



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

Ενότητα 5: Επίπεδο Ζεύξης:
Ζεύξεις, Δίκτυα Πρόσβασης,
Δίκτυα Τοπικής Περιοχής

Διδάσκουσα: Άννα Τζανακάκη

Τμήματα: Φυσικής
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Εθνικό & Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

ΘΕ1: Εισαγωγή

(Κεφ. 1 του βιβλίου)

ΘΕ2: Επίπεδο Εφαρμογής

(Κεφ. 2 του βιβλίου)

ΘΕ3: Επίπεδο Μεταφοράς

(Κεφ. 3 του βιβλίου)

ΘΕ4: Επίπεδο Δικτύου

(Κεφ. 4 του βιβλίου)

**ΘΕ5: Επίπεδο Ζεύξης: Ζεύξεις, Δίκτυα
Πρόσβασης, Δίκτυα Τοπικής Περιοχής**

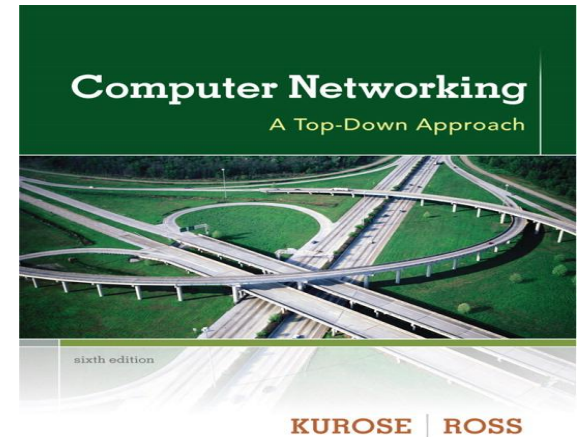
(Κεφ. 5 του βιβλίου)

Συνιστώμενο Βιβλίο:

*Computer Networking: A Top-Down
Approach, by Kurose & Ross,
Addison-Wesley*

Ελληνική Μετάφραση:

Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας



Οι περισσότερες από τις διαφάνειες αυτής της ενότητας αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανειών που συνοδεύουν το βιβλίο *Computer Networking: A Top-Down Approach*, J.F. Kurose and K.W. Ross, 6/E, Addison-Wesley.

All material copyright 1996-2012

J.F. Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Προσαρμογή και επιμέλεια της απόδοσης των πρωτότυπων διαφανειών στα ελληνικά :
Λάζαρος Μεράκος

Επίπεδο Ζεύξης

Οι στόχοι μας:

- ❑ Κατανόηση των αρχών που διέπουν τις υπηρεσίες του επιπέδου ζεύξης:
 - Ανίχνευση, διόρθωση σφαλμάτων
 - Κοινή χρήση ενός καναλιού (ευρυ-)εκπομπής: πολλαπλή πρόσβαση
 - Διευθυνσιοδότηση επιπέδου ζεύξης
 - Δίκτυα τοπικής περιοχής: Ethernet, VLANs
- ❑ Γνωριμία με τις τεχνολογίες επιπέδου ζεύξης

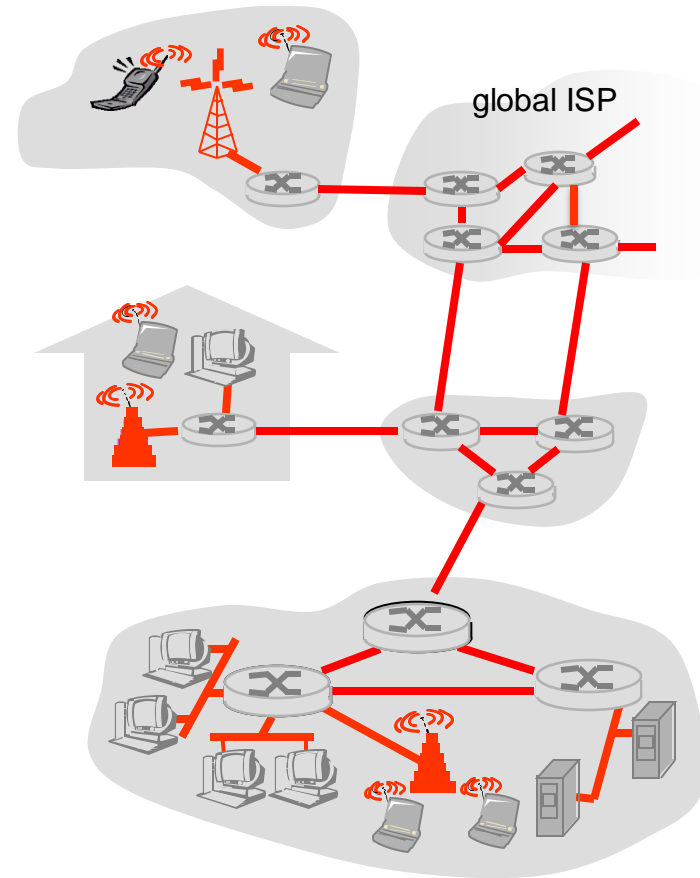
Επίπεδο Ζεύξης

- ❑ 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

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**

Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης

□ Πλαισίωση, πρόσβαση στη ζεύξη:

- ενθυλακώνει το datagram σε πλαίσιο, προσθέτοντας κεφαλίδα
- 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;

Υπηρεσίες επιπέδου ζεύξης

□ Έλεγχος ροής:

- ρύθμιση ρυθμού μεταξύ γειτονικών κόμβων αποστολής και λήψης

□ Ανίχνευση σφαλμάτων :

- σφάλματα που προκαλούνται από εξασθένιση του σήματος, θόρυβο
- ο δέκτης 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

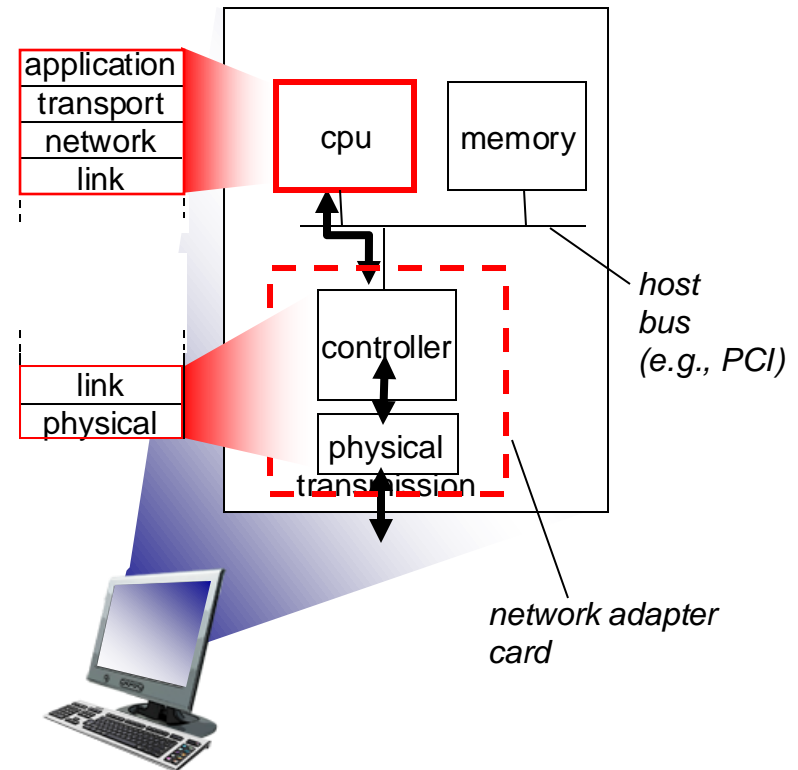
□ Ημι-αμφίδρομη (Half-duplex) και αμφίδρομη (Full-duplex)

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

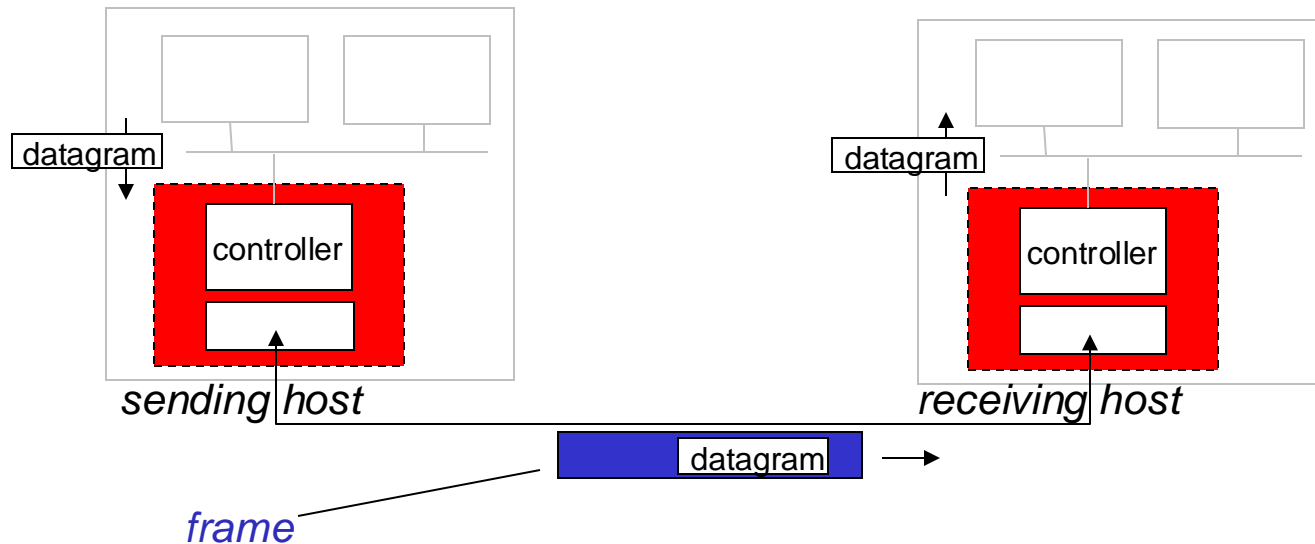
Πού υλοποιείται το επίπεδο ζεύξης;



- 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



Προσαρμογείς που επικοινωνούν



□ πλευρά αποστολής:

- ενθυλακώνει το datagram σε πλαίσιο (frame)
- προσθέτει bits ελέγχου σφάλματος, αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων (rdt), ελέγχου ροής, κ.τ.λ.

□ πλευρά λήψης

- ελέγχει για σφάλματα, rdt, έλεγχο ροής, κ.τ.λ.
- εξάγει το datagram, το παραδίδει στο ανώτερο επίπεδο στην πλευρά λήψης

Επίπεδο ζεύξης

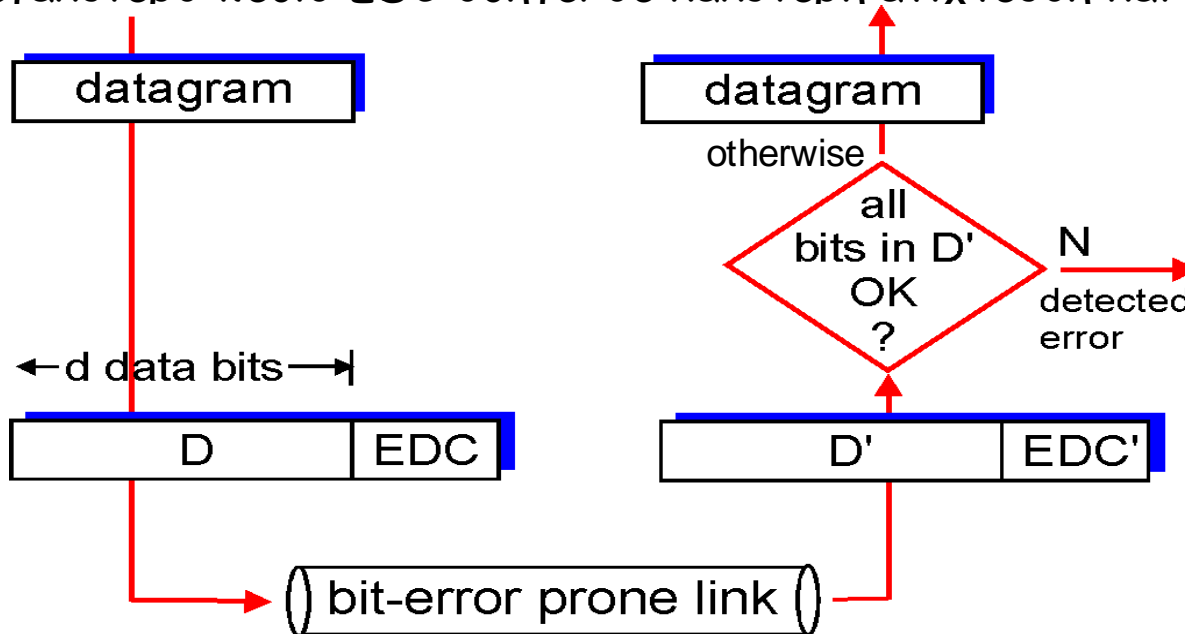
- ❑ 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- ❑ 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ❑ 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- ❑ 5.4 LANs
 - Διευθυνσιοδότηση, ARP
 - Ethernet
 - Μεταγωγείς (switches)
 - VLANs
- ❑ 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- ❑ 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- ❑ 5.7 Η "ζωή" μιας αίτησης web

Ανίχνευση σφαλμάτων

EDC= Error Detection and Correction bits [bits ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων] (πλεονασμός)

D = τα δεδομένα που προστατεύονται από τον έλεγχο σφαλμάτων ενδέχεται να περιλαμβάνουν πεδία της κεφαλίδας

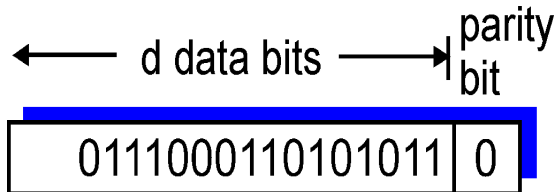
- Η ανίχνευση σφαλμάτων δεν είναι 100% αξιόπιστη!
 - το πρωτόκολλο μπορεί να «χάσει» μερικά σφάλματα, αλλά σπάνια
 - μεγαλύτερο πεδίο EDC οδηγεί σε καλύτερη ανίχνευση και διόρθωση



Έλεγχος Ισοτιμίας

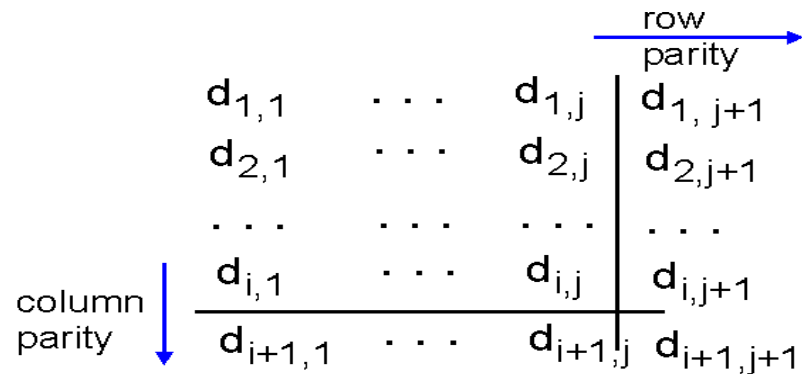
Ισοτιμία μονού Bit:

Ανιχνεύει μονά σφάλματα bit



Δισδιάστατη Ισοτιμία Bit:

Ανιχνεύει και διορθώνει μονά σφάλματα 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

*correctable
single bit error*

Άθροισμα ελέγχου (checksum) Διαδικτύου (επισκόπηση)

Στόχος: ανίχνευση «σφαλμάτων» (π.χ., αλλοιωμένα bits) στο μεταδιδόμενο πακέτο (σημείωση: χρησιμοποιείται μόνο στο επίπεδο μεταφοράς)

Αποστολέας:

- ❑ Αντιμετώπισε το περιεχόμενο του segment σαν ακολουθία ακεραίων 16-bit
- ❑ checksum: πρόσθεση (άθροισμα συμπληρώματος ως προς 1) του περιεχομένου του segment
- ❑ Ο αποστολέας βάζει την τιμή του checksum στο πεδίο checksum του UDP

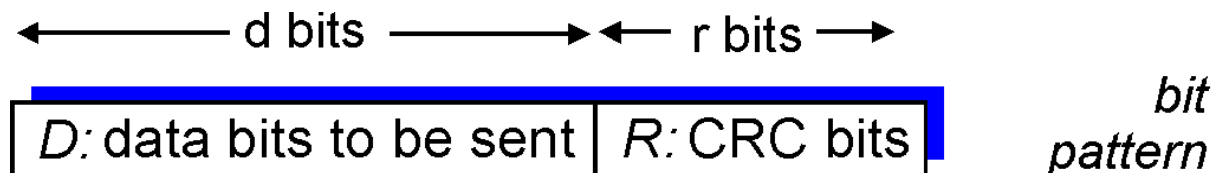
Δέκτης:

- ❑ Υπολόγισε το checksum του λαμβανόμενου segment
- ❑ Έλεγε αν το υπολογισμένο checksum ισούται με την τιμή του πεδίου checksum:
 - ΟΧΙ - ανιχνεύτηκε σφάλμα
 - ΝΑΙ - δεν ανιχνεύτηκε σφάλμα.

