



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Δίκτυα Υπολογιστών

Μαρία Παπαδοπούλη

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
 - που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
 - που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
 - που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σκοποί ενότητας

... Ερωτήσεις από τα προηγούμενα lectures ...

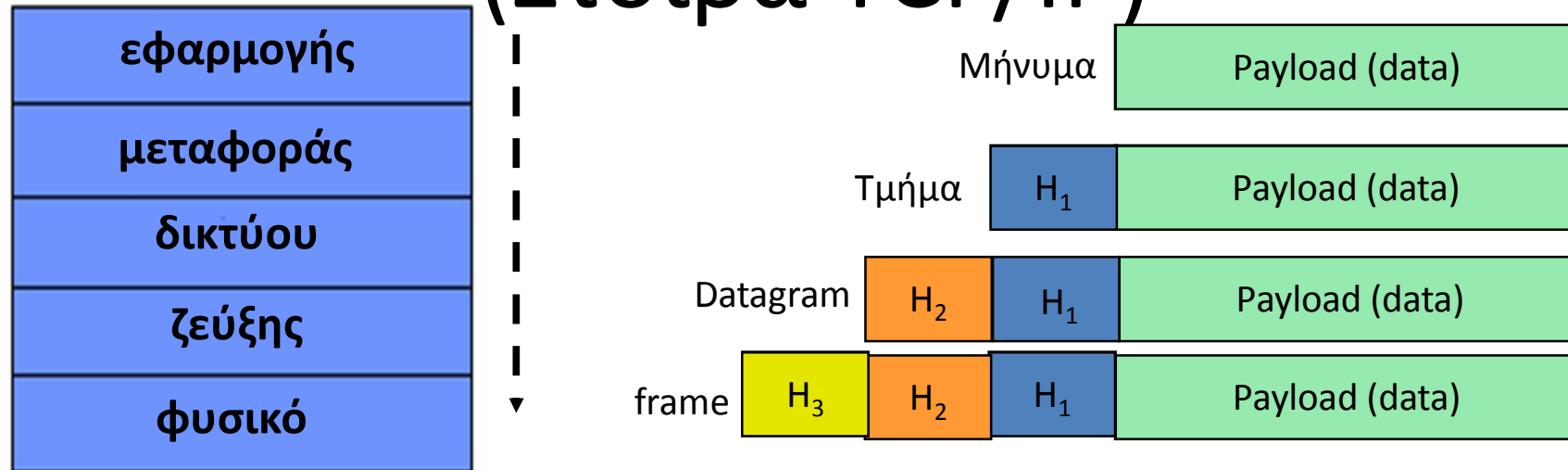
- Επίπεδο ζεύξης
- Ανίχνευση και διόρθωση λαθών
- Τυχαία πολλαπλή πρόσβαση στο κανάλι
- MAC διευθύνσεις

Βασισμένο κυρίως στο Κεφ. 5 βιβλίου Kurose

Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)

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

Μοντέλο επιπέδων Διαδικτύου (Στοίβα TCP/IP)



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

🔊 Καθε επίπεδο:

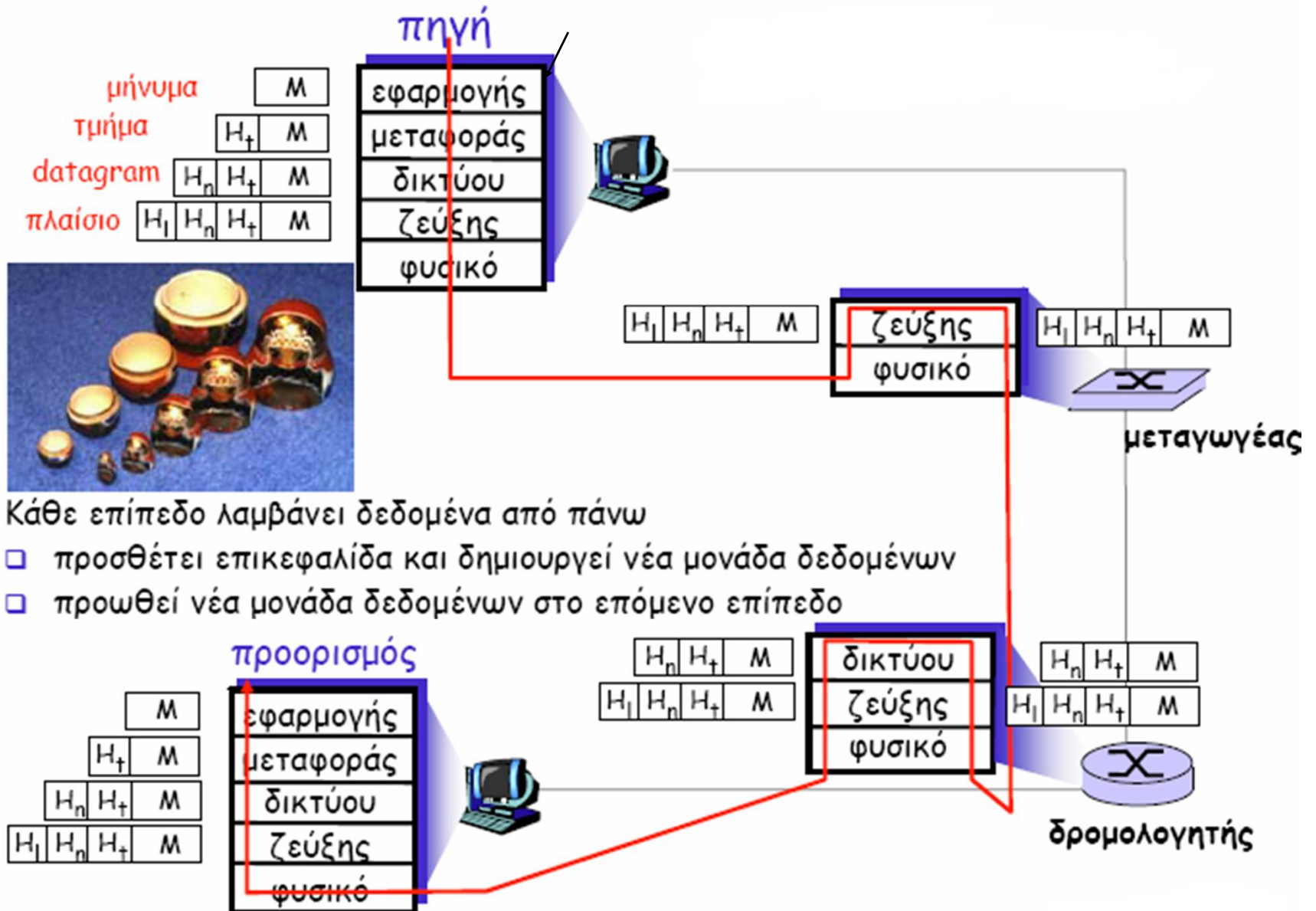
Λαμβάνει δεδομένα από το ανώτερο επίπεδο

Προσθέτει επικεφαλίδα και δημιουργεί νέα μονάδα δεδομένων



Πρωθεί την νέα μονάδα στο επόμενο επίπεδο

Ενθυλάκωση

Ενθυλάκωση



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)

ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΖΕΥΣΗΣ: ΣΥΝΑΓΩΓΙΚΑ 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



Χρήσιμη Ορολογία στο Επίπεδο Ζεύξης

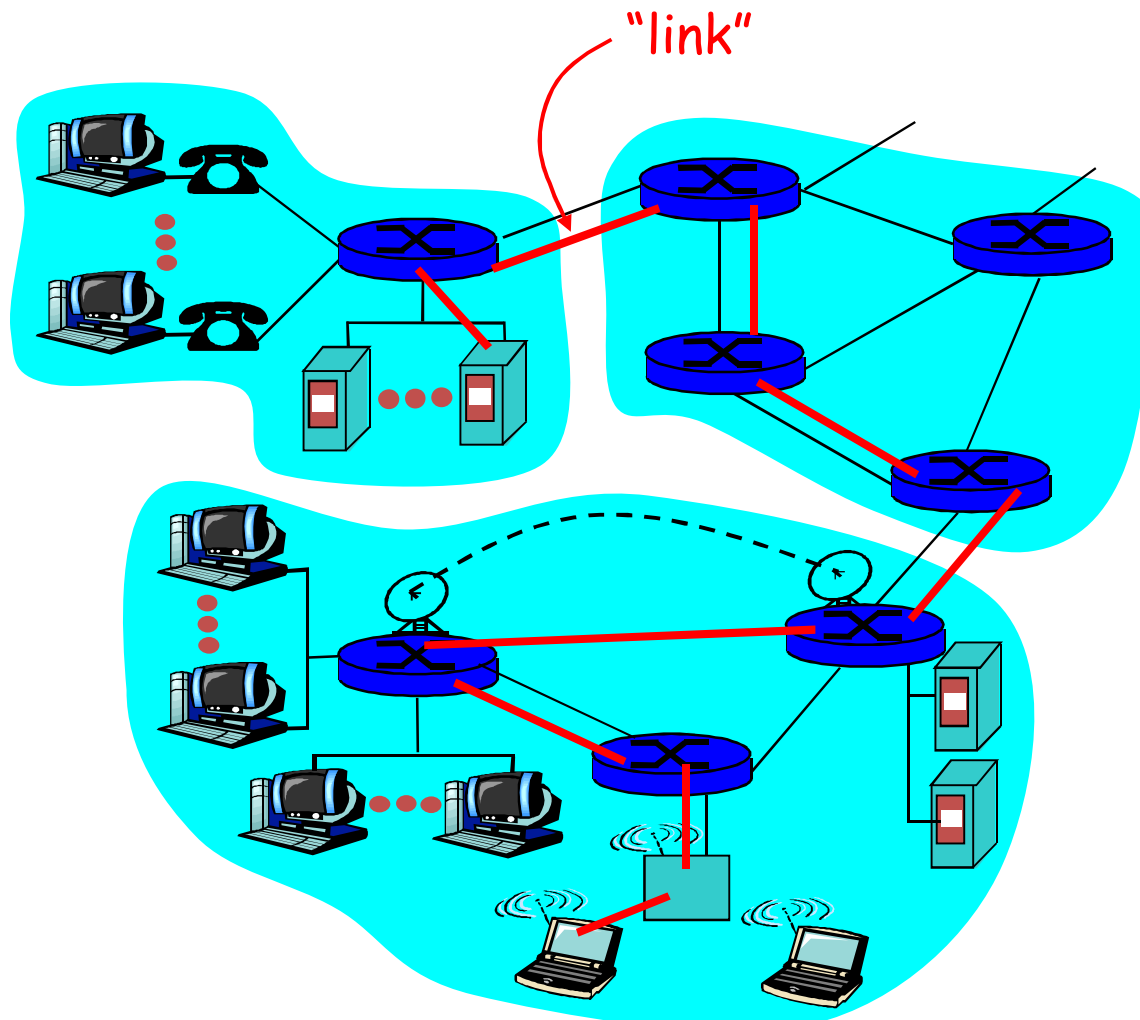
- Κόμβους (nodes) θα ονομάζουμε τα hosts (τερματικά) & τους routers (δρομολογητές)
- Ζεύξεις (links): κανάλια επικοινωνίας που ενώνουν/συνδέουν γειτονικούς κόμβους

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

Επίπεδο ζεύξης: εισαγωγή

Πρωτόκολλα ζεύξης 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

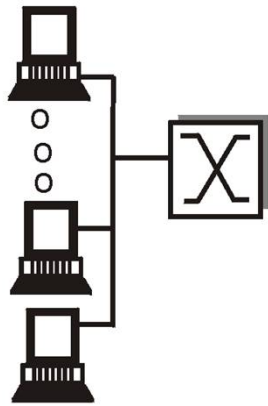
Slide 12

MP1

Maria Papadopouli; 8/10/2014

Επίπεδο ζεύξης: δυο τύποι ζεύξεων

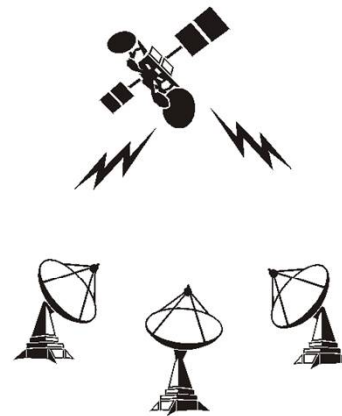
- Σημείο σε σημείο (Point-to-Point)
- Μετάδοση (διαμοιραζόμενο καλώδιο ή μέσο)



