



## Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

### **Ενότητα 6: Επίπεδο Ζεύξης:**

**Ζεύξεις, Δίκτυα Πρόσβασης,  
Δίκτυα Τοπικής Περιοχής**

**Διδάσκων: Νάσος Βάιος**

**Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών**

### Επίπεδο ζεύξης

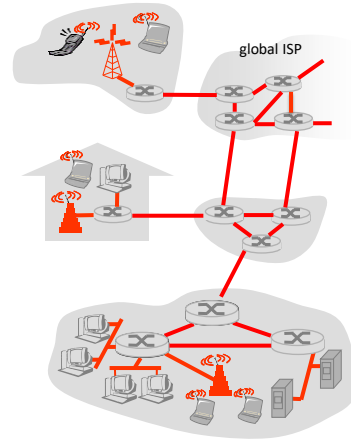
- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η “ζωή” μιας αίτησης web

## Επίπεδο ζεύξης: Εισαγωγή

### Ορολογία:

- οι υπολογιστές και οι δρομολογητές είναι **κόμβοι (nodes)**
- τα κανάλια επικοινωνίας που ενώνουν γειτονικούς κόμβους κατά μήκος της διαδρομής επικοινωνίας είναι **ζεύξεις (links)**
  - ενσύρματες ζεύξεις
  - ασύρματες ζεύξεις
  - LANs
- το πακέτο επιπέδου 2 ονομάζεται **πλαίσιο (frame)**, ενθυλακώνει datagram

**το επίπεδο ζεύξης δεδομένων έχει την ευθύνη μεταφοράς των datagrams από έναν κόμβο σε φυσικά γειτονικό κόμβο πάνω από μία ζεύξη**



6-5

## Επίπεδο ζεύξης: πλαίσιο

- Το datagram μεταφέρεται από διαφορετικά πρωτόκολλα επιπέδου ζεύξης σε διαφορετικές ζεύξεις:
  - π.χ., Ethernet στην πρώτη ζεύξη, frame relay σε ενδιάμεσες ζεύξεις, 802.11 στην τελευταία ζεύξη
- Κάθε πρωτόκολλο ζεύξης παρέχει διαφορετικές υπηρεσίες
  - π.χ., ενδέχεται να παρέχει ή να μην παρέχει απομακρυσμένη μετάδοση δεδομένων (remote data transmission - rdt) πάνω από τη ζεύξη

### Αναλογία με μεταφορές

- Ταξίδι από το Πρίνστον στη Λωζάνη
  - **Ταξί**: Πρίνστον ως JFK
  - **Αεροπλάνο**: JFK ως Γενεύη
  - **Τρένο**: Γενεύη ως Λωζάνη
- Τουρίστας = **datagram**
- Τμήμα μεταφοράς = **ζεύξη επικοινωνίας**
- Τρόπος μεταφοράς = **πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης**
- Ταξιδιωτικός πράκτορας = **αλγόριθμος δρομολόγησης**

6-6

## Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης

### ❑ Πλαισίωση, πρόσβαση στη ζεύξη:

- ενθυλακώνει το datagram σε πλαίσιο, προσθέτοντας κεφαλίδα, ουρά
- πρόσβαση στο κανάλι στην περίπτωση κοινόχρηστου μέσου
- χρησιμοποιούνται “MAC” (medium access control) διευθύνσεις στις κεφαλίδες των πλαισίων για την αναγνώριση πηγής, προορισμού
  - διαφορετικές από τις διευθύνσεις IP !

### ❑ Αξιόπιστη παράδοση μεταξύ γειτονικών κόμβων

- μάθαμε ήδη πώς γίνεται (Κεφάλαιο 3)!
- σπάνια χρησιμοποιείται σε ζεύξεις με χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων bit (ίνες, κάποια συνεστραμμένα ζεύγη)
- ασύρματες ζεύξεις: υψηλοί ρυθμοί σφαλμάτων
  - **E:** γιατί αξιοπιστία και σε επίπεδο ζεύξης και από άκρο σε άκρο;

6-7

## Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης

### ❑ Έλεγχος ροής:

- ρύθμιση ρυθμού μεταξύ γειτονικών κόμβων αποστολής και λήψης

### ❑ Ανίχνευση σφαλμάτων :

- σφάλματα που προκαλούνται από εξασθένιση του σήματος, θόρυβο
- ο δεκτής ανιχνεύει την ύπαρξη σφαλμάτων:
  - ειδοποιεί τον αποστολέα για αναμετάδοση ή απορρίπτει το πλαίσιο

### ❑ Διόρθωση σφαλμάτων:

- ο δέκτης αναγνωρίζει **και διορθώνει** σφάλματα bit χωρίς να καταφεύγει στην αναμετάδοση

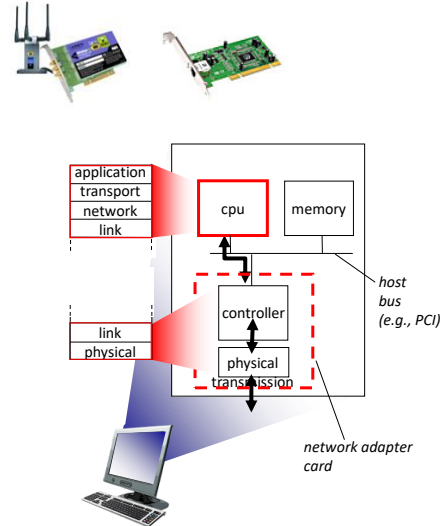
### ❑ Ημι-αμφίδρομη (Half-duplex) και αμφίδρομη (Full-duplex)

- με half duplex, οι κόμβοι και στα δυο άκρα της ζεύξης μπορούν να μεταδώσουν, αλλά όχι ταυτόχρονα

6-8

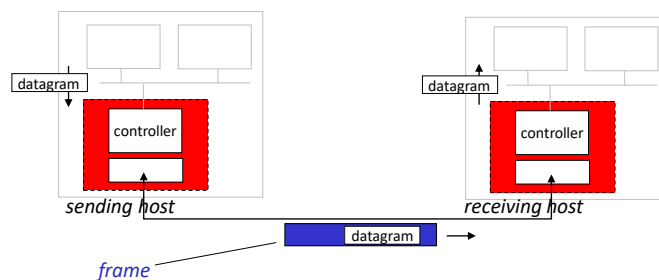
## Πού υλοποιείται το επίπεδο ζεύξης;

- ❑ σε κάθε υπολογιστή
- ❑ σε «προσαρμογέα» δικτύου (δηλ. **κάρτα δικτύου (network interface card - NIC)**) ή σε chip
  - κάρτα Ethernet, κάρτα 802.11, Ethernet chipset
  - υλοποιεί τη ζεύξη, φυσικό επίπεδο
- ❑ συνδέεται στο δίαυλο συστήματος του υπολογιστή
- ❑ συνδυασμός hardware, software, firmware



6-9

## Προσαρμογείς που επικοινωνούν



- ❑ πλευρά αποστολής:
  - ενθυλακώνει το datagram σε **πλαίσιο (frame)**
  - προσθέτει bits ελέγχου σφάλματος, αξιοπιστίας μεταφοράς δεδομένων (rdt), ελέγχου ροής, κ.τ.λ.
- ❑ πλευρά λήψης
  - ελέγχει για σφάλματα, rdt, έλεγχος ροής, κ.τ.λ.
  - εξάγει το datagram, το παραδίδει στο ανώτερο επίπεδο στην πλευρά λήψης

6-10

## Επίπεδο ζεύξης

- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η “ζωή” μιας web αίτησης

6-17

## Πρωτόκολλα και ζεύξεις πολλαπλής πρόσβασης

Δύο είδη “ζεύξεων”:

- ❑ σημείο προς σημείο
  - PPP για πρόσβαση dial-up
  - σημείο προς σημείο ζεύξη μεταξύ μεταγωγού Ethernet και υπολογιστή
- ❑ ευρυ-εκπομπής (broadcast) (καλώδιο ή μέσο κοινής χρήσης)
  - παραδοσιακό Ethernet
  - upstream HFC
  - 802.11 wireless LAN



shared wire (e.g.,  
cabled Ethernet)



shared RF  
(e.g., 802.11 WiFi)



shared RF  
(satellite)



humans at a  
cocktail party  
(shared air, acoustical)

6-18

## Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης

- ❑ μοναδικό broadcast κανάλι κοινής χρήσης
- ❑ δύο ή περισσότερες ταυτόχρονες μεταδόσεις από τους κόμβους: παρεμβολές
  - Σύγκρουση (collision) αν ο κόμβος λάβει δύο ή περισσότερα σήματα ταυτόχρονα

### Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης

- ❑ κατανομημένος αλγόριθμος που καθορίζει πώς οι κόμβοι μοιράζονται το κανάλι, π.χ., καθορίζει πότε ο κόμβος μπορεί να μεταδώσει
- ❑ η επικοινωνία για την κοινή χρήση του καναλιού πρέπει να χρησιμοποιήσει το ίδιο το κανάλι!
  - Δεν υπάρχει εκτός ζώνης (out-of-band) κανάλι για συντονισμό!

