

# Δίκτυα Επικοινωνιών I

Διδάσκων: Δρ. Νάσος Βάιος

Εαρινό Εξάμηνο 2024-2025

# Κεφάλαιο 4

## Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων

### Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

**ΘΕ1: Εισαγωγή**

(Κεφ. 1 του βιβλίου)

**ΘΕ2: Επίπεδο Εφαρμογής**

(Κεφ. 2 του βιβλίου)

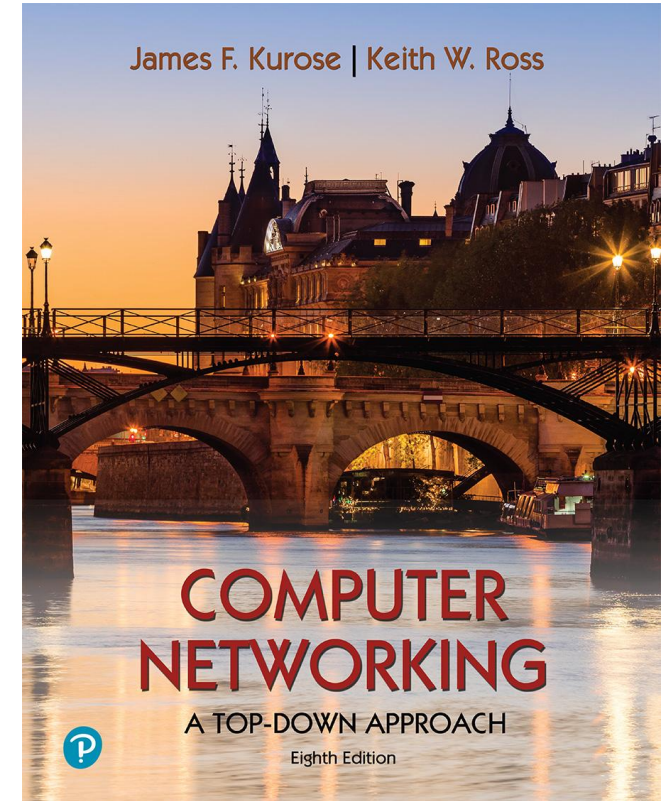
**ΘΕ3: Επίπεδο Μεταφοράς**

(Κεφ. 3 του βιβλίου)

**ΘΕ4: Επίπεδο Δικτύου**

Επίπεδο Δεδομένων (Κεφ. 4 του βιβλίου)

Επίπεδο Ελέγχου (Κεφ. 5 του βιβλίου)



*Computer Networking: A  
Top-Down Approach*

8<sup>th</sup> edition

Jim Kurose, Keith Ross  
Pearson, 2020

# Επίπεδο Δικτύου: Στόχοι κεφαλαίων 4,5

- Κατανόηση αρχών πίσω από τις υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου, εστιάζοντας στο επίπεδο δεδομένων:
  - Μοντέλα υπηρεσιών του επιπέδου δικτύου
  - Προώθηση έναντι δρομολόγησης (forwarding vs routing)
  - Πώς δουλεύει ένας δρομολογητής
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Γενικευμένη προώθηση
  - Αρχιτεκτονική Διαδικτύου
- Πραγμάτωση, υλοποίηση στο Διαδίκτυο
  - Πρωτόκολλο IP
  - Πρωτόκολλο NAT, ενδιάμεσα κουτιά
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης
  - Εσωτερική δρομολόγηση για δικτυακές περιοχές
  - Δρομολόγηση ανάμεσα σε διαφορετικές δικτυακές περιοχές

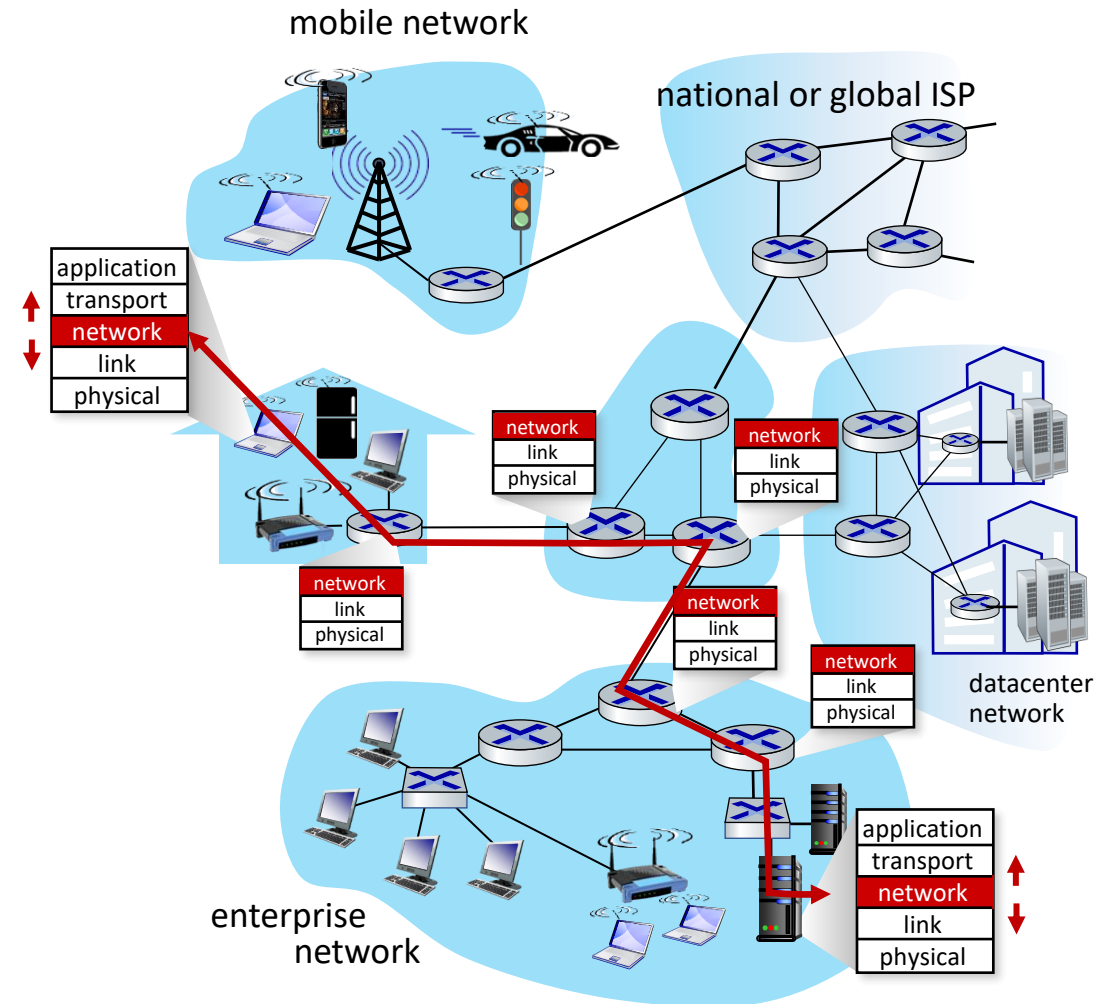
# Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση
  - Επίπεδο δεδομένων
  - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
  - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
  - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)
  - Μορφή δεδομενογράμματος
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Μετάφραση διευθύνσεων δικτύου
  - IPv6
- Γενικευμένη προώθηση και SDN
  - Ταίριασμα+ενέργεια
  - Παραδείγματα OpenFlow
- Ενδιάμεσα κουτιά



# Επίπεδο Δικτύου: υπηρεσίες και πρωτόκολλα

- Μεταφορά τμήματος από τον υπολογιστή αποστολέα στον υπολογιστή δέκτη
  - **αποστολέας**: ενθυλακώνει τα τμήματα σε δεδομενογράμματα και τα προωθεί στο επίπεδο ζεύξης
  - **παραλήπτης**: παραδίδει τα τμήματα στο επίπεδο μεταφοράς
- Πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου σε **κάθε συσκευή του Διαδικτύου**: υπολογιστές, δρομολογητές
- **Δρομολογητής**:
  - εξετάζει πεδία της κεφαλίδας όλων των IP δεδομενογραμμάτων που περνούν από αυτόν
  - μετακινεί τα δεδομενογράμματα από τις θύρες εισόδου στις θύρες εξόδου ώστε να τα μεταφέρει προς τον τελικό προορισμό



# Δύο λειτουργίες κλειδιά του επιπέδου δικτύου

## Λειτουργίες επιπέδου δικτύου:

- **Πρώθηση (forwarding):** μετακίνηση πακέτων από την είσοδο του δρομολογητή στην κατάλληλη έξοδο του δρομολογητή
- **Δρομολόγηση (routing):** καθορισμός διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα από την προέλευση στον προορισμό
  - αλγόριθμοι δρομολόγησης

## αναλογία: κάνοντας ένα ταξίδι

- **πρώθηση:** διαδικασία περάσματος από έναν κυκλικό κόμβο
- **δρομολόγηση:** διαδικασία σχεδιασμού ταξιδιού από την προέλευση στον προορισμό



forwarding



routing

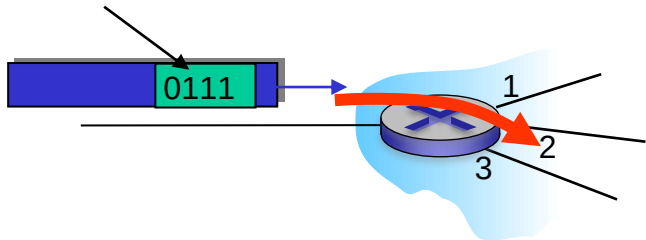


# Επίπεδο δεδομένων – Επίπεδο ελέγχου

## Επίπεδο δεδομένων:

- *τοπική* λειτουργία, ανά δρομολογητή
- αποφασίζει πώς ένα αφικνούμενο δεδομένογραμμα σε μία θύρα εισόδου προωθείται σε μία θύρα εξόδου

τιμές κεφαλίδας  
πακέτου

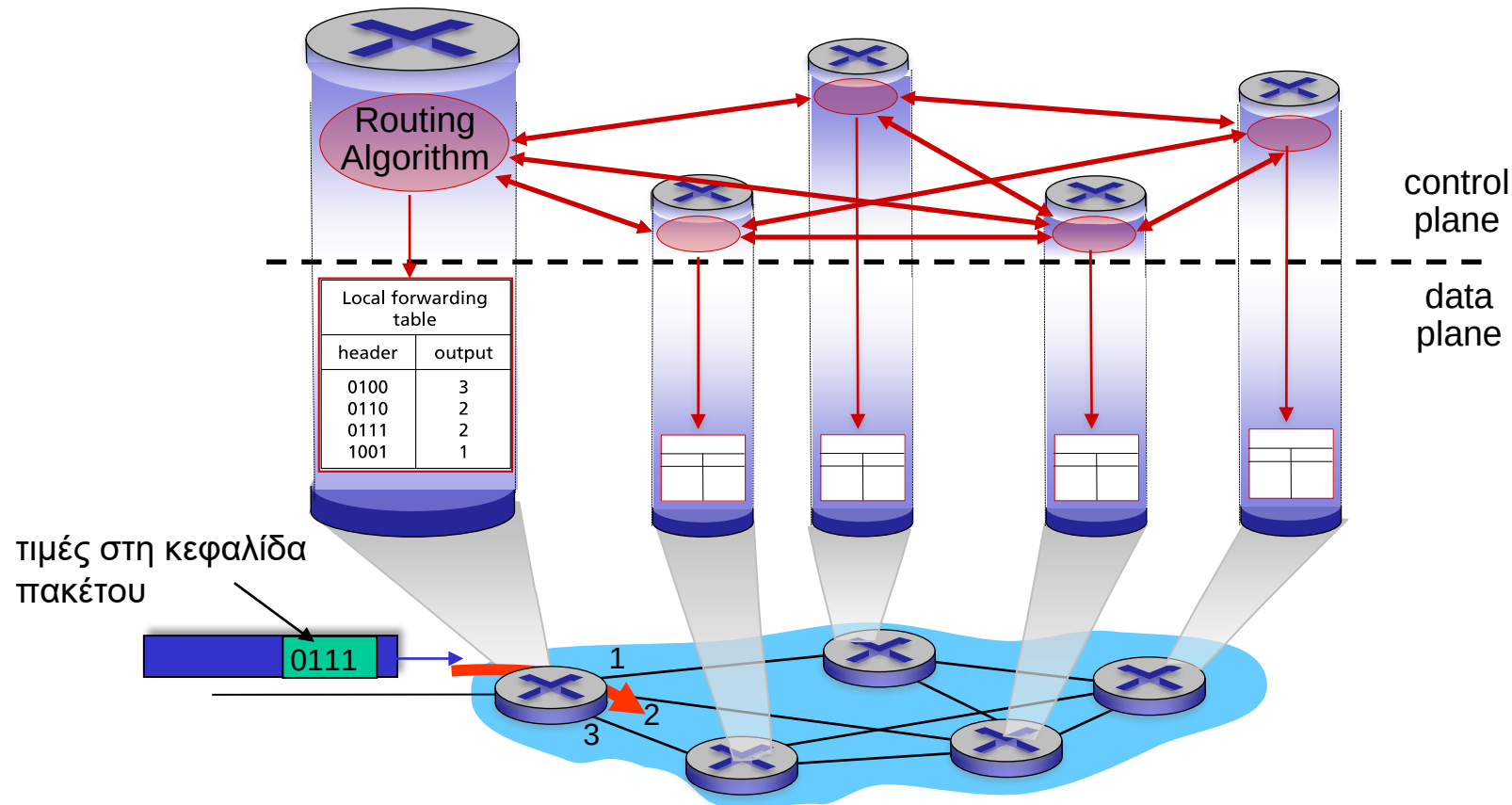


## Επίπεδο ελέγχου

- λογική σε *εύρος δικτύου*
- αποφασίζει πώς ένα δεδομένογραμμα δρομολογείται ανάμεσα στην πηγή και τον προορισμό (σειρά δρομολογητών)
- 2 προσεγγίσεις:
  - *παραδοσιακοί αλγόριθμοι δρομολόγησης*: εφαρμόζονται στους δρομολογητές
  - *software-defined networking (SDN)*: εφαρμόζεται σε (απομακρυσμένους) εξυπηρετές