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)

Έχει **πολλαπλούς** sending και receiving κόμβους

 Ο **οποιοσδήποτε** μπορεί να στείλει ένα frame

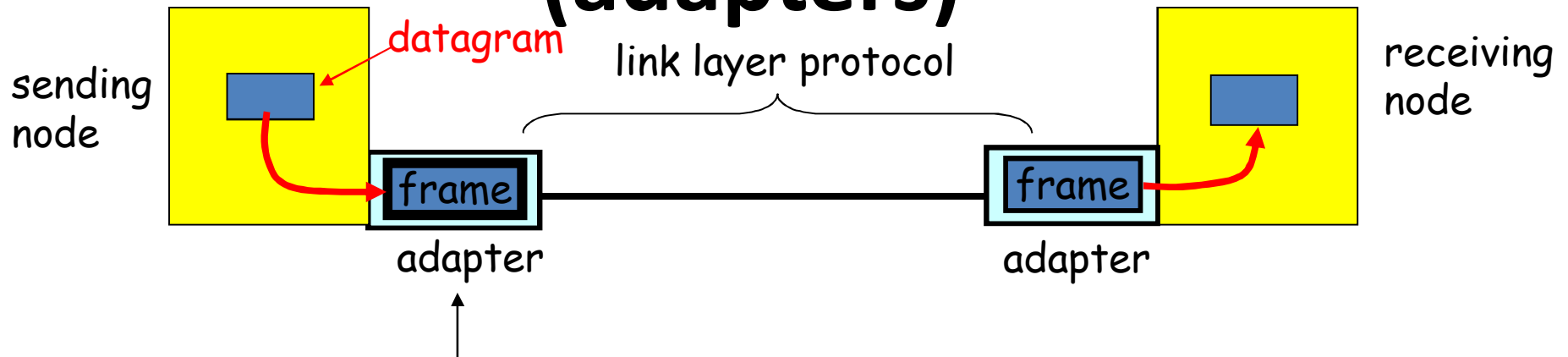
 **Όλοι** οι υπόλοιποι το λαμβάνουν

traditional Ethernet (IEEE802.3)

upstream HFC

IEEE802.11 wireless LAN

Επικοινωνία προσαρμοστών (adapters)



- Το επίπεδο ζεύξης υλοποιείται σε έναν adapter (NIC)

πχ Ethernet, PCMCIA, IEEE802.11 κάρτες

Αποστέλλουσα πλευρά:

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

Λαμβάνουσα πλευρά:

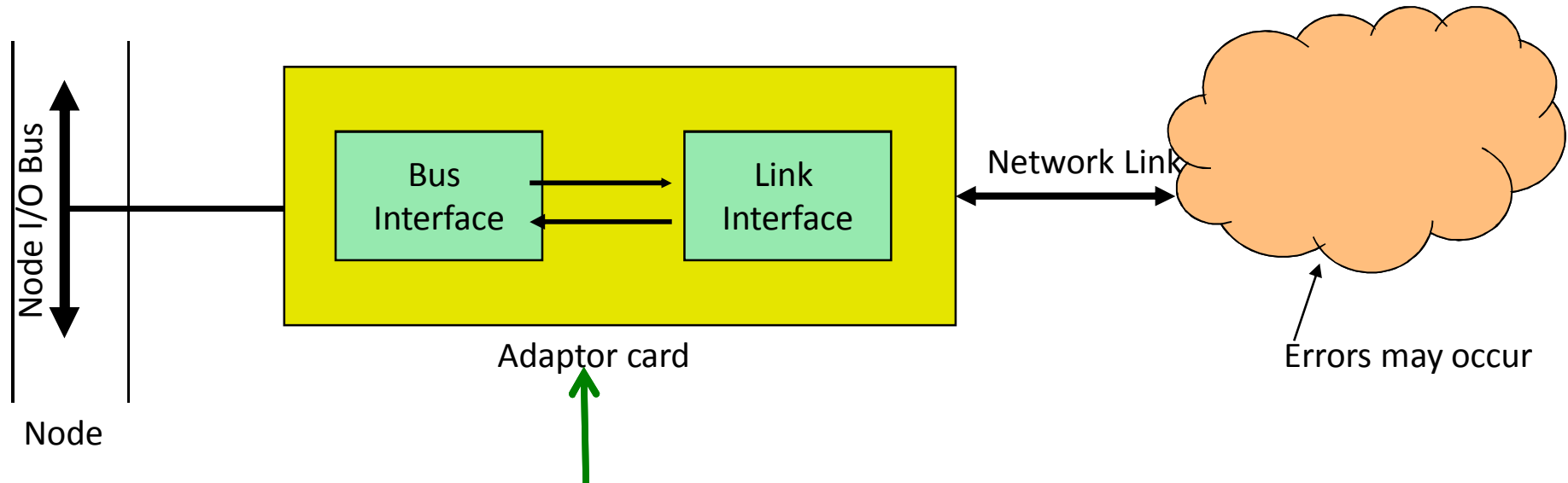
- Κοιτάει για λάθη, έλεγχο ροής, κτλ.
- Αποσπά το datagram, και το προωθεί στον λαμβάνοντα κόμβο
- Δεν διακόπτει τον πατρικό/τοπικό κόμβο (node) όταν λαμβάνει datagram που προορίζεται για άλλο κόμβο

- Ο adapter είναι ημιαυτόνομος
- Επίπεδο ζεύξης και φυσικό επίπεδο

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

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 1

- 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 την πηγή και τον προορισμό
 - ☞ διαφορετικό από την διεύθυνση IP!

Υπηρεσίες στο Επίπεδο ζεύξης 2

- 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) 1

- 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 έχουμε στον δέκτη πακέτο με undetected errors & το πακέτο να προωθηθεί στο επίπεδο δικτύου

Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης (περισσότερα) 2

- *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 μειώσουμε τη πιθανότητα μη-ανίχνευσης λαθών χρησιμοποιώντας πιο έξυπνους αλγορίθμους

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

- ☞ Από την άλλη έτσι μπορεί να αποφύγουμε τα **retransmissions**

τα οποία επίσης αυξάνουν την καθυστέρηση της προώθησης των

πακέτων και τη μετάδοση περισσότερων bits

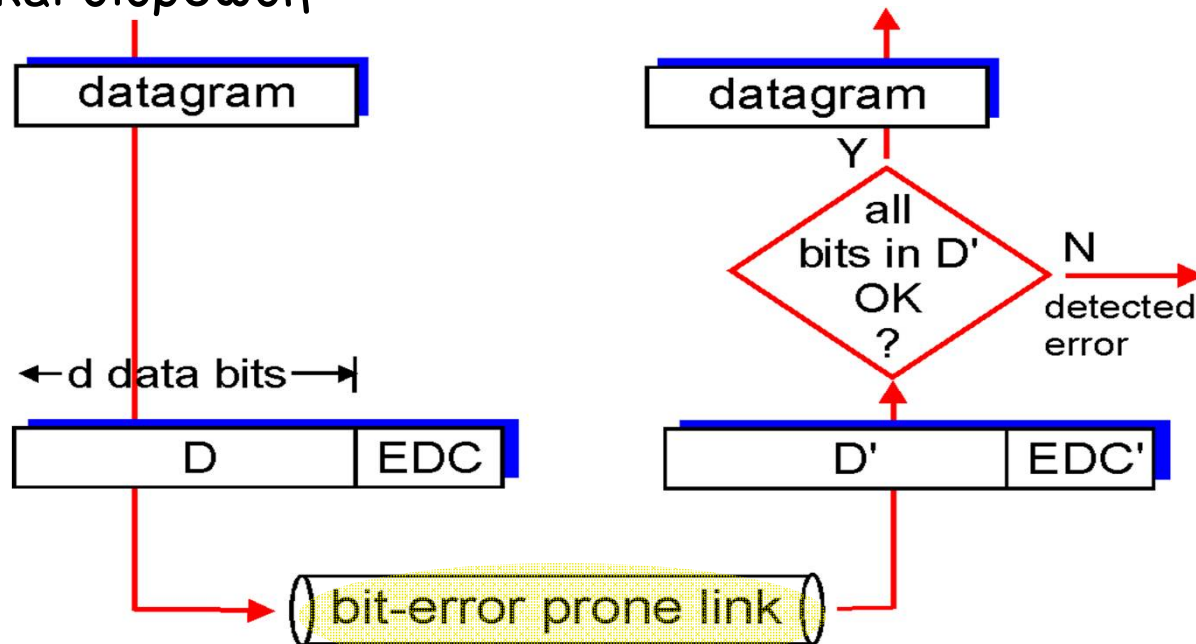
- Τεχνικές
 - Έλεγχοι ισοτιμίας (parity checks)
 - Άθροισμα ελέγχου (checksumming, συνήθως στο επίπεδο

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



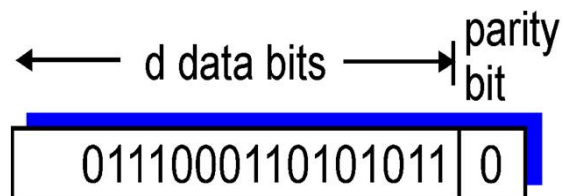
Έλεγχοι Ισοτιμίας

- 📢 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 τον αριθμό των 1 και το parity bit
- και μπορεί να ξέρει αν ένας περιττός αριθμός λαθών έχει συμβεί

Έλεγχος Ισοτιμίας

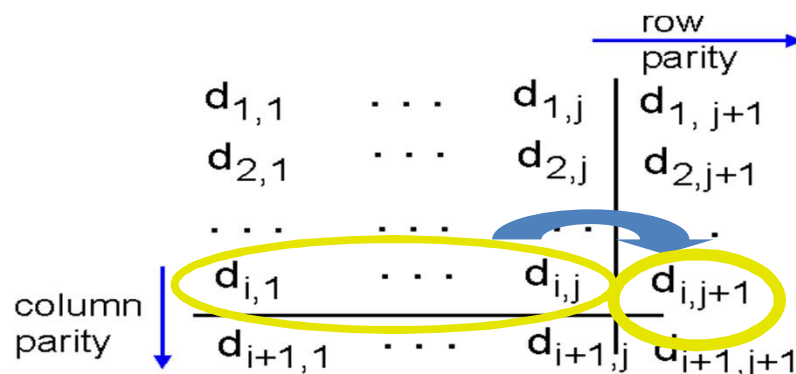
Μοναδικό Bit Ισοτιμίας:

Ανιχνεύει λάθη ενός μόνο bit



Δισδιάστατο Bit Ισοτιμίας:

Ανιχνεύει και διορθώνει λάθη σε ένα μόνο bit



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

no errors

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

parity error

parity error

Προσοχή: δείτε αν διορθώνονται περισσότερα λάθη και σε ποιές περιπτώσεις

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) 1

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., $k=16$)

Μέθοδοι αθροίσματος ελέγχου (checksumming) 2

- ☞ **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

Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού- Cyclic Redundancy Check (CRC) 1

Επίσης αποκαλούνται πολυωνυμικοί κώδικες

- Θεωρείστε ένα κομμάτι δεδομένων d -bit, το οποίο ο αποστολέας θέλει να στείλει στον παραλήπτη
- Ο αποστολέας & παραλήπτης συμφωνούν σε μία γεννήτρια G , δηλαδή μια ακολουθία από $(r+1)$ bits

Για ένα δοθέν κομμάτι δεδομένων D , ο αποστολέας θα

- επιλέξει r επιπρόσθετα bits R
- τα προσθέσει στο τέλος του D

έτσι ώστε το σχήμα των $(d+r)$ bits που προκύπτει, να διαιρείται ακριβώς από τη γεννήτρια G χρησιμοποιώντας *modulo-2 αριθμητική*