6-19

## Ιδανικό πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης

**Δίνεται:** Κανάλι ευρυ-εκπομπής (broadcast) ρυθμού  $R$

### Ζητούμενο:

- ❑ όταν ένας κόμβος θέλει να μεταδώσει μπορεί να στείλει με ρυθμό  $R$ .
- ❑ όταν  $M$  κόμβοι θέλουν να μεταδώσουν, ο καθένας μπορεί να στείλει με μέσο ρυθμό  $R/M$
- ❑ πλήρως αποκεντρωμένο:
  - ❑ χωρίς κάποιος ειδικός κόμβος να συντονίζει τις μεταδόσεις
  - ❑ χωρίς συγχρονισμό ρολογιών, θυρίδων
- ❑ απλό

6-20

## Πρωτόκολλα MAC: μια ταξινόμηση

Τρεις ευρείες κατηγορίες:

### ☐ διαμέριση καναλιού

- διαιρεί το κανάλι σε μικρότερα “κομμάτια” (χρονοθυρίδες, συχνότητα, κώδικες)
- εκχώρηση κομματιού σε κόμβο για αποκλειστική χρήση

### ☐ τυχαία πρόσβαση

- το κανάλι δε διαιρείται, επιτρέπονται συγκρούσεις
- “ανάληψη” από συγκρούσεις

### ☐ εκ περιτροπής λειτουργία

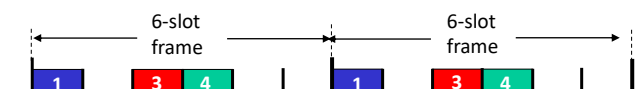
- οι κόμβοι μεταδίδουν με τη σειρά, αλλά οι μεταδόσεις των κόμβων που έχουν να στείλουν περισσότερα μπορεί να διαρκέσουν περισσότερο

6-21

## Πρωτόκολλα MAC διαμέρισης καναλιού: TDMA

TDMA: πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (time division multiple access)

- ☐ πρόσβαση στο κανάλι σε “γύρους”
- ☐ κάθε σταθμός παίρνει θυρίδα σταθερού μήκους (μήκος = χρόνος μετάδοσης πακέτου) σε κάθε γύρο
- ☐ θυρίδες που δεν χρησιμοποιούνται παραμένουν αδρανείς
- ☐ παράδειγμα: 6 σταθμοί LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, θυρίδες 2,5,6 ανενεργές

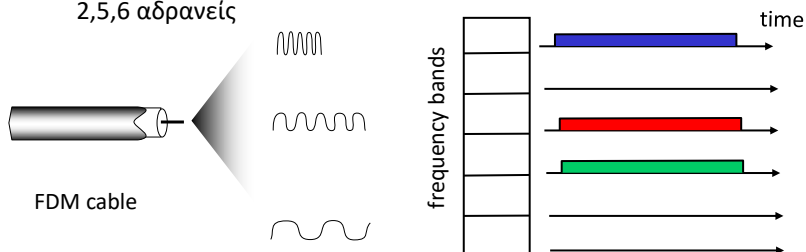


6-22

## Πρωτόκολλα MAC κατάτμησης καναλιού: FDMA

**FDMA: πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (frequency division multiple access)**

- το φάσμα του καναλιού διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων
- σε κάθε σταθμό εκχωρείται μια σταθερή ζώνη συχνοτήτων
- ο χρόνος μετάδοσης που δεν χρησιμοποιείται στις ζώνες συχνοτήτων παραμένει αδρανής
- παράδειγμα: 6 σταθμοί LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, οι ζώνες συχνοτήτων 2,5,6 αδρανείς



6-23

## Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης

- Όταν ο κόμβος έχει πακέτο προς αποστολή
  - μεταδίδει με τον πλήρη ρυθμό του καναλιού R.
  - χωρίς *a priori* συντονισμό μεταξύ των κόμβων
- Δύο ή περισσότεροι κόμβοι που μεταδίδουν → “σύγκρουση”
- το πρωτόκολλο MAC τυχαίας πρόσβασης καθορίζει:
  - πώς να ανιχνεύονται οι συγκρούσεις
  - πώς να γίνεται η ανάνηψη από συγκρούσεις (π.χ., μέσω καθυστερημένων αναμεταδόσεων)
- Παραδείγματα πρωτοκόλλων MAC τυχαίας πρόσβασης:
  - Θυριδωτό ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

6-24

## Θυριδωτό ALOHA (Slotted ALOHA)

### Υποθέσεις:

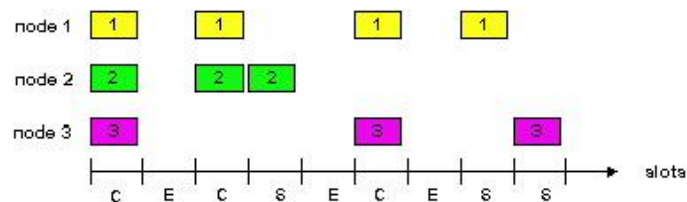
- όλα τα πλαίσια έχουν το ίδιο μέγεθος
- ο χρόνος διαιρείται σε ίσου μεγέθους θυρίδες (χρόνος μετάδοσης 1 πλαισίου)
- οι κόμβοι ξεκινούν να μεταδίδουν πλαίσια μόνο στην αρχή των θυρίδων
- οι κόμβοι είναι συγχρονισμένοι
- αν 2 ή περισσότεροι κόμβοι μεταδώσουν σε μια θυρίδα, όλοι οι κόμβοι ανιχνεύουν τη σύγκρουση

### Λειτουργία:

- όταν ο κόμβος έχει νέο πλαίσιο το μεταδίδει στην επόμενη θυρίδα
  - **αν όχι σύγκρουση:** ο κόμβος μπορεί να στείλει νέο πλαίσιο στην επόμενη θυρίδα
  - **αν σύγκρουση:** ο κόμβος αναμεταδίδει το πλαίσιο σε κάθε επόμενη θυρίδα με πιθανότητα  $p$  μέχρι την επιτυχία

6-25

## Θυριδωτό ALOHA



### Πλεονεκτήματα

- αν μόνο ένας κόμβος είναι ενεργός μπορεί να μεταδίδει διαρκώς στον πλήρη ρυθμό του καναλιού
- σε μεγάλο βαθμό αποκεντρωμένο: μόνο οι θυρίδες στους κόμβους χρειάζεται να είναι συγχρονισμένες
- απλό

### Μειονεκτήματα

- συγκρούσεις, χάνονται θυρίδες
- αδρανείς θυρίδες
- οι κόμβοι ενδέχεται να μπορούν να ανιχνεύσουν σύγκρουση σε λιγότερο από το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου
- συγχρονισμός ρολογιού

6-26

## Αποδοτικότητα του Θυριδωτού Aloha

**Αποδοτικότητα** : ποσοστό επιτυχημένων θυρίδων σε βάθος χρόνου (πολλοί κόμβοι, όλοι με πολλά πλαίσια προς αποστολή)

- **Υπόθεση**:  $N$  κόμβοι με πολλά πλαίσια προς αποστολή, ο καθένας μεταδίδει σε μια θυρίδα με πιθανότητα  $p$
- πιθανότητα ένας συγκεκριμένος κόμβος να επιτύχει σε μια θυρίδα  $= p(1-p)^{N-1}$
- πιθανότητα κάποιος κόμβος να επιτύχει  $= Np(1-p)^{N-1}$

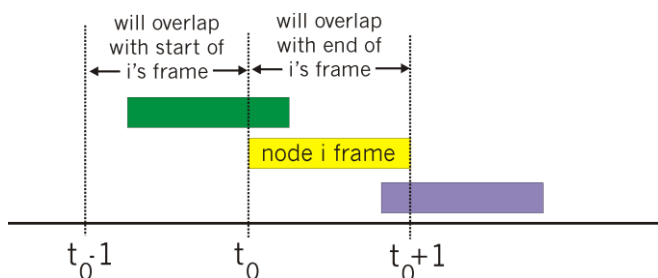
- **Μέγιστη αποδοτικότητα**: βρες το  $p^*$  που μεγιστοποιεί το  $Np(1-p)^{N-1}$
- Για πολλούς κόμβους, το όριο του  $Np^*(1-p^*)^{N-1}$  καθώς το  $N$  πάει στο άπειρο, δίνει **μέγιστη αποδοτικότητα**  $= 1/e = 0.37$

**Στην καλύτερη περίπτωση:**  
το κανάλι χρησιμοποιείται  
για ωφέλιμες μεταδόσεις  
το 37% του χρόνου!

6-27

## Απλό (χωρίς θυρίδες) ALOHA

- ALOHA χωρίς θυρίδες: απλούστερο, χωρίς συγχρονισμό
- όταν το πλαίσιο φτάνει για πρώτη φορά
  - μετάδωσε αμέσως
- η πιθανότητα σύγκρουσης αυξάνει:
  - το πλαίσιο που στέλνεται στο  $t_0$  συγκρούεται με άλλα πλαίσια που στέλνονται στο  $[t_0-1, t_0+1]$



6-28

## Αποδοτικότητα του απλού Aloha

$$\begin{aligned} P(\text{επιτυχία από συγκεκριμένο κόμβο}) &= P(\text{ο κόμβος μεταδίδει}) * \\ &P(\text{κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει στο } [t_0-1, t_0]) * \\ &P(\text{κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει στο } [t_0, t_0+1]) \\ &= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1} \\ &= p \cdot (1-p)^{2(N-1)} \end{aligned}$$

... διαλέγοντας το βέλτιστο  $p$  και αφήνοντας  $N \rightarrow \infty$  ...

$$= 1/(2e) = 0.18$$

*Ακόμα χειρότερα από το θυριδωτό!*

## Πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος (CSMA - Carrier Sense Multiple Access)

**CSMA:** άκου πριν μεταδώσεις:

- ☐ Αν το κανάλι ανιχνευτεί ανενεργό, μετάδωσε ολόκληρο το πλαίσιο
- ☐ Αν το κανάλι ανιχνευτεί απασχολημένο, ανάβαλε τη μετάδοση

Ανθρώπινη αναλογία: μη διακόπτεις τους άλλους!