# Επίπεδο ελέγχου ανά δρομολογητή

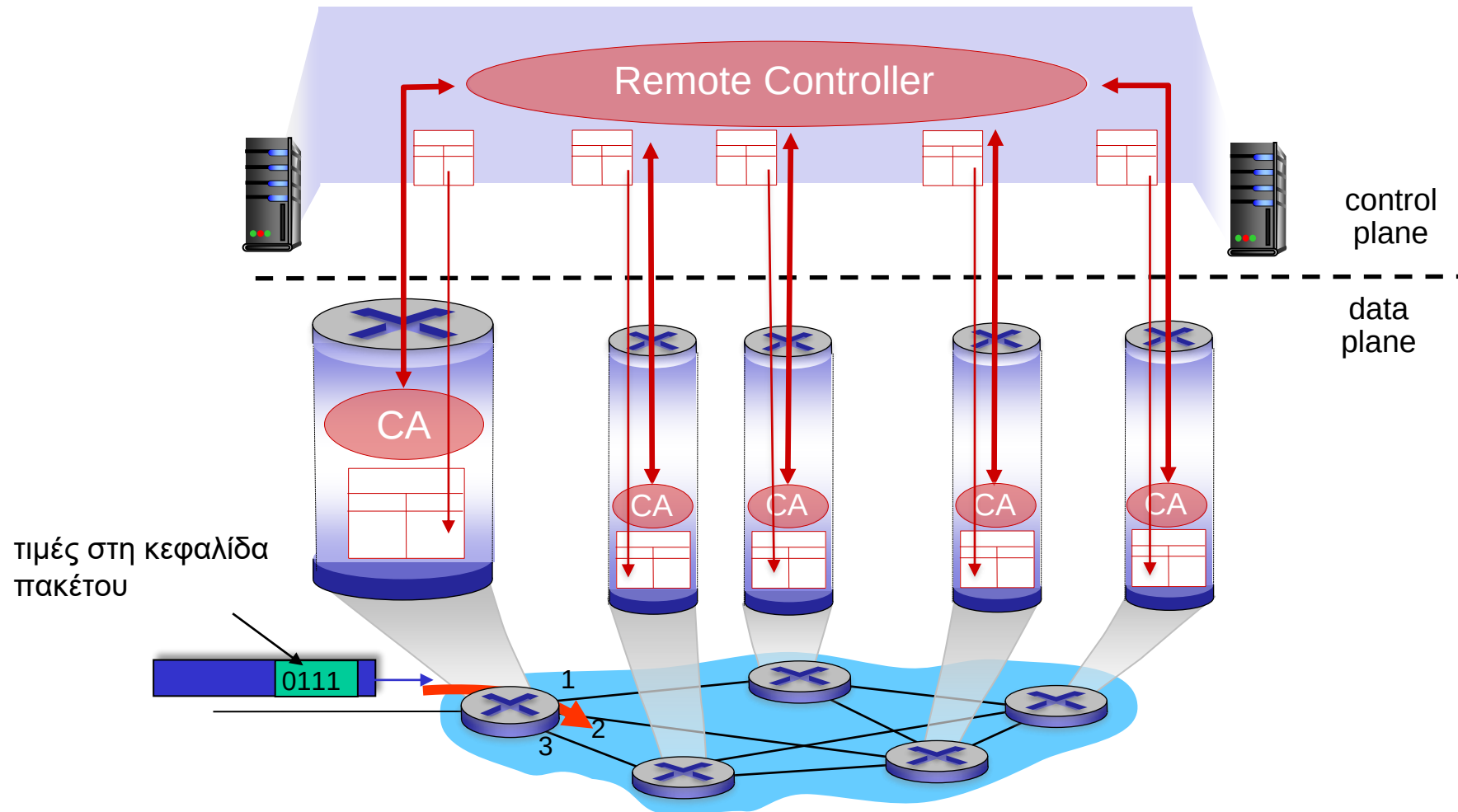
Τα ξεχωριστά συστατικά του αλγορίθμου δρομολόγησης αλληλεπιδρούν στο επίπεδο ελέγχου σε κάθε έναν δρομολογητή





# Κεντριοποιημένο επίπεδο ελέγχου: Software-Defined Networking (SDN)

Ξεχωριστός (τυπικά απομακρυσμένος) ελεγκτής αλληλοεπιδρά με κάθε δρομολογητή (control agents – CA)



# Μοντέλο υπηρεσιών δικτύου

*E:* Ποιο *μοντέλο υπηρεσίας* για το «κανάλι» που μεταφέρει δεδομενογράμματα από τον αποστολέα στο δέκτη;

Παραδείγματα υπηρεσιών  
για ξεχωριστά  
δεδομενογράμματα:

- εγγυημένη παράδοση
- εγγυημένη παράδοση με καθυστέρηση μικρότερη από 40 msec

Παράδειγμα υπηρεσιών για ροή  
δεδομενογραμμάτων:

- σε σειρά παράδοση
- εγγυημένο ελάχιστο εύρος ζώνης στη ροή
- περιορισμοί στις αλλαγές των αποστάσεων των πακέτων

# Μοντέλο υπηρεσιών επιπέδου δικτύου

| Αρχιτεκτονική<br>Δικτύου | Μοντέλο<br>υπηρεσίας | Εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS); |          |          |              |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------|----------|--------------|
|                          |                      | Εύρος ζώνης                          | Απώλειες | Σε σειρά | Συγχρονισμός |
| Internet                 | best effort          | καμία                                | όχι      | όχι      | όχι          |

Μοντέλο βέλτιστης προσπάθειας

*Καμία* εγγύηση για:

- i. επιτυχημένη παράδοση
- ii. συγχρονισμό ή σε σειρά παράδοση
- iii. διαθέσιμο εύρος ζώνης

# Μοντέλα υπηρεσιών επιπέδου δικτύου

| Αρχιτεκτονική δικτύου | Μοντέλο υπηρεσίας     | Εγγυήσεις ;          |          |       |           | Ανάδραση συμφόρησης          |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------|-------|-----------|------------------------------|
|                       |                       | Εύρος ζώνης          | Απώλειες | Σειρά | Χρονισμός |                              |
| Διαδίκτυο             | Βέλτιστης προσπάθειας | καμία                | όχι      | όχι   | όχι       | όχι (συνάγεται από απώλειες) |
| ATM                   | CBR                   | σταθερός ρυθμός      | ναι      | ναι   | ναι       | χωρίς συμφόρηση              |
| ATM                   | VBR                   | εγγυημένος ρυθμός    | ναι      | ναι   | ναι       | χωρίς συμφόρηση              |
| ATM                   | ABR                   | εγγυημένος ελάχιστος | όχι      | ναι   | όχι       | ναι                          |
| ATM                   | UBR                   | καμία                | όχι      | ναι   | όχι       | όχι                          |

Επέκταση της αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου (Intserv, QoS) με εγγυήσεις χωρίς συμφόρηση! (Πρόβλημα κλιμάκωσης, υψηλή κατανάλωση πόρων...)

# Σκέψεις για την υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας:

- η **απλότητα του μηχανισμού** έχει επιτρέψει στο Διαδίκτυο να αναπτυχθεί σε ευρεία κλίμακα
- η επαρκής **διάθεση εύρους ζώνης** επιτρέπει την απόδοση των εφαρμογών πραγματικού χρόνου (π.χ., τηλεδιάσκεψη, video game) να διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα τον περισσότερο χρόνο
- τα **αντίγραφα κατανεμημένων υπηρεσιών επιπέδου εφαρμογής** (κέντρα δεδομένων, δίκτυα διανομής περιεχομένου) που συνδέουν κοντινά με τον πελάτη δίκτυα, επιτρέπουν την παροχή υπηρεσιών από πολλαπλές τοποθεσίες
- ο έλεγχος συμφόρησης «ελαστικών» υπηρεσιών βοηθάει

*Είναι δύσκολο να αμφισβητήσεις την επιτυχία του μοντέλου  
βέλτιστης προσπάθειας!*

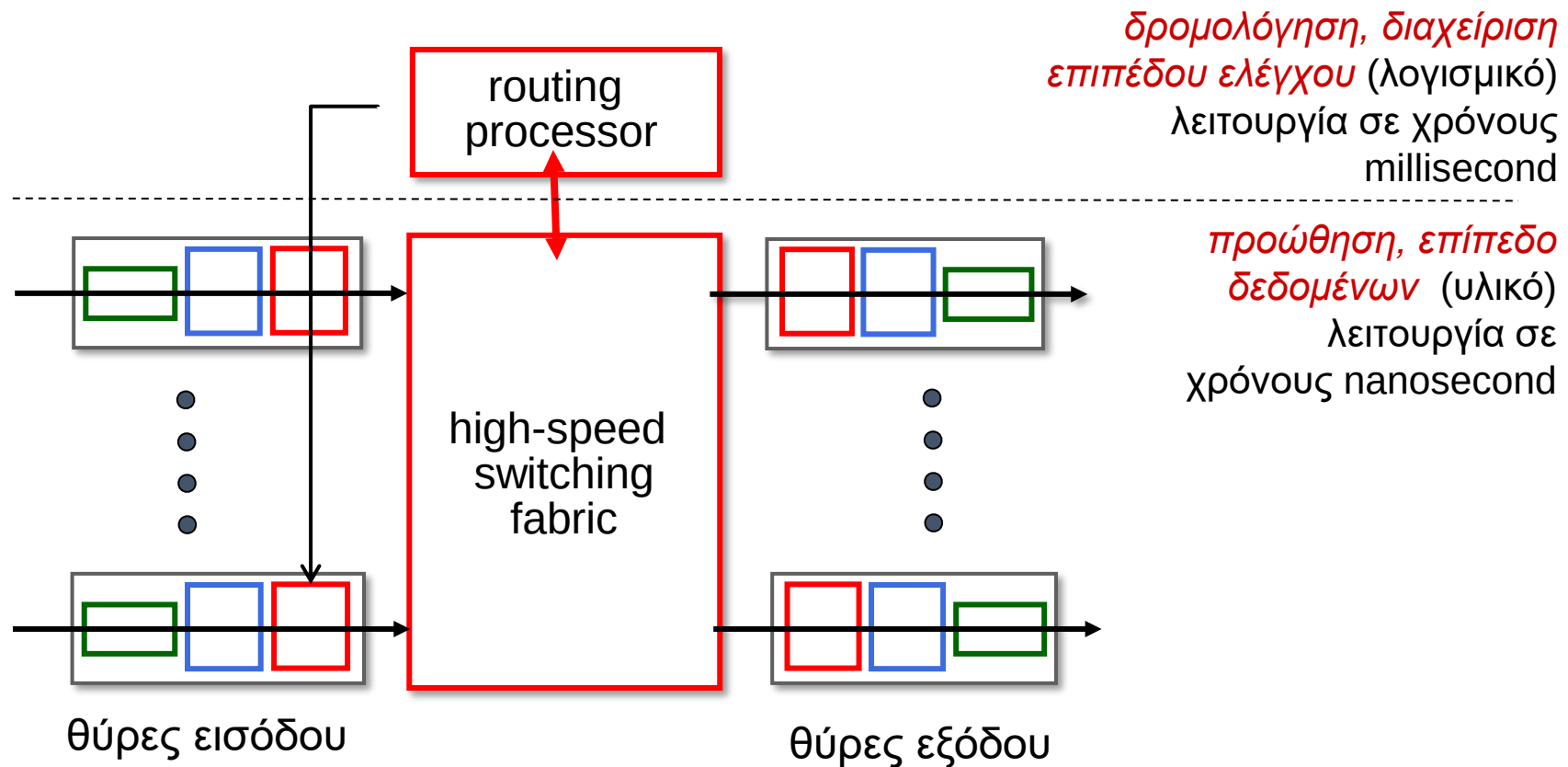
# Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση
  - Επίπεδο δεδομένων
  - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
  - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
  - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)
  - Μορφή δεδομενογράμματος
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Μετάφραση διευθύνσεων δικτύου
  - IPv6
- Γενικευμένη προώθηση και SDN
  - Ταίριασμα+ενέργεια
  - Παραδείγματα OpenFlow
- Ενδιάμεσα κουτιά

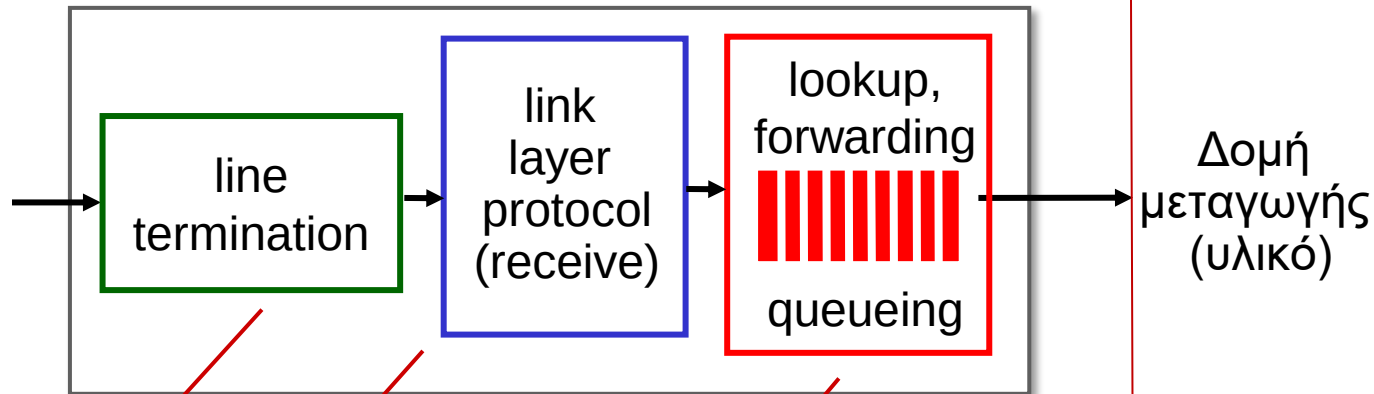




# Επισκόπηση αρχιτεκτονικής δρομολογητή



# Λειτουργίες θύρας εισόδου



Φυσικό επίπεδο:

Λήψη σε επίπεδο bit

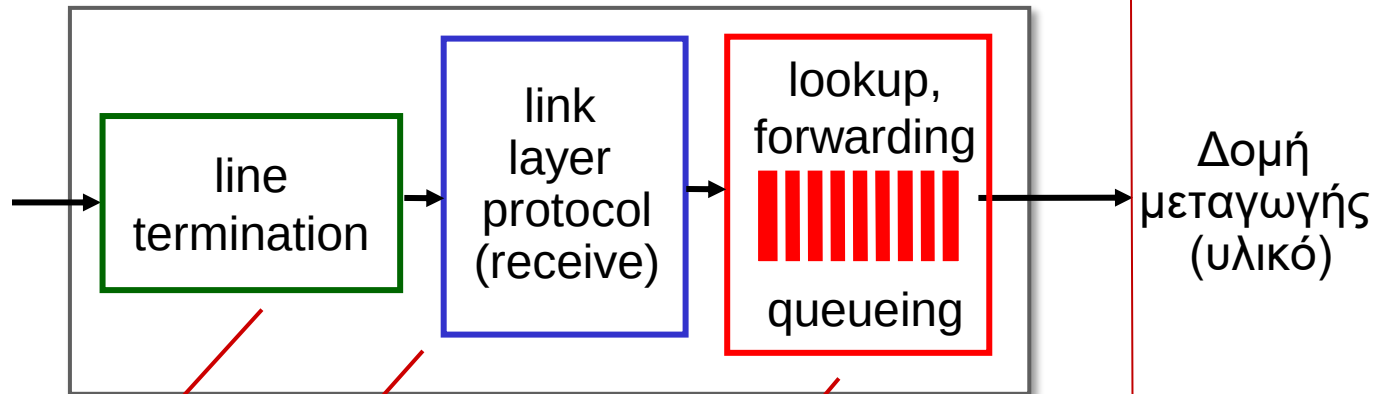
Επίπεδο ζεύξης  
δεδομένων:

π.χ., Ethernet  
(Κεφ. 6)

Αποκεντρωμένη μεταγωγή:

- βάσει τιμών στην κεφαλίδα του πακέτου, αναζήτηση της θύρας εξόδου με χρήση του πίνακα προώθησης στη μνήμη της θύρας εισόδου (*"match plus action"*)
- σκοπός: ολοκλήρωση της επεξεργασίας της θύρας εισόδου με «ταχύτητα γραμμής» (*"line speed"*)
- **Αναμονή σε ουρά:** αν τα δεδομενογράμματα φτάνουν ταχύτερα από το ρυθμό προώθησης στο δόμημα μεταγωγής

# Λειτουργίες θύρας εισόδου



Φυσικό επίπεδο:

Λήψη σε επίπεδο bit

Επίπεδο ζεύξης  
δεδομένων:

π.χ., Ethernet  
(Κεφ. 6)

Αποκεντρωμένη μεταγωγή:

- βάσει τιμών στην κεφαλίδα του πακέτου, αναζήτηση της θύρας εξόδου με χρήση του πίνακα προώθησης στη μνήμη της θύρας εισόδου (*"match plus action"*)
- **προώθηση με βάση τον προορισμό:** προώθηση με βάση μόνο την IP διεύθυνση του προορισμού (παραδοσιακή)
- **γενικευμένη προώθηση:** προώθηση με βάση οποιαδήποτε ομάδα τιμών από κεφαλίδες

# Πρώθηση με βάση τον προορισμό

| <i>forwarding table</i>                                                               |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Destination Address Range                                                             | Link Interface |
| 11001000 00010111 00010000 00000000<br>through<br>11001000 00010111 00010000 00000100 | 0              |
| 11001000 00010111 00010000 00000111                                                   |                |
| 11001000 00010111 00011000 11111111                                                   |                |
| 11001000 00010111 00011001 00000000<br>through<br>11001000 00010111 00011111 11111111 | 2              |
| otherwise                                                                             | 3              |

*E:* τι συμβαίνει αν το εύρος δεν κατανέμεται τόσο βολικά;

# Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (Longest prefix matching)

— **ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος** —  
κατά την αναζήτηση καταχώρισης στον πίνακα προώθησης για δοσμένη διεύθυνση προορισμού, χρησιμοποιείται το **μεγαλύτερο** πρόθεμα διεύθυνσης που ταιριάζει στη διεύθυνση προορισμού

| Εύρος Διεύθυνσης Προορισμού               | Διεπαφή Ζεύξης |
|-------------------------------------------|----------------|
| 11001000    00010111    00010***    ***** | 0              |
| 11001000    00010111    00011000    ***** | 1              |
| 11001000    00010111    00011***    ***** | 2              |
| διαφορετικά                               | 3              |

παραδείγματα:    11001000    00010111    00010110    10100001    ποια διεπαφή;  
                         11001000    00010111    00011000    10101010    ποια διεπαφή;

# Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (Longest prefix matching)

## ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

κατά την αναζήτηση καταχώρισης στον πίνακα προώθησης για δοσμένη διεύθυνση προορισμού, χρησιμοποιείται το **μεγαλύτερο** πρόθεμα διεύθυνσης που ταιριάζει στη διεύθυνση προορισμού

| Destination Address Range               | Link interface |
|-----------------------------------------|----------------|
| 11001000 00010111 00010*** *****        | 0              |
| 11001000 00010111 00011000 *****        | 1              |
| 11001000 <b>match!</b> 1 00011*** ***** | 2              |
| otherwise                               | 3              |

examples:

11001000 00010111 00010110 10100001 which interface?  
11001000 00010111 00011000 10101010 which interface?

# Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (Longest prefix matching)

## ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

κατά την αναζήτηση καταχώρισης στον πίνακα προώθησης για δοσμένη διεύθυνση προορισμού, χρησιμοποιείται το **μεγαλύτερο** πρόθεμα διεύθυνσης που ταιριάζει στη διεύθυνση προορισμού

| Destination Address Range        | Link interface |
|----------------------------------|----------------|
| 11001000 00010111 00010*** ***** | 0              |
| 11001000 00010111 00011000 ***** | 1              |
| 11001000 00010111 00011*** ***** | 2              |
| otherwise                        | 3              |

match!

examples:

|                                     |                  |
|-------------------------------------|------------------|
| 11001000 00010111 00010110 10100001 | which interface? |
| 11001000 00010111 00011000 10101010 | which interface? |



# Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (Longest prefix matching)

## ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

κατά την αναζήτηση καταχώρισης στον πίνακα προώθησης για δοσμένη διεύθυνση προορισμού, χρησιμοποιείται το **μεγαλύτερο** πρόθεμα διεύθυνσης που ταιριάζει στη διεύθυνση προορισμού

| Destination Address Range        | Link interface |
|----------------------------------|----------------|
| 11001000 00010111 00010*** ***** | 0              |
| 11001000 00010111 00011000 ***** | 1              |
| 11001000 00010111 00011*** ***** | 2              |
| otherwise                        | 3              |

match!

examples:

11001000 00010111 00010110 10100001    which interface?  
11001000 00010111 00011000 10101010    which interface?

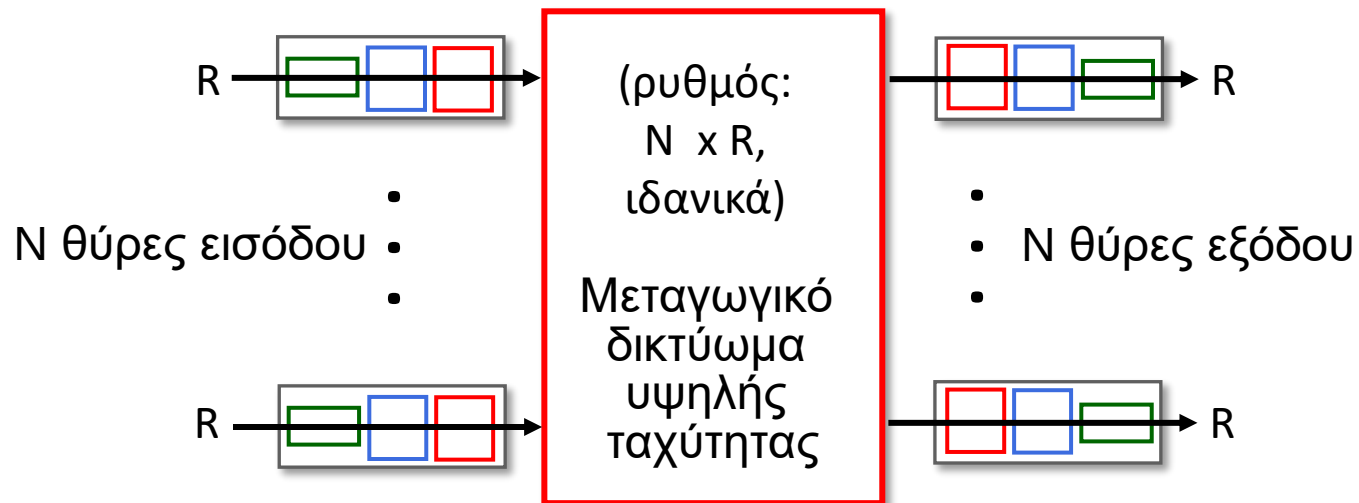
# Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

Στην πράξη χρησιμοποιούνται συχνά για αναζήτηση μνήμες τύπου Ternary Content Address Memories (TCAM).

- επιστρέφει το περιεχόμενο της καταχώρισης του πίνακα προώθησης για μια IP διεύθυνση σε σταθερό χρόνο ανεξάρτητα από το μέγεθος του πίνακα.
- Cisco Catalyst: ~1εκ. καταχωρήσεις σε πίνακες προώθησης

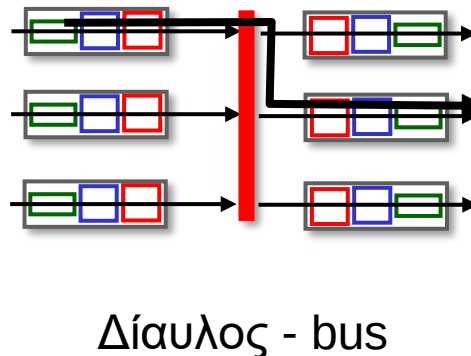
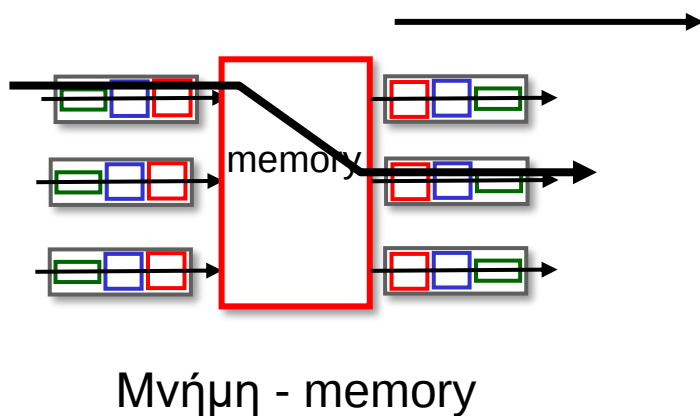
# Τύποι δομήματος μεταγωγής

- μεταφορά πακέτου από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου
- **ρυθμός μεταγωγής:** ρυθμός στον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταφερθούν από τις εισόδους στις εξόδους
  - συχνά μετριέται ως πολλαπλάσιο του ρυθμού εισόδου/εξόδου της γραμμής
  - N είσοδοι: ρυθμός μεταγωγής N φορές ο επιθυμητός ρυθμός της

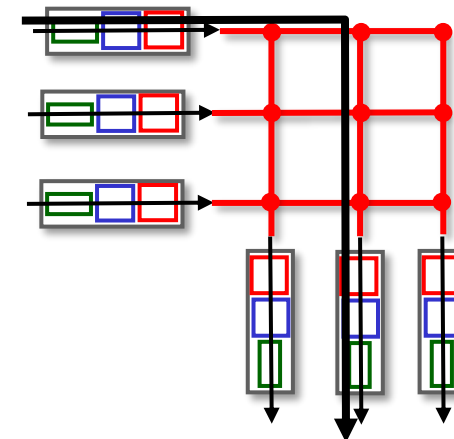


# Τύποι δομήματος μεταγωγής

- μεταφορά πακέτου από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου
- **ρυθμός μεταγωγής:** ρυθμός στον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταφερθούν από τις εισόδους στις εξόδους
  - συχνά μετριέται ως πολλαπλάσιο του ρυθμού εισόδου/εξόδου της γραμμής
  - N είσοδοι: ρυθμός μεταγωγής N φορές ο επιθυμητός ρυθμός της
- 3 τύποι δομημάτων μεταγωγής