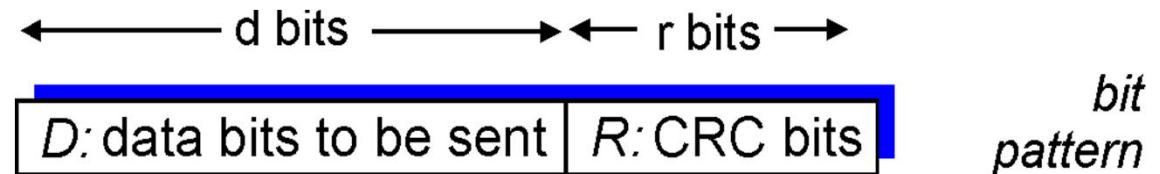
Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού- Cyclic Redundancy Check (CRC) 2

Ο παραλήπτης θα κάνει το $u=(d+r)/G$

- Εάν $u \neq 0$, ο παραλήπτης γνωρίζει ότι έγινε ένα λάθος
- Αλλιώς τα δεδομένα εκλαμβάνονται ως σωστά

Checksumming: Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού

- Θεώρησε τα bits δεδομένων D , 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 $\langle D, R \rangle$ είναι ακριβώς διαιρέσιμο από το G (modulo 2)
 - Ο παραλήπτης γνωρίζει το G , διαιρεί το $\langle D, R \rangle$ με το G
- Εάν το υπόλοιπο είναι μη μηδενικό: **λάθος ανακαλύφθηκε!**
- ✓ Μπορεί να ανακαλύψει n συνεχόμενα λανθασμένα bits (όπου $n < r+1$ bits)

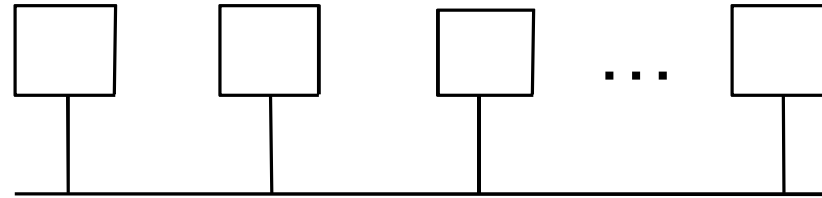


$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

mathematical formula

- Ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη (IEEE link layer, ATM protocols)

Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) 1



- Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access)
- Οι κόμβοι συνδέονται σε **κοινό κανάλι επικοινωνίας**

Συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) 2

- Συγκρούσεις συμβαίνουν όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί αποφασίσουν να στείλουν πακέτα ταυτόχρονα
- 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 **πως** 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

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 μπορεί 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

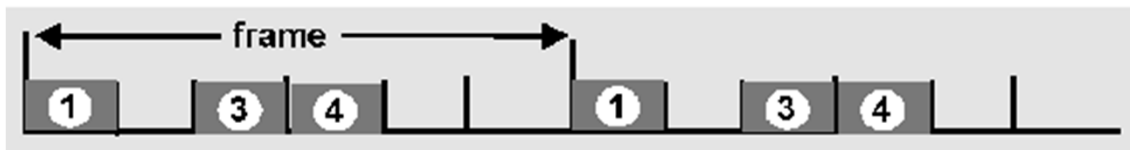
Κριτήρια Αξιολόγησης Πρωτοκόλλων Πρόσβασης

- **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

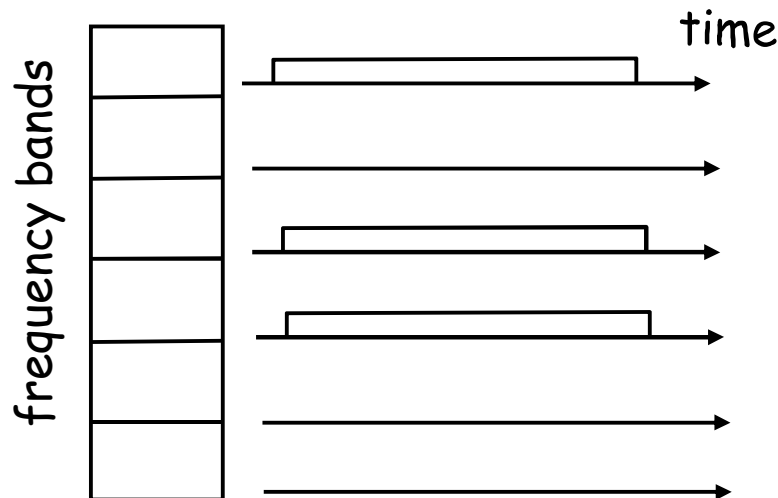
- πρόσβαση στο κανάλι σε «γύρους»
- κάθε σταθμός παίρνει μία σχισμή σταθερού μήκους (μήκος = χρόνος μετάδοσης πακέτου) σε κάθε γύρο
- η μη χρησιμοποιούμενες σχισμές παραμένουν ανενεργές
- παράδειγμα: 6-σταθμών LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, ανενεργές οι σχισμές 2,5,6



MAC πρωτόκολλα κατανομής του καναλιού: FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- το φάσμα του καναλιού χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων
- σε κάθε σταθμό δίνεται συγκεκριμένη ζώνη συχνότητας
- ο αχρησιμοποίητος 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 \Rightarrow «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 ότου 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 οποιοσδήποτε κόμβος έχει επιτυχία $= Np(1-p)^{N-1}$

Για μέγιστη αποδοτικότητα

Βρείτε το p^* το οποίο μεγιστοποιεί το $Np(1-p)^{N-1}$

εκφράζεται ως **πρόβλημα βελτιστοποίησης**

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

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

Slotted ALOHA

- Παρόμοια ανάλυση δείχνει ότι 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 μεταδώσει 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) 1

- 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

Καθαρό (unslotted) ALOHA (pure ALOHA) 2

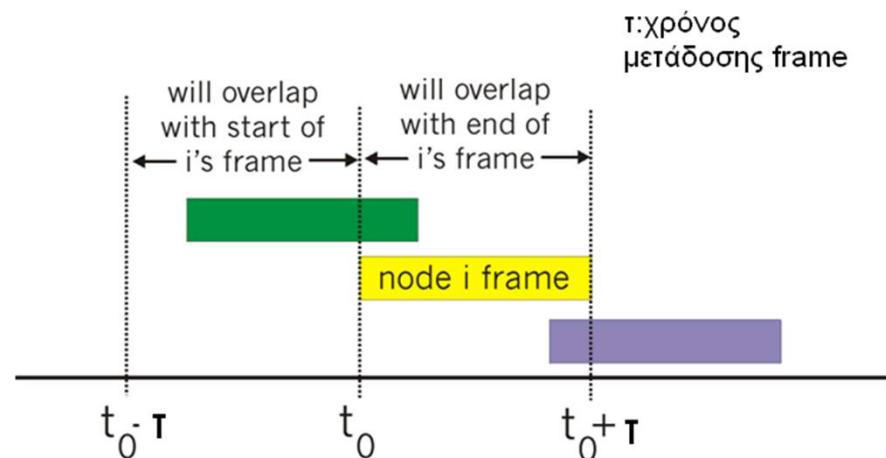
- αλλιώς,
 2. αναμονή ίση με το χρόνο μετάδοσης ενός frame
 3. Μετά από αυτή την αναμονή, ο κόμβος
 3. **Μεταδίδει** το frame με πιθανότητα p

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 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 $n \rightarrow \infty$...

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

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 1

- ☞ “Αισθανόμενος” τον φορέα (Carrier sensing) (“άκου πριν μιλήσεις”)
 - Ένας κόμβος “ακούει” το κανάλι πριν στείλει
 - Εάν υπάρχει μετάδοση στο κανάλι:
 - ένας κόμβος περιμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα (“backs off”) και μετά αισθάνεται ξανά το κανάλι
 - Εάν ένα κανάλι αισθανθεί να μην έχει κίνηση, τότε ξεκινάει η μετάδοση του πλαισίου

Σημαντικοί κανόνες στη μετάδοση πλαισίων στην αναμετάδοση 2

👉 **Εντοπισμός σύγκρουσης (Collision detection)** (“Εάν κάποιος άλλος αρχίζει να μιλάει την ίδια ώρα, σταμάτα να μιλάς”)

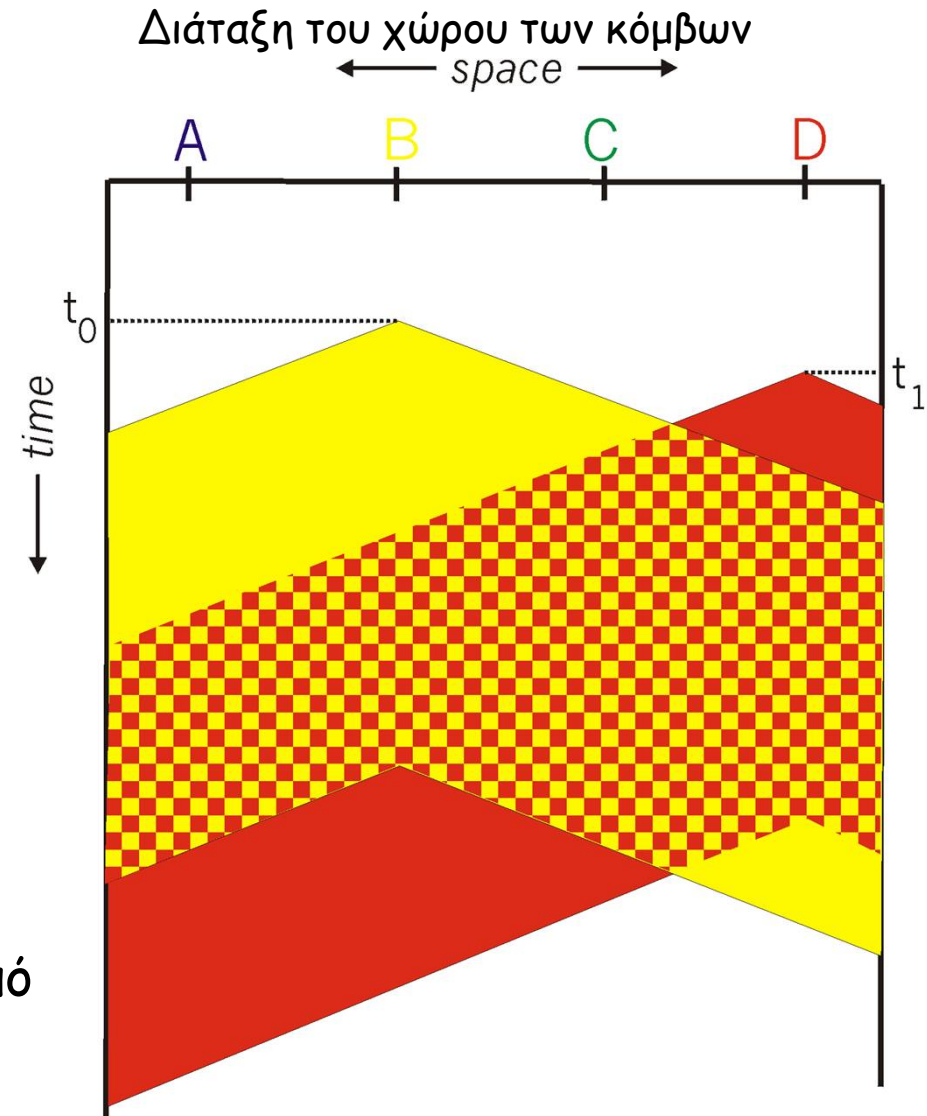
- Ένας κόμβος που μεταδίδει ακούει το κανάλι καθώς μεταδίδει
- Εάν εντοπίσει ότι κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει ένα πλαίσιο που προκαλεί παρεμβολές:
σταματάει να μεταδίδει και χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο για να προσδιορίσει πότε θα προσπαθήσει ξανά να μεταδώσει

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

☞ Έντοπισμός 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

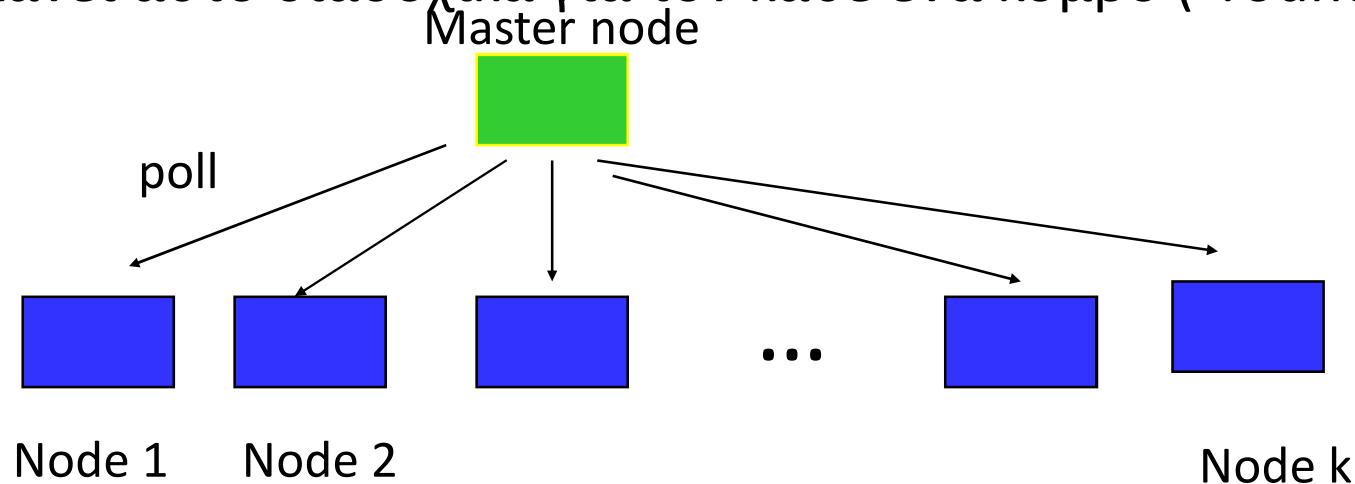
To Ethernet χρησιμοποιεί τον εντοπισμό σύγκρουσης!