## Συγκρούσεις στο CSMA

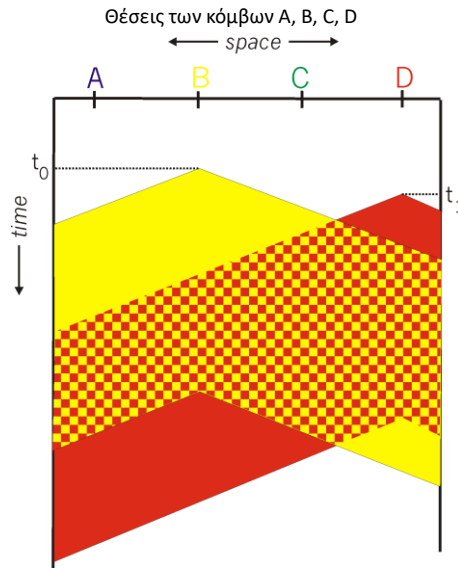
και πάλι μπορεί να εμφανιστούν  
συγκρούσεις:

λόγω της καθυστέρησης διάδοσης, δύο  
κόμβοι μπορεί να μην άκουσαν ο ένας τη  
μετάδοση του άλλου

**σύγκρουση:**

χάνεται ολόκληρος ο χρόνος  
μετάδοσης του πακέτου

- είναι εμφανής ο ρόλος της απόστασης και της καθυστέρησης διάδοσης στον καθορισμό της πιθανότητας σύγκρουσης



6-31

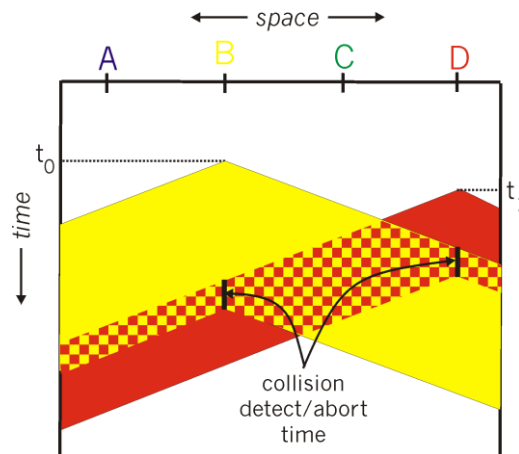
## CSMA/CD (Ανίχνευση Σύγκρουσης)

**CSMA/CD:** ανίχνευση φέροντος, αναβολή μετάδοσης (όπως στο CSMA)

- οι συγκρούσεις ανιχνεύονται γρήγορα
  - οι μεταδόσεις που συγκρούονται διακόπτονται, μειώνοντας το χαμένο χρόνο του καναλιού
- ανίχνευση σύγκρουσης:
- εύκολη στα ενσύρματα LANs: μέτρηση ισχύος σήματος, σύγκριση μεταδιδόμενων, λαμβανόμενων σημάτων
  - δύσκολη στα ασύρματα LANs: η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος «καλύπτεται» από την ισχύ της τοπικής μετάδοσης
- ανθρώπινη αναλογία: ο ευγενικός συνομιλητής

6-32

## CSMA/CD ανίχνευση σύγκρουσης



6-33

## Ethernet CSMA/CD αλγόριθμος

1. Η κάρτα διεπαφής δικτύου (Network Interface Card – NIC) λαμβάνει το datagram από το επίπεδο δικτύου και δημιουργεί το πλαίσιο (frame)
2. Αν η NIC αισθανθεί το κανάλι αδρανές, αρχίζει τη μετάδοση του πλαισίου. Αν το αισθανθεί κατειλημμένο, περιμένει μέχρι να γίνει αδρανές και τότε μεταδίδει
3. Αν η NIC μεταδώσει όλο το πλαίσιο χωρίς να εντοπίσει άλλη μετάδοση, τότε έχει τελειώσει με το πλαίσιο!
4. Αν η NIC εντοπίσει άλλη μετάδοση ενώ μεταδίδει, διακόπτει και στέλνει ένα jam σήμα
5. Αφού διακόψει, η NIC εισάγει **δυναδική (εκθετική) οπισθοχώρηση**:
  - μετά τη  $m$ -οστή σύγκρουση, η NIC επιλέγει ένα **τυχαίο  $K$**  στο διάστημα  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ . Περιμένει για  $K * 512$  bit χρόνους και επιστρέφει στο Βήμα 2
  - μεγαλύτερο διάστημα οπισθοχώρησης με περισσότερες συγκρούσεις

6-34

## Ρυθμαπόδοση CSMA/CD

- $t_{prop}$  = μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης μεταξύ 2 κόμβων στο LAN
- $t_{trans}$  = χρόνος για τη μετάδοση του πλαισίου μέγιστου μεγέθους

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

- ρυθμαπόδοση πάει στο 1
  - όσο το  $t_{prop}$  πάει στο 0
  - όσο το  $t_{trans}$  πάει στο άπειρο
- καλύτερη απόδοση από το ALOHA: και απλό, φθηνό, αποκεντρωμένο!

6-35

## Πρωτόκολλα MAC λειτουργίας εκ περιτροπής

Πρωτόκολλα MAC με διαμέριση του καναλιού:

- μοιράζουν το κανάλι αποτελεσματικά και δίκαια σε υψηλό φορτίο
- αναποτελεσματικά σε χαμηλό φορτίο: καθυστέρηση στην πρόσβαση στο κανάλι, εκχώρηση 1/N-οστού του εύρους ζώνης ακόμη και αν ένας μόνο ενεργός κόμβος!

Πρωτόκολλα MAC τυχαίας πρόσβασης

- αποτελεσματικά για χαμηλό φορτίο: ένας κόμβος μόνος του μπορεί να χρησιμοποιήσει πλήρως το κανάλι
- υψηλό φορτίο: overhead συγκρούσεων

Πρωτόκολλα λειτουργίας εκ περιτροπής

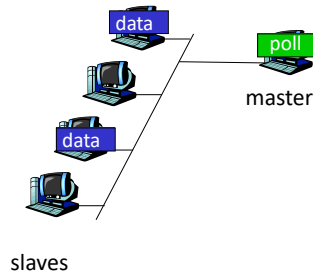
αναζητώντας τα καλύτερα από τους δυο κόσμους!

6-36

## Πρωτόκολλα MAC λειτουργίας εκ περιτροπής

### Σταθμοσκόπηση:

- ❑ ο master κόμβος “προσκαλεί” τους κόμβους slaves να μεταδώσουν με τη σειρά
- ❑ συνήθως χρησιμοποιείται με “χαζές” slave συσκευές
- ❑ προβληματισμοί:
  - overhead σταθμοσκόπησης
  - καθυστέρηση
  - μοναδικό σημείο αποτυχίας (master)

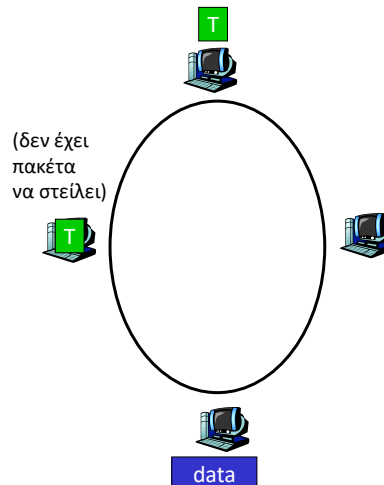


6-37

## Πρωτόκολλα MAC λειτουργίας εκ περιτροπής

### Μεταβίβασης σκυτάλης:

- ❑ σκυτάλη (token) ελέγχου που μεταβιβάζεται από τον έναν κόμβο στον επόμενο σειριακά
- ❑ πλαίσιο σκυτάλης
- ❑ προβληματισμοί:
  - overhead σκυτάλης
  - καθυστέρηση
  - μοναδικό σημείο αποτυχίας (σκυτάλη)