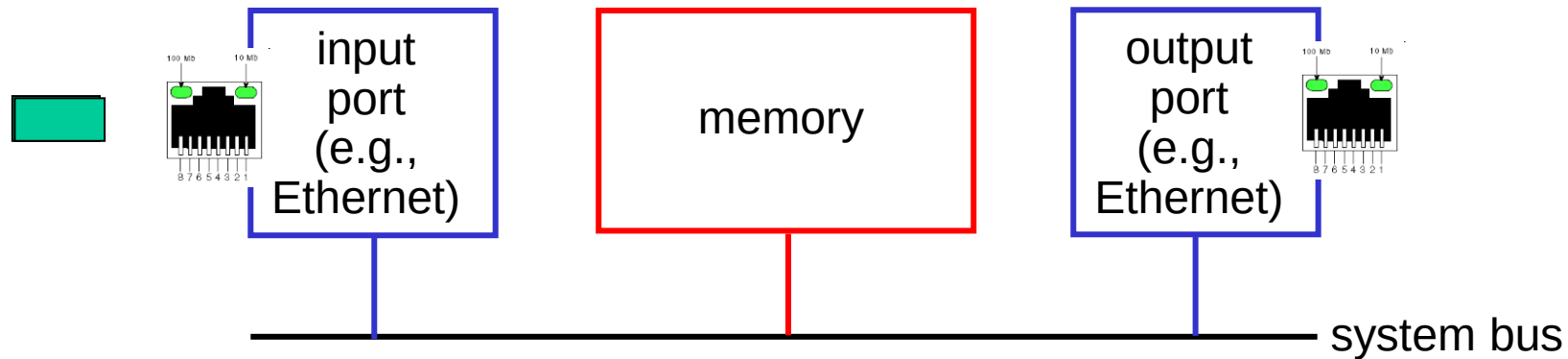
Διασυνδετικό Δίκτυο - crossbar



# Μεταγωγή μέσω μνήμης

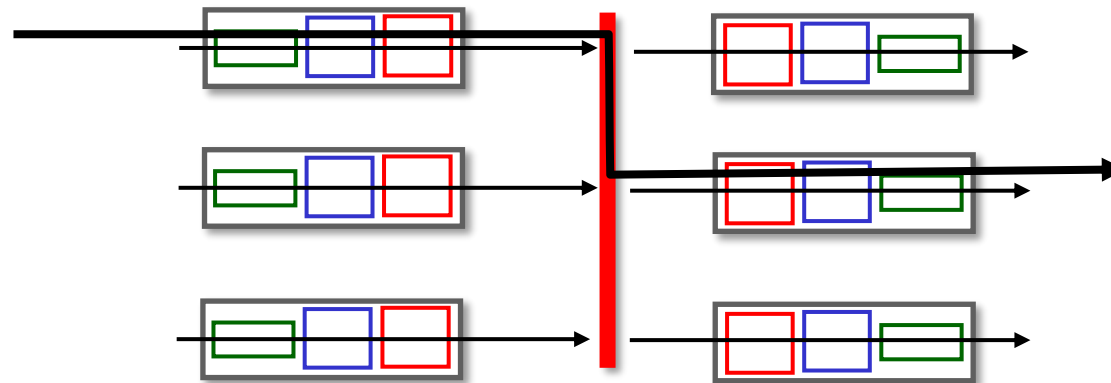
## Δρομολογητές πρώτης γενιάς:

- παραδοσιακοί υπολογιστές με μεταγωγή υπό τον άμεσο έλεγχο της CPU
- το πακέτο αντιγράφεται στη μνήμη του συστήματος
- η ταχύτητα περιορίζεται από το εύρος ζώνης της μνήμης (2 διασχίσεις του διαύλου ανά δεδομένογράμμα)



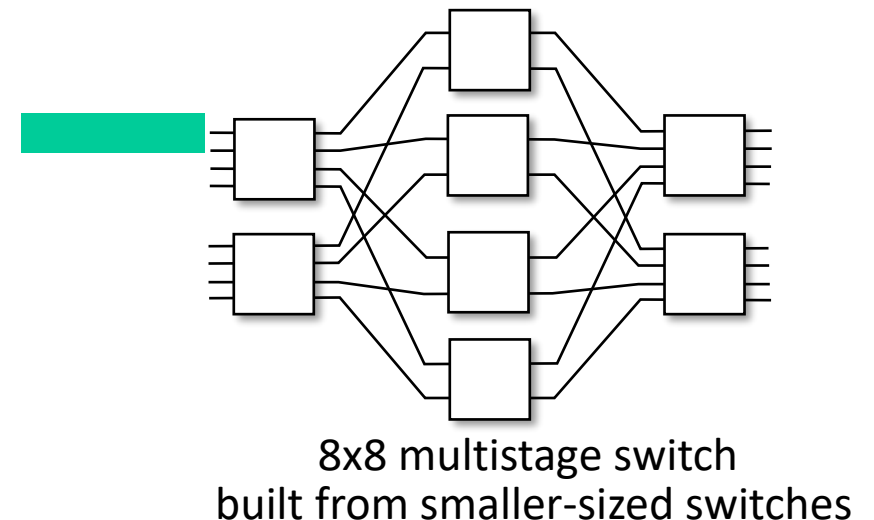
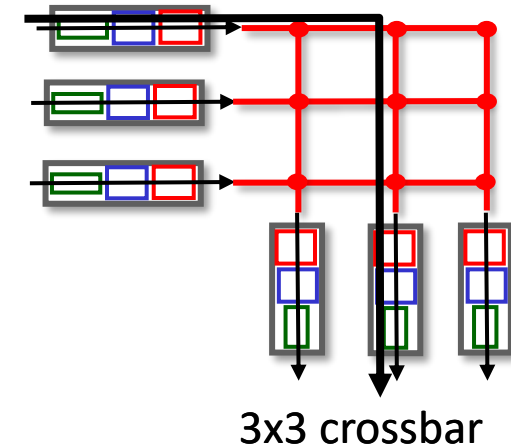
# Μεταγωγή μέσω διαύλου

- το δεδομένογραμμα από τη θύρα εισόδου της μνήμης στη θύρα εξόδου της μνήμης μέσω διαμοιραζόμενου διαύλου (bus)
- **ανταγωνισμός διαύλου:** η ταχύτητα μεταγωγής περιορίζεται από το εύρος ζώνης τους διαύλου
- δίαυλος 32 Gbps, Cisco 5600: επαρκής ταχύτητα για δρομολογητές πρόσβασης και εταιρικούς δρομολογητές



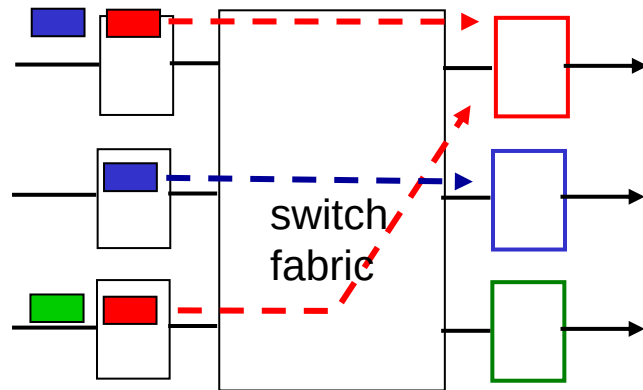
# Μεταγωγή μέσω δικτύου διασύνδεσης

- Crossbar, άλλα δίκτυα διασύνδεσης που αρχικά αναπτύχθηκαν για τη διασύνδεση επεξεργαστών σε πολυεπεξεργαστικά συστήματα
- **πολυεπίπεδη μεταγωγή:**  $n \times n$  μεταγωγός από πολλαπλά επίπεδα μικρότερων μεταγωγών
- **Εκμεταλλεούμενοι τον παραλληλισμό:**
  - κατάτμηση του δεδομενογράμματος σε σταθερού μήκους κελιά (cells) κατά την εισαγωγή
  - μεταγωγή των κελιών διαμέσω του δομήματος

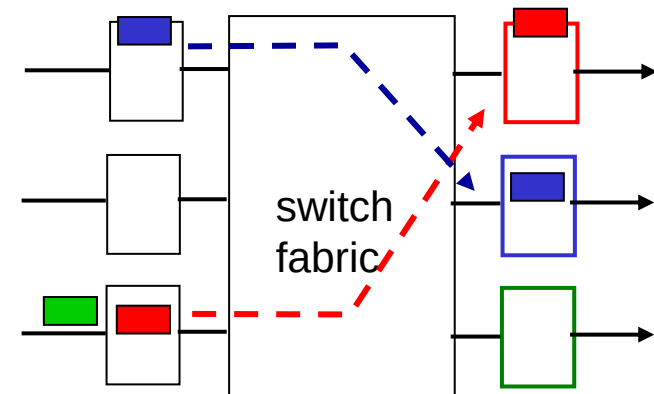


# Αναμονή σε ουρά στην είσοδο

- Αν το δόμημα μεταγωγής είναι πιο αργό από το συνδυασμό των θυρών εισόδου -> ενδέχεται να εμφανιστεί αναμονή στις ουρές εισόδου
  - καθυστέρηση αναμονής και απώλεια λόγω υπερχείλισης του ενταμιευτή (buffer) της θύρας εισόδου!
- **Μπλοκάρισμα κεφαλής γραμμής (Head-Of-the-Line blocking):**  
ενταμιευμένο δεδομένογραμμα στην κορυφή της ουράς εμποδίζει άλλα δεδομένογραμμα από το να προωθηθούν



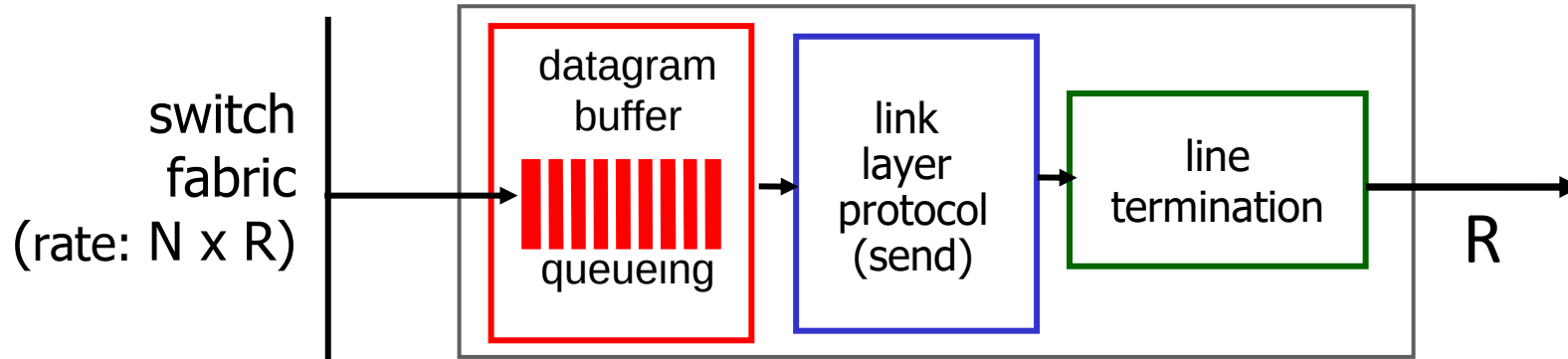
**συναγωνισμός στη θύρα εξόδου:**  
μόνο ένα κόκκινο δεδομένογραμμα μπορεί να μεταφερθεί το χαμηλότερο κόκκινο πακέτο  
**μπλοκάρεται**



**ένα πακέτο αργότερα:**  
το πράσινο πακέτο αντιμετωπίζει  
μπλοκάρισμα κεφαλής γραμμής



# Αναμονή στη θύρα εξόδου

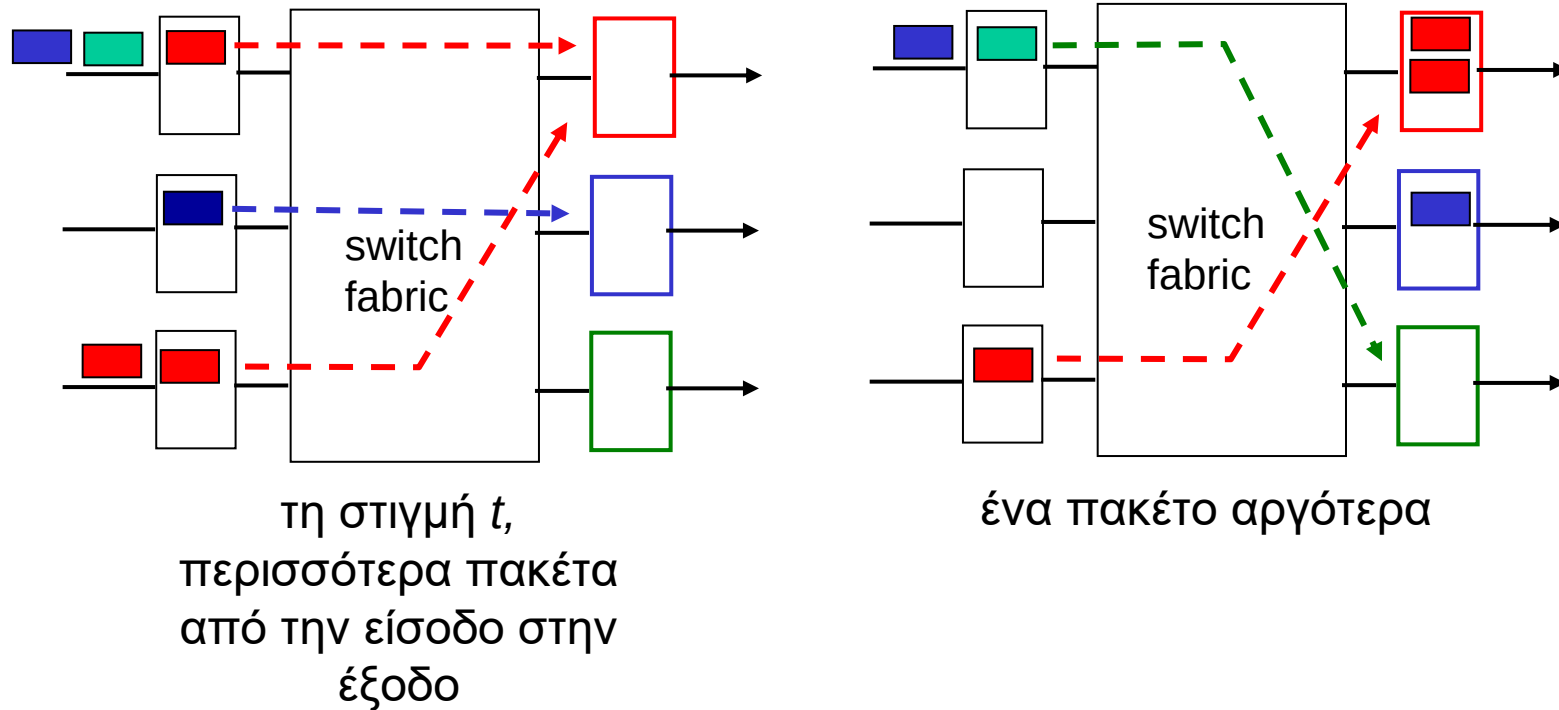


- Απαιτείται **ενταμίευση (buffering)** όταν τα δεδομενογράμματα φτάνουν από το δόμημα μεταγωγής ταχύτερα από το ρυθμό μετάδοσης. **Πολιτική απόρριψης:** ποια πακέτα να απορρίψω;
- Η **πολιτική χρονοπρογραμματισμού (scheduling discipline)** επιλέγει κάποιο από τα ενταμιευμένα δεδομενογράμματα για μετάδοση