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)

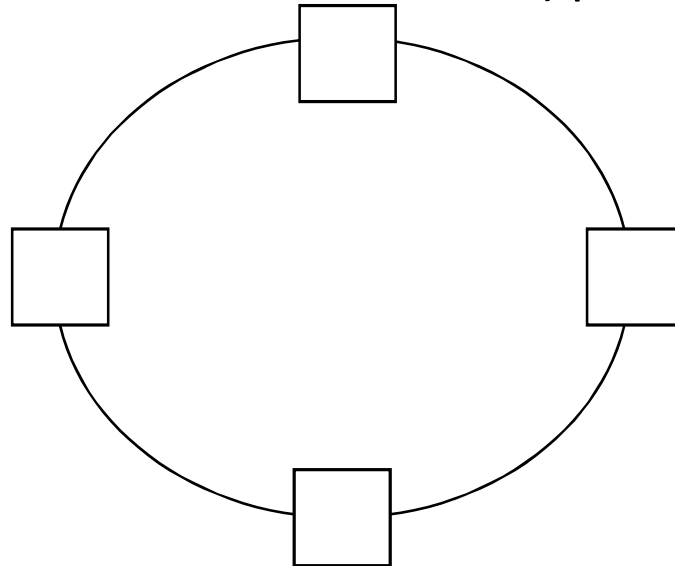
- Του στέλνει μήνυμα λέγοντας του ότι μπορεί να μεταδώσει μέχρι ένα μέγιστο αριθμό frames
- Το κάνει αυτό διαδοχικά για τον κάθε ένα κόμβο (“round-robin”)



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 στείλει 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

CSMA/CD: Ethernet's Multiple Access Protocol


- Ένας adaptor μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση οποιαδήποτε χρονική στιγμή

(δηλαδή **δεν** χρησιμοποιούνται slots – δεν γίνεται “διακριτοποίηση” του χρόνου)

- Ποτέ όμως δεν μεταδίδει ένα frame, αν «ακούει» κάποια άλλη μετάδοση στο κανάλι

 that is, it uses carrier sensing

CSMA/CD: Ethernet's Multiple Access Protocol

- Σταματάει την μετάδοση, μόλις «ακούσει» κάποια άλλη μετάδοση στο κανάλι
 -  that is, it uses collision detection
- Πριν προσπαθήσει να ξανα-μεταδώσει ο adapter περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα που είναι συνήθως μικρό σε σχέση με τον χρόνο που απαιτείται για την μετάδοση του frame

Ethernet: Αναξιόπιστο, υπηρεσία χωρίς-σύνδεση

- Χωρίς-σύνδεση

Δεν γίνεται χειραψία μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη

- Αναξιόπιστο

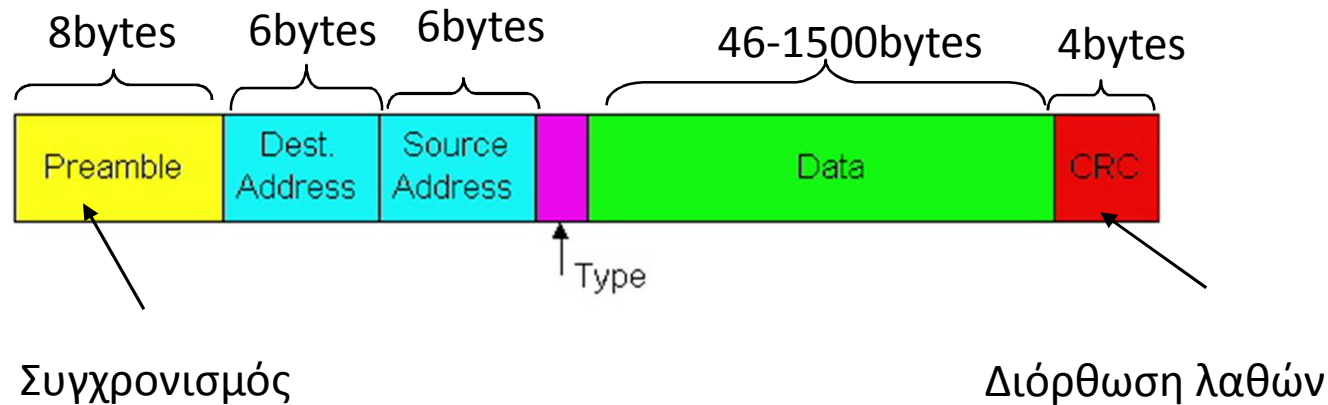
Ο παραλήπτης δεν στέλνει **acks** ή **nacks** στον αποστολέα

- 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 αποστέλων adapter τοποθετεί το ΙΛΡ

δεδομένογραμμα (ή πακέτο κάποιου άλλου πρωτοκόλλου Επιπέδου Δικτύου) στο Ethernet πλαίσιο



✓ Ο adapter "ξέρει" πότε ένα πλαίσιο τελιώνει εντοπίζοντας την απουσία ρεύματος

☞ Οι Ethernet adapters μετράνε την τάση πριν και κατά τη διάρκεια της μετάδοσης

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

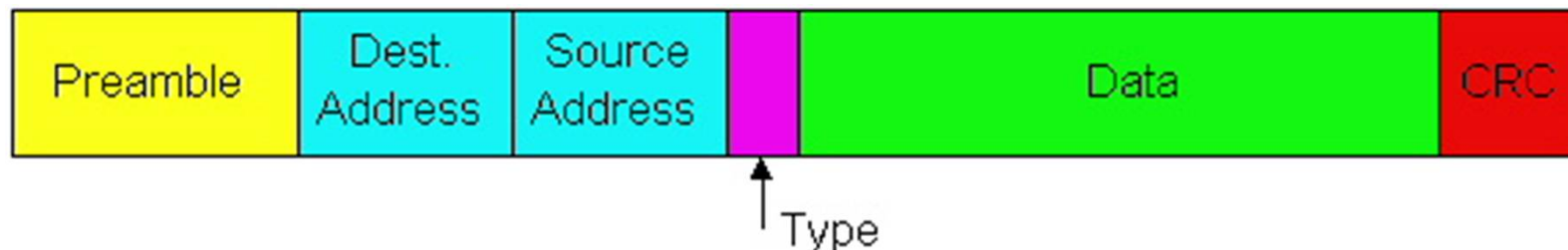
Δομή πλαισίου Ethernet (περισσότερα)

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 δεδομένογραμμα από το επίπεδο δικτύου & δημιουργεί ένα πλαίσιο (frame)
- 2A. Αν ο adapter αισθανθεί ότι δεν υπάρχει κίνηση στο κανάλι, αρχίζει να μεταδίδει το πλαίσιο
- 2B. Αν αισθανθεί ότι το κανάλι είναι απασχολημένο, περιμένει μέχρι να γίνει διαθέσιμ & 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 σύγκρουση, επιλέγει ένα K τυχαία από $\{0,1, 2, \dots, 2^m-1\}$
⌚ Ο κόμβος περιμένει $K * 512(\text{time interval})$ 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

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 $K=1023$, χρόνος αναμονής είναι
περίπου 50 msec

Εκθετικός Backoff:

- Στόχος: προσαρμόσε 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 $K \cdot 512$ bit φορές μετάδοσης
- μετά τη δεύτερη σύγκρουση: διάλεξε K από $\{0,1,2,3\}$...
- μετά από δέκα συγκρούσεις, διάλεξε K από $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

Διαδικασία εκθετικού backoff 1

- 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

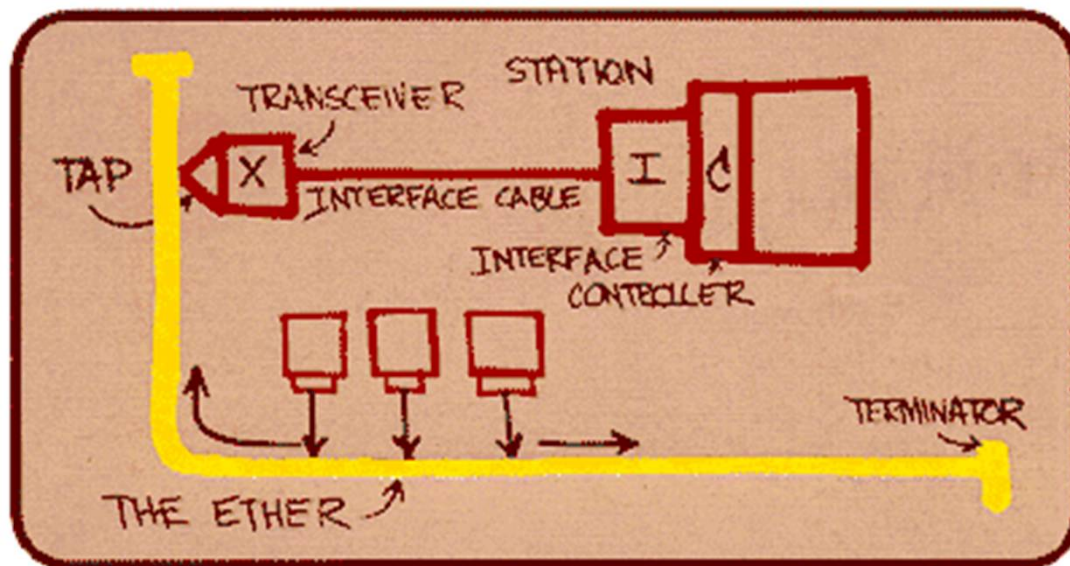
Διαδικασία εκθετικού backoff 2

- 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**

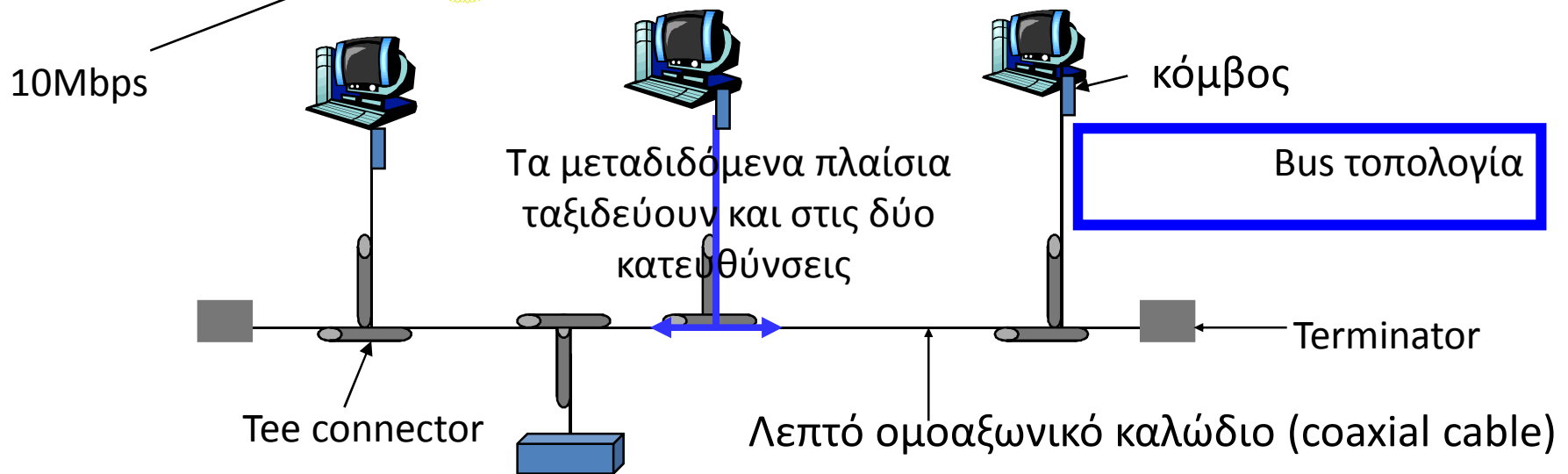


δημιουργός του CSMA/CD
& Ethernet LAN

Metcalfe's Ethernet
sketch

200m: μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων χωρίς αναμεταδότες ανάμεσα