Αλλά παράλα αυτά μπορεί να υπάρχουν λάθη;

Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check)

- ❑ περισσότερο ισχυρή κωδικοποίηση ανίχνευσης σφαλμάτων
- ❑ αντιμετωπίζει τα d bits δεδομένων, D , σαν δυαδικό αριθμό
- ❑ επιλέγει μοτίβο $r+1$ bit (γεννήτρια (generator)), G
- ❑ στόχος: επιλογή r CRC bits, R , έτσι ώστε
 - το $\langle D, R \rangle$ να διαιρείται ακριβώς από το G (modulo 2)
 - ο δέκτης γνωρίζει το G , διαιρεί το $\langle D, R \rangle$ με το G . Αν μη μηδενικό υπόλοιπο: ανιχνεύτηκε σφάλμα!
 - Μπορεί να ανιχνεύσει όλες τις ριπές σφαλμάτων με λιγότερα από $r+1$ bits
- ❑ Χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη (Ethernet, 802.11 WiFi, ATM)



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

mathematical formula

Παράδειγμα CRC: Αποστολέας

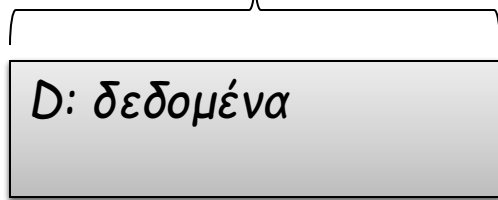
Βήμα 0

d bits

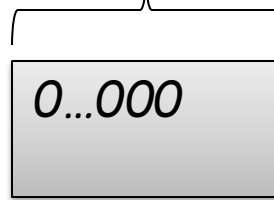


Βήμα 1

d bits



r bits

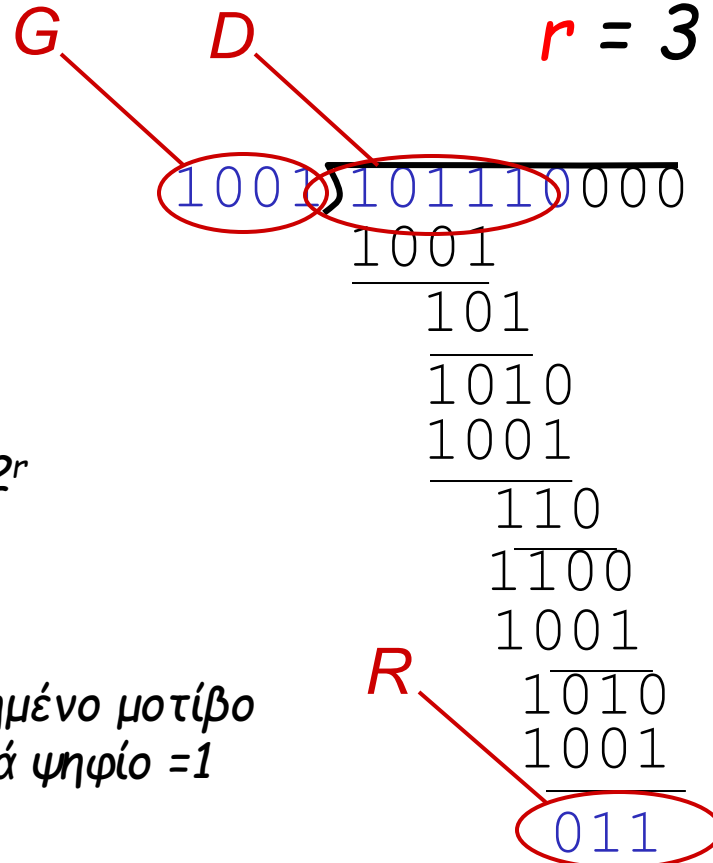


$D \cdot 2^r$

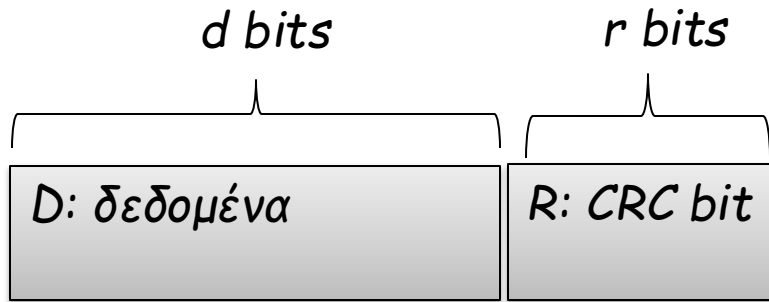
Βήμα 2

Διαφορούμε το $D \cdot 2^r$ με G όπου G συμφωνημένο μοτίβο διάστασης $r+1$ με το πρώτο από αριστερά ψηφίο = 1

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



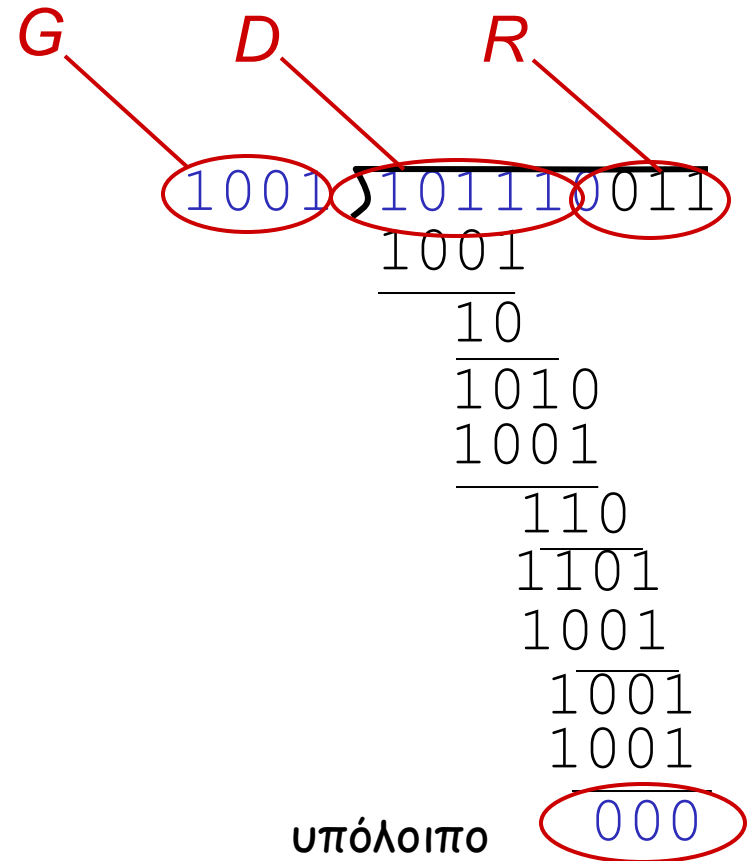
Παράδειγμα CRC: Δέκτης



δεδομένα που έχουν ληφθεί $D \cdot 2^r \text{ XOR } R$

Αν το υπόλοιπο της διαίρεσης με το G ισούται με 0 τότε τα δεδομένα ελήφθησαν σωστά

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



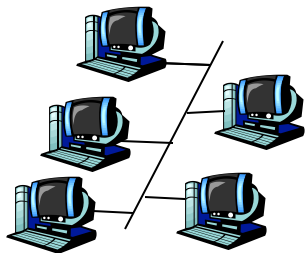
Επίπεδο ζεύξης

- 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

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
 - 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)

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

- κατανεμημένος 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!

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

Πρωτόκολλα ΜΑC: 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

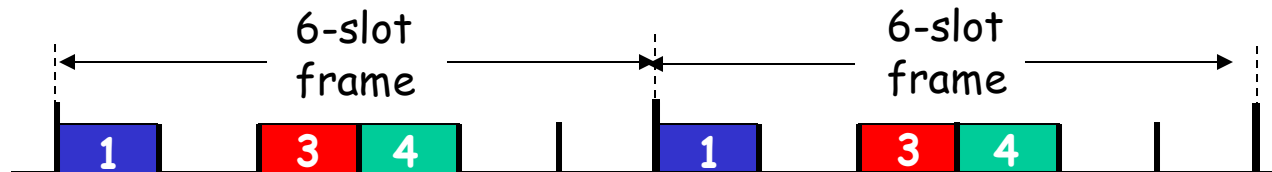
❑ εκ περιτροπής λειτουργία

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

Πρωτόκολλα MAC διαμέρισης καναλιού: TDMA

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

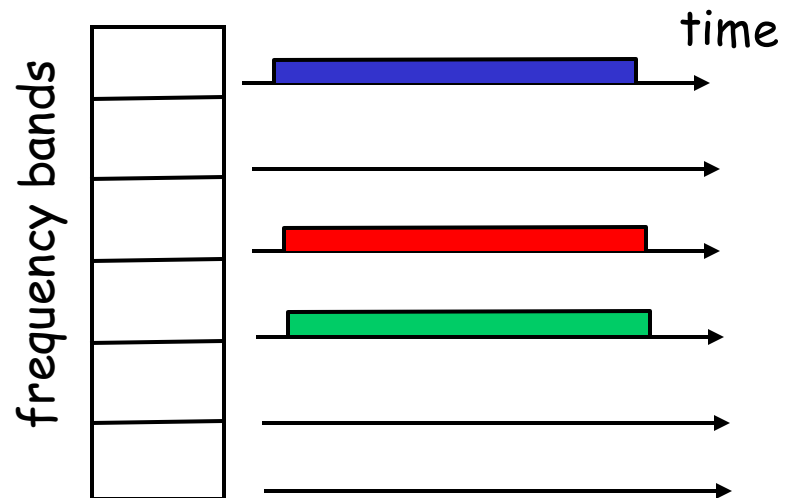
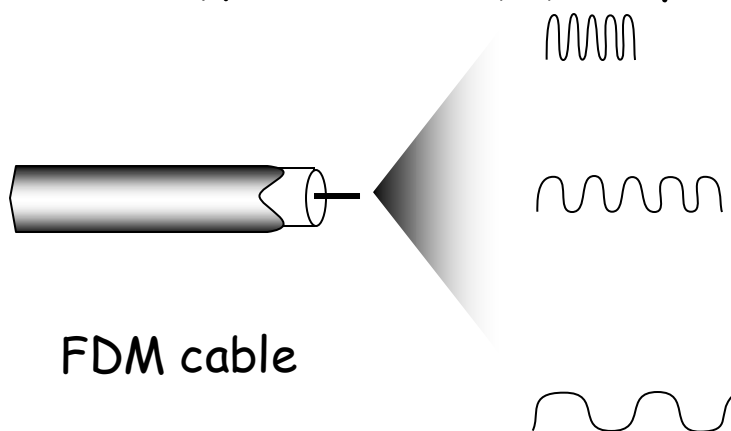
- ❑ πρόσβαση στο κανάλι σε "γύρους"
- ❑ κάθε σταθμός παίρνει θυρίδα σταθερού μήκους (μήκος = χρόνος μετάδοσης πακέτου) σε κάθε γύρο
- ❑ Θυρίδες που δεν χρησιμοποιούνται παραμένουν αδρανείς
- ❑ παράδειγμα: 6 σταθμοί LAN, 1,3,4 έχουν πακέτα, θυρίδες 2,5,6 ανενεργές



Πρωτόκολλα MAC κατάρτησης 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



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

Θυριδωτό ALOHA (Slotted ALOHA)

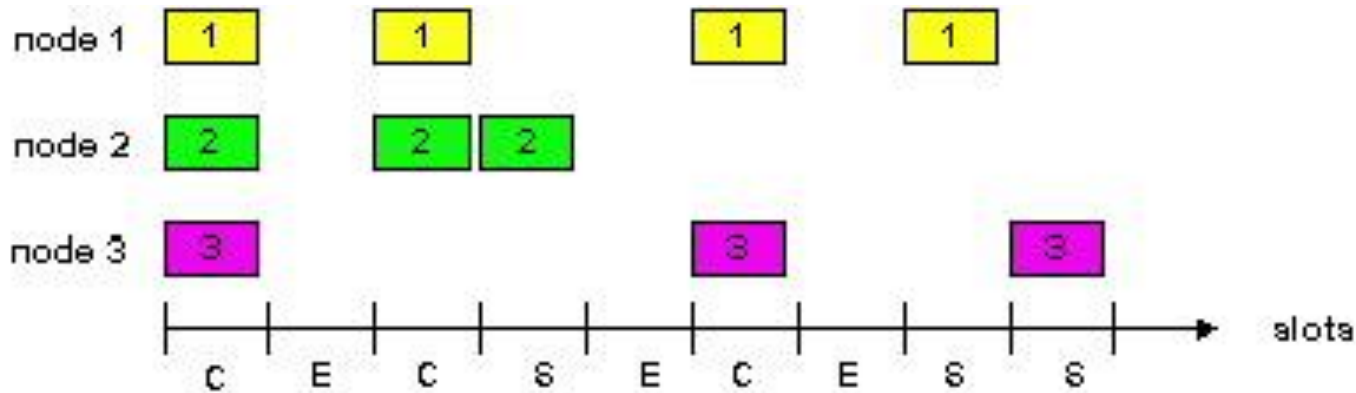
Υποθέσεις:

- 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

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

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 $= Np(1-p)^{N-1}$

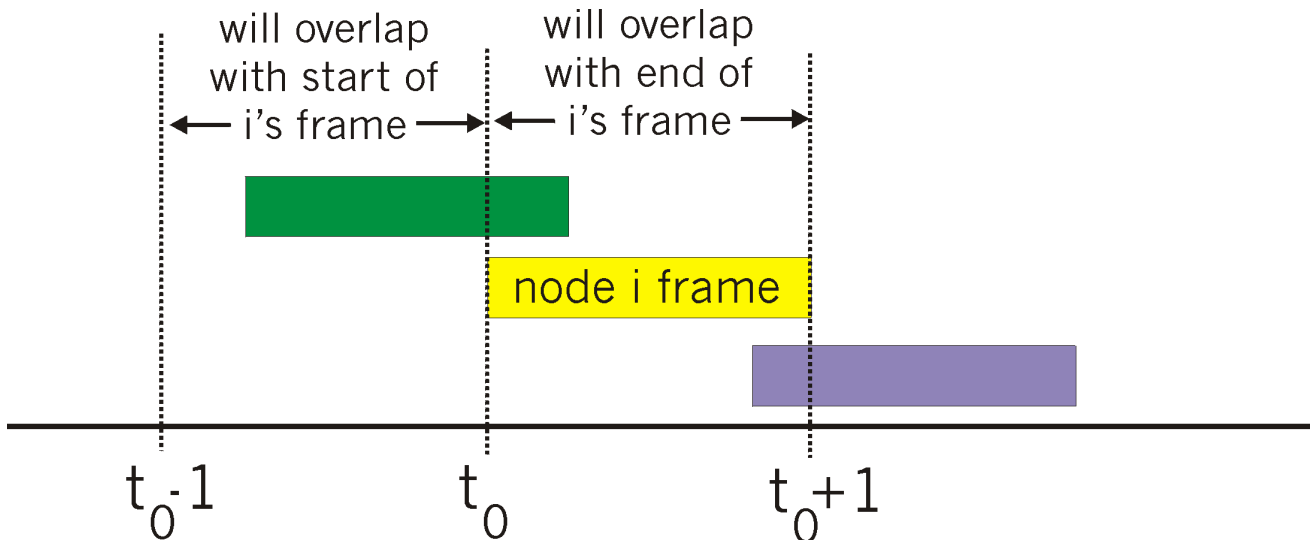
- **Μέγιστη αποδοτικότητα**: βρες το p^* που μεγιστοποιεί το $Np(1-p)^{N-1}$
- Για πολλούς κόμβους, το όριο του $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ καθώς το N πάει στο άπειρο, δίνει **μέγιστη αποδοτικότητα** $= 1/e = 0.37$

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



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 $[t_0-1, t_0+1]$



Αποδοτικότητα του απλού Aloha

$P(\text{επιτυχία από συγκεκριμένο κόμβο}) = P(\text{ο κόμβος μεταδίδει}) *$

$P(\text{κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει στο } [t_0-1, t_0] *)$

$P(\text{κανένας άλλος κόμβος δεν μεταδίδει στο } [t_0, t_0+1])$

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

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

... 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

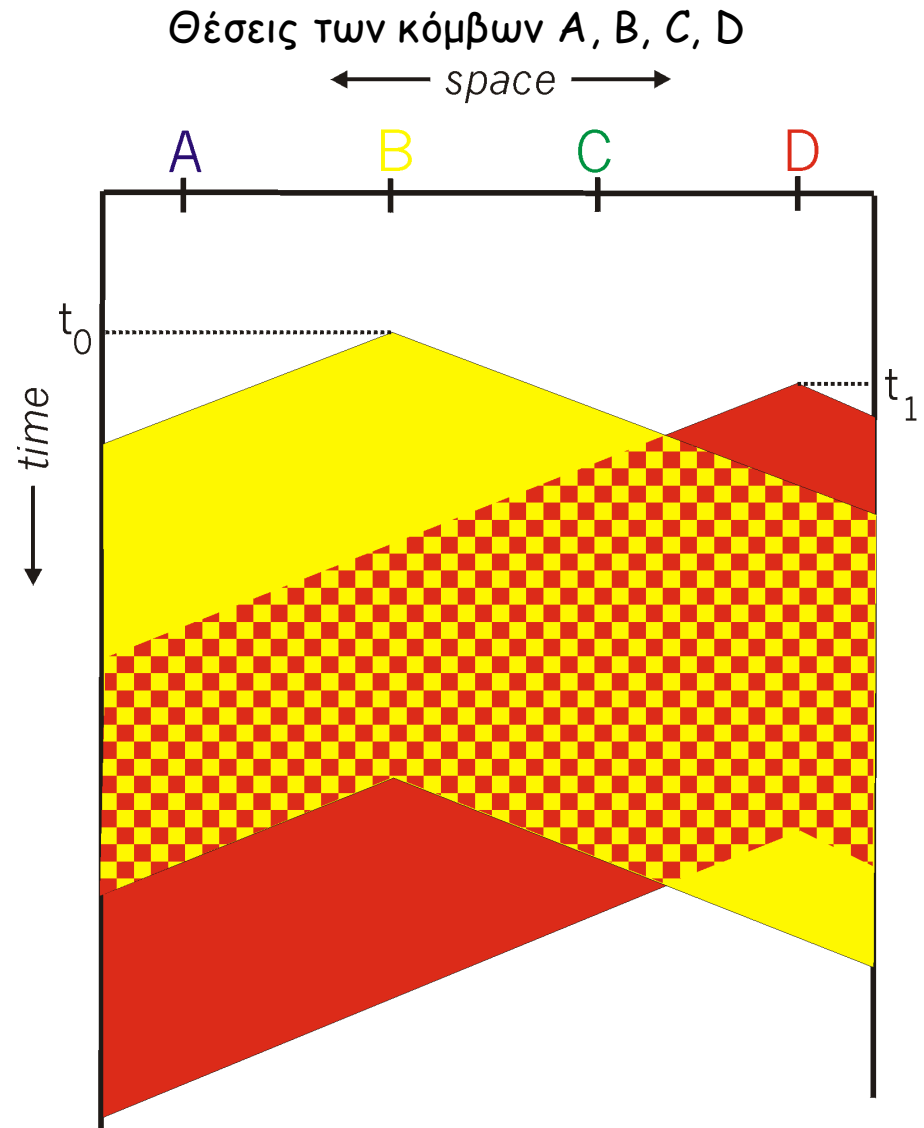
και πάλι μπορεί να εμφανιστούν συγκρούσεις:

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

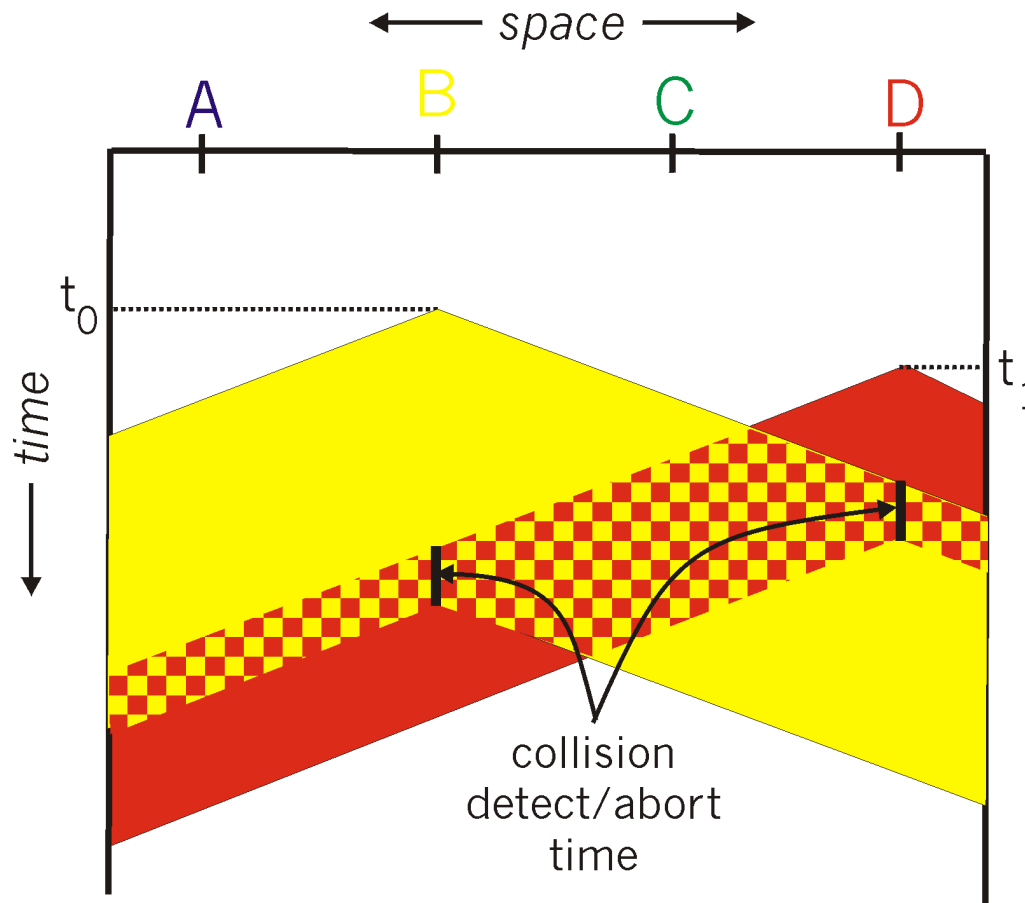


CSMA/CD (Ανίχνευση Σύγκρουσης)

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

CSMA/CD ανίχνευση σύγκρουσης



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
 - $\text{Max}(m) = 10$

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, φθινό, αποκεντρωμένο!