Απώλειες λόγω συμφόρησης, απουσίας χώρου ενταμίευσης

**Πολιτική προτεραιοτήτων** – ποιος λαμβάνει την καλύτερη απόδοση, ουδετερότητα Διαδικτύου

# Αναμονή στη θύρα εξόδου



- ενταμίευση απαιτείται όταν ο ρυθμός άφιξης μέσω του μεταγωγού υπερβαίνει την ταχύτητα της γραμμής εξόδου
- *καθυστέρηση αναμονής και απώλειες λόγω υπερχείλισης του ενταμιευτή της θύρας εξόδου!*

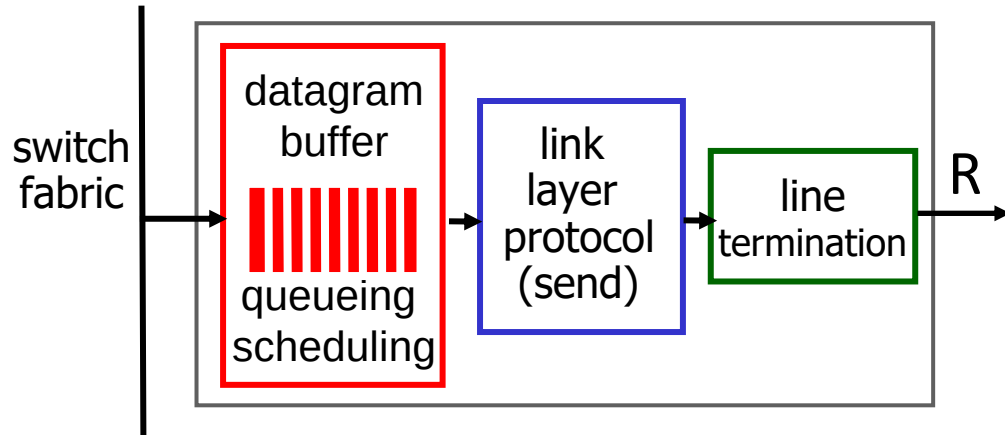
# Πόση ενταμίευση;

- Πρακτικός κανόνας του RFC 3439: μέση ενταμίευση ίση με το «τυπικό» RTT (π.χ. 250 msec) επί τη χωρητικότητα της ζεύξης C
  - π.χ., C = 10 Gbps ζεύξη → ενταμιευτής 2.5 Gbit
- Πρόσφατη σύσταση: με N ανεξάρτητες ροές, ενταμίευση ίση με

$$\frac{RTT \cdot C}{\sqrt{N}}$$

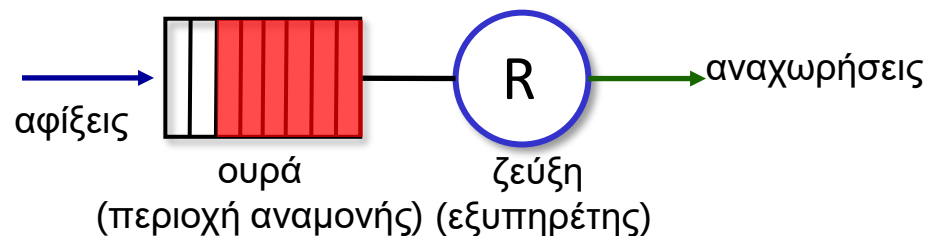
- αλλά η πολλή ενταμίευση μπορεί να αυξήσει τις καθυστερήσεις (ειδικά σε οικιακούς δρομολογητές)
  - αυξημένα RTT: χαμηλή απόδοση για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, λιγότερο ευαίσθητοι και πιο αργοί TCP αποστολείς
  - θυμηθείτε τον έλεγχο συμφόρησης με βάση την καθυστέρηση: “διατήρησε τη ζεύξη συμφόρησης απλά γεμάτη όχι περισσότερο”

# Διαχείριση ενταμίευσης (buffer)



- **απόρριψη (drop):** ποιο πακέτο να απορριφθεί όταν οι ενταμιευτές έχουν γεμίσει
  - **απόρριψη ουράς:** απορρίπτεται το πακέτο που φτάνει
  - **προτεραιότητα:** απόρριψη / αφαίρεση με βάση προτεραιότητες

## Αναπαράσταση ουράς



- **ΕΤΙΚΕΤΕΣ:** ποια πακέτα να σημαδεύτούν ώστε να «δείξουν» συμφόρηση (ECN, RED)

# Χρονοπρογραμματισμός: Πρώτο-Μέσα-Πρώτο-Έξω FCFS

## χρονοπρογραμματισμός:

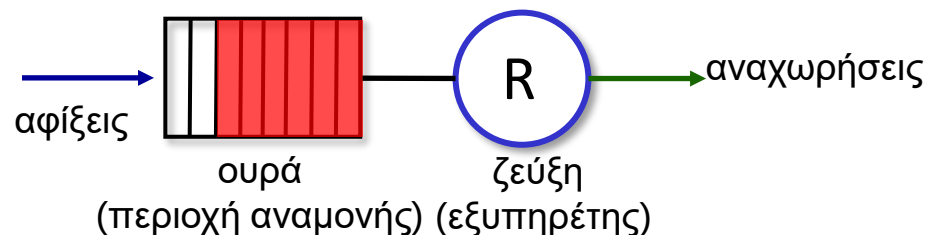
αποφασίζοντας ποιο πακέτο να σταλεί ως επόμενο στη ζεύξη

- το πρώτο που έρχεται, εξυπηρετείται πρώτο
- προτεραιότητα
- round robin
- weighted fair queueing

**FCFS:** τα πακέτα μεταδίδονται στην έξοδο με τη σειρά που έρχονται

- γνωστό ως: First-In-First-Out (FIFO)
- παραδείγματα από τον πραγματικό κόσμο

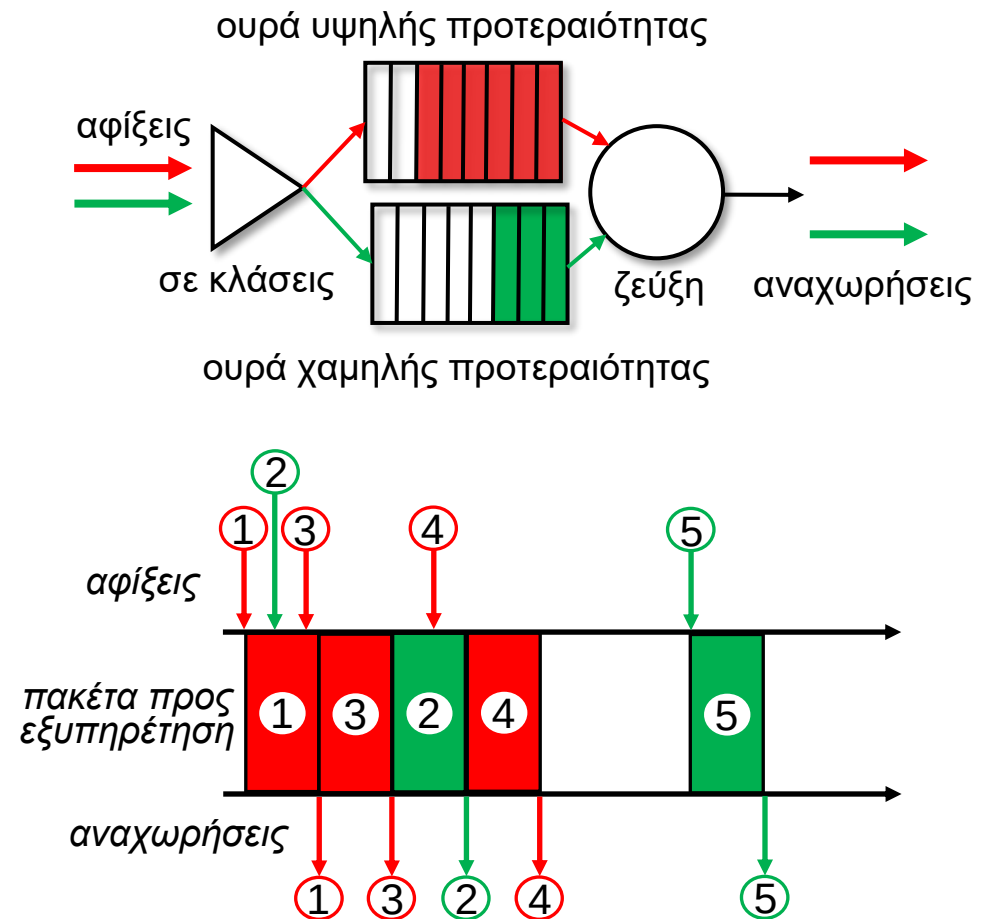
## Αναπαράσταση ουράς



# Χρονοπρογραμματισμός: προτεραιότητες

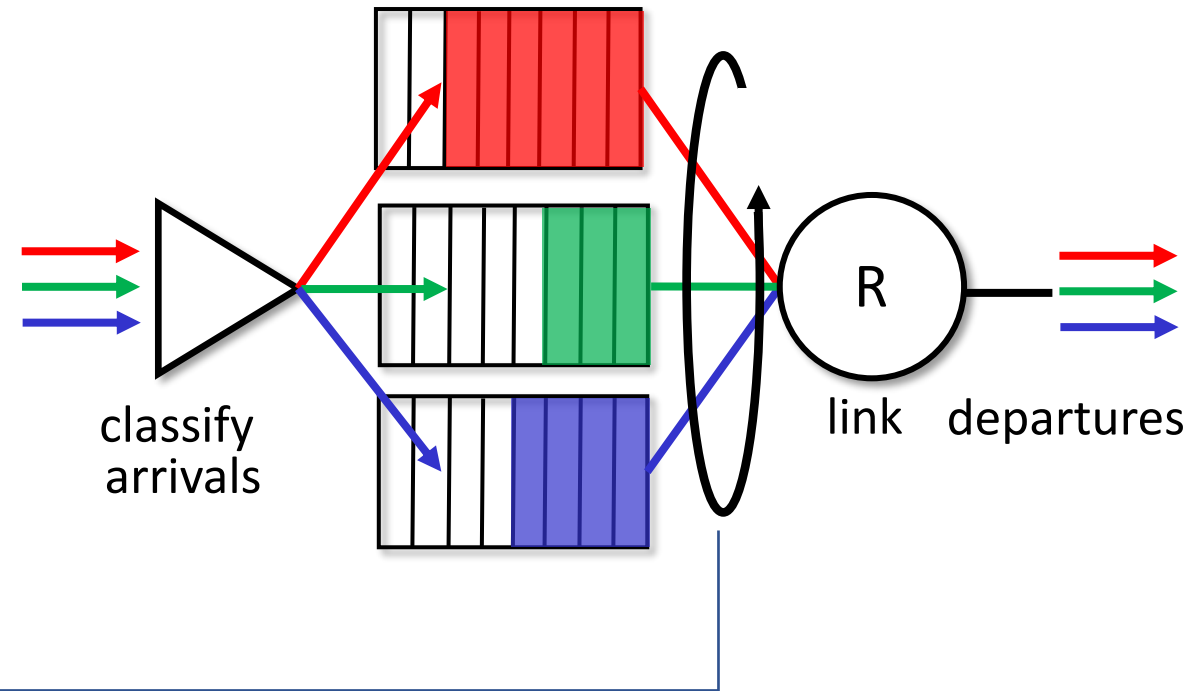
## Priority scheduling:

- τα πακέτα που φτάνουν ταξινομούνται με βάση μία κλάση και εισάγονται στην αντίστοιχη ουρά
  - η κλάση μπορεί να εξαρτάται από έναν δείκτη ή άλλη πληροφορία στην κεφαλίδα
- στείλε το πακέτο που αναμένει με την υψηλότερη προτεραιότητα
  - FCFS σε κάθε ουρά αναμονής (ανά κλάση)



# Χρονοπρογραμματισμός: round robin

- τα πακέτα που φτάνουν ταξινομούνται με βάση μία κλάση και εισάγονται στην αντίστοιχη ουρά
  - η κλάση μπορεί να εξαρτάται από έναν δείκτη ή άλλη πληροφορία στην κεφαλίδα
- ο εξυπηρέτης κυκλικά, επαναλαμβανόμενα, ελέγχει την ουρά κάθε κλάσης στέλνοντας ένα ολόκληρο πακέτο από κάθε κλάση (αν υπάρχει διαθέσιμο) με τη σειρά