6-38

## Επίπεδο ζεύξης

- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η “ζωή” μιας web αίτησης

6-42

## Διευθύνσεις MAC και ARP

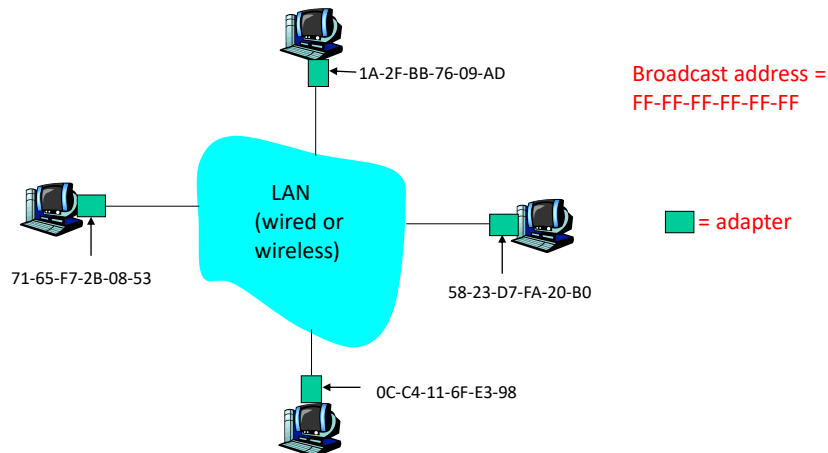
- ❑ Διευθύνσεις IP 32-bit:
  - διεύθυνση *επιπέδου δικτύου* για τη διεπαφή
  - χρησιμοποιείται για προώθηση επιπέδου 3 (επίπεδο δικτύου)
- ❑ Διεύθυνση MAC (ή LAN ή φυσική ή Ethernet) :
  - Λειτουργία: *χρησιμοποιείται “τοπικά” για να πάει το πλαίσιο από τη μια διεπαφή σε μια άλλη φυσικά συνδεδεμένη διεπαφή (ίδιο δίκτυο, υπό την έννοια της IP διευθυνσιοδότησης)*
  - 48 bit διεύθυνση MAC (για τα περισσότερα LANs) αποθηκευμένη στη ROM του προσαρμογέα (NIC ROM)
  - π.χ.: 1A-2F-BB-76-09-AD

δεκαεξαδικός (βάση 16) συμβολισμός  
(κάθε “νούμερο” αντιπροσωπεύει 4 bits)

6-43

## Διευθύνσεις LAN

Κάθε προσαρμογέας (adapter) του LAN έχει μοναδική διεύθυνση LAN



6-44

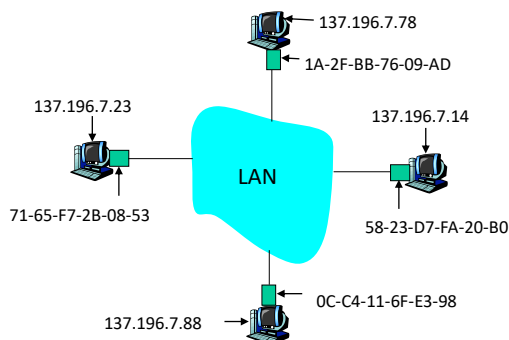
## LAN διευθύνσεις (συν.)

- ❑ το IEEE διαχειρίζεται την εκχώρηση MAC διευθύνσεων
- ❑ ένας κατασκευαστής αγοράζει τμήμα του χώρου των MAC διευθύνσεων (για να διασφαλιστεί μοναδικότητα)
- ❑ Αναλογία:
  - (a) διεύθυνση MAC: όπως ο αριθμός κοινωνικής ασφάλισης
  - (b) διεύθυνση IP: όπως η ταχυδρομική διεύθυνση
- ❑ επίπεδη διεύθυνση MAC → φορητότητα
  - μπορεί να μετακινηθεί η κάρτα LAN από το ένα LAN στο άλλο
- ❑ η ιεραρχική IP διεύθυνση δεν είναι φορητή
  - εξαρτάται από το δίκτυο IP στον οποίο ο κόμβος είναι συνδεδεμένος

6-45

## ARP: Address Resolution Protocol (Πρωτόκολλο διευθέτησης διευθύνσεων)

*Ερώτηση: πώς να βρούμε τη MAC  
διεύθυνση μιας διεπαφής  
γνωρίζοντας την IP διεύθυνση της;*



- ❑ Κάθε IP κόμβος (υπολογιστής, δρομολογητής) στο LAN έχει **πίνακα ARP**
- ❑ Πίνακας ARP: αντιστοίχιση διευθύνσεων IP/MAC για κάποιους κόμβους του LAN  
< διεύθυνση IP, διεύθυνση MAC, TTL >
  - TTL (Time To Live - διάρκεια ζωής): χρόνος μετά τον οποίο η αντιστοίχιση διευθύνσεων θα έχει «ξεχαστεί» (τυπικά 20 λεπτά)

6-46

## Πρωτόκολλο ARP: ίδιο LAN (δίκτυο)

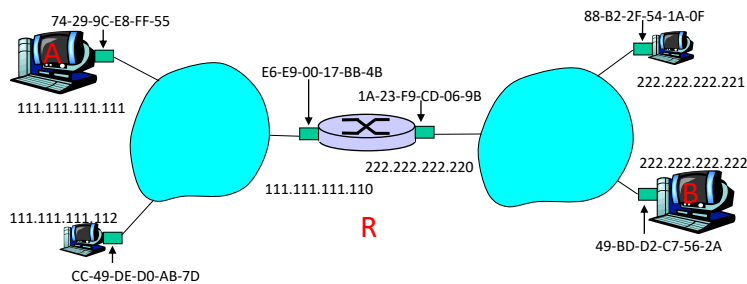
- ❑ Ο Α θέλει να στείλει datagram στον Β
  - η διεύθυνση MAC του Β δεν είναι στον πίνακα ARP του Α.
- ❑ Ο Α **ευρυεκπέμπει** πακέτο ARP ερωτήματος, που περιέχει τη διεύθυνση IP του Β
  - dest MAC address = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - Όλοι οι κόμβοι στο LAN λαμβάνουν το ερώτημα ARP
- ❑ Ο Β λαμβάνει το πακέτο ARP, απαντά στον Α με τη δική του (του Β) διεύθυνση MAC
  - Το πλαίσιο στέλνεται στη διεύθυνση MAC του Α (unicast)
- ❑ Ο Α αποθηκεύει (caches) το ζεύγος διευθύνσεων IP-σε-MAC στον πίνακα ARP μέχρι η πληροφορία να παλιώσει (λήξη χρόνου)
  - soft state: η πληροφορία διαγράφεται (όταν υπάρχει λήξη χρόνου) εκτός αν ανανεωθεί
- ❑ Το ARP είναι “plug-and-play”:
  - Οι κόμβοι δημιουργούν τους πίνακες ARP τους χωρίς την παρέμβαση του διαχειριστή του δικτύου

6-47

## Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

Διέλευση: στείλε το datagram από τον A στο B μέσω του R

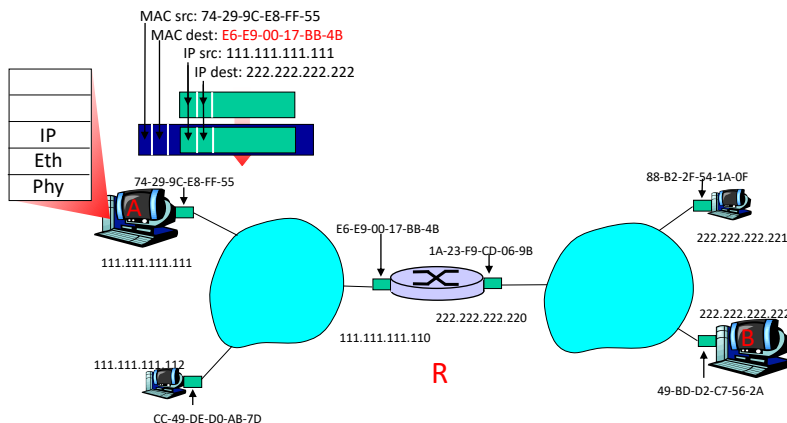
- εστίασε στη διευθυνσιοδότηση – στο IP (datagram) και MAC επίπεδο (frame – πλαίσιο)
- υποθέτοντας πως ο A γνωρίζει τη διεύθυνση IP του B
- υποθέτοντας πως ο A γνωρίζει την IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος, R (πώς;)
- υποθέτοντας πως ο A γνωρίζει τη MAC διεύθυνση του R (πώς;)



6-48

## Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

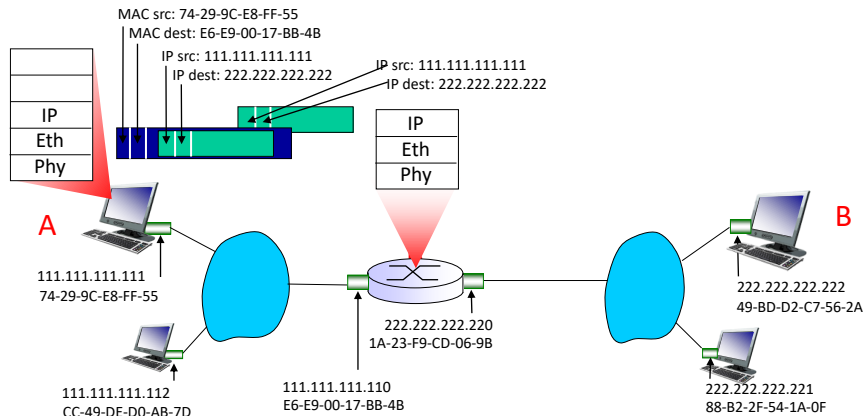
- Ο A δημιουργεί datagram με πηγή A, και προορισμό B
- Ο A δημιουργεί πλαίσιο επιπέδου ζεύξης με τη διεύθυνση MAC του R σαν προορισμό, το πλαίσιο περιέχει το IP datagram από A προς B



