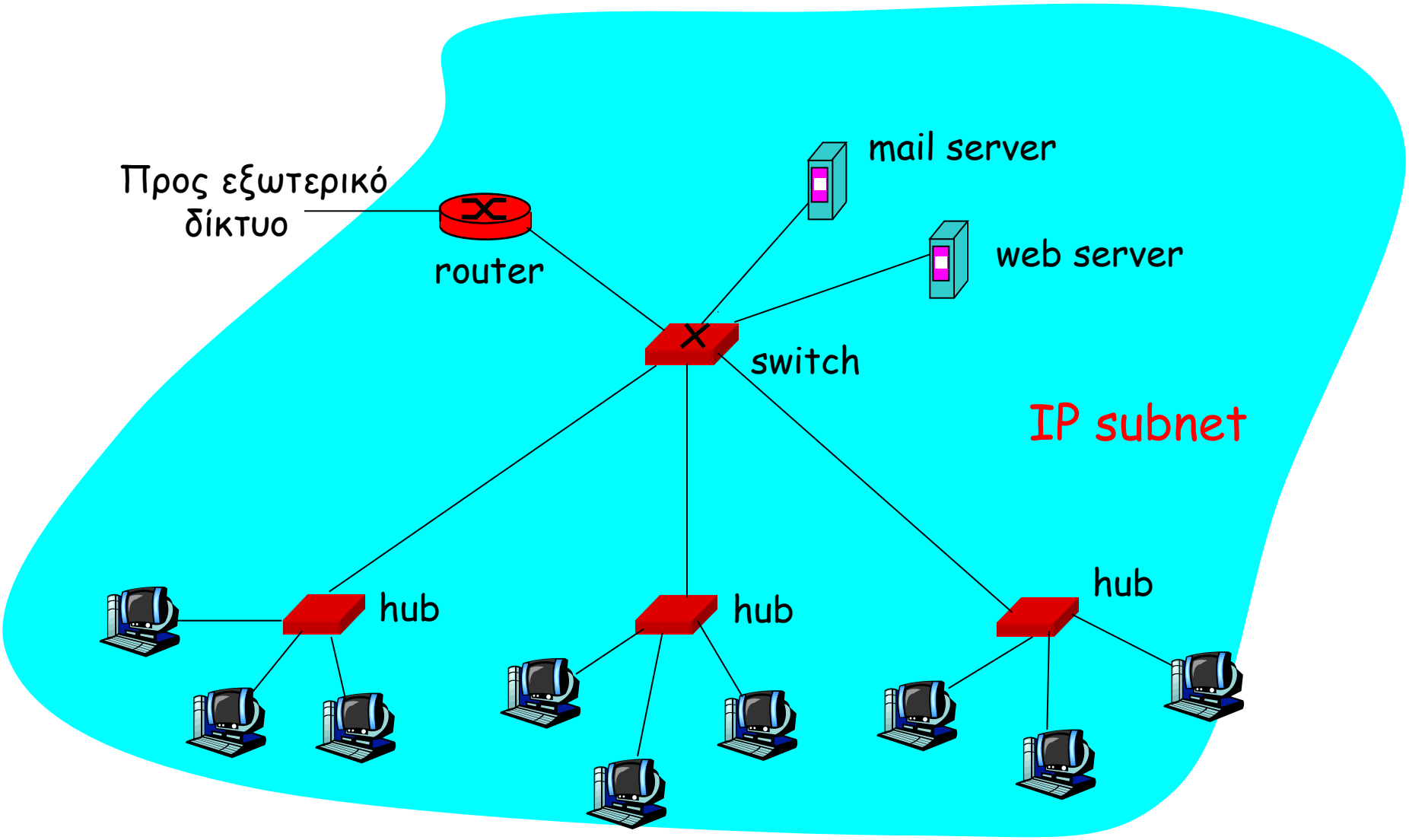
Υποθέστε ότι:

Ο host ***A*** μπορεί να στείλει ένα αρχείο στον ***A'*** ενώ ο ***B*** στέλνει ένα αρχείο στο ***B'*** & ο ***C*** *στέλνει ένα αρχείο στο* ***C'***

Εάν ο κάθε host έχει μία 10Mbps adapter card, τότε το συνολικό throughput κατά την διάρκεια των τριών αυτών ταυτόχρονων μεταφορών αρχείων είναι 30Mbps