10Base2 Ethernet



Οι κόμβοι συνδέονται μέσω των adapters τους γραμμικά

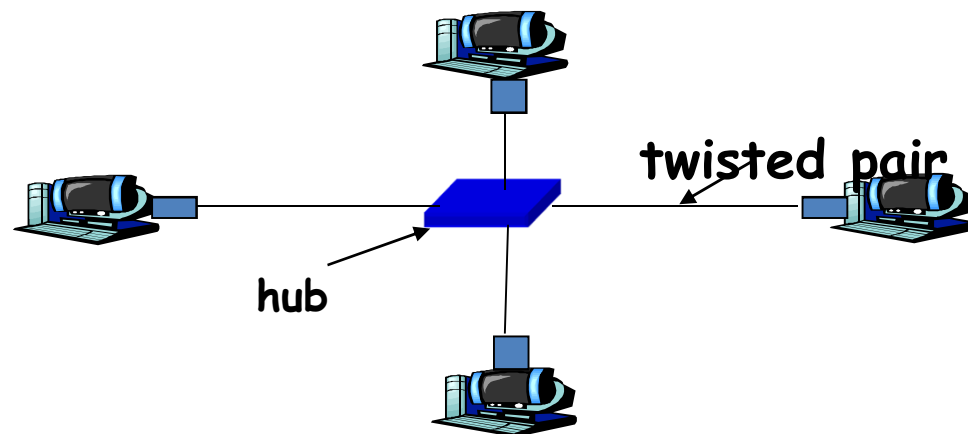
Όταν ένα πλαίσιο περνά από ένα tee connector:
ένα αντίγραφο του προωθείται προς τη μία κατεύθυνση
κι ένα άλλο προς την άλλη

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



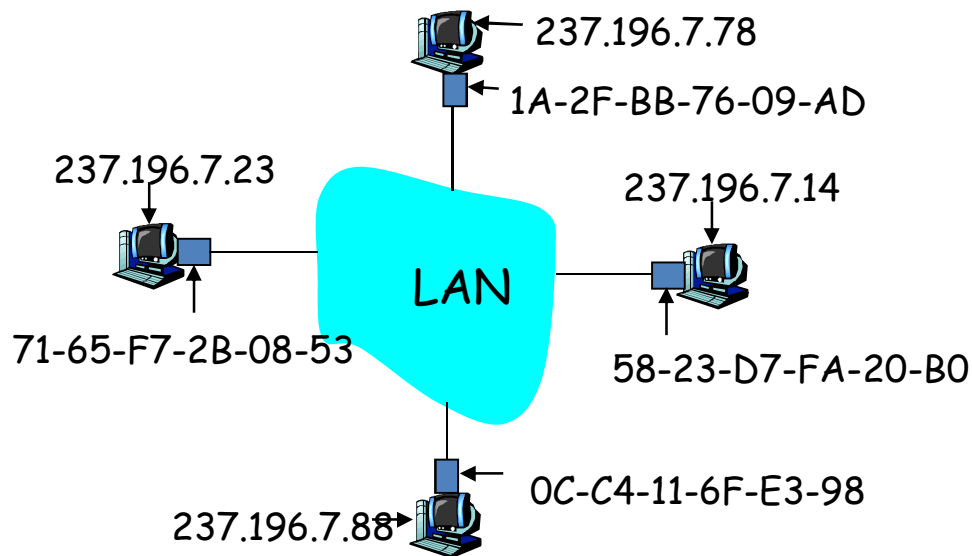
Gigabit Ethernet

- **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 Β 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 >

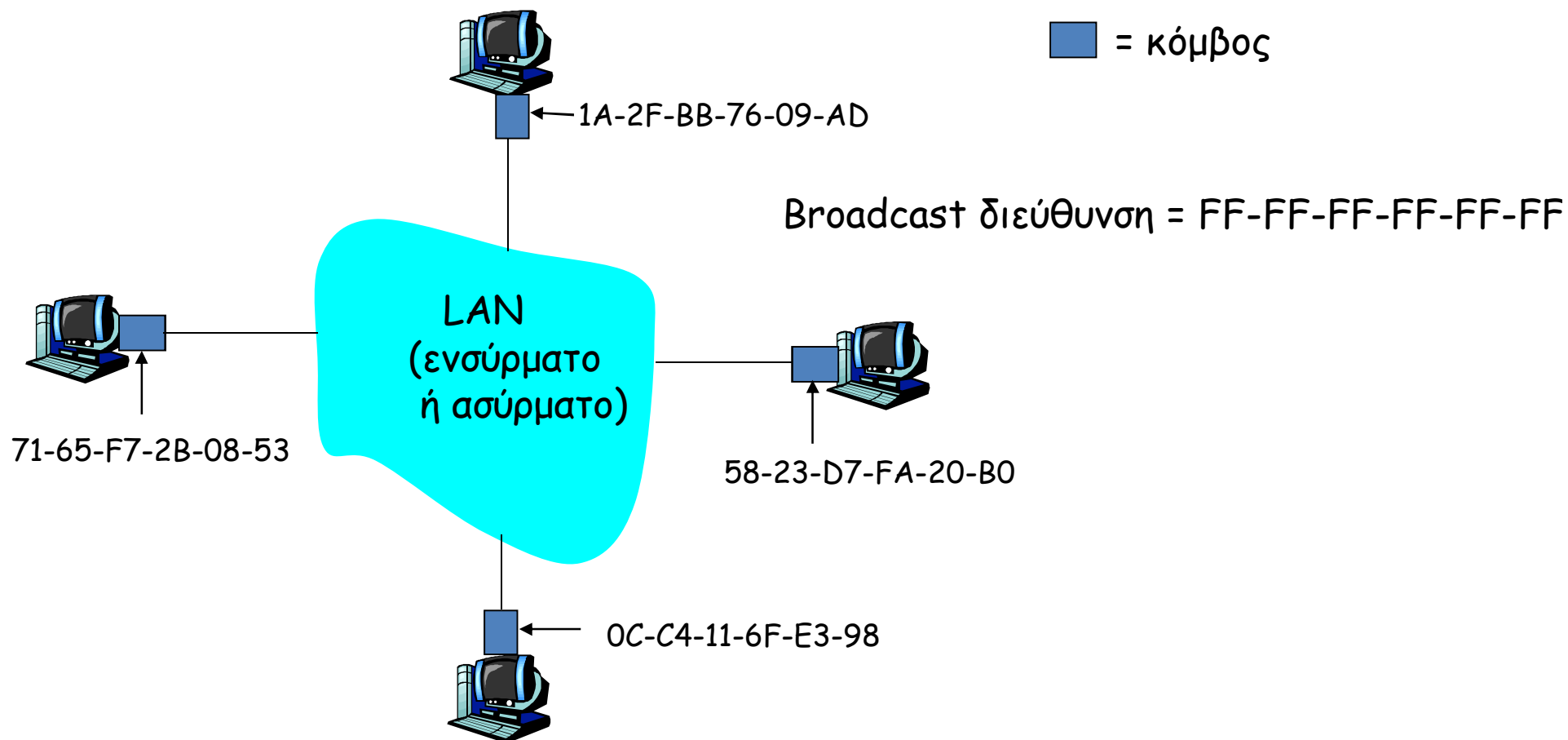


- **TTL (Time To Live):**

ο χρόνος μετά από τον οποίο η αντιστοίχιση 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 δεδομένογραμμα 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
 - 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**
- Όλοι οι κόμβοι** σε αυτό το LAN λαμβάνουν το ARP packet

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 συνδεδεμένο (ίδιο δίκτυο)
- 48-bit MAC διεύθυνση (για τα περισσότερα LANs) τοποθετημένη μέσα στη R(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? 1

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

Αν διευθύνσεις επιπέδου δικτύου χρησιμοποιούνταν από adapters ⇒

η διεύθυνση επιπέδου δικτύου θα έπρεπε να αποθηκευθεί στην RAM του adapter

Γιατί κάποια επίπεδα έχουν την δικιά τους διεύθυνση? 2

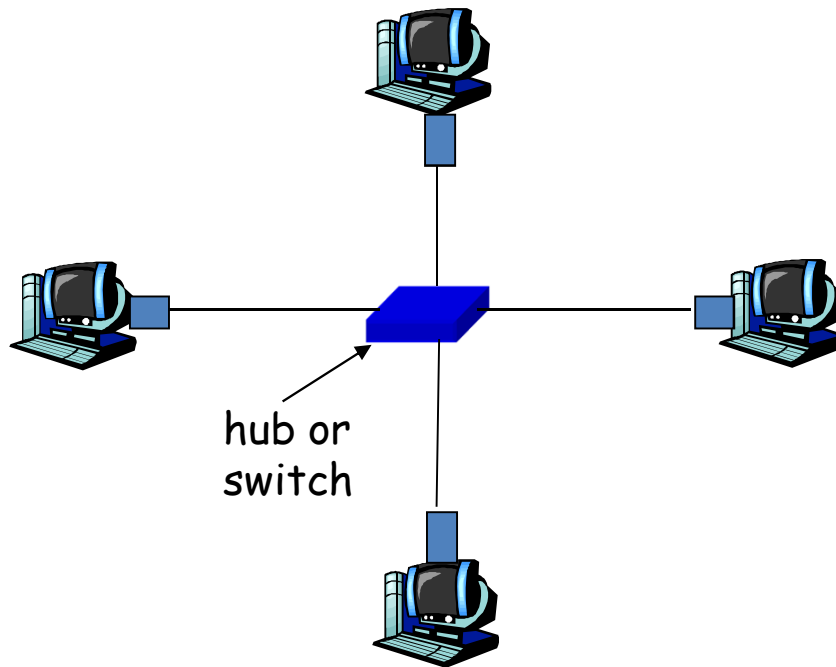
- 👎 Ξαναρυθμίζονται κάθε φορά που η συσκευή μετακινείται
- ☹️ Οι adapters δεν θα υποστήριζαν εύκολα διαφορετικά πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου ...

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!