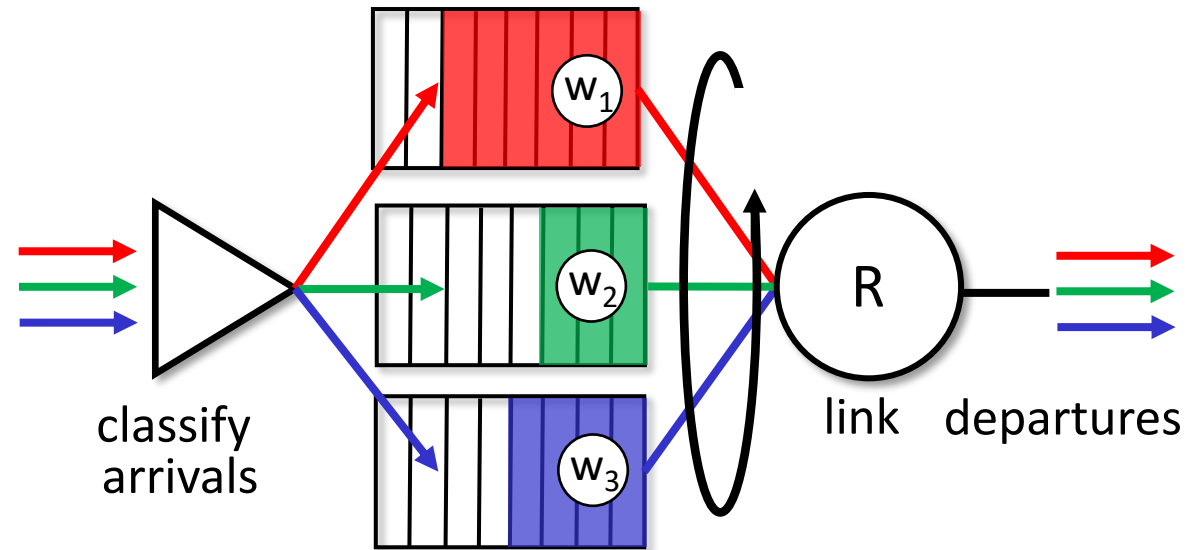
# Χρονοπρογραμματισμός: Σταθμισμένη δίκαιη ουρά

## *Weighted Fair Queuing (WFQ):*

- γενικευμένος Round Robin
- κάθε κλάση,  $i$ , έχει βάρος,  $w_i$ , και λαμβάνει σταθμισμένο κομμάτι υπηρεσίας σε κάθε κύκλο:

$$\frac{w_i}{\sum_j w_j}$$

- εγγύηση ελάχιστου εύρους ζώνης (κλάση ανά κίνηση δεδομένων)





# Ουδετερότητα δικτύου

- *τεχνικά*: πώς ένας πάροχος μπορεί να μοιράσει / διαθέσει τους πόρους του;
  - Χρονοπρογραμματισμός πακέτων, διαχείριση ενταμιευτών
- *κοινωνικές, οικονομικές* αρχές
  - προστασία ελεύθερου λόγου
  - ενθάρρυνση καινοτομίας, συναγωνισμού
- *νομικές* αποφάσεις και πολιτικές

*Διαφορετικές «αναγνώσεις» και πρακτικές σε διαφορετικές χώρες*

# Ουδετερότητα δικτύου

Ποιες πολιτικές και νόμοι καθορίζουν τι μπορεί να κάνει ένας πάροχος;  
Κανόνες-κατευθύνσεις ουδετερότητας Διαδικτύου βάσει σχετικών διαταγμάτων (ΗΠΑ).

- όχι αποκλεισμός

(σε περιεχόμενο, εφαρμογές, υπηρεσίες, συσκευές)

- όχι επιβράδυνση

(σε περιεχόμενο, εφαρμογές, υπηρεσίες, συσκευές)

- όχι απόδοση προτεραιότητας επί πληρωμή

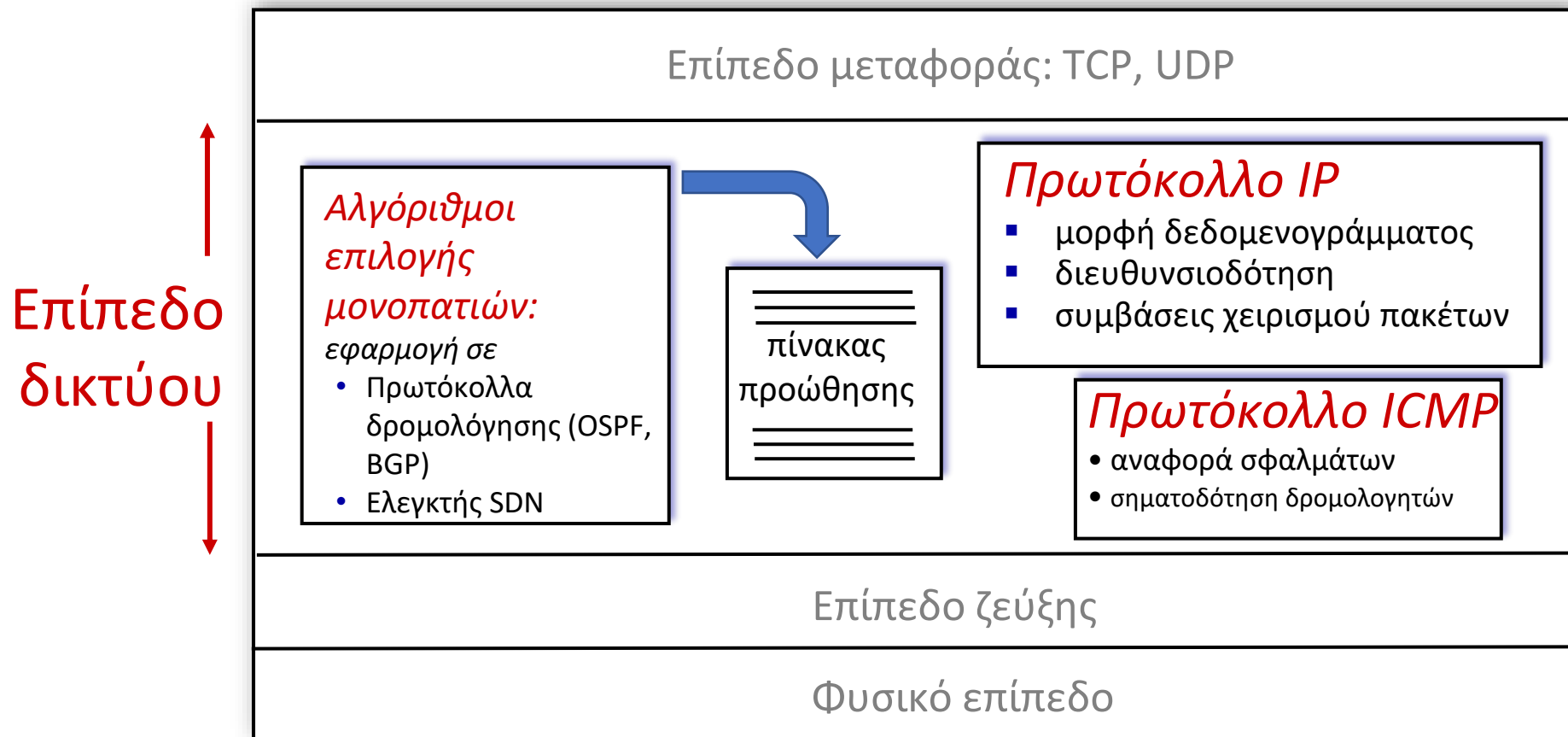
# Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση
  - Επίπεδο δεδομένων
  - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
  - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
  - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- **IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)**
  - **Μορφή δεδομενογράμματος**
  - **Διευθυνσιοδότηση**
  - **Μετάφραση διευθύνσεων δικτύου**
  - **IPv6**
- Γενικευμένη προώθηση και SDN
  - Ταίριασμα+ενέργεια
  - Παραδείγματα OpenFlow
- Ενδιάμεσα κουτιά

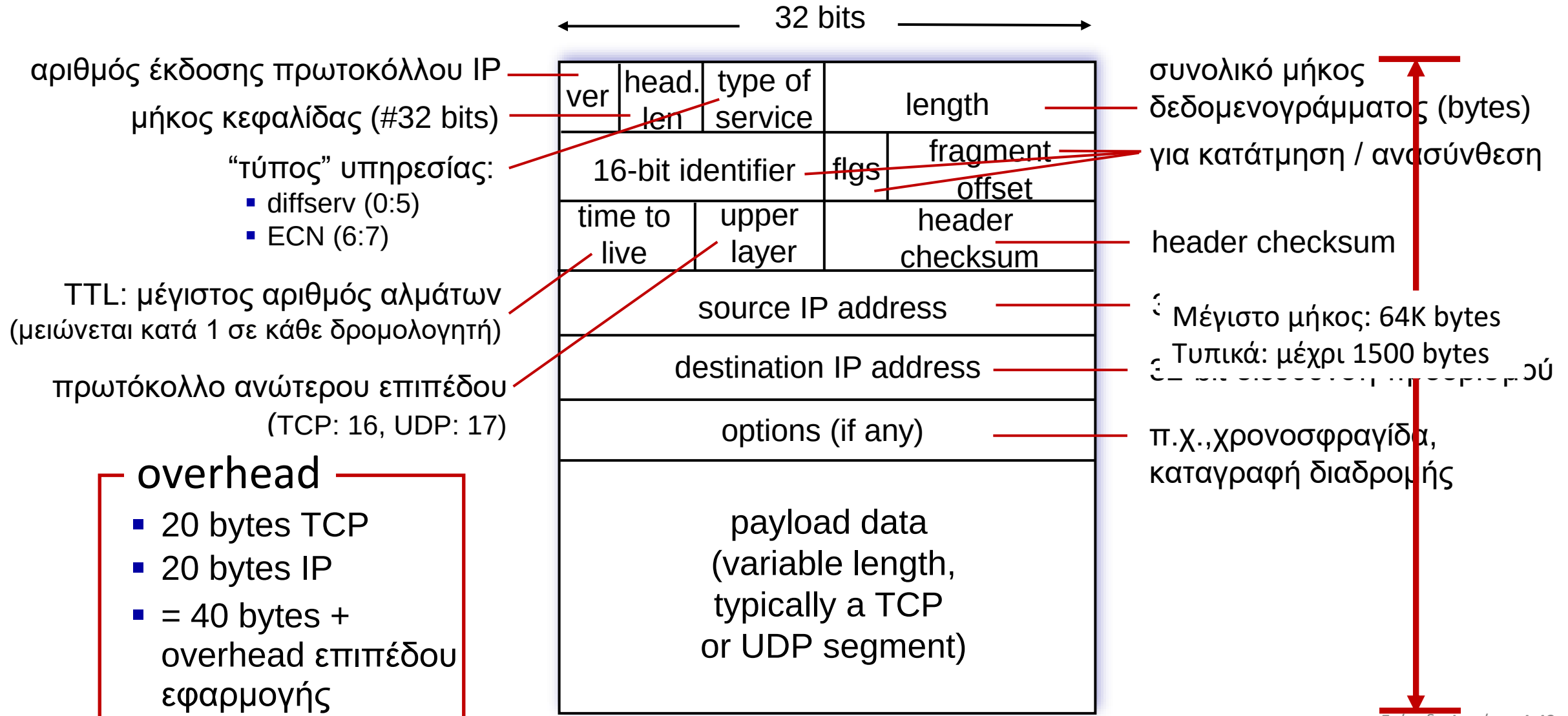


# Επίπεδο δικτύου: Διαδίκτυο

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου σε υπολογιστές, δρομολογητές

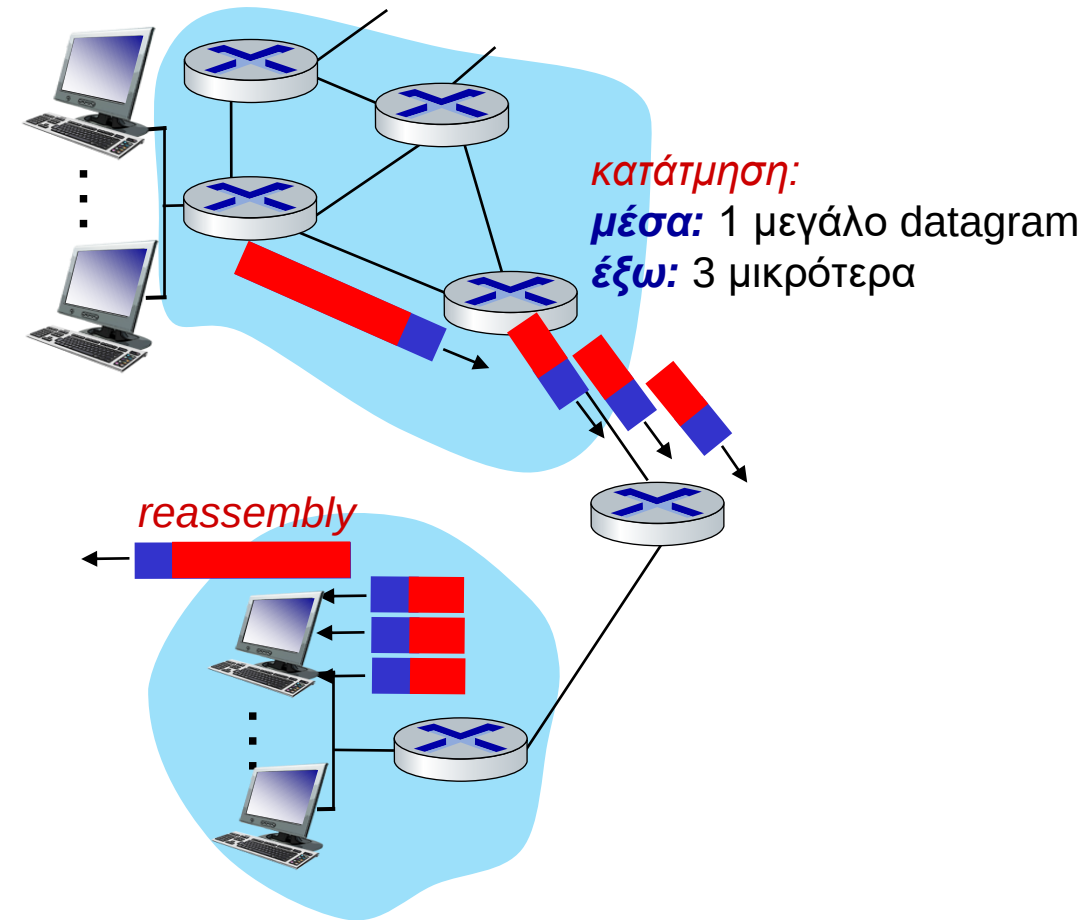


# Δομή δεδομενογράμματος



# Κατάτμηση και ανασύνθεση (fragmentation/reassembly)

- οι ζεύξεις του δικτύου έχουν μέγιστη μονάδα μεταφορά MTU (max. transfer size) – μέγιστο δυνατό πλαίσιο επιπέδου ζεύξης
  - διαφορετικοί τύποι ζεύξης, διαφορετικά MTUs
- μεγάλο δεδομένογραμμα τεμαχίζεται εντός του δικτύου
  - ένα δεδομένογραμμα γίνεται πολλά
  - “ανασυντίθεται” μόνο στον προορισμό
  - τα bits της κεφαλίδας χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση, διάταξη των σχετικών τεμαχίων