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

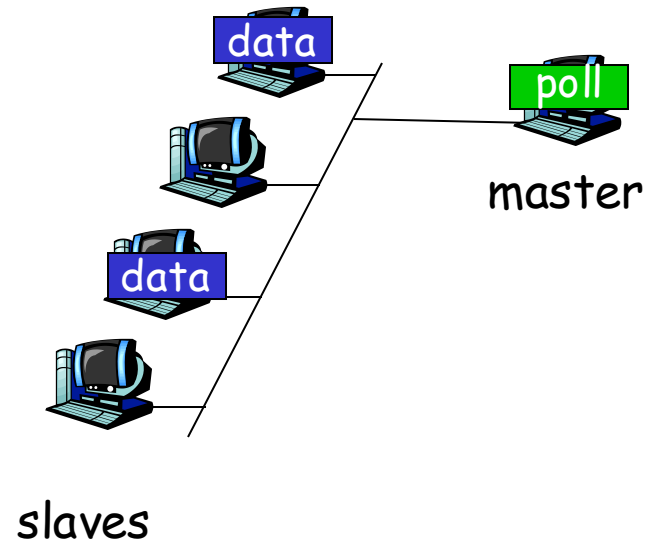
Πρωτόκολλα λειτουργίας εκ περιτροπής

αναζητώντας τα καλύτερα από τους δυο κόσμους!

Πρωτόκολλα MAC λειτουργίας εκπεριτροπής

Σταθμοσκόπηση (polling):

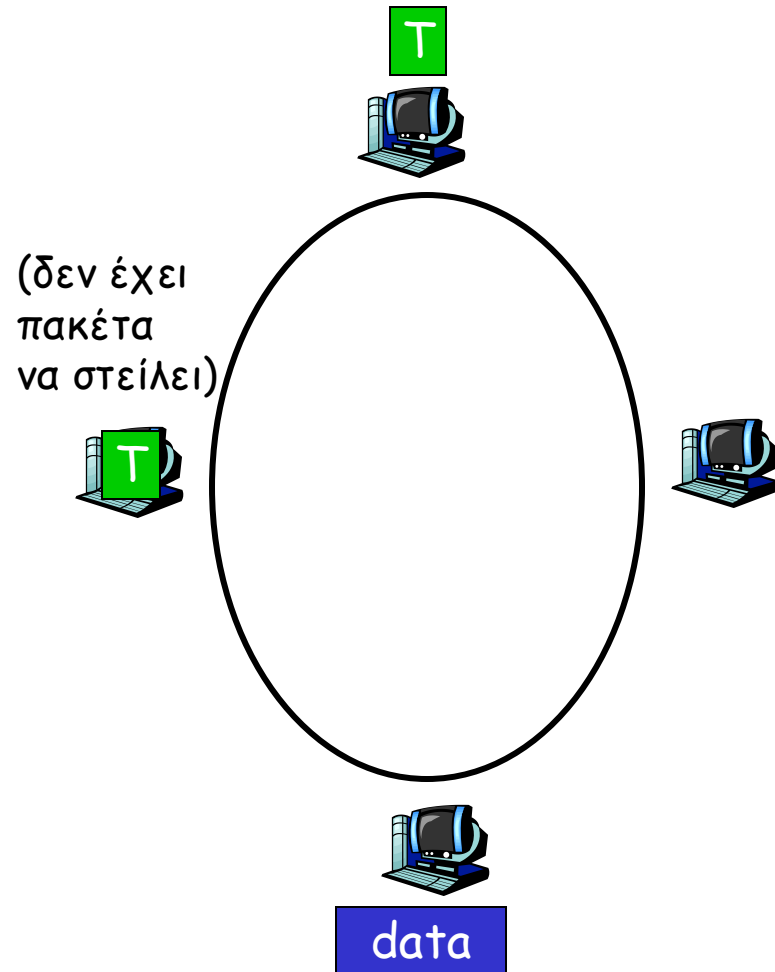
- ❑ ο master κόμβος "προσκαλεί" τους κόμβους slaves να μεταδώσουν με τη σειρά
- ❑ συνήθως χρησιμοποιείται με "χαζές" slave συσκευές
- ❑ προβληματισμοί:
 - overhead σταθμοσκόπησης
 - καθυστέρηση
 - μοναδικό σημείο αποτυχίας (master)



Πρωτόκολλα MAC λειτουργίας εκ περιτροπής

Μεταβίβασης σκυτάλης (token passing protocol):

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



Σύνοψη πρωτοκόλλων MAC

- ❑ **Διαμέριση καναλιού**, μέσω χρόνου, συχνότητας, ή κώδικα
 - Διαίρεση χρόνου, διαίρεση συχνότητας
- ❑ **Τυχαία πρόσβαση** (δυναμικό),
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
 - Ανίχνευση φέροντος: εύκολη σε ορισμένες τεχνολογίες (ενσύρματες), δύσκολη σε άλλες (ασύρματη)
 - CSMA/CD χρησιμοποιείται στο Ethernet
 - CSMA/CA χρησιμοποιείται στο 802.11
- ❑ **Λειτουργία εκ περιτροπής**
 - Σταθμοσκόπηση από κεντρικό σταθμό, μεταβίβαση σκυτάλης
 - Bluetooth, FDDI, Token Ring

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

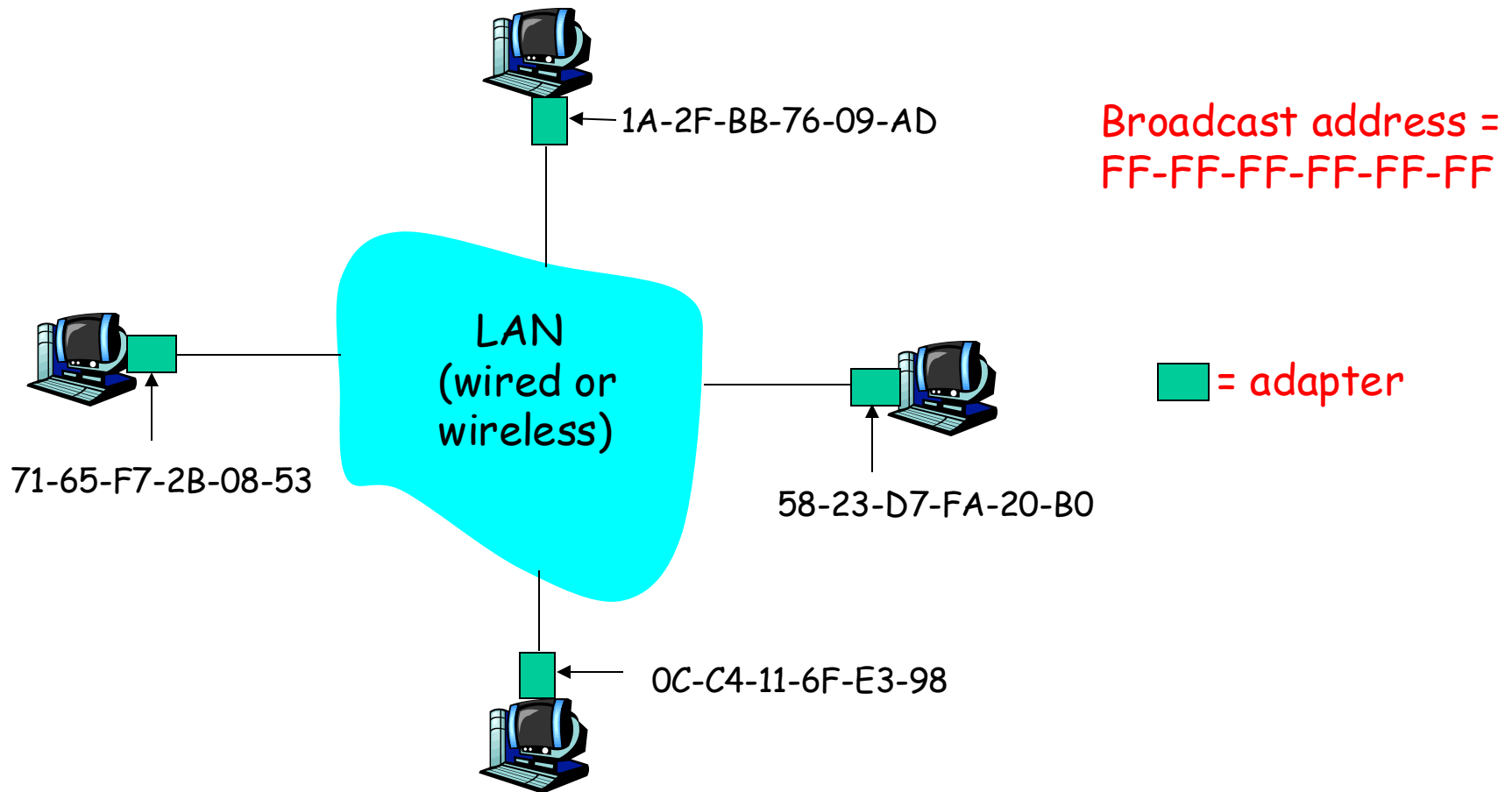
Διευθύνσεις MAC και ARP

- 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 "χαρακτήρας" αντιπροσωπεύει 4 bits)

Διευθύνσεις LAN

Κάθε προσαρμογέας (adapter) του LAN έχει μοναδική διεύθυνση LAN



LAN διευθύνσεις (συν.)

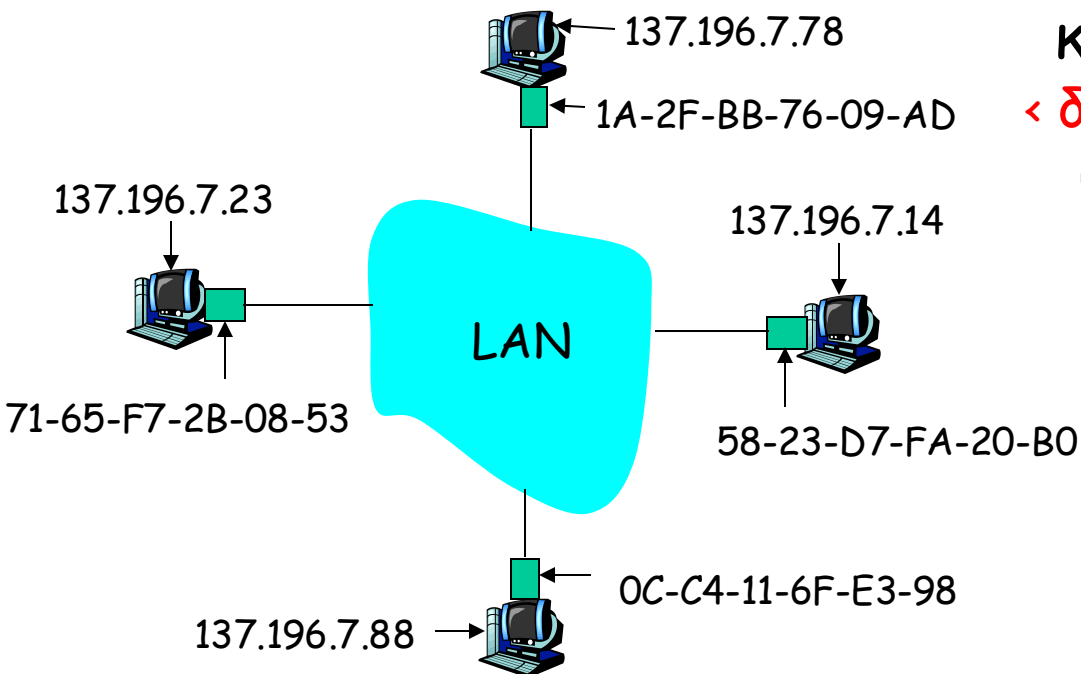
- ❑ το ΙΕΕΕ διαχειρίζεται την εκχώρηση ΜΑC διευθύνσεων
- ❑ ένας κατασκευαστής αγοράζει τμήμα του χώρου των ΜΑC διευθύνσεων (για να διασφαλιστεί μοναδικότητα)
- ❑ Αναλογία:
 - (α) διεύθυνση ΜΑC: όπως ο αριθμός κοινωνικής ασφάλισης
 - (β) διεύθυνση ΙΡ: όπως η ταχυδρομική διεύθυνση
- ❑ επίπεδη διεύθυνση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

ARP: Address Resolution Protocol

(Πρωτόκολλο διεύθυνσης 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)



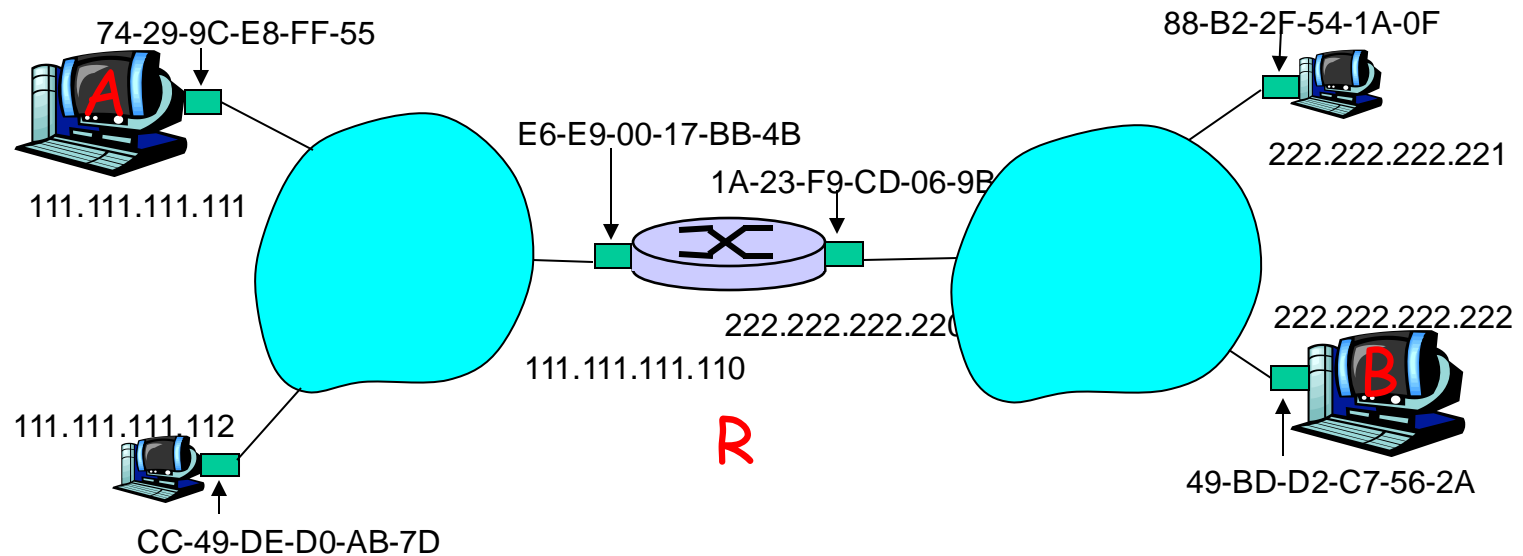
Πρωτόκολλο ARP: ίδιο LAN (δίκτυο)

- 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

Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

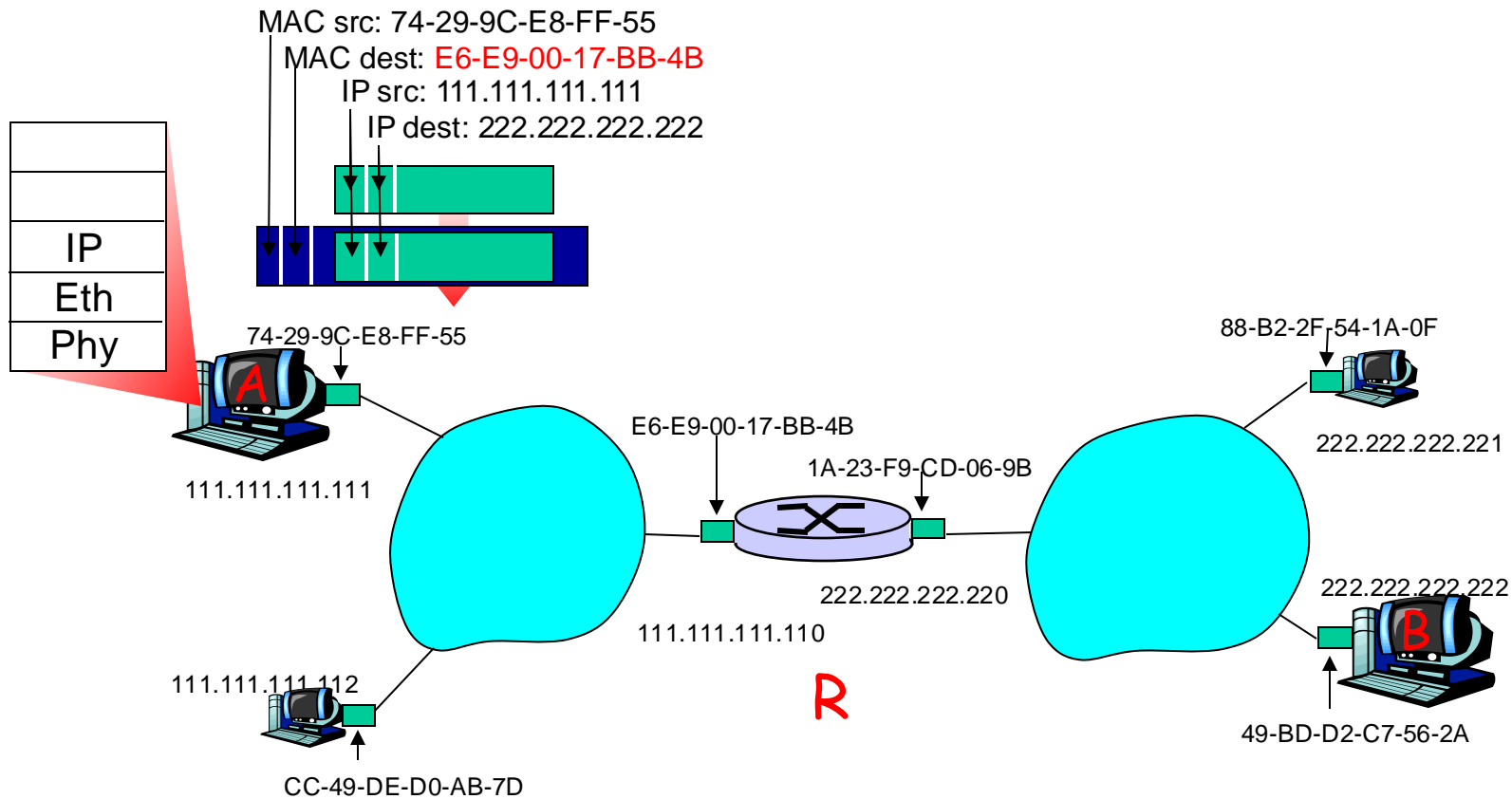
Διέλευση: στείλε το datagram από τον A στο B μέσω του R

- 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
- υποθέτοντας πως ο A γνωρίζει τη MAC διεύθυνση του R