6-49

## Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

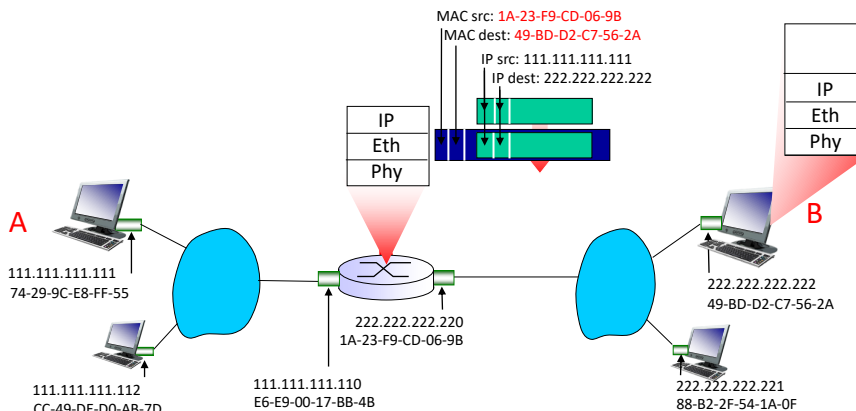
- το πλαίσιο στέλνεται από το A στον R
- το πλαίσιο λαμβάνεται στον R, αφαιρείται το datagram, διαβιβάζεται στο IP



6-50

## Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

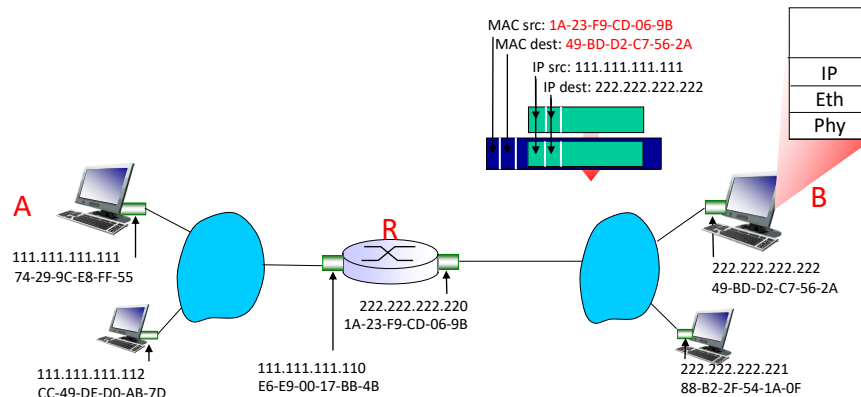
- Ο R προωθεί το datagram με IP πηγή Α, προορισμό Β
- Ο R δημιουργεί πλαίσιο επιπέδου ζεύξης με τη MAC διεύθυνση του Β ως προορισμό, το πλαίσιο περιέχει το IP datagram από το Α προς το Β



6-51

## Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

- Ο R προωθεί το datagram με IP πηγή A, προορισμό B
- Ο R δημιουργεί πλαίσιο επιπέδου ζεύξης με τη MAC διεύθυνση του B ως προορισμό, το πλαίσιο περιέχει το IP datagram από το A προς το B



6-52

## Επίπεδο ζεύξης

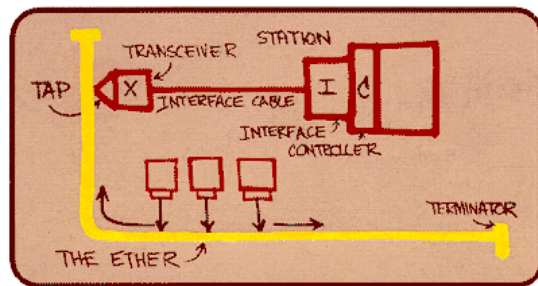
- 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- 5.7 Η “ζωή” μιας αίτησης web

6-53

## Ethernet

“κυρίαρχη” τεχνολογία ενσύρματων LAN :

- ❑ Φθηνή (\$10 για NIC)
- ❑ Πρώτη ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία LAN
- ❑ Απλούστερο, φθηνότερο από LANs σκυτάλης και ATM
- ❑ Άντεξε την κούρσα των ταχυτήτων: 10 Mbps – 10 Gbps

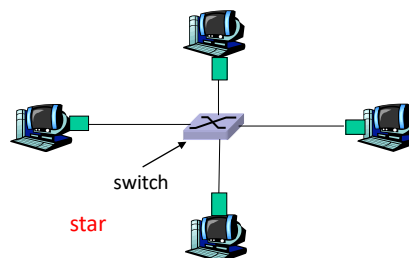
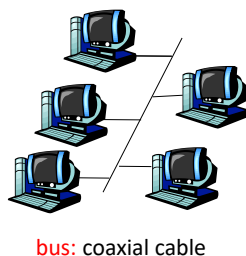


Σκαρίφημα του Ethernet του Metcalfe

6-54

## Ethernet: φυσική τοπολογία

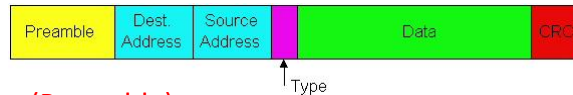
- ❑ **Τοπολογία διαύλου:** ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 90
  - Όλοι οι κόμβοι στο ίδιο πεδίο συγκρούσεων (collision domain) (μπορεί να συγκρουστούν μεταξύ τους)
- ❑ **Τοπολογία αστέρα:** επικρατεί σήμερα
  - ενεργός **μεταγωγέας (switch)** στο κέντρο
  - Κάθε “ακτίνα” τρέχει ένα (ξεχωριστό) πρωτόκολλο Ethernet (οι κόμβοι δεν συγκρούονται μεταξύ τους)



6-55

## Δομή του πλαισίου Ethernet

Ο προσαρμογέας αποστολής ενθυλακώνει το IP datagram (ή άλλο πακέτο πρωτοκόλλου επιπέδου δικτύου) σε **πλαίσιο Ethernet**



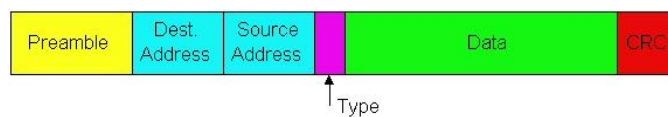
### **Πρόθεμα (Preamble):**

- 7 bytes με μοτίβο 10101010 ακολουθούμενα από ένα byte με μοτίβο 10101011
- Χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό των ρυθμών ρολογιού του δέκτη και του πομπού

6-56

## Δομή πλαισίου Ethernet (περισσότερα)

- **Διευθύνσεις:** 6 bytes MAC διευθύνσεις πηγής, προορισμού
  - Αν ο προσαρμογέας λάβει πλαίσιο με διεύθυνση προορισμού που ταιριάζει με τη δική του ή με τη broadcast διεύθυνση (π.χ. πακέτο ARP), μεταβιβάζει τα δεδομένα του πλαισίου στο πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου
  - διαφορετικά, ο προσαρμογέας απορρίπτει το πλαίσιο
- **Τύπος:** δείχνει το υψηλότερου επιπέδου πρωτόκολλο, κυρίως IP, άλλα υποστηρίζονται και άλλα (όπως Novell IPX και AppleTalk)
- **CRC:** κυκλικός έλεγχος πλεονασμού στο δεκτή
  - αν ανιχνευτεί λάθος το πλαίσιο απορρίπτεται



6-57

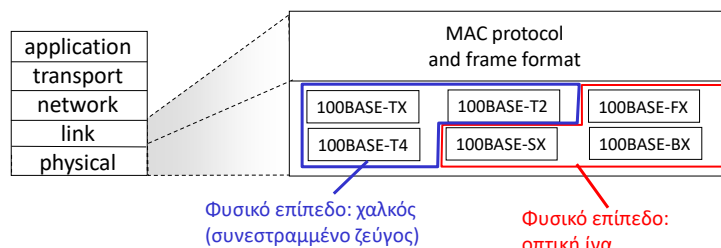
## Ethernet:Αναξιόπιστη, ασυνδεσμική υπηρεσία

- ❑ **Ασυνδεσμική (connectionless)** : χωρίς χειραψία μεταξύ των προσαρμογέων αποστολής και λήψης.
- ❑ **Αναξιόπιστη**: ο προσαρμογέας λήψης δε στέλνει επιβεβαιώσεις (acks) ή αρνητικές επιβεβαιώσεις (nacks) στον αποστέλλοντα προσαρμογέα
  - τα δεδομένα των πλαισίων που απορρίφθηκαν ανακτώνται μόνο αν ο αρχικός αποστολέας χρησιμοποιήσει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων σε υψηλότερο επίπεδο (π.χ. TCP), αλλιώς χάνονται
- ❑ Πρωτόκολλο MAC του Ethernet: μη θυριδωτό **CSMA/CD με δυαδική οπισθοχώρηση**

6-58

## Πρότυπα Ethernet 802.3: επίπεδο ζεύξης και φυσικό επίπεδο

- ❑ **πολλά** διαφορετικά πρότυπα Ethernet
  - κοινό πρωτόκολλο MAC και μορφή πλαισίου
  - διαφορετικές ταχύτητες: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10Gbps
  - διαφορετικά μέσα φυσικού επιπέδου: ίνα, καλώδιο