# Κατάτμηση και ανασύνθεση

## παράδειγμα:

- δεδομένογραμμα 4000 byte
- MTU = 1500 bytes

|  |        |    |          |        |  |
|--|--------|----|----------|--------|--|
|  | length | ID | fragflag | offset |  |
|  | =4000  | =x | =0       | =0     |  |

*ένα μεγάλο δεδομένογραμμα γίνεται πολλά μικρότερα*

1480 στο πεδίο  
δεδομένων

Μετατόπιση (offset) =  
1480/8

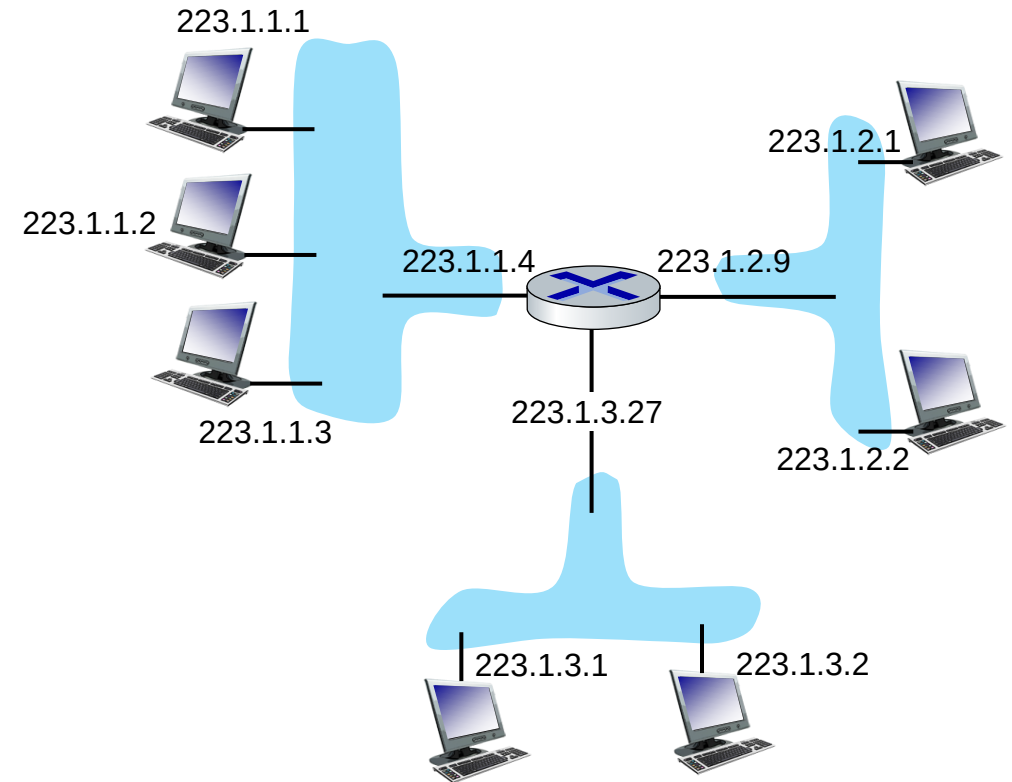
|  |        |    |          |        |  |
|--|--------|----|----------|--------|--|
|  | length | ID | fragflag | offset |  |
|  | =1500  | =x | =1       | =0     |  |

|  |        |    |          |        |  |
|--|--------|----|----------|--------|--|
|  | length | ID | fragflag | offset |  |
|  | =1500  | =x | =1       | =185   |  |

|  |        |    |          |        |  |
|--|--------|----|----------|--------|--|
|  | length | ID | fragflag | offset |  |
|  | =1040  | =x | =0       | =370   |  |

# Διευθυνσιοδότηση IP: εισαγωγή

- **IP διεύθυνση:** αναγνωριστικό 32 bits της **διασύνδεσης** του υπολογιστή, δρομολογητή
- **διεπαφή:** σύνδεση μεταξύ υπολογιστή/δρομολογητή και φυσικής ζεύξης
  - οι δρομολογητές έχουν τυπικά πολλές διασυνδέσεις
  - ένας υπολογιστής έχει τυπικά μία ή δύο διασυνδέσεις (π.χ., ενσύρματο Ethernet, ασύρματος 802.11)



γραφή σε μορφή δεκαδικών αριθμών  
χωρισμένων με τελεία

223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223                      1                      1                      1

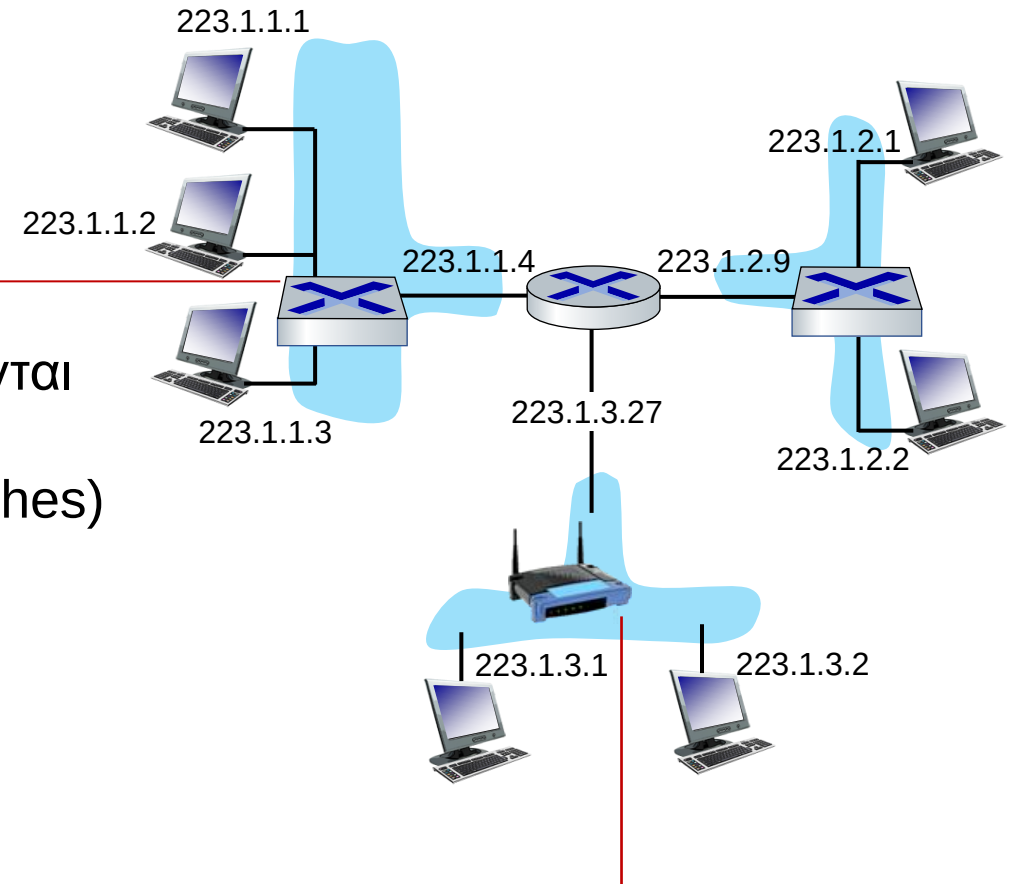


# Διευθυνσιοδότηση: εισαγωγή

**Ε:** πώς συνδέονται στην πραγματικότητα οι διεπαφές;

**Α:** περισσότερα στα Κεφ. 6, 7

**Α:** οι ενσύρματες διεπαφές συνδέονται μέσω Ethernet μεταγωγών (switches)

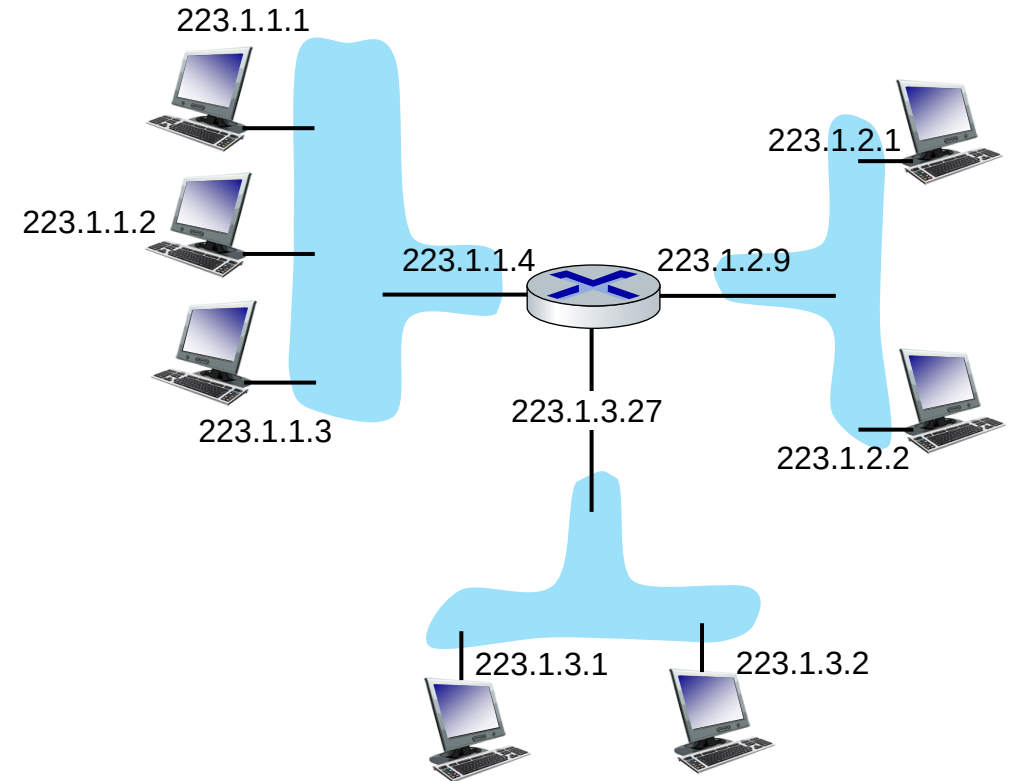


**Για τώρα:** δε χρειάζεται να ανησυχείτε για το πώς μία διεπαφή συνδέεται με μία άλλη (χωρίς δρομολογητή να παρεμβάλλεται)

**Α:** οι ασύρματες WiFi διεπαφές συνδέονται μέσω WiFi σημείων πρόσβασης

# Υποδίκτυα

- *Τι είναι ένα υποδίκτυο;*
  - διασυνδέσεις συσκευών που συνδέονται μεταξύ τους με φυσικό τρόπο **χωρίς να μεσολαβεί δρομολογητής**
- Οι IP διευθύνσεις έχουν δομή:
  - **τμήμα υποδικτύου (subnet part):** συσκευές του ίδιου υποδικτύου έχουν κοινά τα bits υψηλής τάξης
  - **τμήμα υπολογιστή (host part):** τα υπόλοιπα bits χαμηλής τάξης