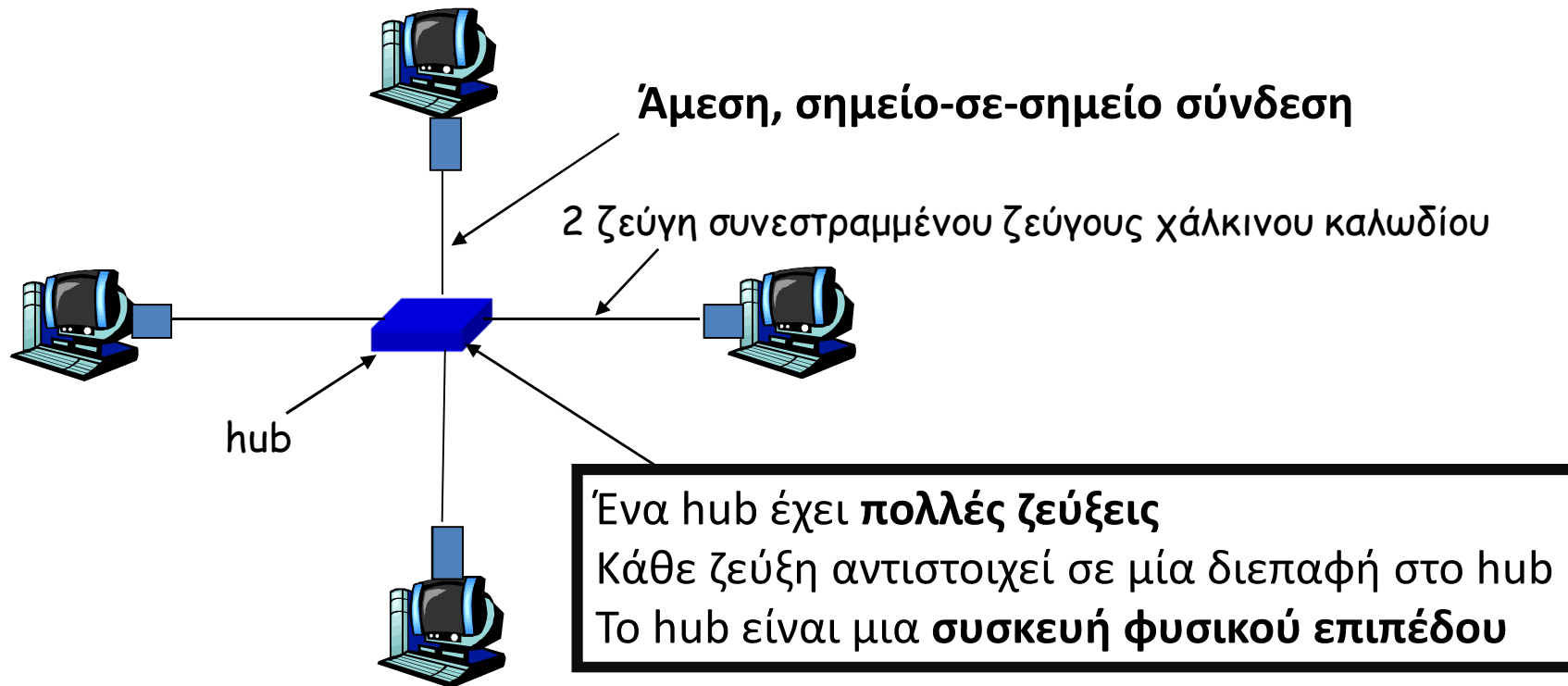
Τοπολογία Αστεριού (Star topology)

- 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



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

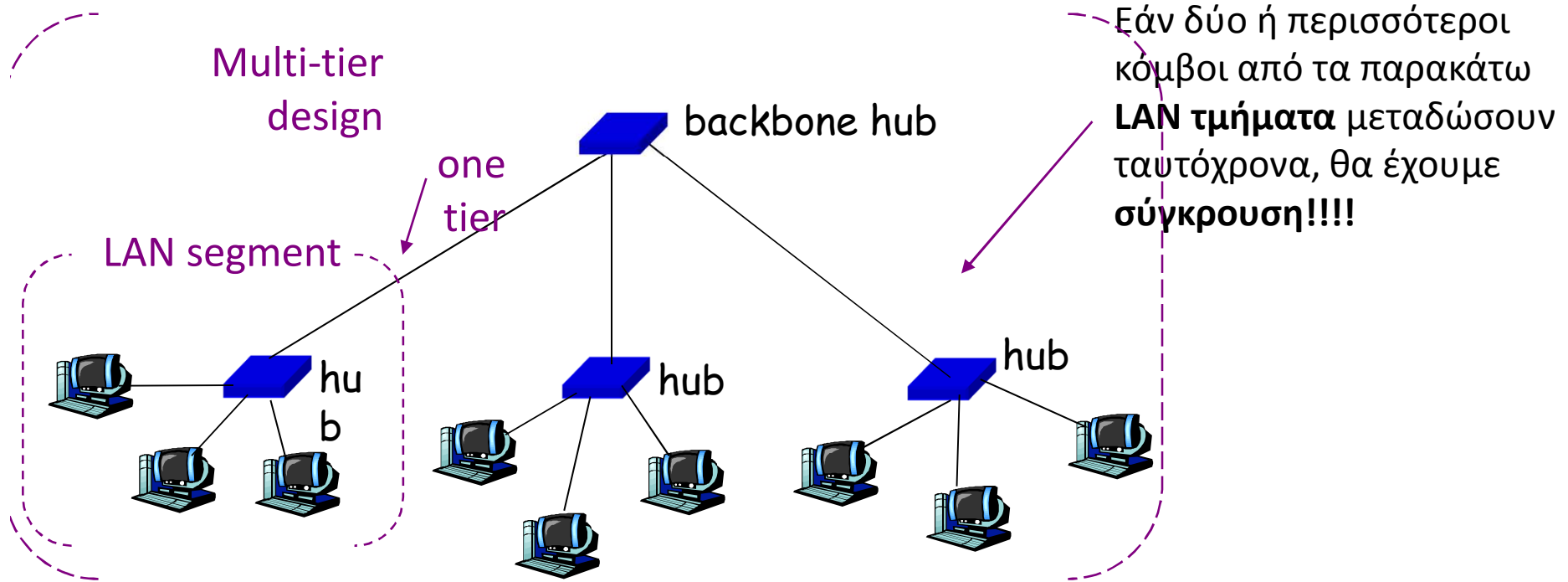
Λαμβάνει bits από μία ζεύξη και απλά εκπέμπει αυτά τα bits προς όλες τις άλλες ζεύξεις

- 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 1

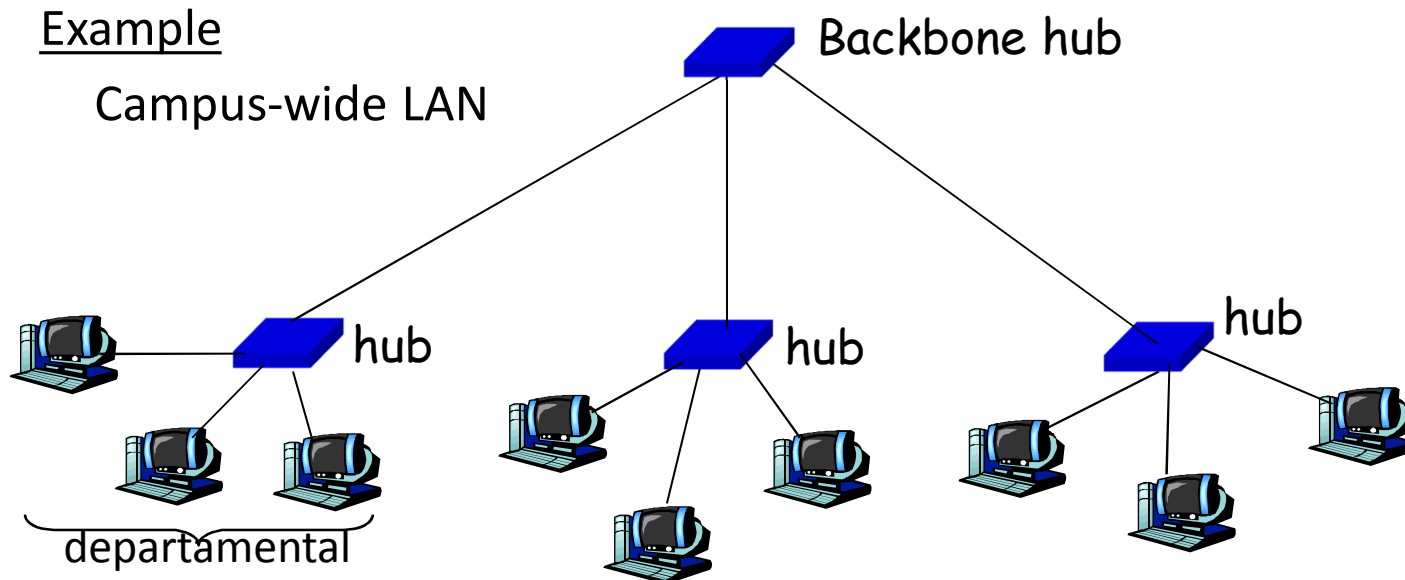
- Κάθε τμήμα ενός LAN αποτελείται από υπολογιστές υπηρεσίας, που συνδέονται με ένα hub.
- Τα επιμέρους τμήματα του LAN συνδέονται μεταξύ τους και αυτά με ένα hub(backbone hub)(σχεδίαση hub πολλαπλών βαθμίδων)
- **Επεκτείνει την μέγιστη απόσταση** μεταξύ κόμβων
- Αλλά ξεχωριστοί τμηματικοί τομείς συγκρούσεων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

Διασύνδεση με hubs 2



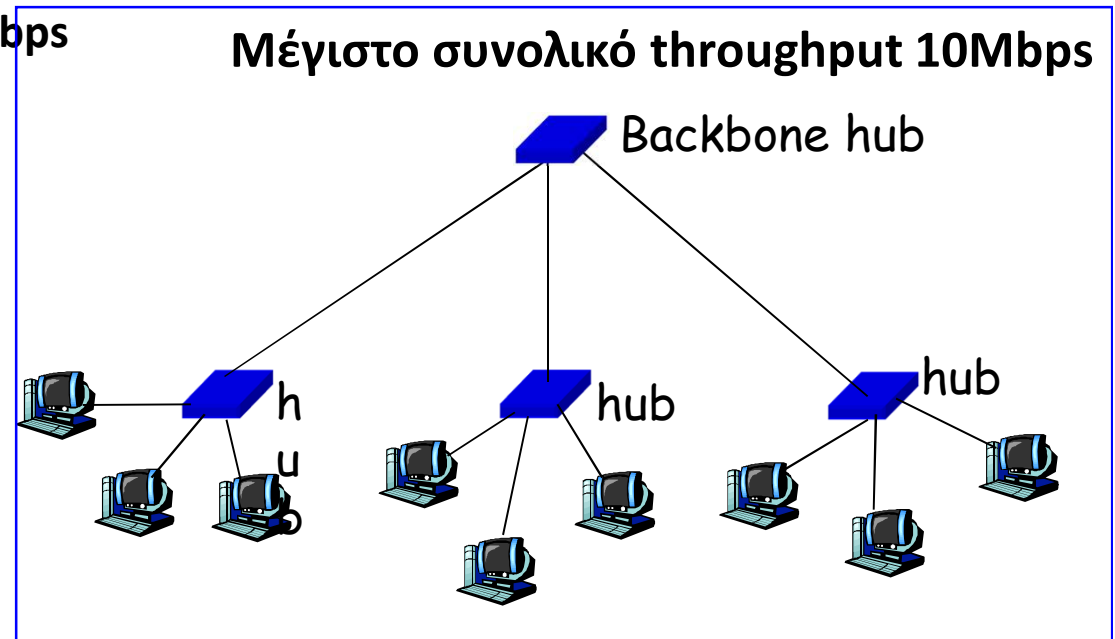
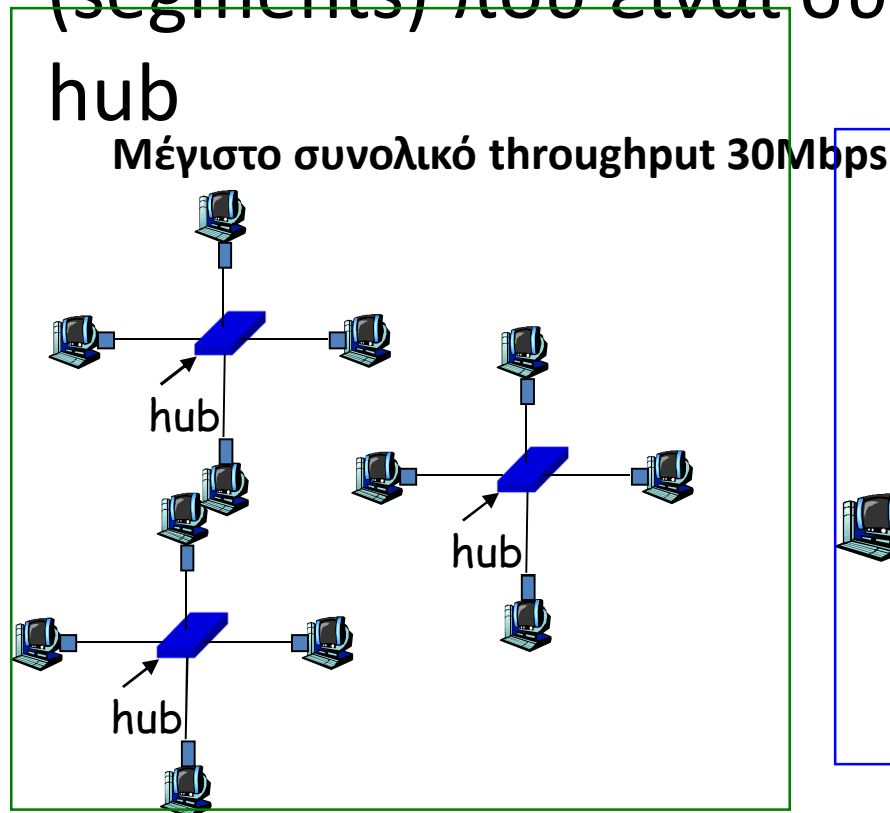
Διασυνδεση με hubs (πλεονεκτήματα)