6-59

## Επίπεδο ζεύξης

- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η “ζωή” μιας web αίτησης

6-60

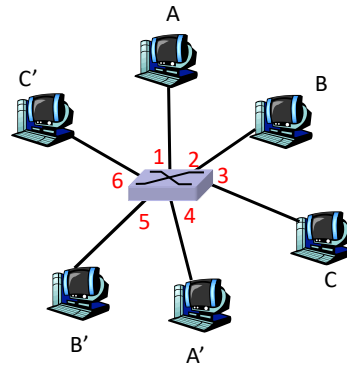
## Μεταγωγέας Ethernet

- ❑ Συσσκευή επιπέδου ζεύξης: αναλαμβάνει ενεργό ρόλο
  - αποθηκεύει, προωθεί πλαίσια Ethernet
  - εξετάζει τη διεύθυνση MAC των εισερχόμενων πλαισίων, επιλεκτικά προωθεί πλαίσια σε μία ή περισσότερες εξερχόμενες ζεύξεις όταν το πλαίσιο πρέπει να προωθηθεί, χρησιμοποιεί CSMA/CD για πρόσβαση
- ❑ διαφανής
  - οι υπολογιστές δε γνωρίζουν την παρουσία του μεταγωγέα
- ❑ *plug-and-play*, μαθαίνει από μόνος του
  - ο μεταγωγέας δε χρειάζεται να διαμορφωθεί

6-61

## Μεταγωγέας: επιτρέπει πολλαπλές ταυτόχρονες μεταδόσεις

- ❑ Οι υπολογιστές έχουν αποκλειστικές, απευθείας συνδέσεις με τον μεταγωγέα
- ❑ Οι μεταγωγείς ενταμιεύουν πακέτα
- ❑ Το πρωτόκολλο Ethernet χρησιμοποιείται σε κάθε εισερχόμενη ζεύξη (σε αμφίδρομη λειτουργία, δεν υπάρχουν συγκρούσεις)
  - Κάθε ζεύξη είναι από μόνη της collision domain
- ❑ **Μεταγωγή:** Α-προς-Α' και Β-προς-Β' ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις

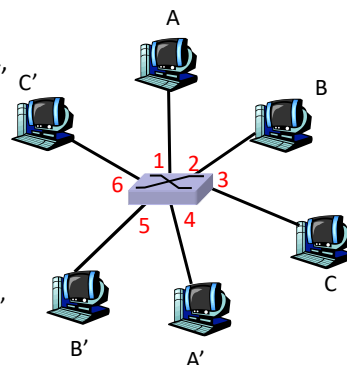


Μεταγωγέας με έξι διεπαφές  
(1,2,3,4,5,6)

6-62

## Πίνακας Προώθησης Μεταγωγέα

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

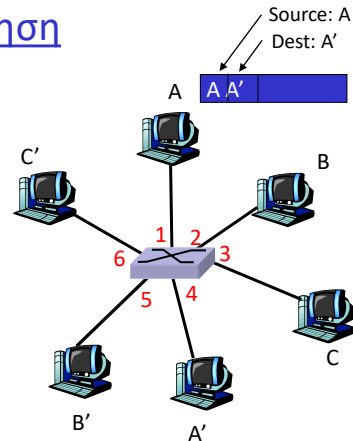


switch with six interfaces  
(1,2,3,4,5,6)

6-63

## Μεταγωγέας: Αυτοεκμάθηση

- Ο μεταγωγέας **μαθαίνει** ποιούς υπολογιστές είναι προσβάσιμοι μέσω ποιών διεπαφών
  - όταν λαμβάνεται το πλαίσιο, ο μεταγωγέας “μαθαίνει” τη θέση του αποστολέα: εισερχόμενο τμήμα (segment) LAN
  - καταγράφει το ζεύγος αποστολέα/θέση στον πίνακα μεταγωγέα



| MAC addr | interface | TTL |
|----------|-----------|-----|
| A        | 1         | 60  |

Switch table  
(αρχικά άδειος)

6-64

## Μεταγωγέας: φιλτράρισμα/προώθηση πλαισίων

Όταν λαμβάνεται πλαίσιο στον μεταγωγέα:

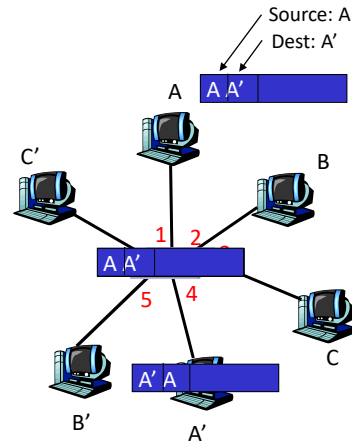
1. Κατάγραψε εισερχόμενη ζεύξη, MAC διεύθυνση υπολογιστή-αποστολέα
2. Διάταξε τον πίνακα μεταγωγής βάσει της διεύθυνσης MAC προορισμού
3. **if** βρεθεί καταχώριση για τον προορισμό
  - then {**
  - if** ο προορισμός στο τμήμα από το οποίο έφτασε το πλαίσιο
    - then** απόρριψε το πλαίσιο
    - else** προώθησε το πλαίσιο στη διεπαφή που υποδεικνύεται από την καταχώριση
  - }**
  - else flood**

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

6-65

## Αυτοεκμάθηση, προώθηση: παράδειγμα

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



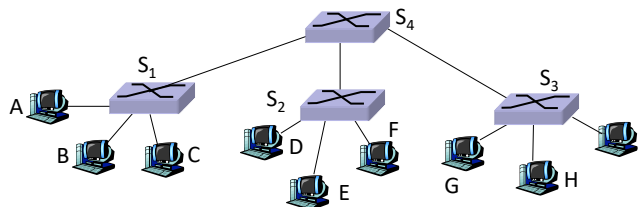
| MAC addr | interface | TTL |
|----------|-----------|-----|
| A        | 1         | 60  |
| A'       | 4         | 60  |

Πίνακας μεταγωγέα  
(αρχικά άδειος)

6-66

## Διασυνδέοντας μεταγωγείς

- Οι μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους

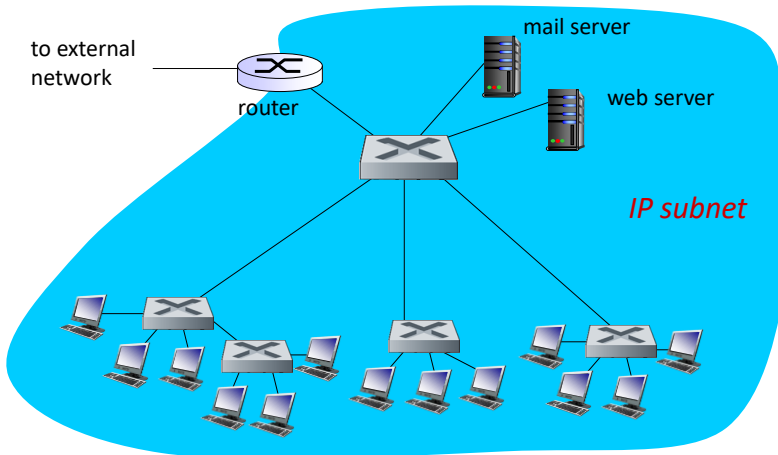


**E:** κατά την αποστολή από A προς G – πώς γνωρίζει ο S<sub>1</sub> ότι πρέπει να προωθήσει πλαίσιο που προορίζεται για τον F μέσω των S<sub>4</sub> και S<sub>3</sub>;

**A:** αυτοεκμάθηση! (λειτουργεί ακριβώς όπως και στην περίπτωση ενός μόνο μεταγωγέα!)

6-67

## Ιδρυματικό δίκτυο



6-69

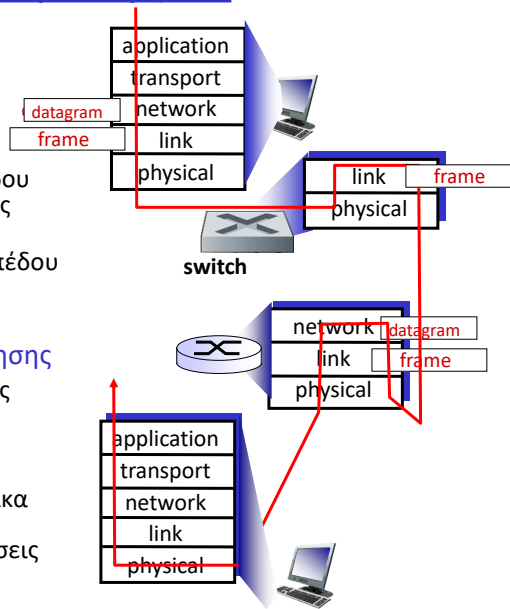
## Μεταγωγείς έναντι Δρομολογητών

και οι δυο είναι συσκευές με αποθήκευση και προώθηση (store-and-forward)

- **δρομολογητές:** συσκευές επιπέδου δικτύου (εξετάζουν τις κεφαλίδες επιπέδου δικτύου)
- **μεταγωγείς:** είναι συσκευές επιπέδου ζεύξης (εξετάζουν τις κεφαλίδες επιπέδου ζεύξης)