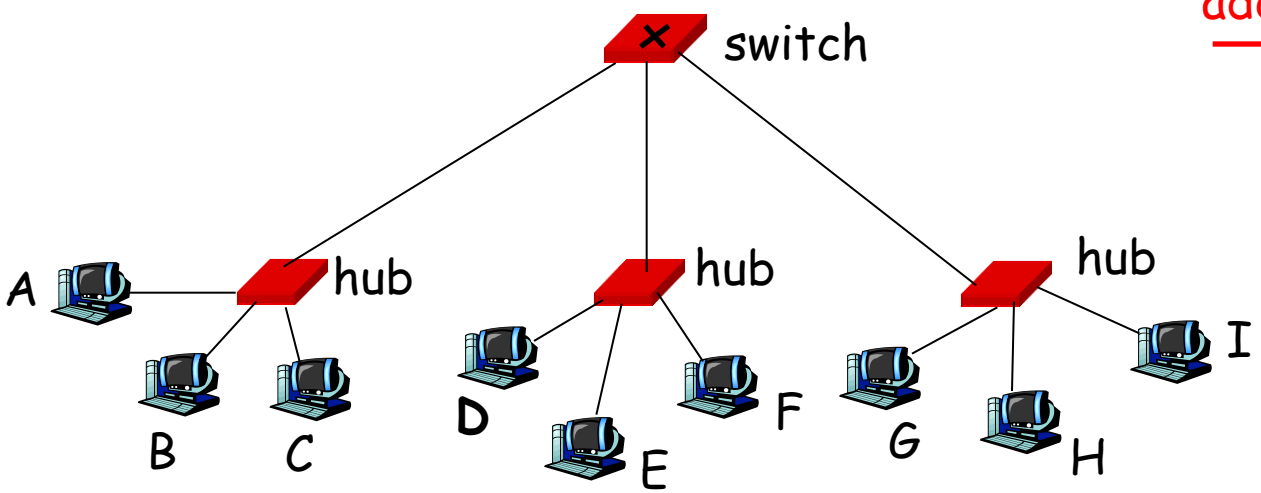


Institutional δίκτυο



Παράδειγμα Switch

Υποθέστε ότι ο D απαντάει πίσω με ένα πλαίσιο στον C



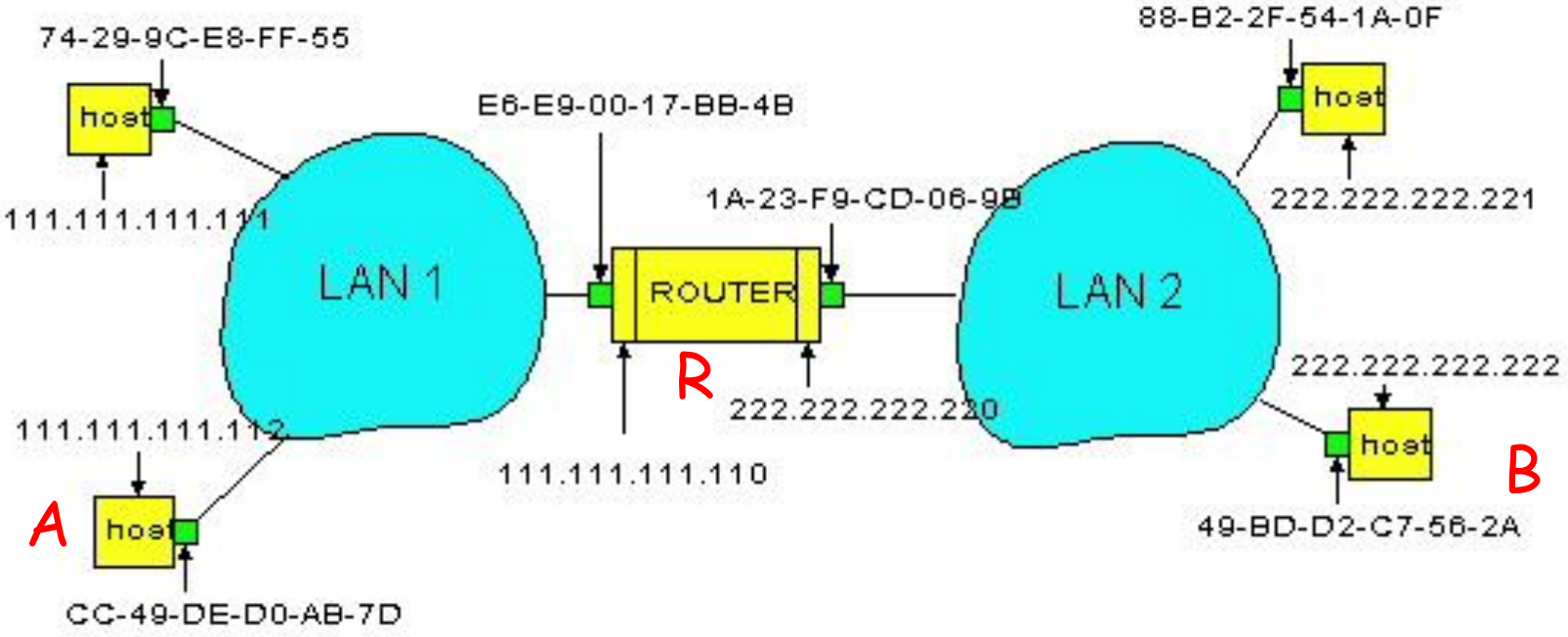
address	interface
A	1
B	1
E	2
G	3
C	1

1. το Switch λαμβάνει το πλαίσιο από τον D
2. σημειώνει στο πίνακα του bridge ότι ο D είναι στο interface 2
3. επειδή ο C είναι στον πίνακα, το switch προωθεί το πλαίσιο μόνο στο interface 1
4. το πλαίσιο λαμβάνεται από τον C