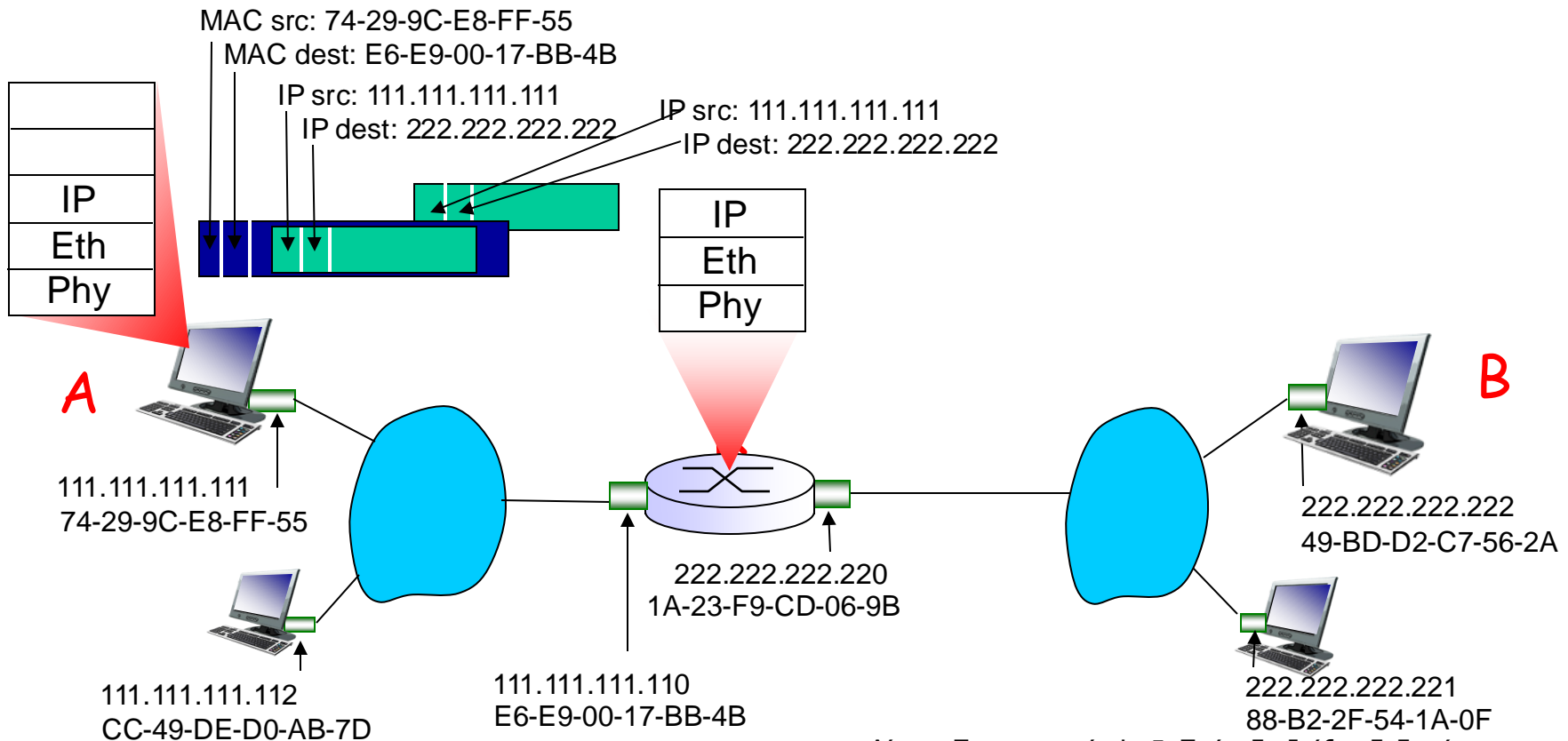
Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

- 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



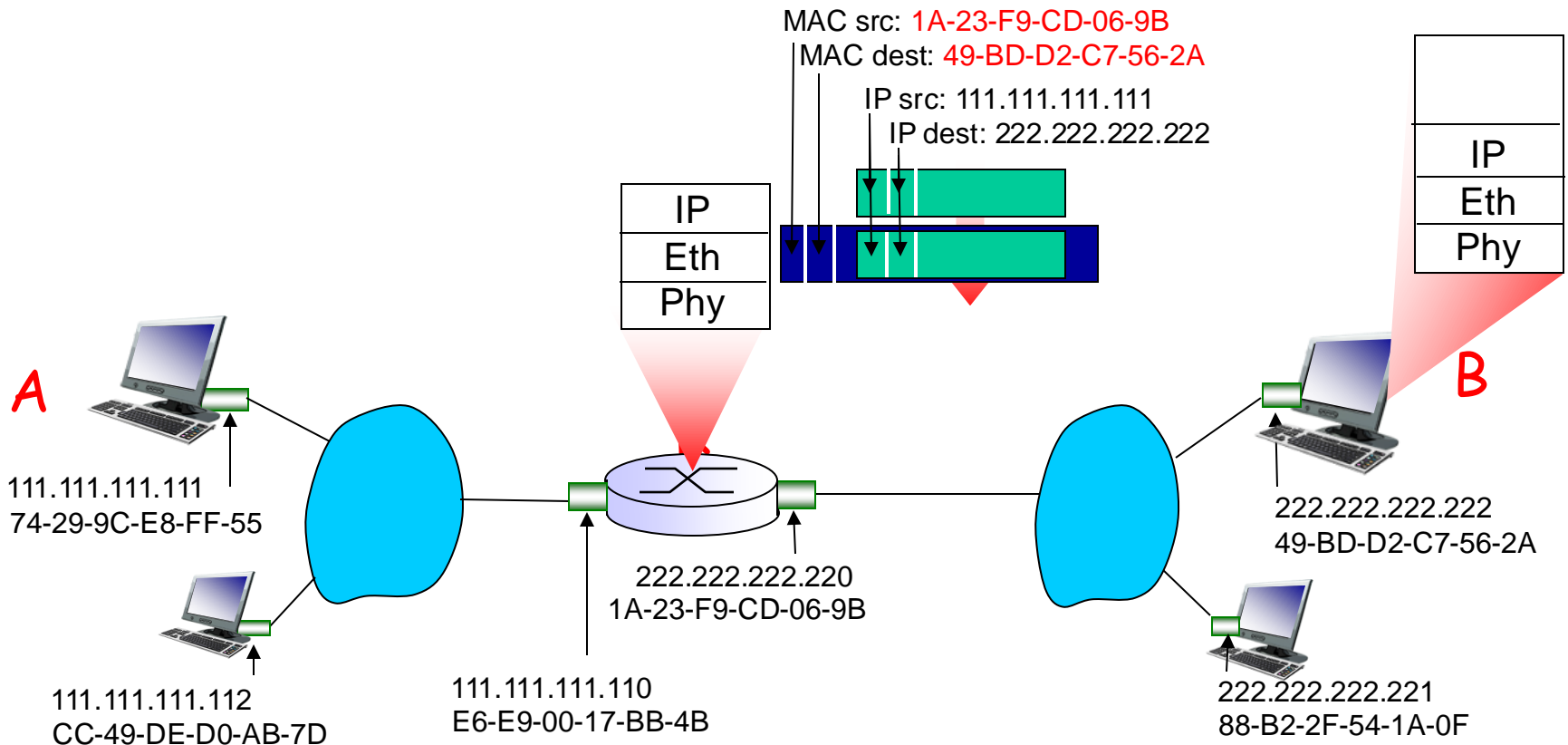
Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

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



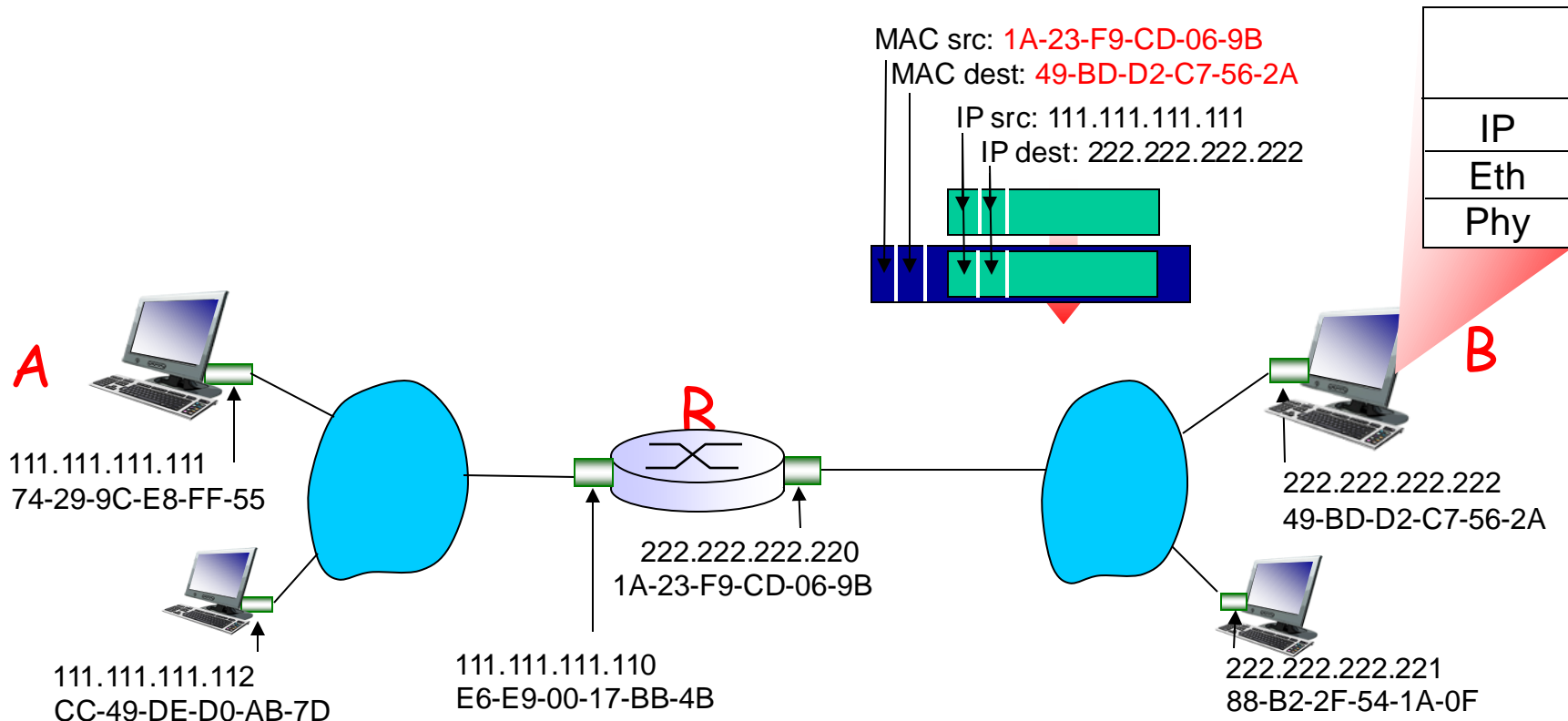
Διευθυνσιοδότηση: δρομολόγηση σε άλλο LAN

- 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



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



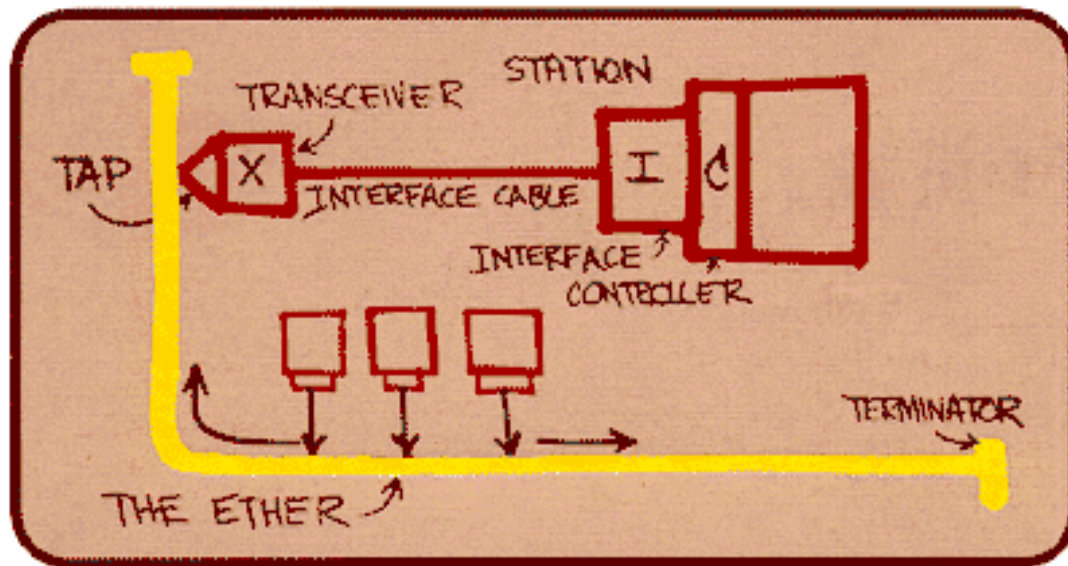
Επίπεδο Ζεύξης

- 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

Ethernet

“κυρίαρχη” τεχνολογία ενσύρματων LAN :

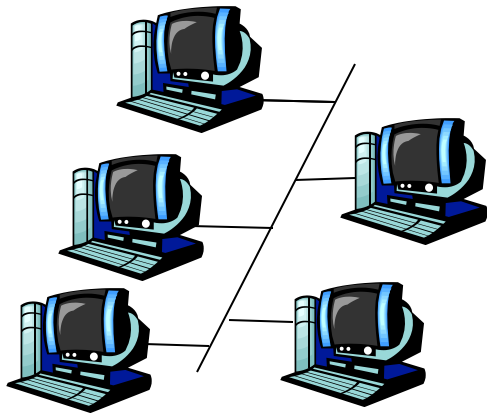
- ❑ Φθηνή (\$10 για NIC)
- ❑ Πρώτη ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία LAN
- ❑ Απλούστερο, φθηνότερο από LANs σκυτάλης και ATM
- ❑ Άντεξε την κούρσα των ταχυτήτων: 10 Mbps - 100 Gbps



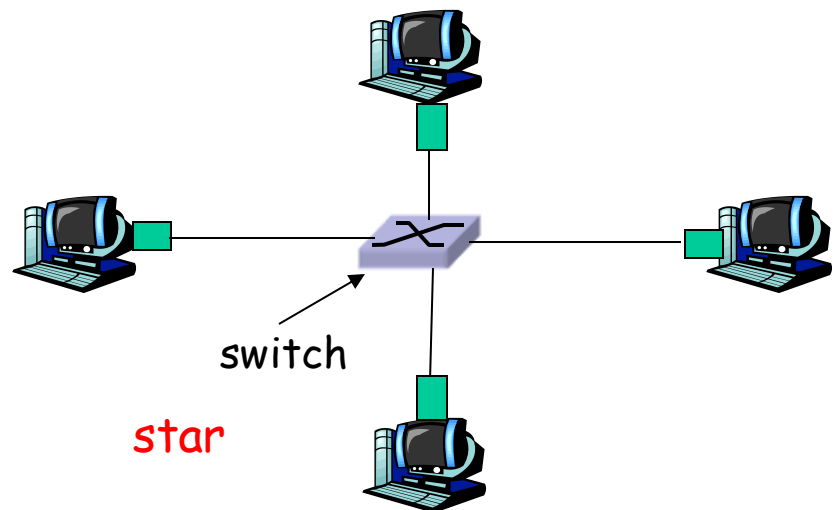
Σκαρίφημα του
Ethernet του Metcalfe

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)

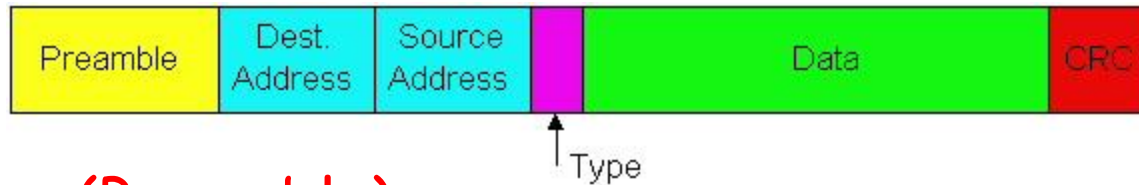


bus: coaxial cable



Δομή του πλαισίου Ethernet

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

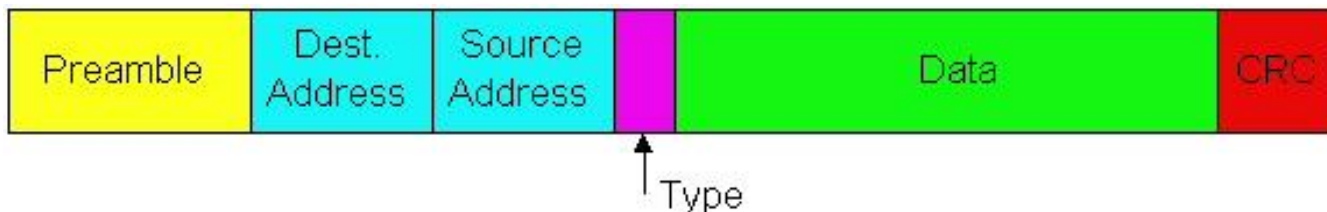


Πρόθεμα (Preamble):

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

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
- **CRC:** κυκλικός έλεγχος πλεονασμού στο δεκτή
 - αν ανιχνευτεί λάθος το πλαίσιο απορρίπτεται
- **Data:** 46-1.500 byte



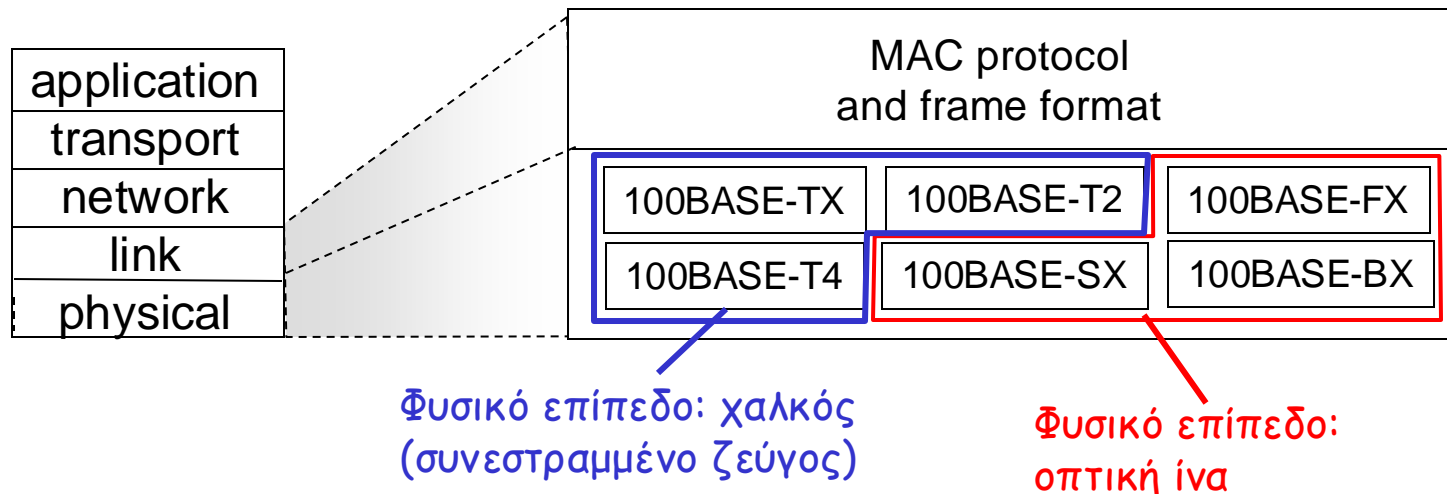
Ethernet: Αναξιόπιστη, ασυνδεσμική υπηρεσία

- ❑ **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 **δυναμική εκθετική οπισθοχώρηση**

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



Επίπεδο Ζεύξης

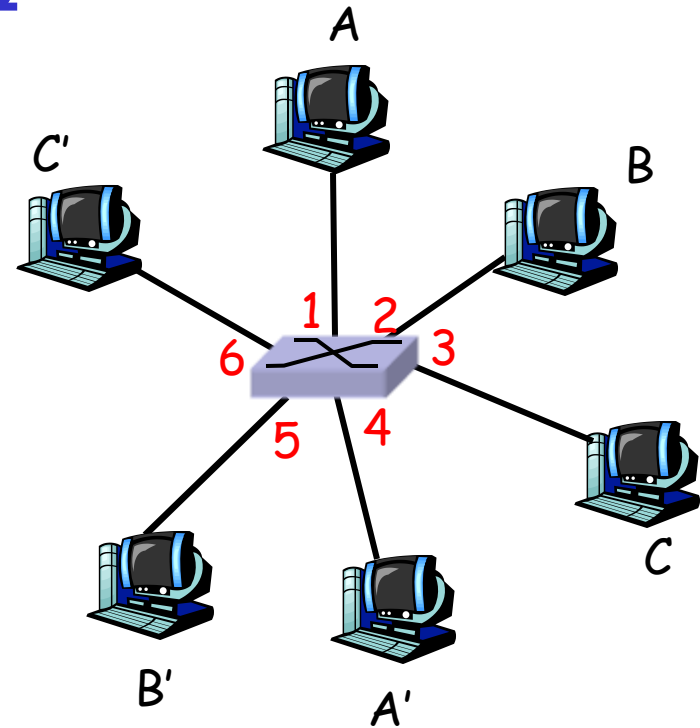
- 5.1 Εισαγωγή και υπηρεσίες
- 5.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- 5.3 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης
- 5.4 LANs
 - Διευθυνσιοδότηση, ARP
 - Ethernet
 - Μεταγωγείς (switches)
 - VLANs
- 5.5 Εικονικές Ζεύξεις: MPLS
- 5.6 Δικτύωση κέντρων δεδομένων
- 5.7 Η "ζωή" μιας web αίτησης