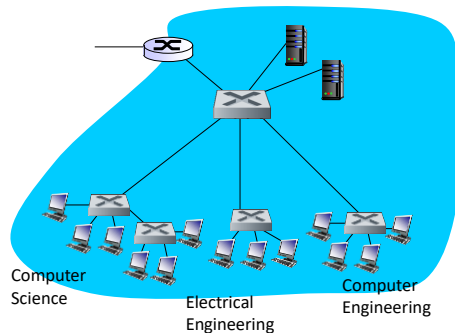
και οι δύο έχουν πίνακες προώθησης

- **δρομολογητές:** υπολογίζουν τους πίνακες χρησιμοποιώντας αλγόριθμους δρομολόγησης, IP διευθύνσεις
- **μεταγωγείς:** μαθαίνουν τον πίνακα προώθησης χρησιμοποιώντας flooding, μάθηση, MAC διευθύνσεις



6-70

## VLANs: κίνητρο



Θεωρήστε:

- ένας CS χρήστης μετακινεί το γραφείο του στο ΕΕ, αλλά θέλει να συνδέεται στον μεταγωγέα του CS
- ένα **broadcast domain**:
  - όλη η broadcast κίνηση επιπέδου 2 (ARP, DHCP, άγνωστη θέση MAC διεύθυνσης προορισμού) πρέπει να περάσει όλο το LAN
  - θέματα ασφάλειας/ιδιωτικότητας, αποτελεσματικότητας

6-71

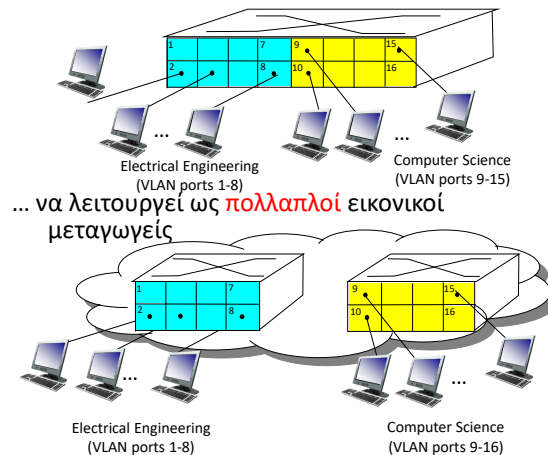
## VLANs

**Virtual Local Area Network**

μεταγωγείς που υποστηρίζουν VLAN μπορούν να ρυθμιστούν να ορίζουν πολλαπλά ΕΙΚΟΝΙΚΑ LAN πάνω από μία φυσική υποδομή LAN

**βάσει θύρας (port-based) VLAN:**

ομαδοποιούνται οι θύρες του μεταγωγέα (από λογισμικό διαχείρισης μεταγωγέα) έτσι ώστε **ένας μόνο** φυσικός μεταγωγέας.....



6-72

## Βάσει θύρας (port-based) VLAN

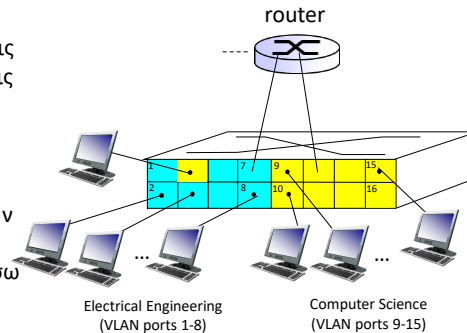
□ **απομόνωση κίνησης:** πλαίσια από/προς τις θύρες 1-8 μπορούν να προσεγγίσουν μόνο τις θύρες 1-8

- μπορεί επίσης να ορίσει VLAN με βάση τις MAC διευθύνσεις των τερματικών σημείων, αντί για τις θύρες του μεταγωγέα

□ **δυναμική ιδιότητα μέλους:** θύρες μπορούν να ανατεθούν δυναμικά μεταξύ των VLANs

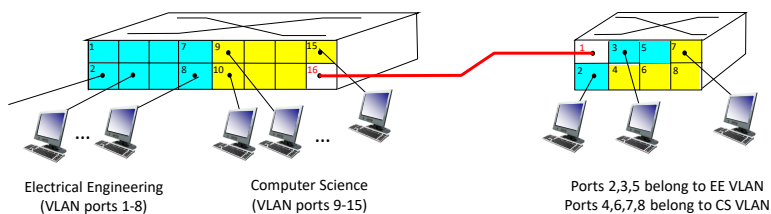
□ **προώθηση μεταξύ των VLANs:** γίνεται μέσω δρομολόγησης (όπως με ξεχωριστούς μεταγωγείς)

- στην πράξη οι κατασκευαστές πουλάνε μεταγωγείς συνδυασμένους με δρομολογητές



6-73

## VLANs που εκτείνονται σε πολλαπλούς μεταγωγείς



□ **trunk θύρα:** μεταφέρει πλαίσια μεταξύ VLANs που ορίζονται σε πολλαπλούς φυσικούς μεταγωγείς

- πλαίσια που προωθούνται εντός των VLAN μεταξύ των μεταγωγέων δεν μπορεί να είναι σκέτα 802.1 πλαίσια (πρέπει να μεταφέρουν VLAN ID πληροφορίες)
- 802.1q πρωτόκολλο προσθέτει/αφαιρεί επιπλέον πεδία κεφαλίδας για πλαίσια που προωθούνται μεταξύ trunk θυρών

6-74

## Επίπεδο ζεύξης

- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
  - Διευθυνσιοδότηση, ARP
  - Ethernet
  - Μεταγωγείς (switches)
  - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η “ζωή” μιας web αίτησης

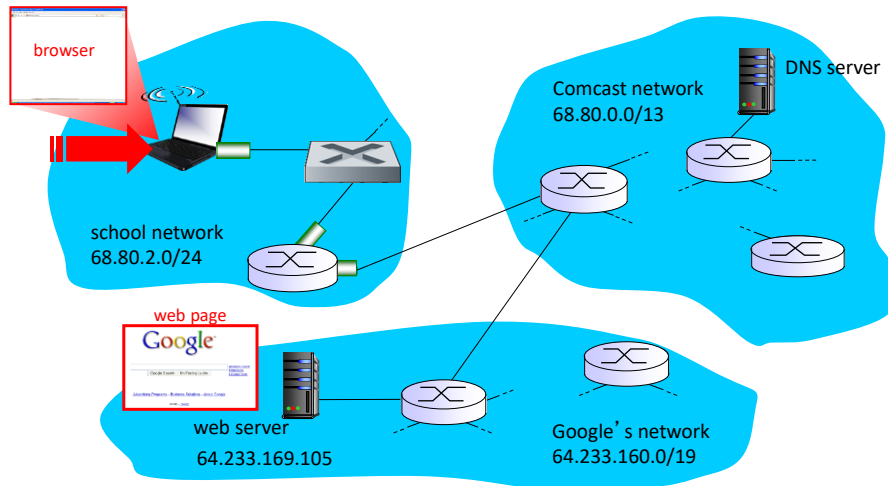
6-87

## Σύνθεση: μία ημέρα στη ζωή μιας αίτησης web

- ❑ το ταξίδι προς τα κάτω της στοίβας πρωτοκόλλων ολοκληρώθηκε!
  - εφαρμογή, μεταφορά, δίκτυο, ζεύξη
- ❑ ενώνοντάς-τα-όλα-μαζί: σύνθεση!
  - **στόχος:** αναγνώρισε, ξαναδές, κατανόησε τα πρωτόκολλα (όλων των επιπέδων) που συμμετέχουν σε ένα φαινομενικά απλό σενάριο: αίτηση σελίδας www
  - **σενάριο:** φοιτητής συνδέει laptop στο δίκτυο του πανεπιστημίου, αιτείται/λαμβάνει το www.google.com

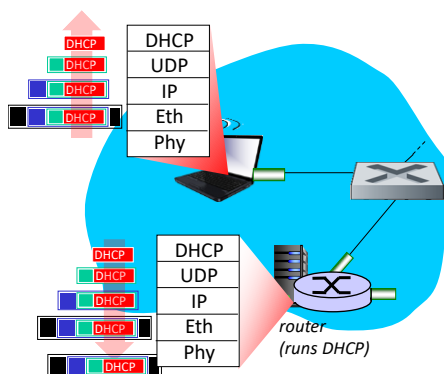
6-88

## Μία ημέρα στη ζωή μιας αίτησης web: σενάριο



6-89

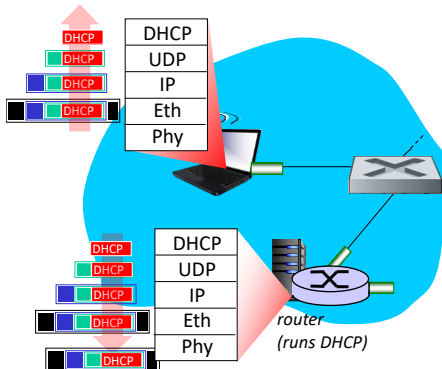
## Μία ημέρα στη ζωή... σύνδεση στο Internet



- συνδέοντας το laptop χρειάζεται να πάρει δική του IP δ/νση, δ/νση δρομολογητή πρώτου άλματος, δ/νση DNS server: χρησιμοποιήσει **DHCP**
- Η DHCP αίτηση ενθυλακώνεται στο **UDP**, ενθυλακώνεται στο **IP**, ενθυλακώνεται στο **802.3 Ethernet**
- Broadcast Ethernet πλαίσιο (προορισμός: FFFFFFFF) στο LAN, λαμβάνεται από τον δρομολογητή που τρέχει τον **DHCP** server
- Το Ethernet αποθυλακώνεται σε IP, το οποίο αποθυλακώνεται σε UDP, το οποίο αποθυλακώνεται σε DHCP