Δρομολογώντας σε ένα άλλο LAN

παράδειγμα: στέλνεται δεδομενόγραμμα από τον ***A*** στον ***B*** **μέσω του R**

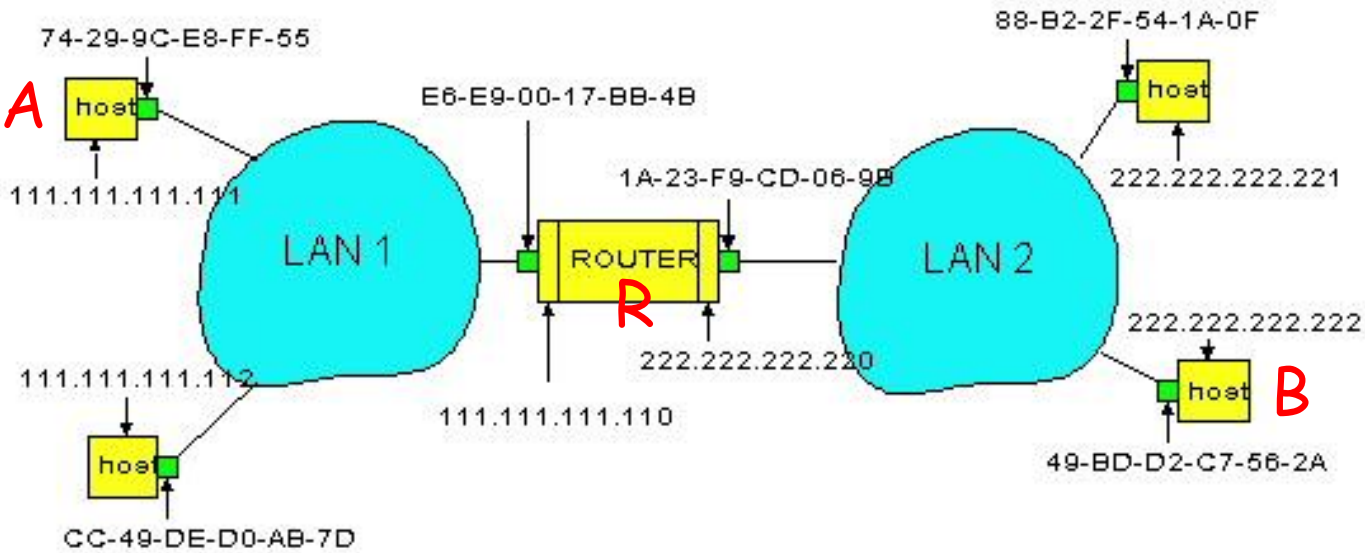
ο ***A*** ξέρει την IP διεύθυνση του ***B***



- **<u>Δύο ARP πίνακες στον δρομολογητή</u>, ο ένας για κάθε IP δίκτυο (LAN)**

☞Ένας δρομολογητής έχει πολλές IP διευθύνσεις και interfaces. Κάθε interface έχει μία IP διεύθυνση και ένα ARP κομμάτι !!!

1. ***A*** creates datagram with source ***A***, destination ***B***
2. ***A*** uses ***ARP*** to get ***R***'s MAC address for 111.111.111.110
3. ***A*** creates ***link-layer frame*** with ***R***'s **MAC address as destination**, the frame contains **A-to-B** ***IP datagram***
4. ***A***'s adapter sends frame
5. ***R***'s adapter receives frame
6. ***R*** decapsulates IP datagram from Ethernet frame, sees its destined to ***B***
7. ***R*** uses ***ARP*** to get ***B***'s MAC address
8. ***R*** creates frame containing **A-to-B** ***IP datagram*** sends to ***B***



Quiz 14

- Τονίσετε την κύρια διαφορά του MAC επιπέδου από το Network επίπεδο ως προς την «εικόνα» που έχουν για το Διαδίκτυο. (5points)
- Περιγράψετε **δυο διαφορετικές ταξινομήσεις** των ειδών συνδέσεων/links που υπάρχουν. (5points)

Quiz 15

Ιδιότητα	**Ethernet**	**Slotted Aloha**
Χρησιμοποιεί έλεγχο σύγκρουσης (Collision Detection)		
Χρησιμοποιεί Carrier Sense		
Χρησιμοποιεί εκθετικό backoff		
Ένας κόμβος μπορεί δυνητικά να χρησιμοποιήσει (σχεδόν) όλη τη χωρητικότητα του LAN		
Λειτουργεί αποδοτικά όταν πολλοί κόμβοι έχουν ταυτόχρονα δεδομένα να στείλουν		
Είναι ευάλωτο στη δυσλειτουργία μιας συσκευής		
Χρησιμοποιεί την τυχαιότητα για να αποφύγει τον συγχρονισμό στις αποστολές πακέτων		

Quiz 16

Αναφέρετε δυο λόγους για τους οποίους οι υπολογιστές και οι δρομολογητές έχουν διευθύνσεις MAC εκτός των διευθύνσεων επιπέδου δικτύου.

(5pts ο καθένας λόγος)