Μεταγωγέας Ethernet

- **Συσκευή 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

Μεταγωγέας: επιτρέπει πολλαπλές ταυτόχρονες μεταδόσεις

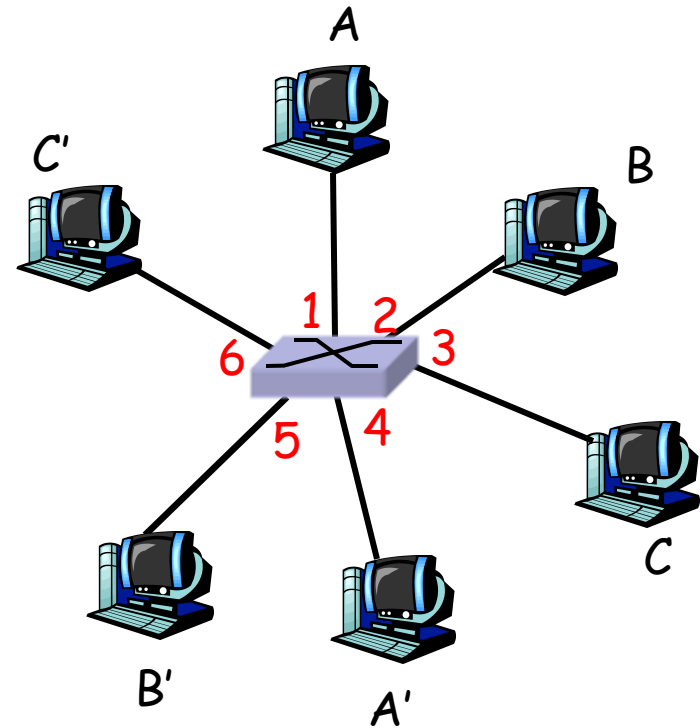
- ❑ Οι υπολογιστές έχουν αποκλειστικές, απευθείας συνδέσεις με τον μεταγωγέα
- ❑ Οι μεταγωγείς ενταμιεύουν πακέτα
- ❑ Το πρωτόκολλο Ethernet χρησιμοποιείται σε κάθε εισερχόμενη ζεύξη (σε αμφίδρομη λειτουργία, δεν υπάρχουν συγκρούσεις)
 - Κάθε ζεύξη είναι από μόνη της collision domain
- ❑ **Μεταγωγή:**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



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

Πίνακας Προώθησης Μεταγωγέα

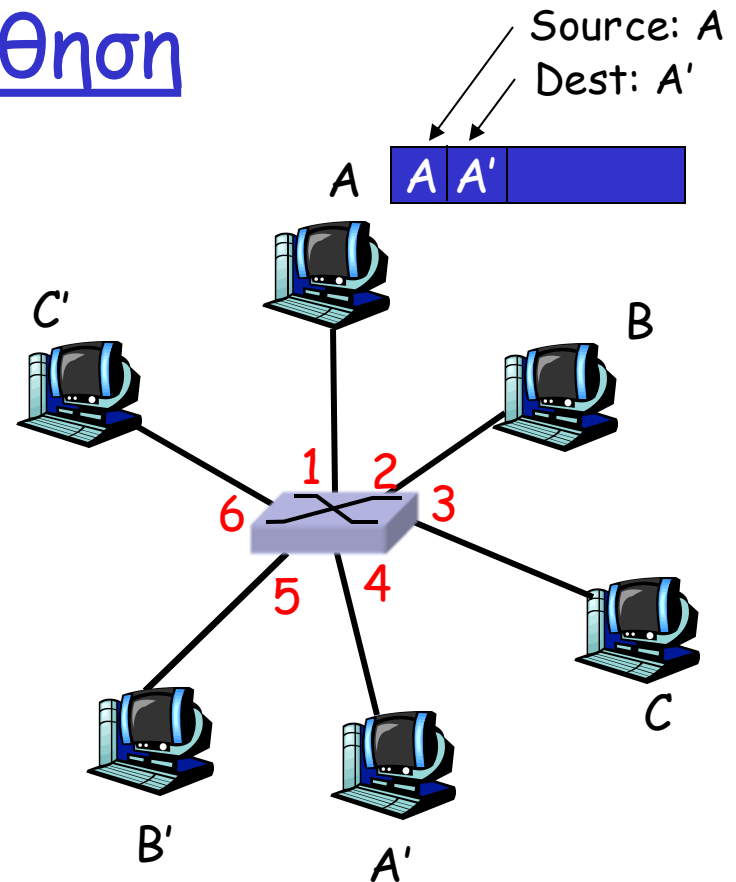
- **E:** πώς γνωρίζει ο μεταγωγέας ότι ο **A'** είναι προσβάσιμος μέσω της διεπαφής 4, ο **B'** είναι προσβάσιμος μέσω της διεπαφής 5;
- **A:** κάθε μεταγωγέας έχει ένα **πίνακα μεταγωγής (switch table)**, κάθε καταχώριση:
 - διεύθυνση MAC του υπολογιστή, διεπαφή για πρόσβαση στον υπολογιστή, χρονοσφραγίδα
 - 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)*

Μεταγωγέας: Αυτοεκμάθηση

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



MAC addr	interface	TTL
A	1	60

Switch table
(αρχικά άδειος)

Μεταγωγέας: φιλτράρισμα/προώθηση πλαισίων

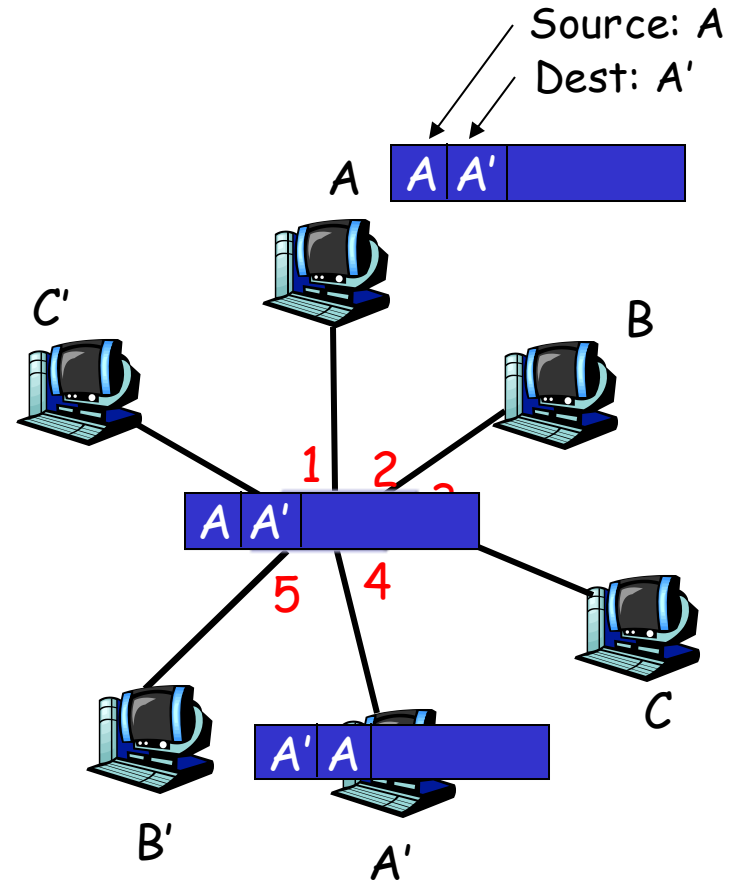
Όταν λαμβάνεται πλαίσιο στον μεταγωγέα:

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

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

Αυτοεκμάθηση, προώθηση: παράδειγμα

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

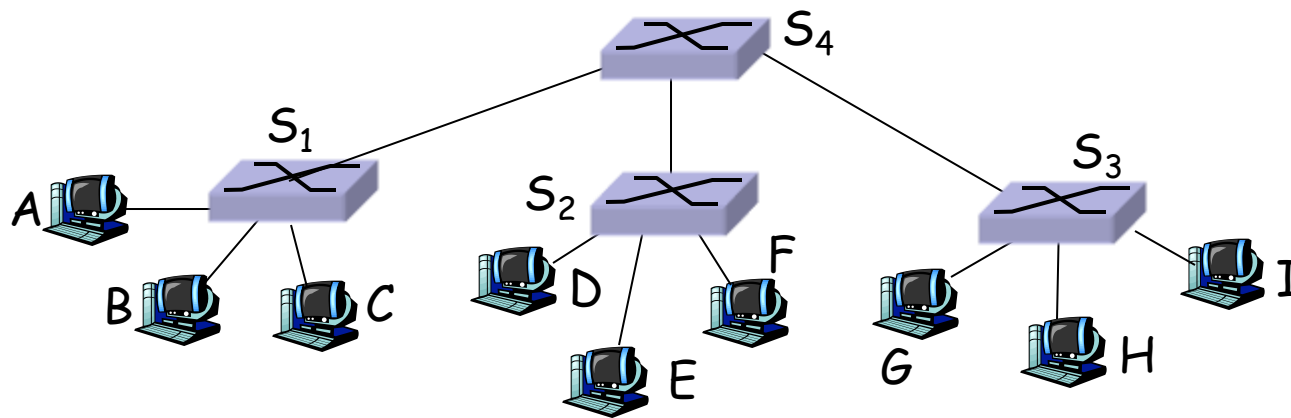


MAC addr	interface	TTL
A	1	60
A'	4	60

Πίνακας μεταγωγέα
(αρχικά άδειος)

Διασυνδέοντας μεταγωγείς

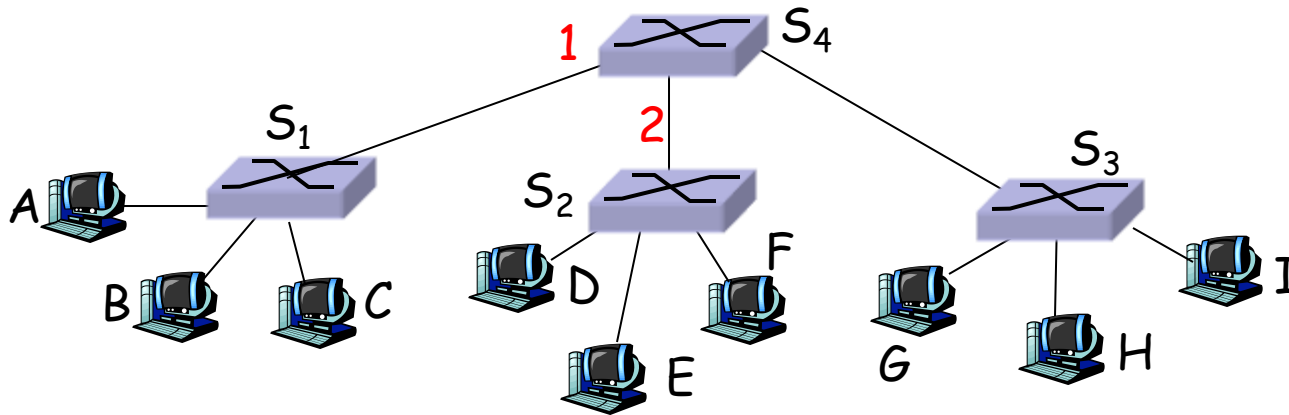
- Οι μεταγωγείς μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους



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

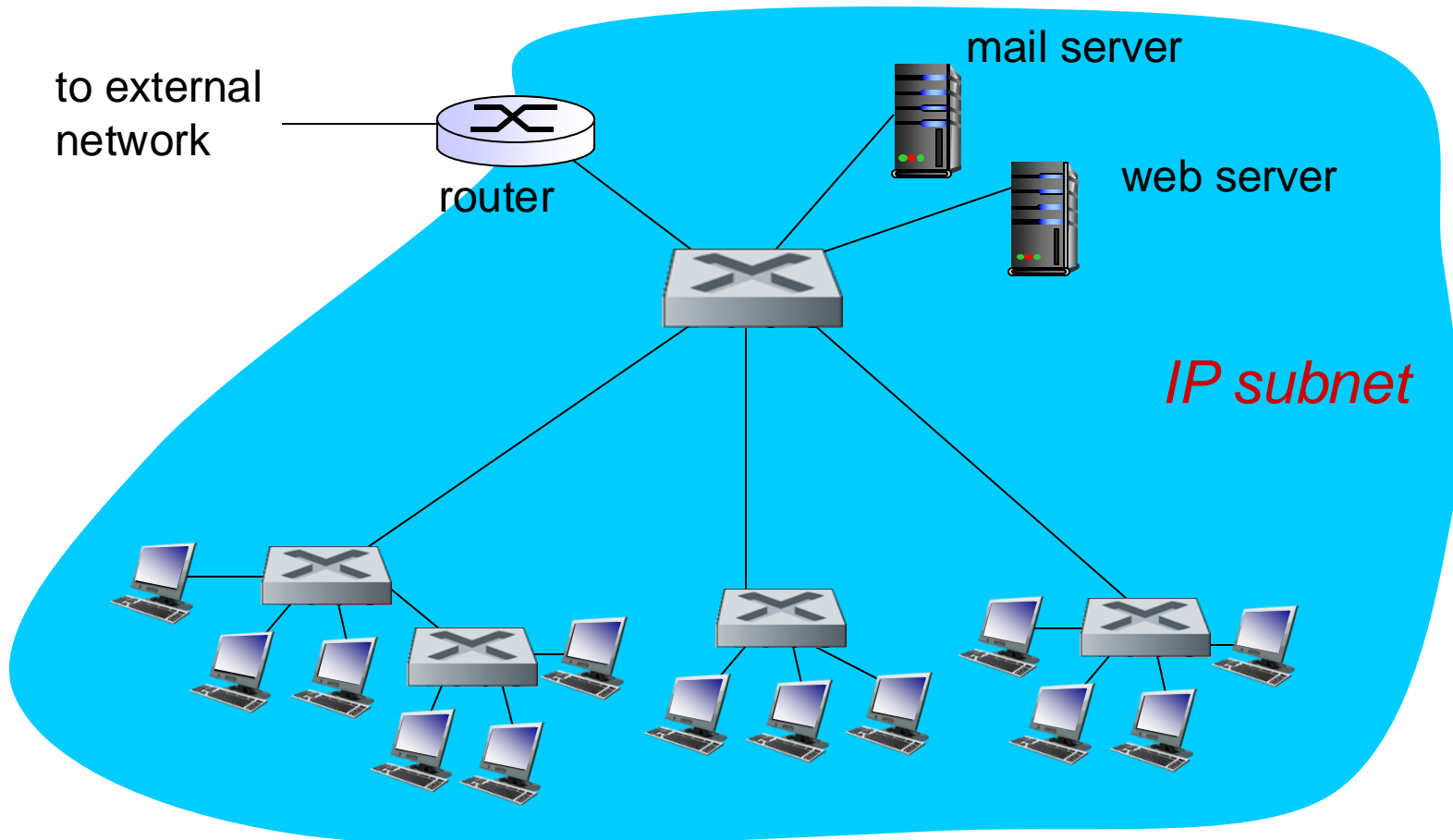
Παράδειγμα αυτοεκμάθησης με πολλούς μεταγωγείς

Υποθέστε ότι ο C στέλνει πλαίσιο στον I, ο I απαντά στον C



- **E:** Δείξτε τους πίνακες μεταγωγέα και την προώθηση πακέτων στους S_1, S_2, S_3, S_4

Ιδρυματικό δίκτυο



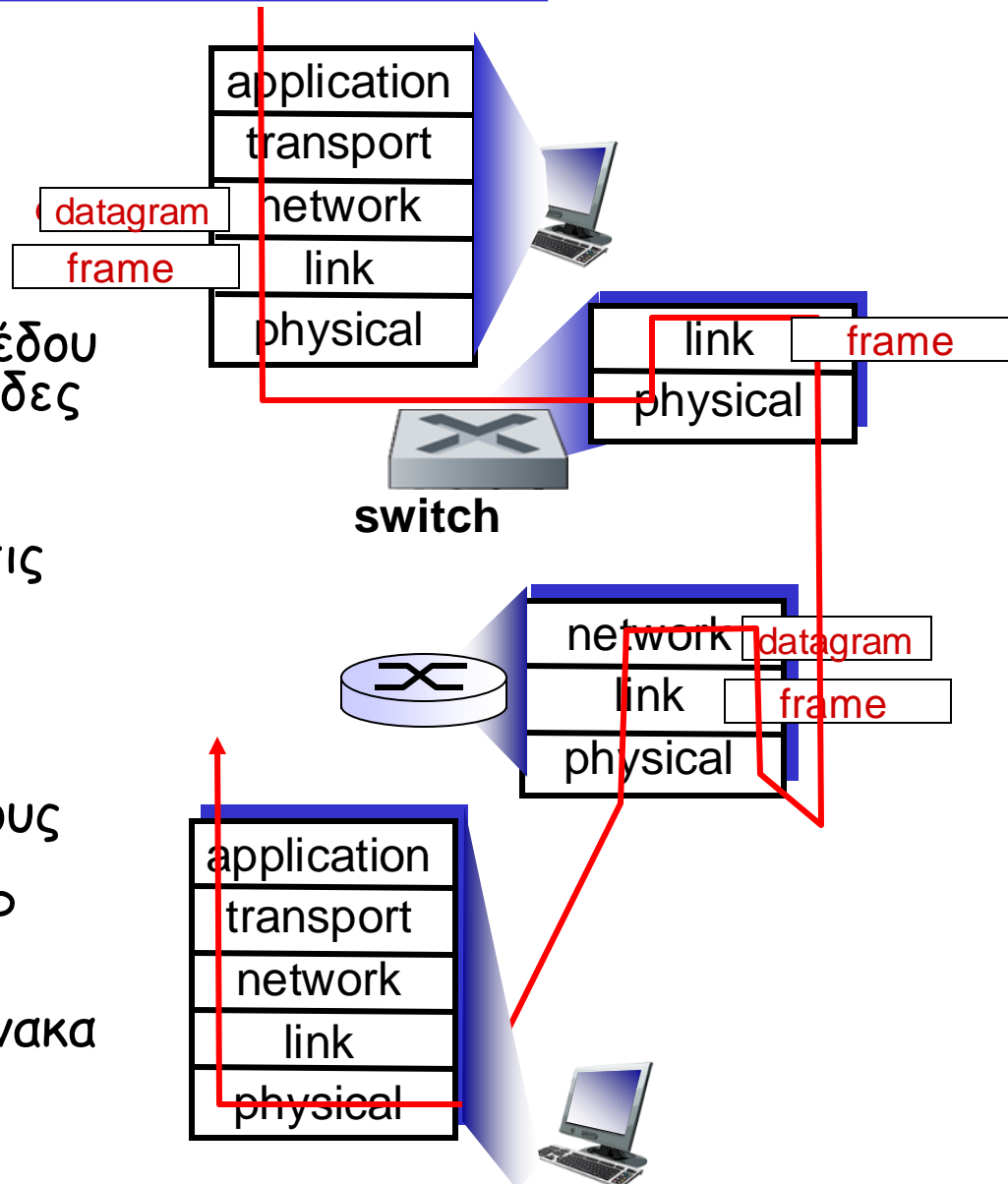
Μεταγωγείς έναντι Δρομολογητών

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

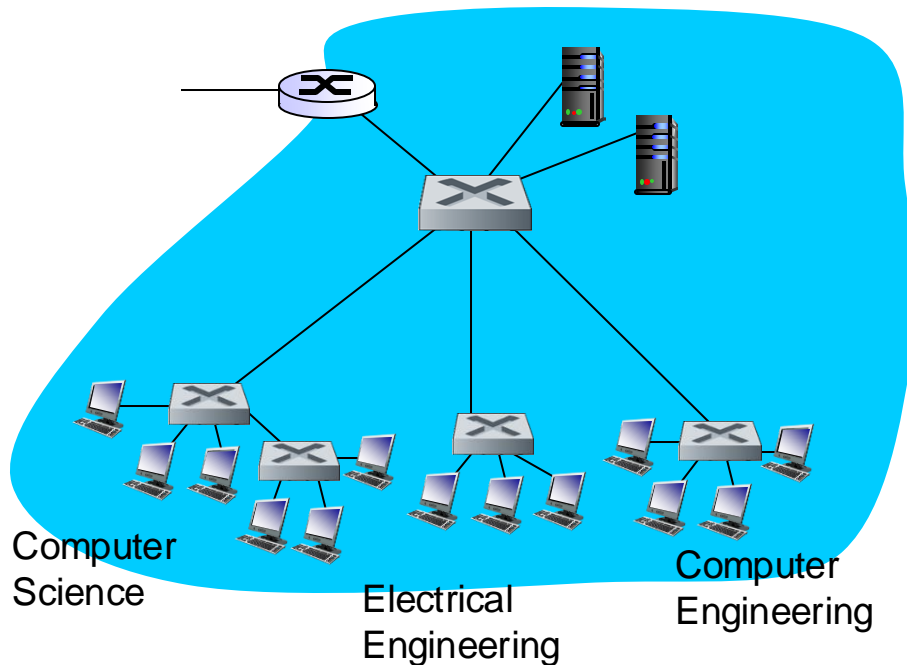
- **δρομολογητές:** συσκευές επιπέδου δικτύου (εξετάζουν τις κεφαλίδες επιπέδου δικτύου)
- **μεταγωγείς:** είναι συσκευές επιπέδου ζεύξης (εξετάζουν τις κεφαλίδες επιπέδου ζεύξης)