6-90

## Μία ημέρα στη ζωή ... σύνδεση στο Internet

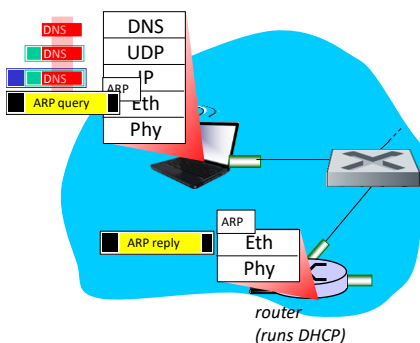


- Ο DHCP server διαμορφώνει το **DHCP ACK** που περιέχει την IP δ/νση του πελάτη, τη δ/νση του δρομολογητή πρώτου άλματος για τον πελάτη, όνομα & δ/νση του DNS server
- ενθυλάκωση στον DHCP server, το πλαίσιο προωθείται (**εκμάθηση μεταγωγέα**) μέσω του LAN, αποπολύπλεξη στον πελάτη
- DHCP πελάτης λαμβάνει την DHCP ACK απάντηση

Ο πελάτης τώρα έχει IP διεύθυνση, γνωρίζει όνομα & διεύθυνση του DNS server, IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος

6-91

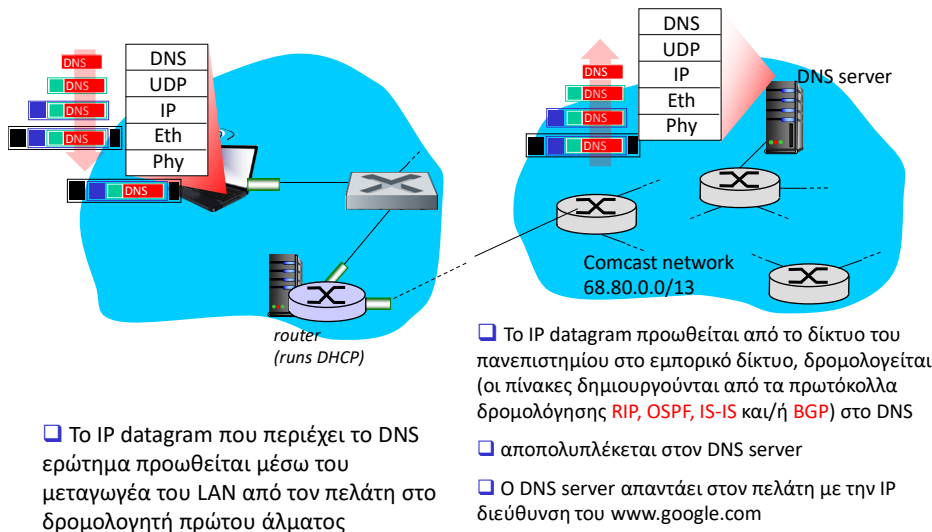
## Μία ημέρα στη ζωή... ARP (πριν το DNS, πριν το HTTP)



- προτού σταλεί η HTTP αίτηση, χρειάζεται η IP διεύθυνση του **www.google.com: DNS**
- Δημιουργείται ένα DNS ερώτημα, ενθυλακώνεται σε UDP, έπειτα σε IP και τέλος σε Ethernet. Για να σταλεί το πλαίσιο στον δρομολογητή, χρειάζεται τη διεύθυνση MAC της διεπαφής του δρομολογητή: **ARP**
- Το broadcast ARP ερώτημα, λαμβάνεται από τον δρομολογητή, ο οποίος απαντάει με **ARP απάντηση** δίνοντας τη MAC διεύθυνση της διεπαφής του δρομολογητή
- Ο πελάτης πλέον γνωρίζει τη MAC διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος, οπότε μπορεί πλέον να στείλει το πλαίσιο που περιέχει το DNS ερώτημα

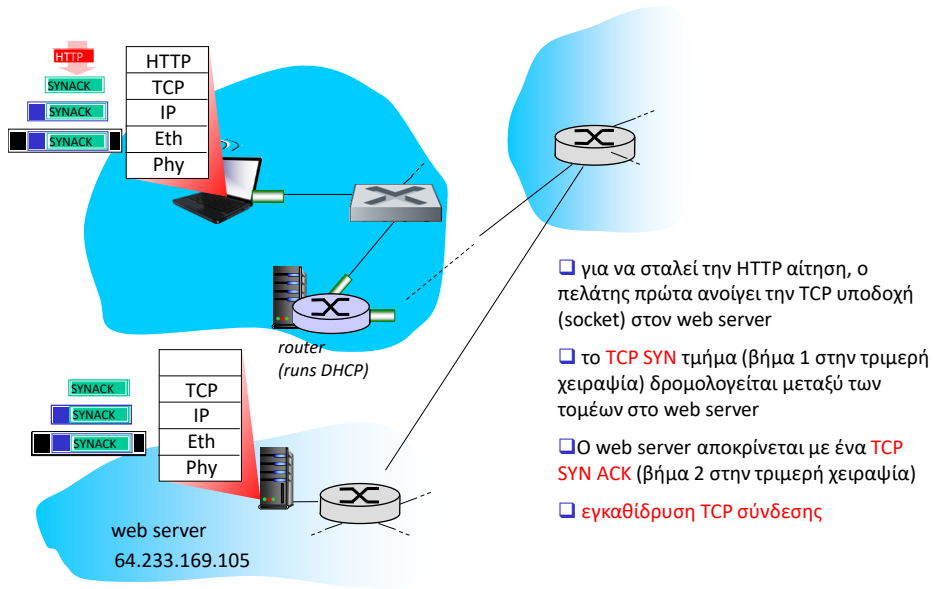
6-92

## Μία ημέρα στη ζωή... χρησιμοποιώντας το DNS



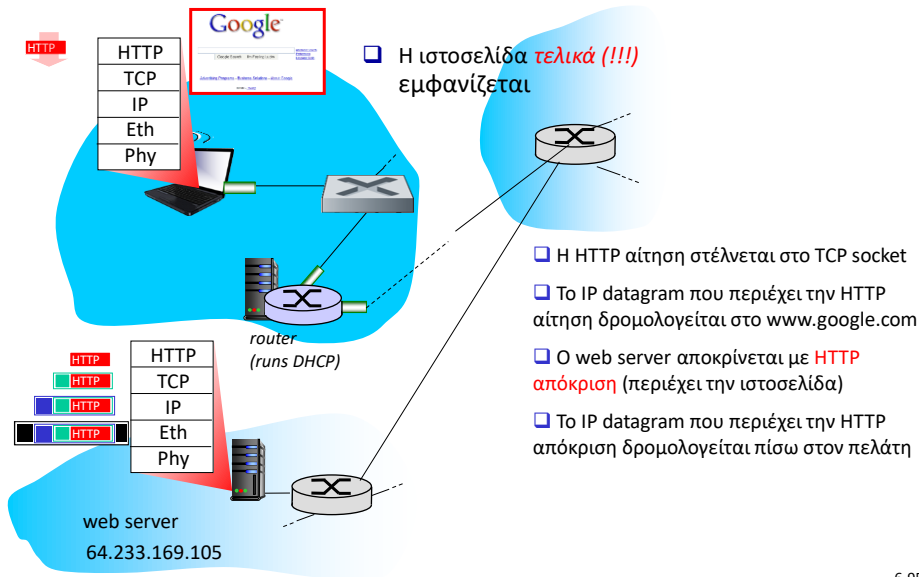
6-93

## Μία ημέρα στη ζωή... το HTTP χρειάζεται μια TCP σύνδεση



6-94

## Μία ημέρα στη ζωή... HTTP αίτηση/απόκριση



6-95

## Επίπεδο Ζεύξης: Σύνοψη

- Αρχές που διέπουν τις υπηρεσίες του επιπέδου ζεύξης δεδομένων:
  - Ανίχνευση, διόρθωση σφαλμάτων
  - Κοινή χρήση ενός καναλιού ευρυεκπομπής: πολλαπλή πρόσβαση
  - Διευθυνσιοδότηση επιπέδου ζεύξης
- Πραγμάτωση και υλοποίηση των διάφορων τεχνολογιών επιπέδου ζεύξης
  - Ethernet
  - LANS μεταγωγής, VLANs
  - Εικονικοποιημένα δίκτυα ως επίπεδο ζεύξης: MPLS
- Σύνθεση: μια ημέρα στη ζωή μιας αίτησης web

6-96

## Επίλογος

☐ το ταξίδι προς τα κάτω της στοίβας πρωτοκόλλων **ολοκληρώθηκε** (εκτός του φυσικού επιπέδου)

☐ καλή κατανόηση των αρχών δικτύωσης, θέλουμε λίγη ....εξάσκηση

☐ ... θα μπορούσαμε να σταματήσουμε εδώ... αλλά υπάρχουν **πολλά** ενδιαφέροντα θέματα που δεν έχουμε καλύψει ακόμη!

- ασύρματα δίκτυα
- ασφάλεια
- πολυμέσα
- διαχείριση δικτύου

...η συνέχεια στα ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ II !

6-97

## Τέλος Ενότητας