- 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 συνδεδεμένα με αυτό το backbone hub **συνεχίζουν ομαλά τη λειτουργία τους**



Διασύνδεση με hubs (μειονεκτήματα)

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



εάν το καθένα LAN segment είναι 10Mbps

Διασύνδεση με hubs (μειονεκτήματα) 1

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)

Διασύνδεση με hubs (μειονεκτήματα) 2

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)

Bridges (or layer-2 switches)

- 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

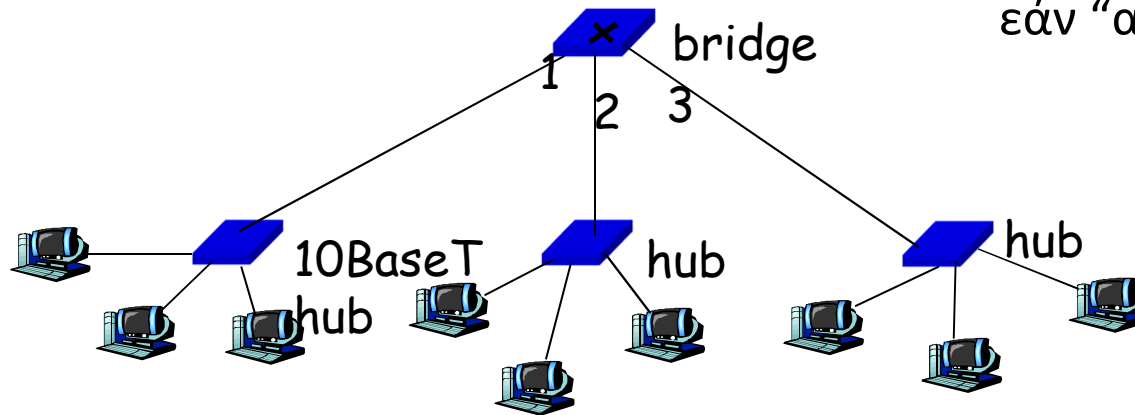
Επίσης μπαίνουν σε

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 προορισμ

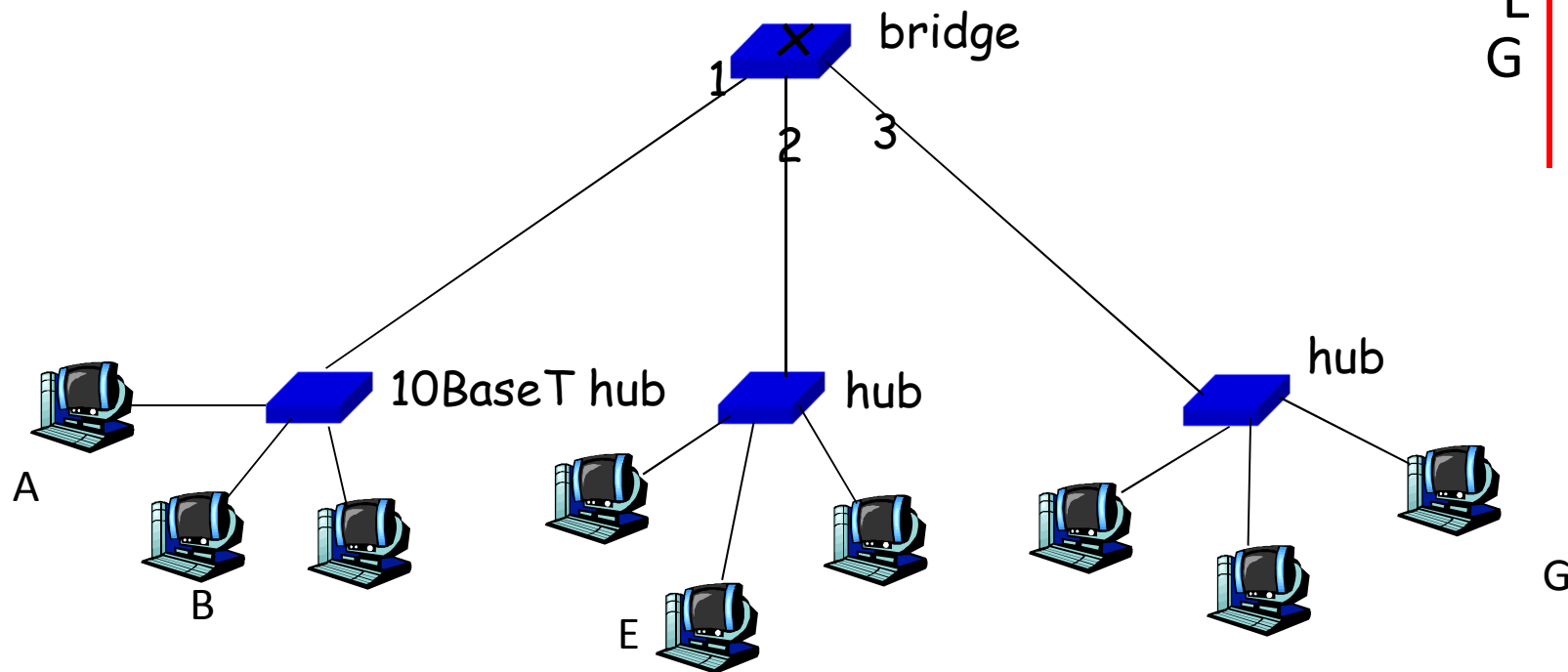
Γέφυρα

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

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 αυτή 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

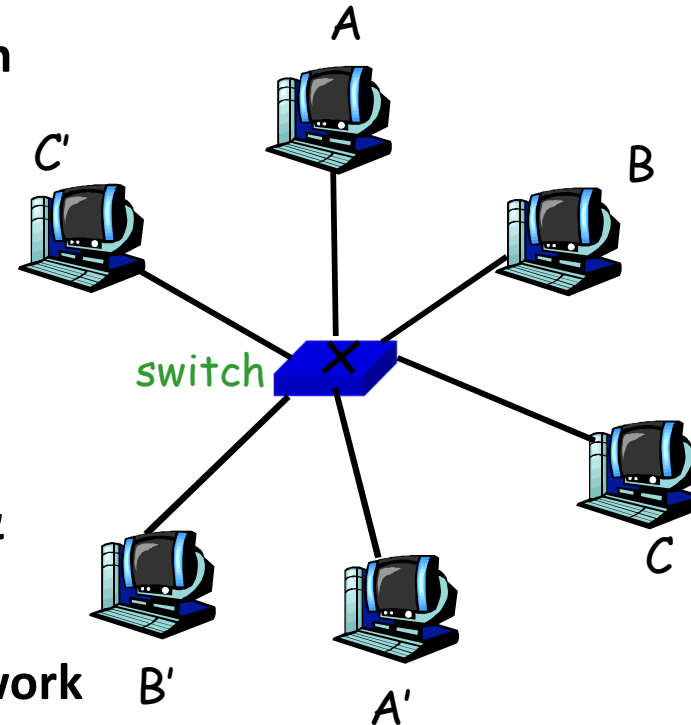
Switching: A-στο-A' και B-στο-B' **ταυτόχρονα**
χωρίς συγκρούσεις

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

Διαφορά από τα bridges!

👉 Παρατηρείστε επίσης τη διαφορά τους με τις
shared LAN συνδέσεις!!!!

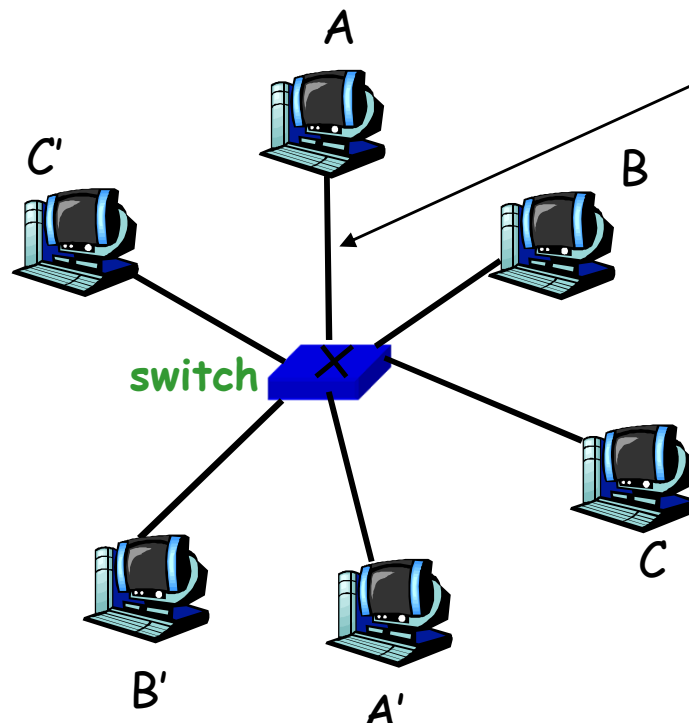
Εδώ ο κάθε κόμβος έχει ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ



Switches operate in full-duplex mode unlike bridges!