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



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 ασφαλείας/ιδιωτικότητας, αποτελεσματικότητας

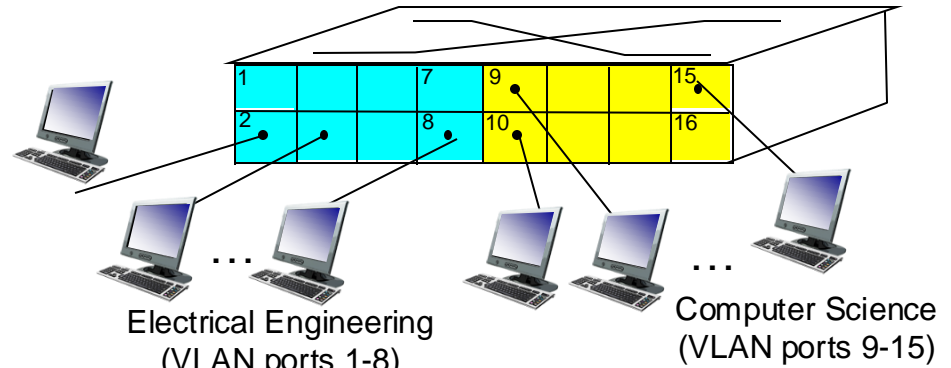
VLANs

Virtual Local Area Network

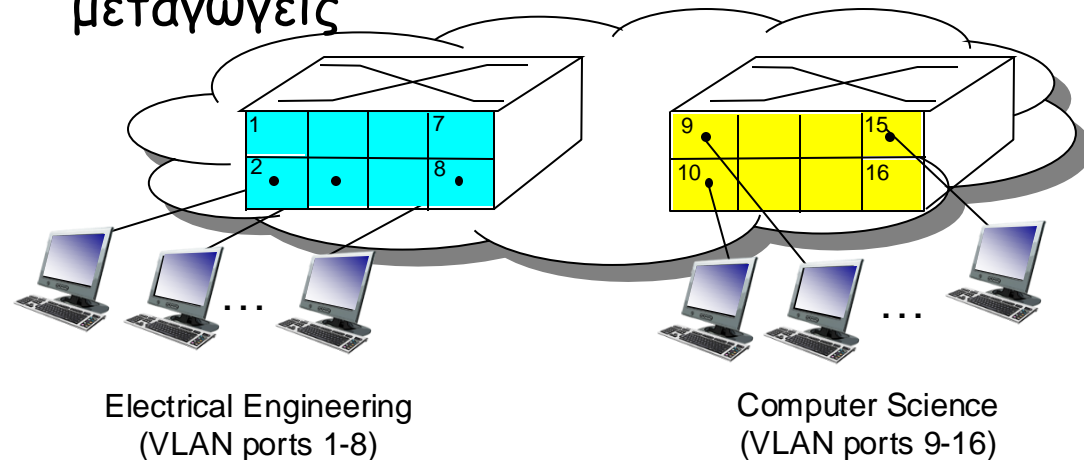
μεταγωγείς που υποστηρίζουν VLAN μπορούν να ρυθμιστούν να ορίζουν πολλαπλά εικονικά LAN πάνω από μία φυσική υποδομή LAN

βάσει θύρας (port-based) VLAN:

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

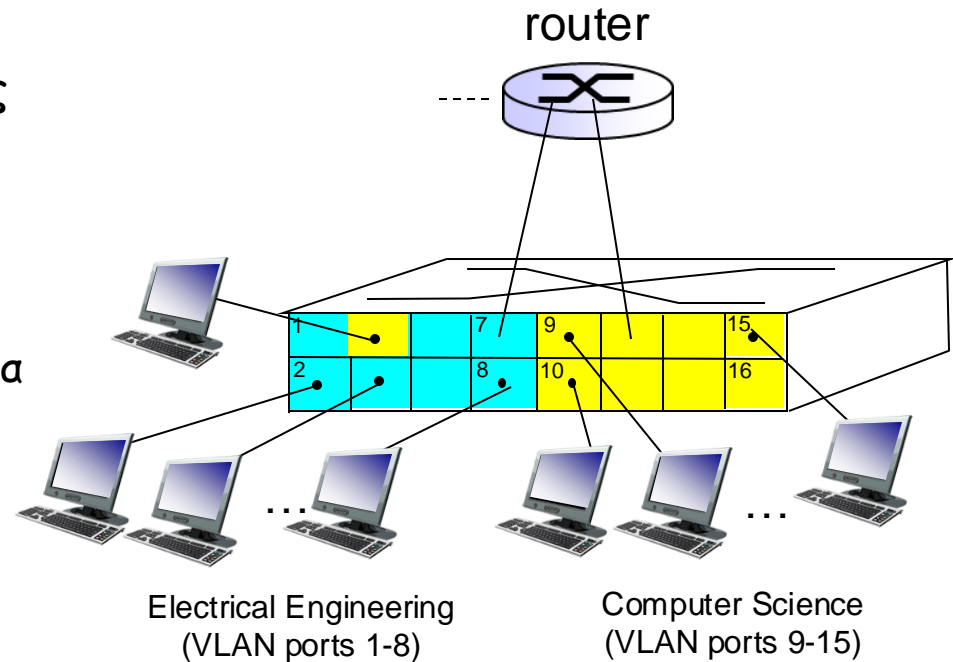


... να λειτουργεί ως **πολλαπλοί** εικονικοί μεταγωγείς

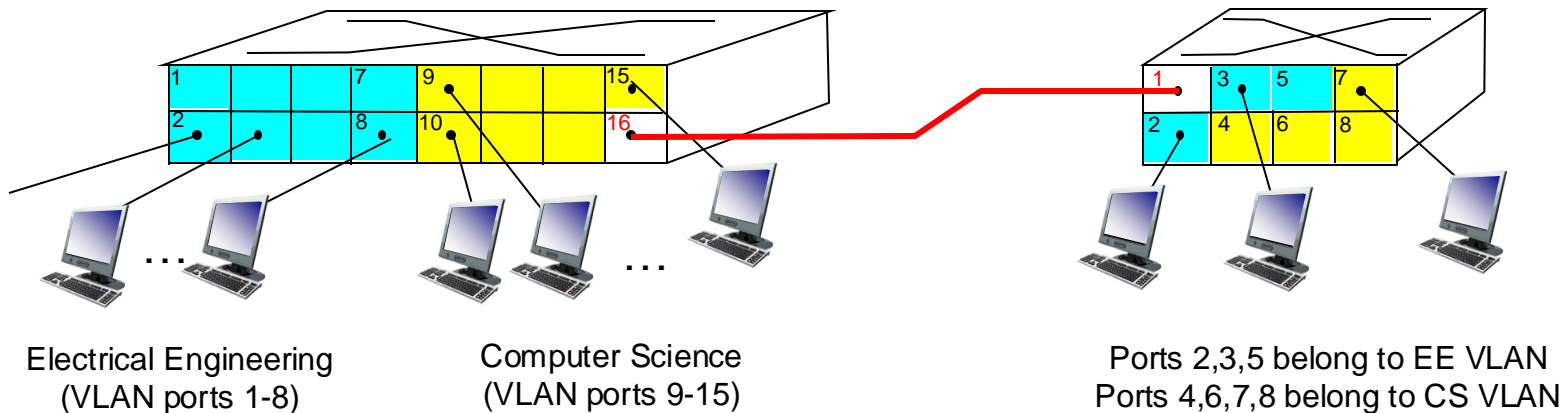


Βάσει Θύρας (port-based) VLAN

- **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



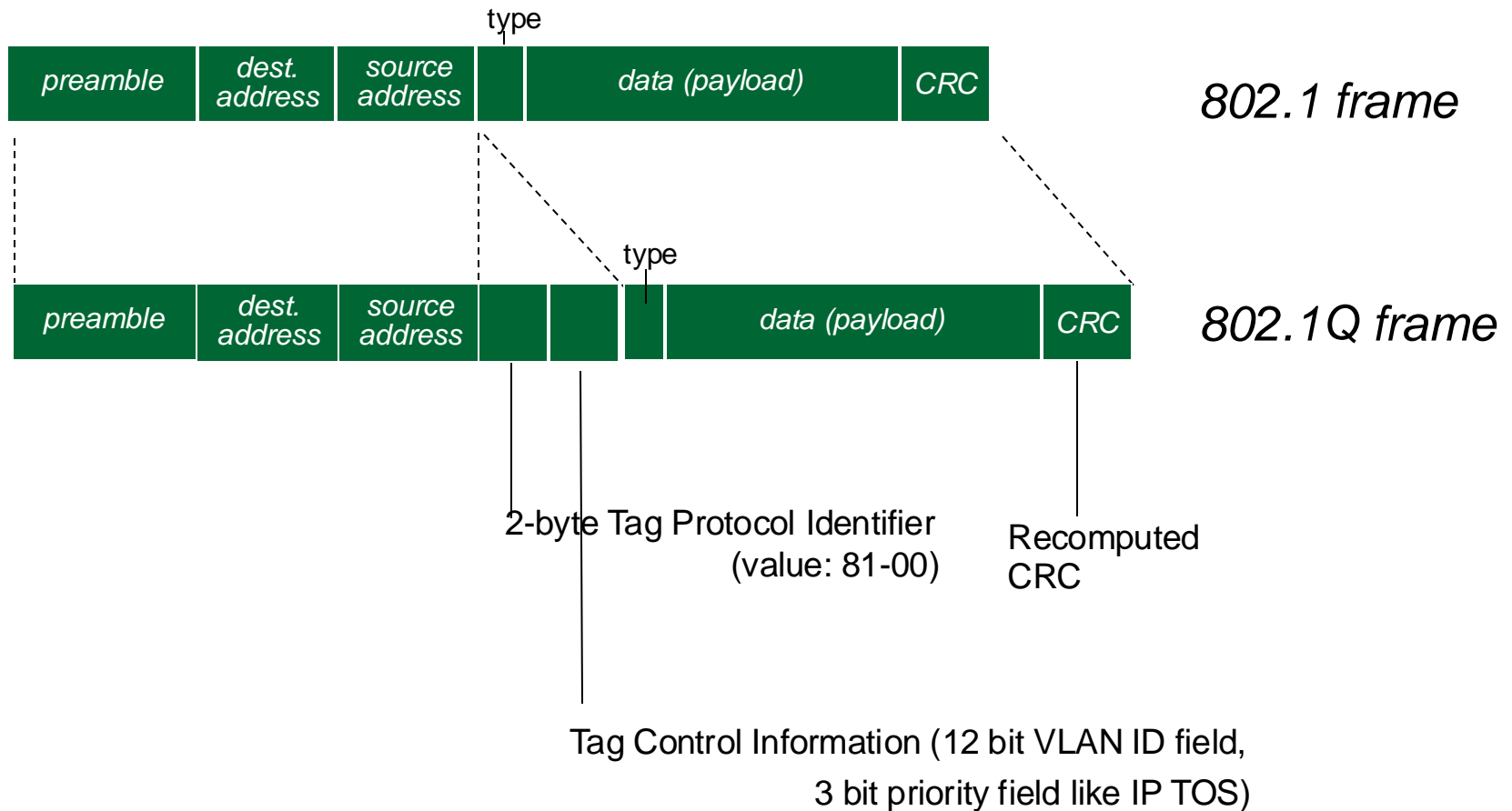
VLANs που εκτείνονται σε πολλαπλούς μεταγωγείς



□ **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

Μορφή 802.1Q VLAN πλαισίου



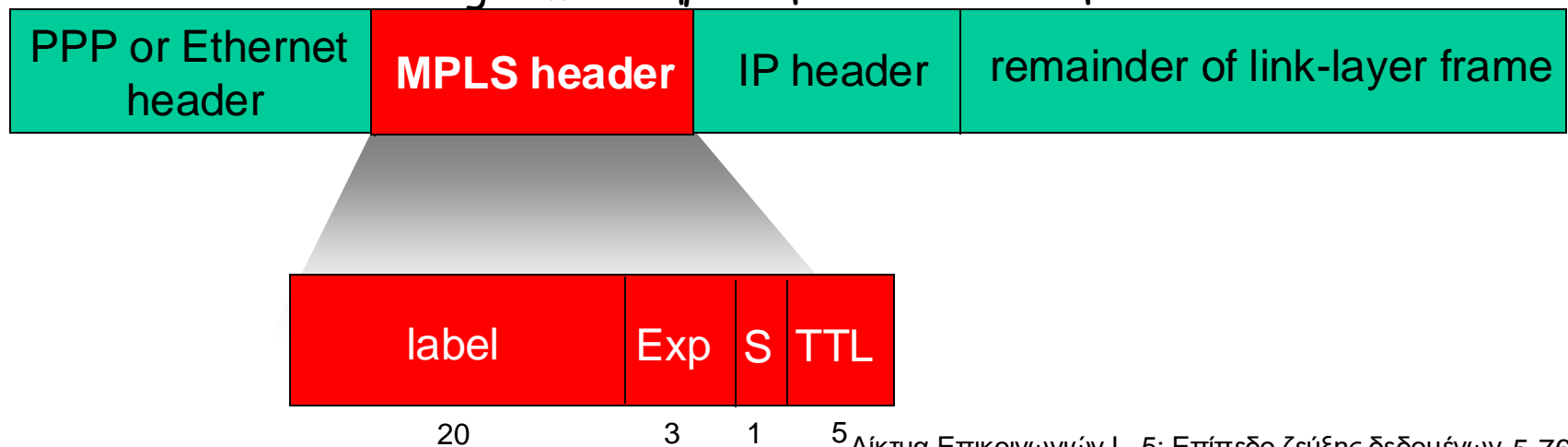
Επίπεδο Ζεύξης

- ❑ 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

Multiprotocol label switching (MPLS)

(Μεταγωγή ετικέτας πολλαπλών πρωτοκόλλων)

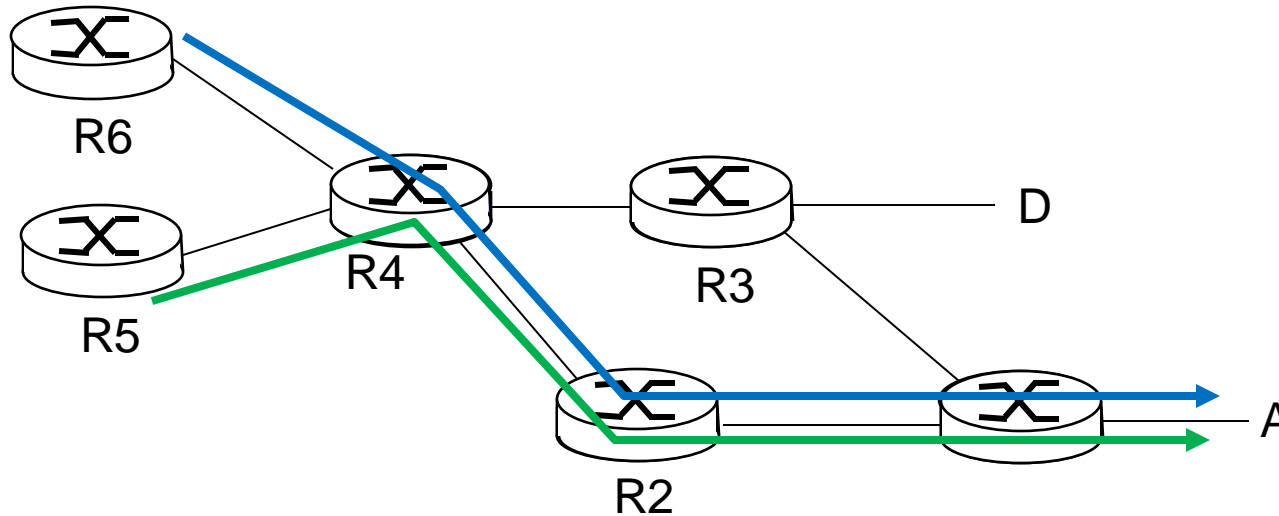
- Αρχικός στόχος: υψηλής ταχύτητας IP προώθηση χρησιμοποιώντας ετικέτα σταθερού μεγέθους (αντί της διεύθυνσης IP)
 - γρήγορη αναζήτηση χρησιμοποιώντας σταθερού μεγέθους αναγνωριστικό (αντί του ταιριάσματος βραχύτερου προθέματος)
 - Δανείζεται ιδέες από την προσέγγιση των εικονικών κυκλωμάτων (VC)
 - Αλλά το IP datagram διατηρεί την IP διεύθυνση!