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)

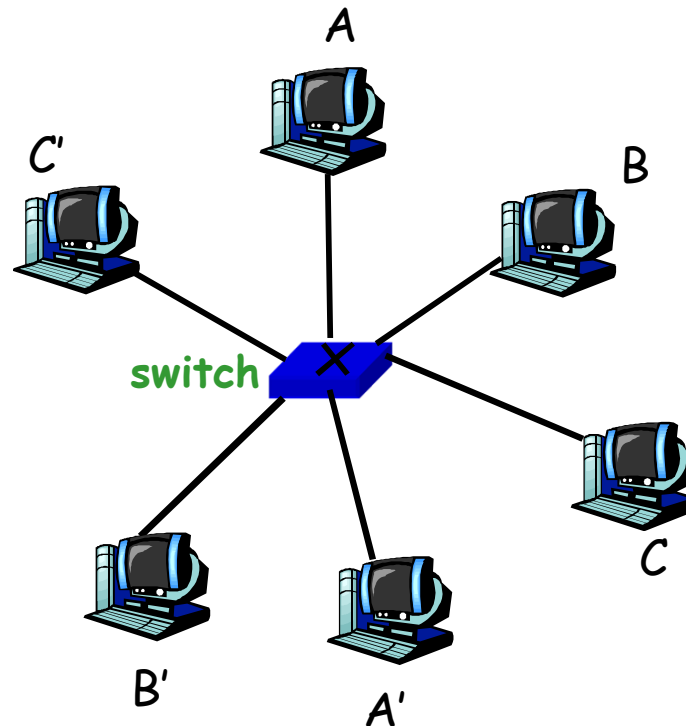
☞ Τα bridges & switches είναι store-and-forward, σε αντίθεση με τα hubs

Παράδειγμα

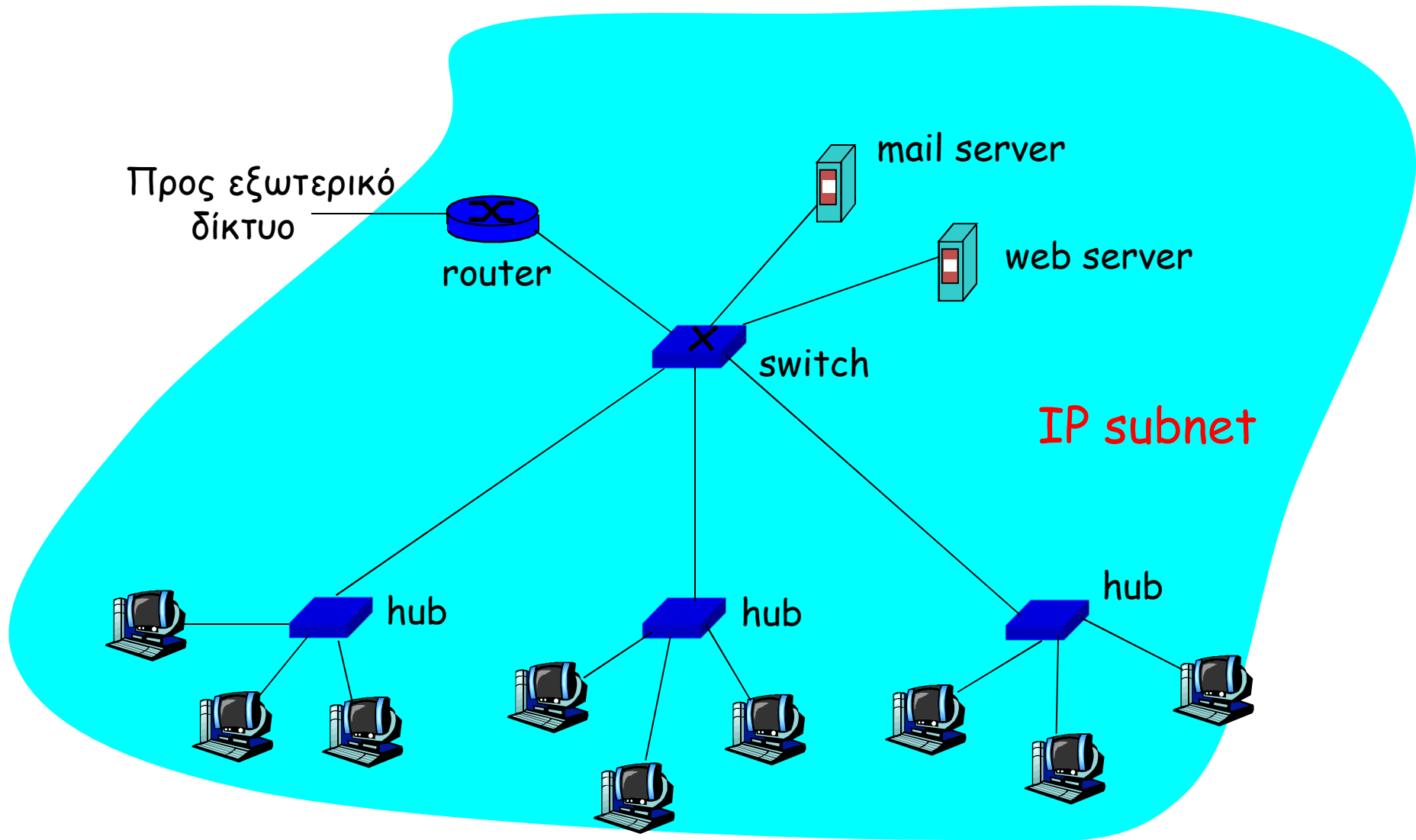
Υποθέστε ότι:

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

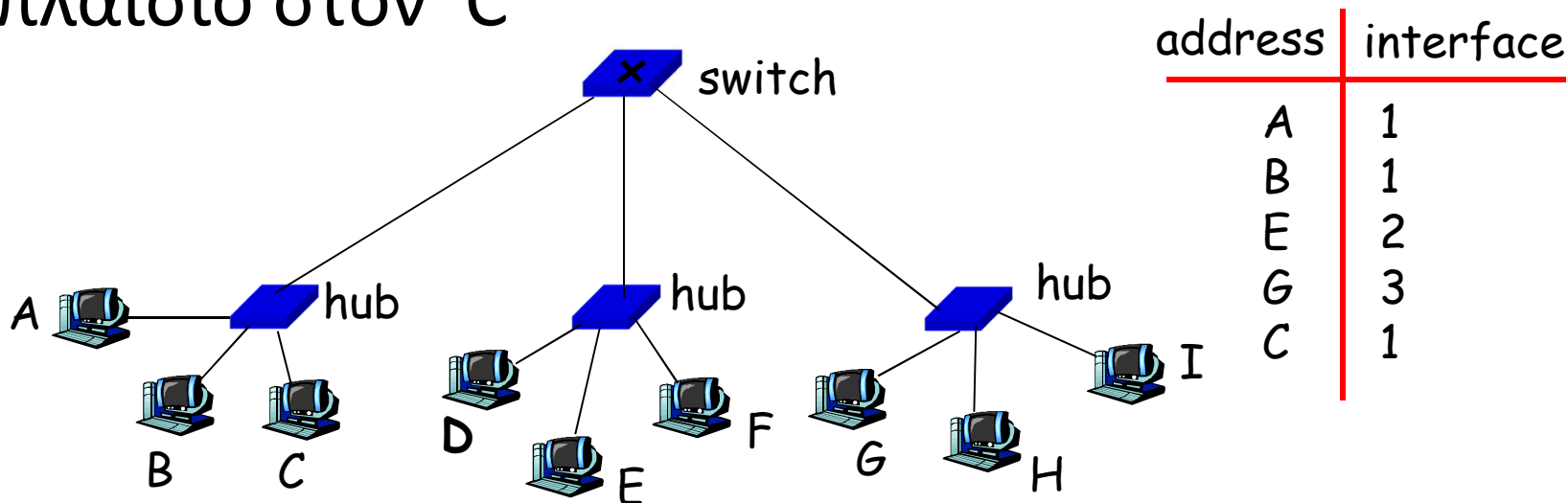


Institutional δίκτυο



Παράδειγμα Switch

Υποθέστε ότι ο D απαντάει πίσω με ένα πλαίσιο στον C

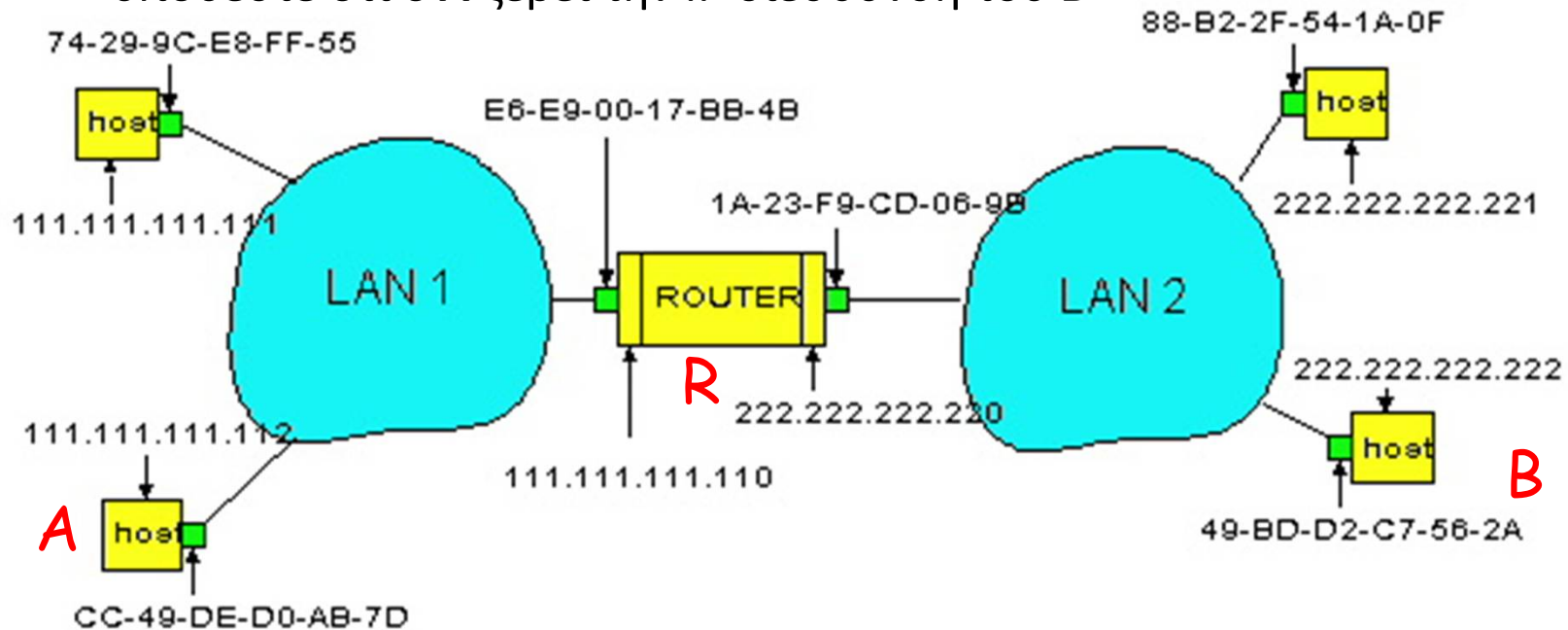


1. το Switch λαμβάνει το πλαίσιο από τον D
2. σημειώνει στο πίνακα του bridge ότι ο D είναι στο interface 2
3. επειδή ο C είναι στον πίνακα, το switch προωθεί το πλαίσιο μόνο στο interface 1
4. το πλαίσιο λαμβάνεται από τον C

Δρομολώντας σε ένα άλλο LAN

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

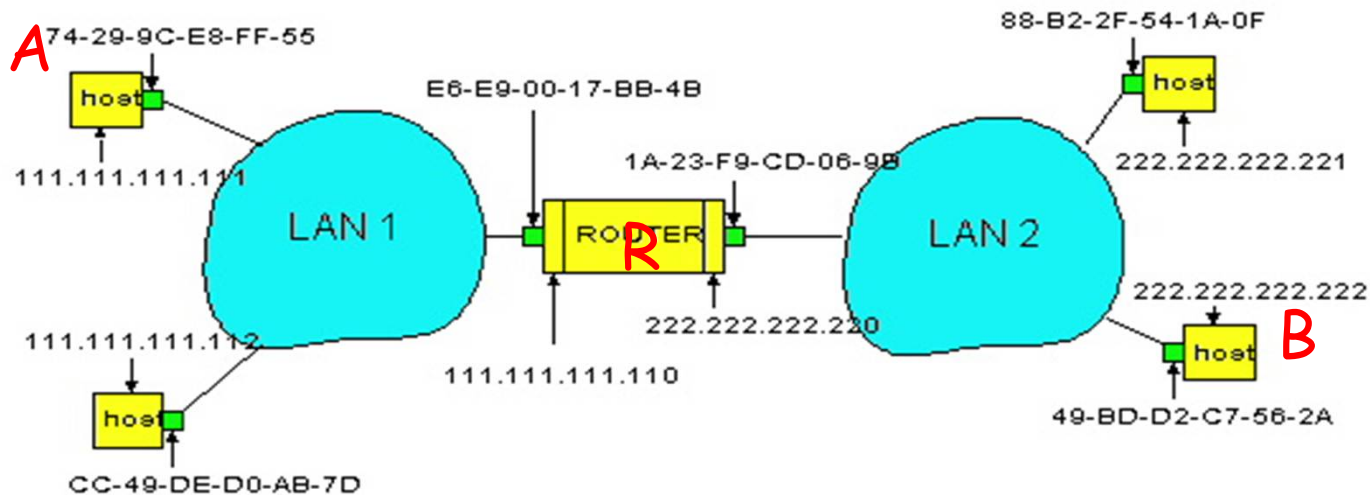
υποθέστε ότι ο **A** ξέρει την IP διεύθυνση του **B**



- Δύο ARP πίνακες στον δρομολογητή, 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**



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