Δρομολογητές που υποστηρίζουν το MPLS

- δηλ. δρομολογητές που επιτελούν μεταγωγή βασιζόμενοι στις ετικέτες
- προωθούν τα πακέτα στις εξερχόμενες διεπαφές με βάση μόνο την τιμή της ετικέτας (δεν κοιτάζει την IP διεύθυνση)
 - ο πίνακας προώθησης του MPLS διαφορετικός από τον IP πίνακα προώθησης
- **ευελιξία:** οι αποφάσεις προώθησης του MPLS μπορεί να διαφέρουν από αυτές του IP
 - χρησιμοποιεί διευθύνσεις προορισμού και πηγής για να δρομολογήσει ροές στον ίδιο προορισμό διαφορετικά (διαχείριση κίνησης)
 - επαναδρομολογεί ροές γρήγορα αν η ζεύξη αποτύχει: προ-υπολογισμένες εφεδρικές διαδρομές (χρήσιμο για VoIP)

MPLS έναντι IP διαδρομών

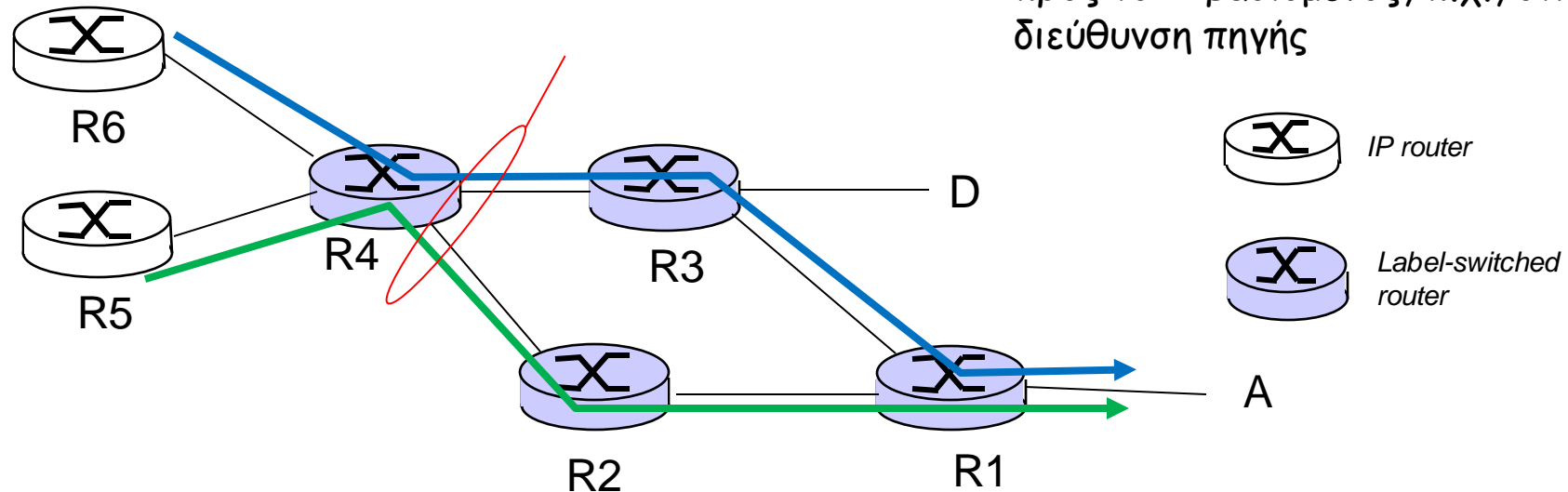


□ **IP δρομολόγηση:** διαδρομή προς προορισμό καθορίζεται μόνο από τη διεύθυνση προορισμού



MPLS έναντι IP διαδρομών

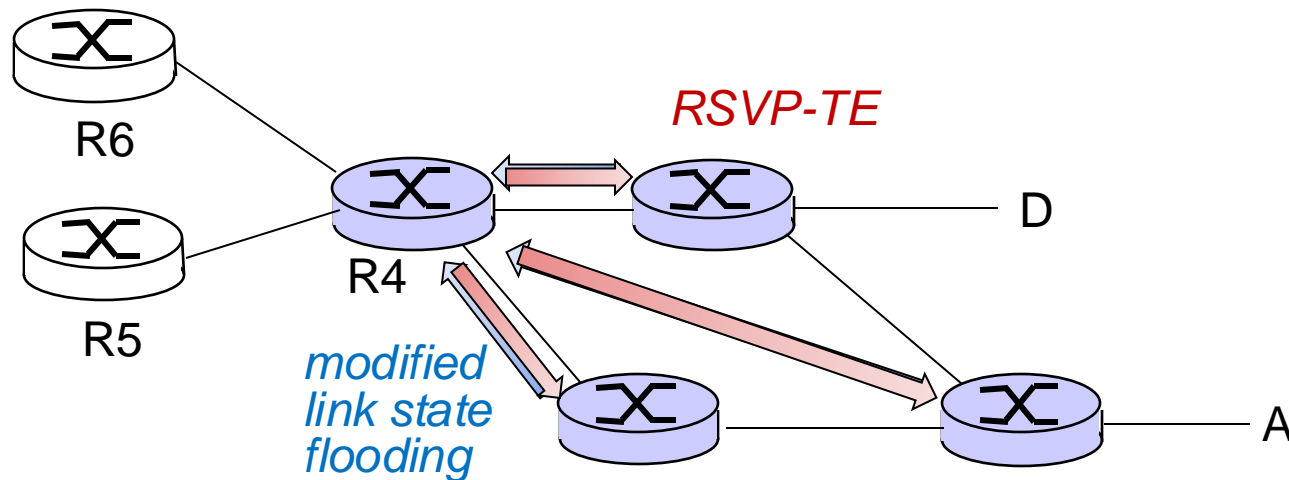
ο δρομολογητής εισόδου (R4) μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικές MPLS διαδρομές προς το A βασισμένος, π.χ., στη διεύθυνση πηγής



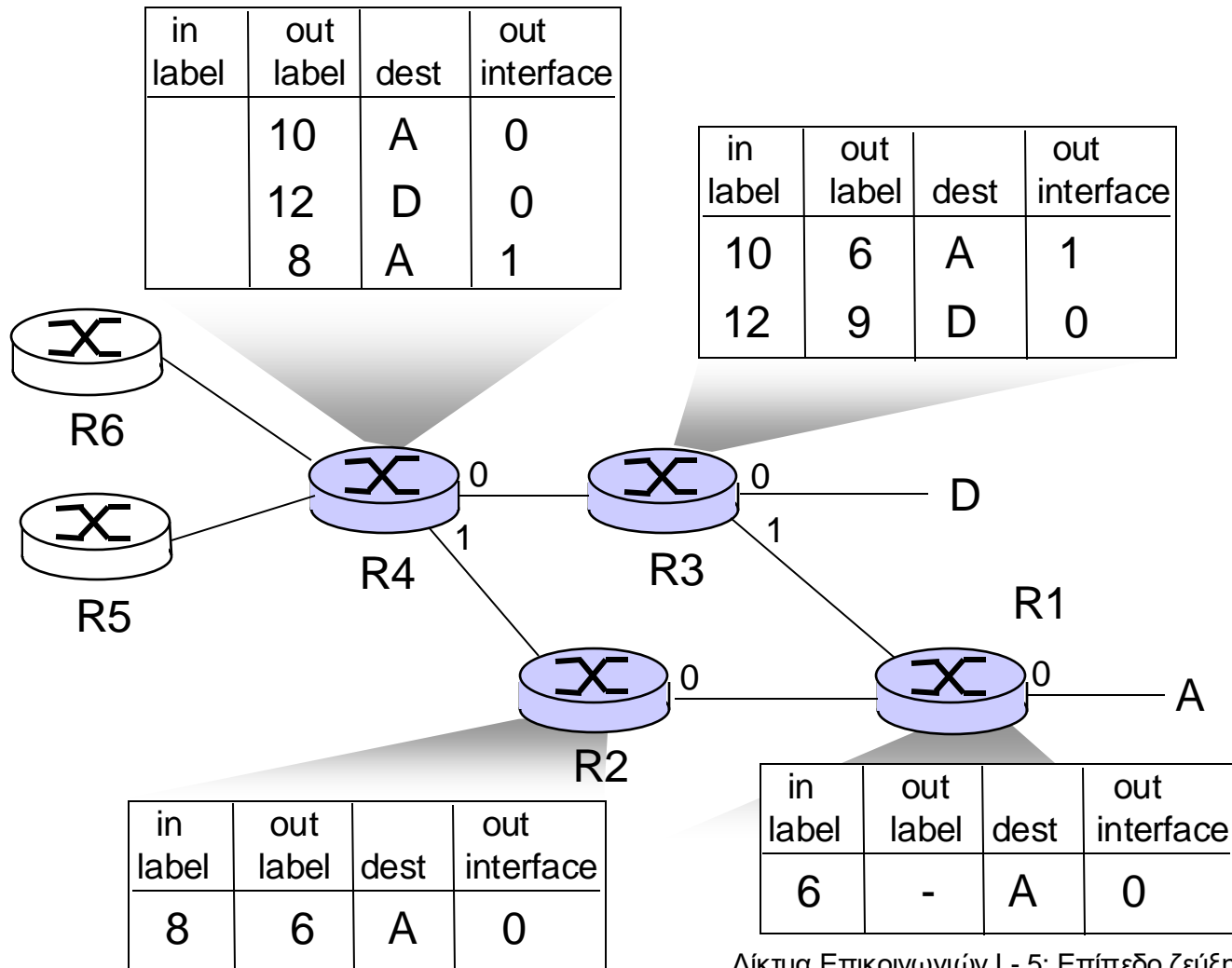
- ❑ **IP δρομολόγηση:** διαδρομή προς προορισμό καθορίζεται μόνο από τη διεύθυνση προορισμού
- ❑ **MPLS δρομολόγηση:** διαδρομή προς προορισμό μπορεί να καθορίζεται από τη διεύθυνση πηγής και προορισμού
 - **γρήγορη επαναδρομολόγηση:** προ-υπολογισμένες εφεδρικές διαδρομές για την περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης

MPLS σηματοδότηση

- μετατρέπει τα OSPF, IS-IS, κατάστασης ζεύξης (link-state) flooding πρωτόκολλα ώστε να μεταφέρουν πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από την MPLS δρομολόγηση
 - π.χ., εύρος ζώνης ζεύξης
- Ο MPLS δρομολογητής εισόδου χρησιμοποιεί το RSVP-TE πρωτόκολλο σηματοδότησης για να στήσει MPLS προώθηση σε δρομολογητές κατερχόμενης ζεύξης



Πίνακες προώθησης του MPLS



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

Δίκτυα κέντρων δεδομένων

□ 10δες με 100δες χιλιάδες υπολογιστών, συχνά στενά συνδεδεμένων, σε κοντινή απόσταση

- e-business (π.χ. Amazon)
- servers περιεχομένου (π.χ. YouTube, Akamai, Apple, Microsoft)
- μηχανές αναζήτησης, εξόρυξη δεδομένων (π.χ. Google)

□ προκλήσεις:

- πολλαπλές εφαρμογές, κάθε μία εξυπηρετεί τεράστιο αριθμό πελατών
- διαχείριση/εξισορρόπηση φόρτου, αποφυγή επεξεργασίας, δικτύωση, συμφόρηση δεδομένων



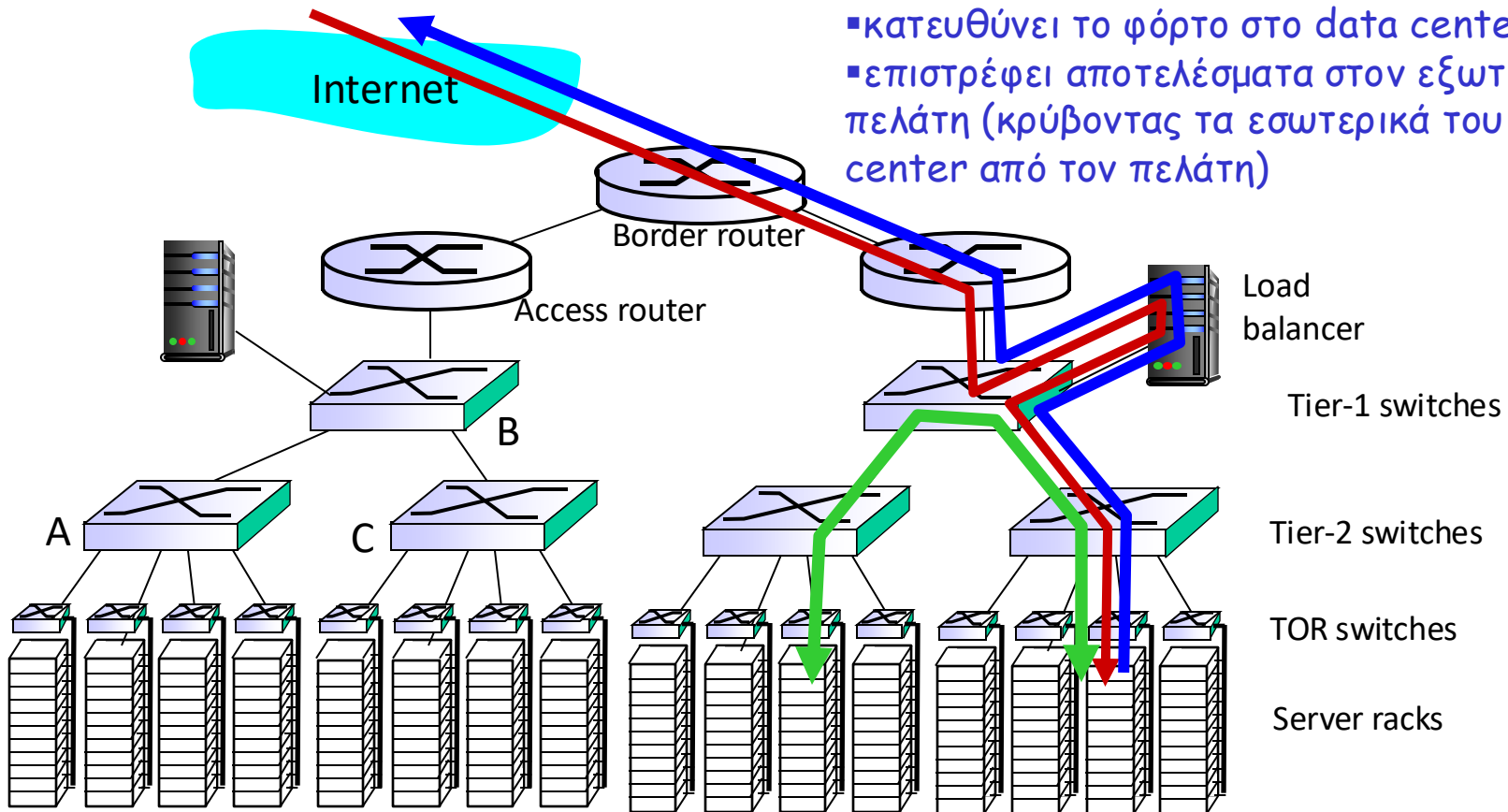
Inside a 40-ft Microsoft container,
Chicago data center

Δίκτυα κέντρων δεδομένων

εξισορροπητής φόρτου:

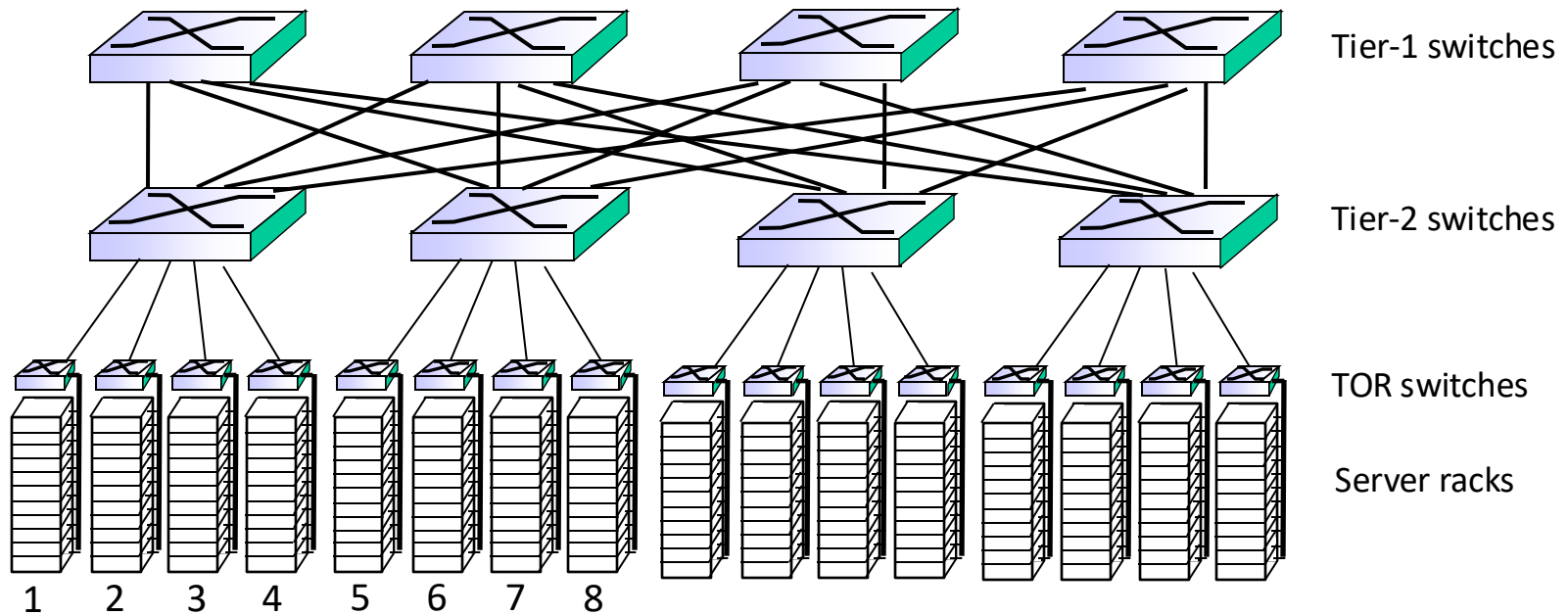
δρομολόγηση επιπέδου εφαρμογής

- λαμβάνει εξωτερικές αιτήσεις πελατών
- κατευθύνει το φόρτο στο data center
- επιστρέφει αποτελέσματα στον εξωτερικό πελάτη (κρύβοντας τα εσωτερικά του data center από τον πελάτη)



Δίκτυα κέντρων δεδομένων

- πλούσια διασύνδεση μεταξύ μεταγωγών, racks:
 - αυξημένη απόδοση μεταξύ racks (δυνατότητα πολλαπλών διαδρομών δρομολόγησης)
 - αυξημένη αξιοπιστία μέσω πλεονασμού



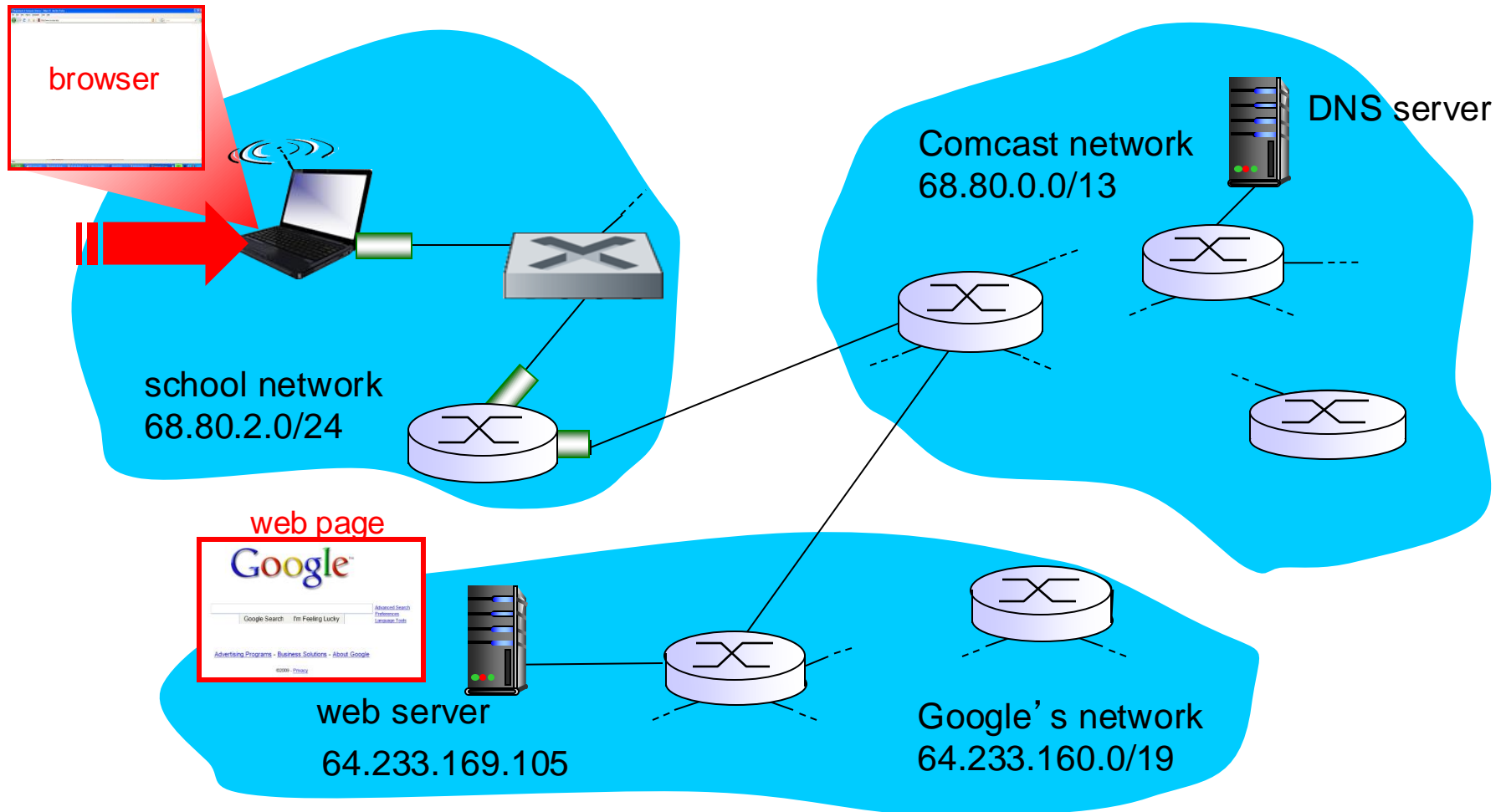
Επίπεδο ζεύξης

- 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

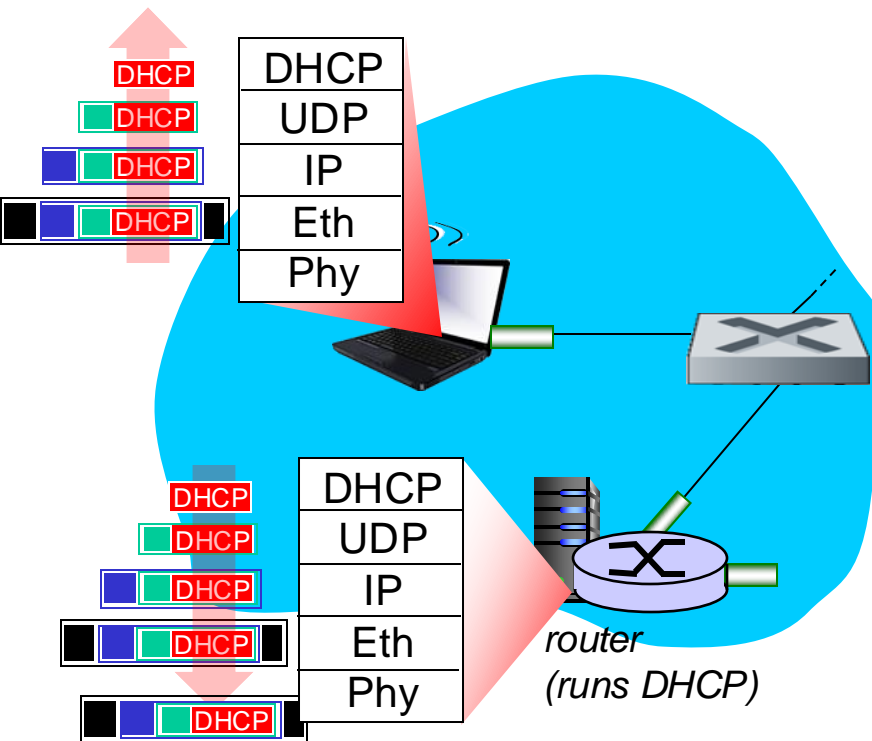
Σύνθεση: μία ημέρα στη ζωή μιας αίτησης web

- 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`

Μία ημέρα στη ζωή μιας αίτησης web: σενάριο

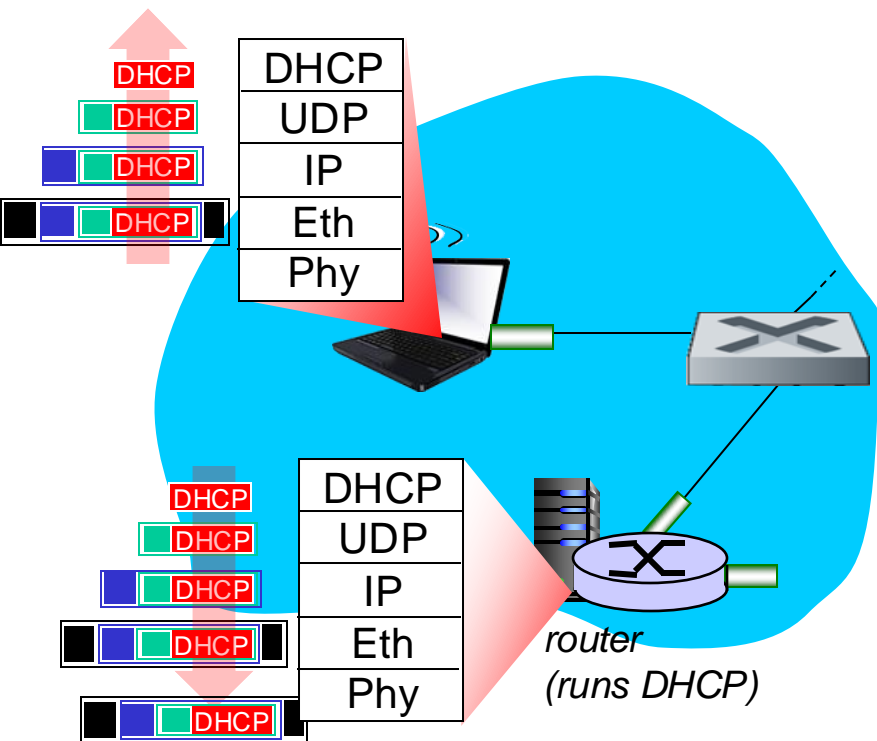


Μια ημέρα στη ζωή... σύνδεση στο Internet



- συνδέοντας το laptop χρειάζεται να πάρει δική του IP δ/νση, δ/νση δρομολογητή πρώτου άλματος, δ/νση DNS server: χρησιμοποίησε **DHCP**
- Η DHCP αίτηση ενθυλακώνεται στο **UDP**, ενθυλακώνεται στο **IP**, ενθυλακώνεται στο **802.3 Ethernet**
- Broadcast Ethernet πλαίσιο (προορισμός: FFFFFFFFFFFFFFFF) 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

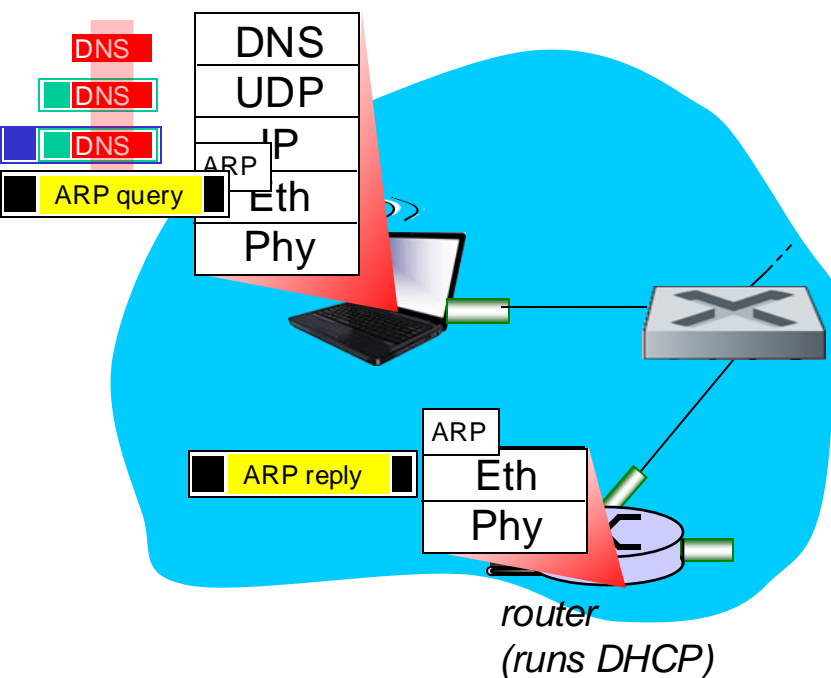
Μια ημέρα στη ζωή ... σύνδεση στο Internet



- 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

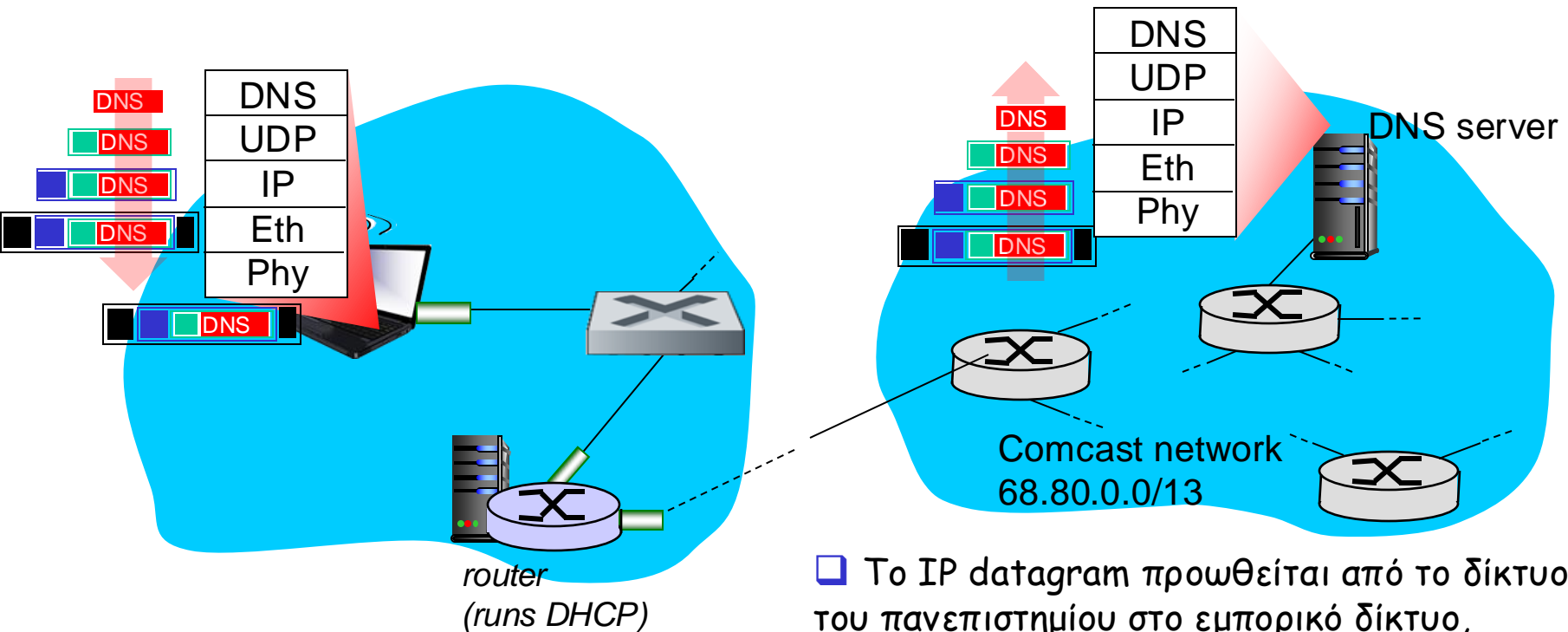
Ο πελάτης τώρα έχει IP διεύθυνση, γνωρίζει όνομα & διεύθυνση του DNS server, IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος

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

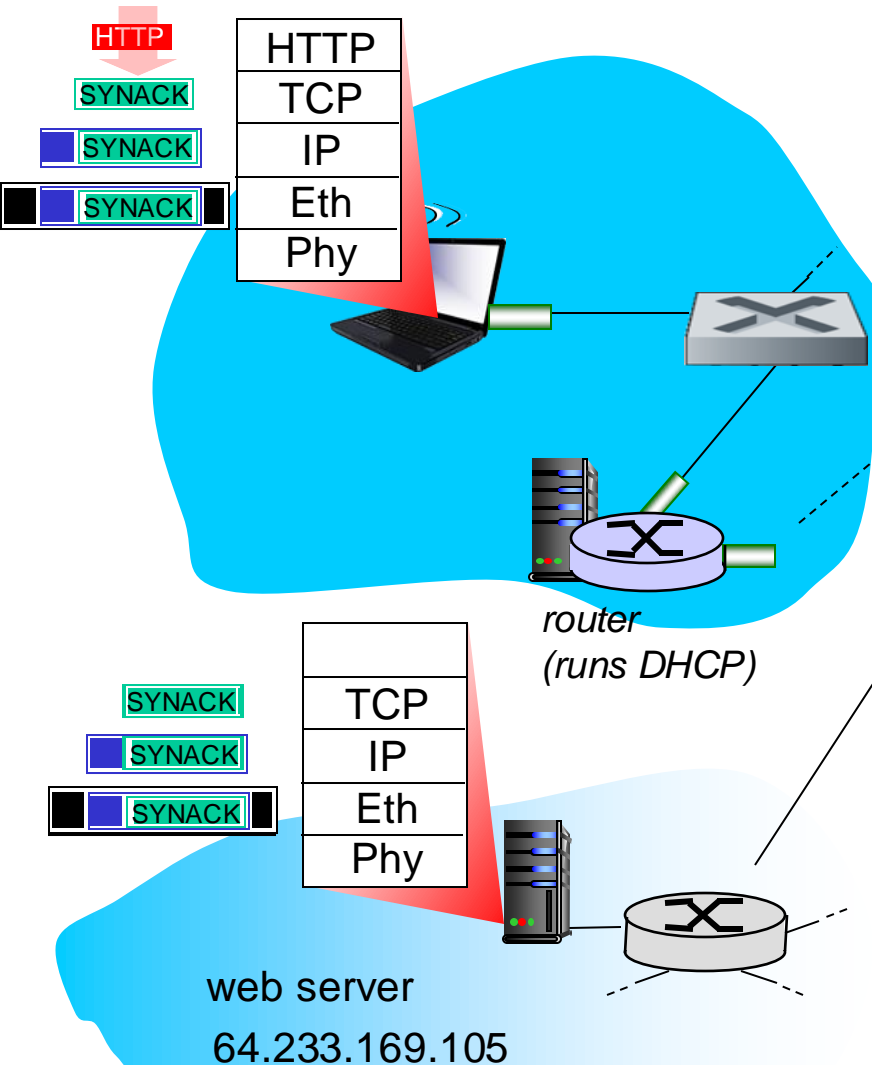
Μια ημέρα στη ζωή... χρησιμοποιώντας το DNS



□ Το IP datagram που περιέχει το DNS ερώτημα προωθείται μέσω του μεταγωγέα του LAN από τον πελάτη στο δρομολογητή πρώτου άλματος

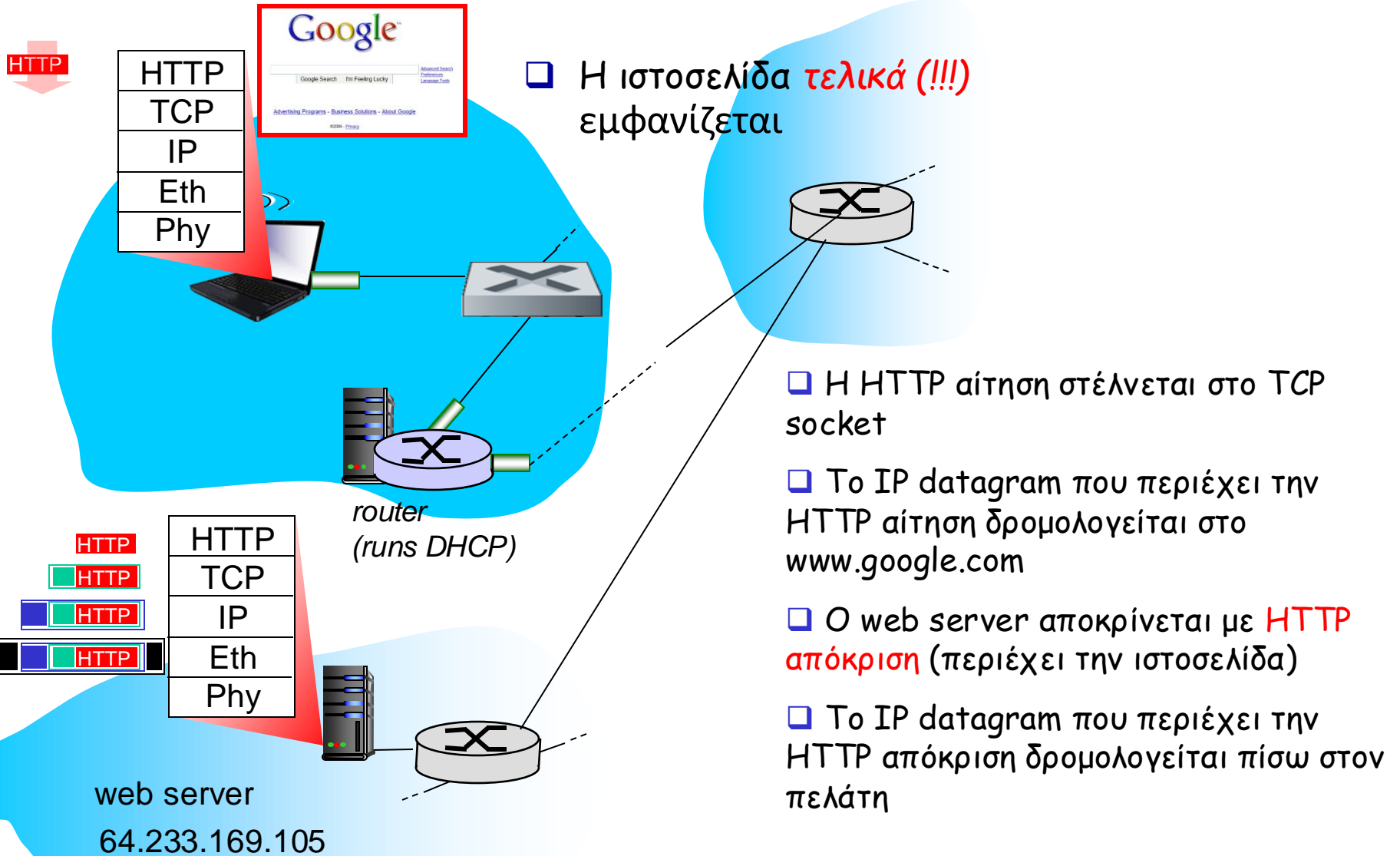
- Το IP datagram προωθείται από το δίκτυο του πανεπιστημίου στο εμπορικό δίκτυο, δρομολογείται (οι πίνακες δημιουργούνται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης **RIP, OSPF, IS-IS** και/ή **BGP**) στο DNS
- αποπολυπλέκεται στον DNS server
- Ο DNS server απαντάει στον πελάτη με την IP διεύθυνση του **www.google.com**

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



- για να στείλει την HTTP αίτηση, ο πελάτης πρώτα ανοίγει την TCP υποδοχή (socket) στον web server
- το **TCP SYN** τμήμα (βήμα 1 στην τριμερή χειραψία) δρομολογείται μεταξύ των τομέων στο web server
- Ο web server αποκρίνεται με ένα **TCP SYN ACK** (βήμα 2 στην τριμερή χειραψία)
- **εγκαθίδρυση TCP σύνδεσης**

Μία ημέρα στη ζωή... HTTP αίτηση/απόκριση



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

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 ΙΙ !

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδεια Χρήσης

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,
Μεράκος Λάζαρος 2015. «Δίκτυα Επικοινωνιών Ι. Ενότητα 5:
Επίπεδο Ζεύξης: Ζεύξεις, Δίκτυα Πρόσβασης, Δίκτυα Τοπικής
Περιοχής». Έκδοση: 1.01. Αθήνα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI19>

Χρηματοδότηση

- ❑ Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του Μεράκου Λάζαρου.
- ❑ Το έργο «**Ανοικτά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