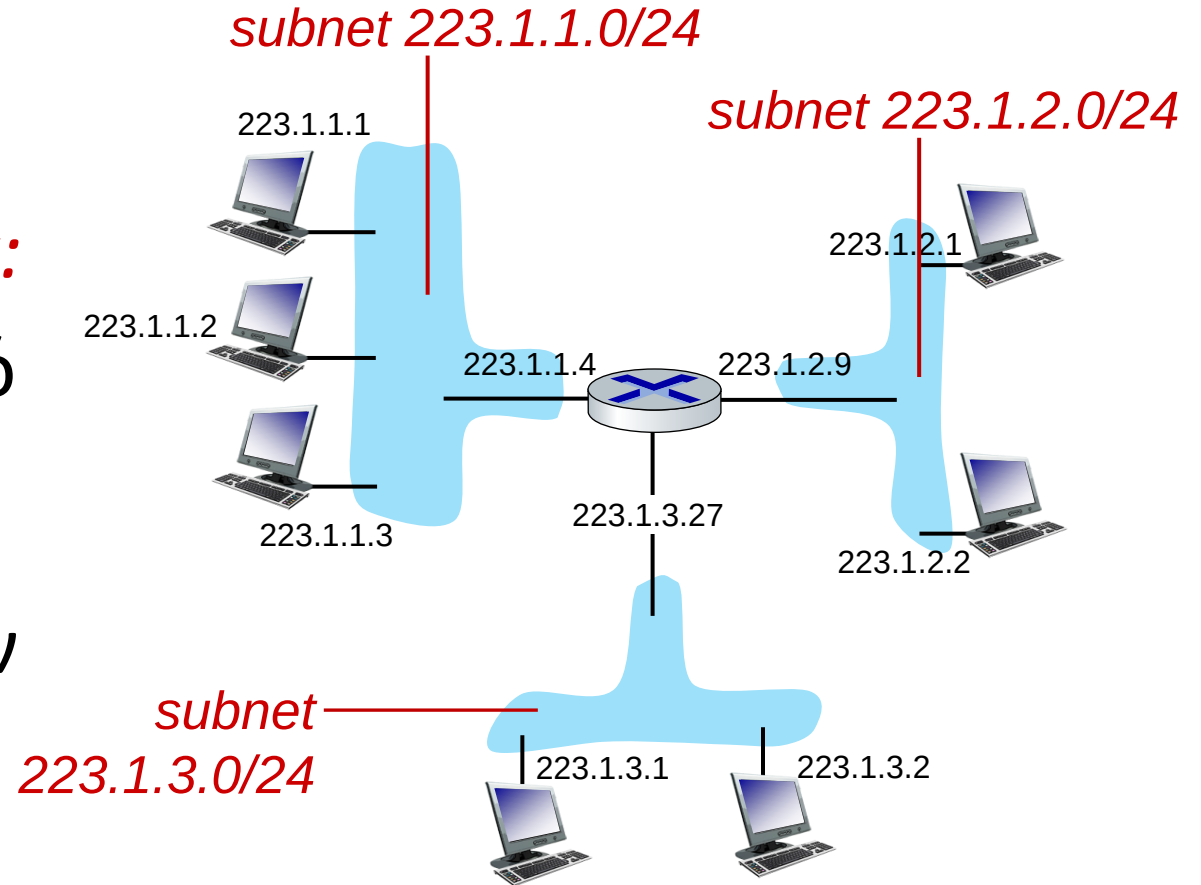


Δίκτυο που αποτελείται από 3 υποδίκτυα

# Υποδίκτυα

## Συνταγή καθορισμού υποδικτύων:

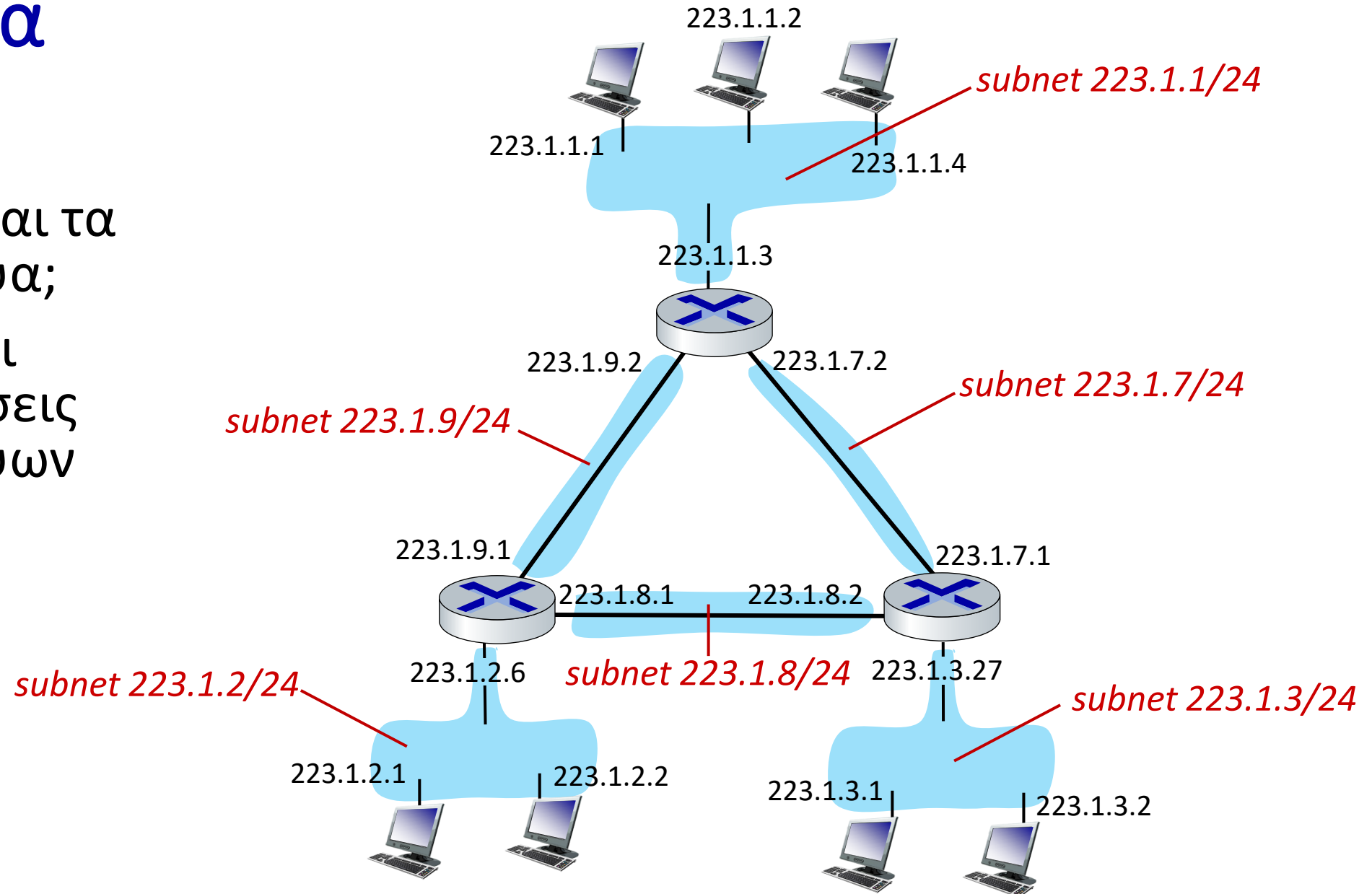
- αποσυνδέστε κάθε διεπαφή από τον υπολογιστή ή το δρομολογητή, δημιουργώντας νησίδες απομονωμένων δικτύων
- κάθε απομονωμένο δίκτυο καλείται **υποδίκτυο**



subnet mask: /24  
(υψηλής τάξης 24 bits: δηλώνει το υποδίκτυο στην IP διεύθυνση)

# Υποδίκτυα

- που βρίσκονται τα υποδίκτυα;
- τι είναι οι διευθύνσεις υποδικτύων /24;

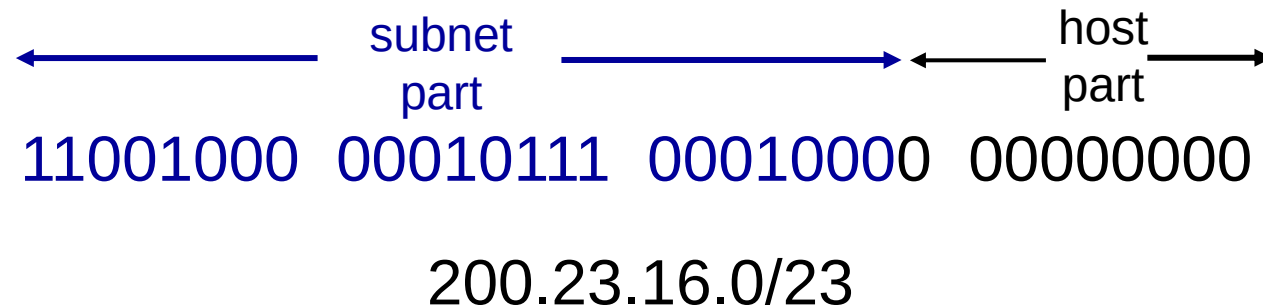


# Διευθυνσιοδότηση IP: CIDR

**CIDR:** C lassless I nterD omain R outing (“cider”)

(Αταξική Διατομεακή Δρομολόγηση)

- το τμήμα υποδικτύου (subnet part) της διεύθυνσης έχει αυθαίρετο μήκος
- δομή διεύθυνσης: **a.b.c.d/x**, όπου x είναι ο # bits στο τμήμα υποδικτύου της διεύθυνσης



# IP διευθύνσεις: πώς αποδίδονται;

Υπάρχουν ουσιαστικά **δύο** ερωτήσεις:

1. Πώς λαμβάνει ένας υπολογιστής μία IP διεύθυνση μέσα στο δίκτυό του (bits στο τμήμα υπολογιστή);
2. Πώς λαμβάνει ένα δίκτυο μία IP διεύθυνση (bits στο τμήμα υποδικτύου);

Πώς λαμβάνει ένας υπολογιστής μία IP διεύθυνση μέσα στο δίκτυό του;

- σε αρχείο από το διαχειριστή του συστήματος (π.χ., /etc/rc.config in UNIX)
- **DHCP**: **D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol: δυναμική απόδοση διεύθυνσης από έναν εξυπηρέτη
  - “plug-and-play”

# DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

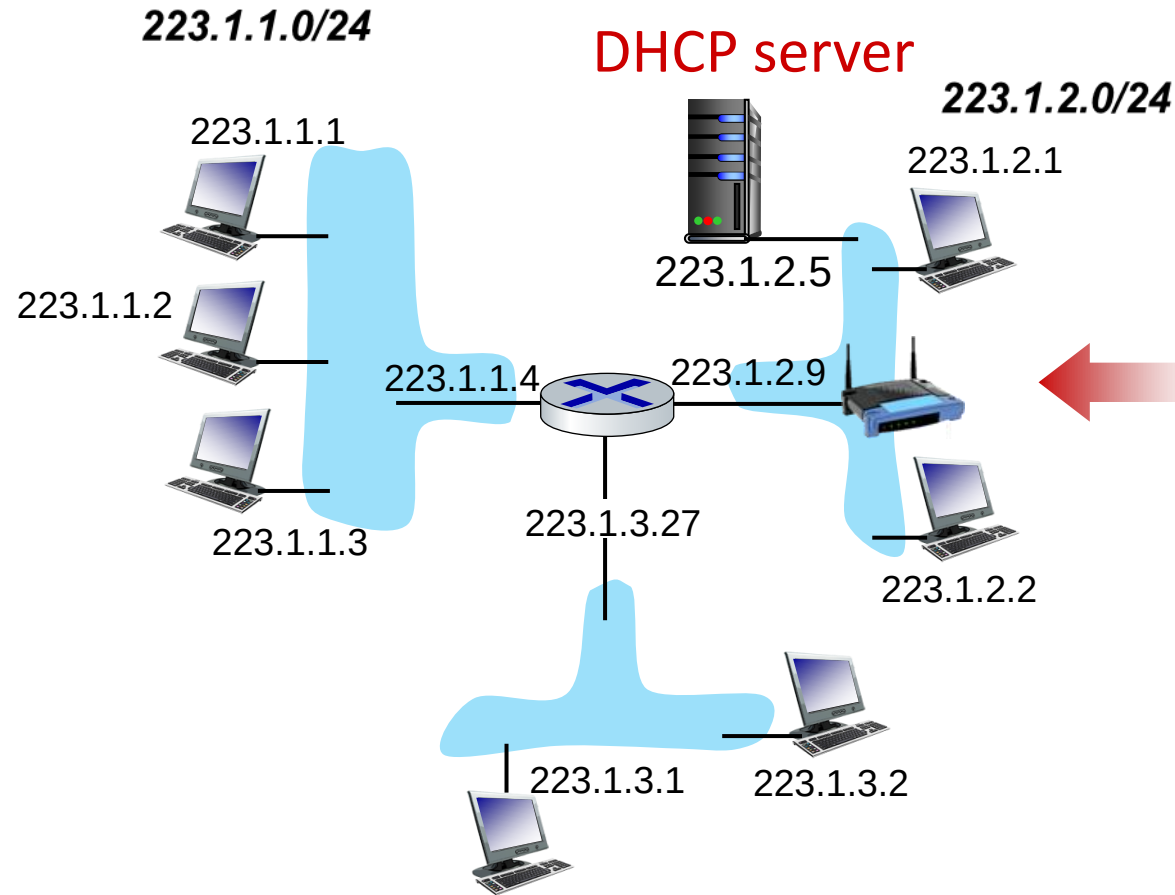
**σκοπός:** να επιτρέπει στον υπολογιστή να αποκτά δυναμικά διεύθυνση IP από τον εξυπηρέτη του δικτύου όταν συνδέεται στο δίκτυο

- μπορεί να ανανεώσει τη μίσθωση της διεύθυνσης που χρησιμοποιείται
- επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των διευθύνσεων (κρατά τη διεύθυνση μόνο όσο είναι συνδεδεμένος και «ενεργός»)
- υποστήριξη για κινητούς χρήστες που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο (περισσότερα σε λίγο)

## επισκόπηση DHCP:

- ο υπολογιστής εκπέμπει (broadcasts) **DHCP discover** [προαιρετικό]
- ο εξυπηρέτης DHCP αποκρίνεται με ένα μήνυμα **DHCP offer** [προαιρετικό]
- ο υπολογιστής ζητά διεύθυνση IP: **DHCP request**
- ο εξυπηρέτης DHCP στέλνει τη διεύθυνση: **DHCP ack**

# Σενάριο πελάτη-εξυπηρετή DHCP



Τυπικά, ένας εξυπηρετής DHCP «τρέχει» εντός του δρομολογητή, εξυπηρετώντας όλα τα υποδίκτυα στα οποία συμμετέχει



Ο **DHCP πελάτης** που φτάνει χρειάζεται διεύθυνση σε αυτό το δίκτυο



# DHCP client-server scenario

DHCP server: 223.1.2.5



DHCP discover

Broadcast: υπάρχει  
κάποιος εξυπηρέτης  
DHCP;

Arriving client



DHCP offer

Broadcast: Είμαι ένας  
DHCP εξυπηρέτης! Ορίστε  
μία IP διεύθυνση!

DHCP request

Broadcast: OK. Θα ήθελα  
να τη χρησιμοποιήσω!

DHCP ACK

Broadcast: OK. Είναι  
πλέον δική σου!

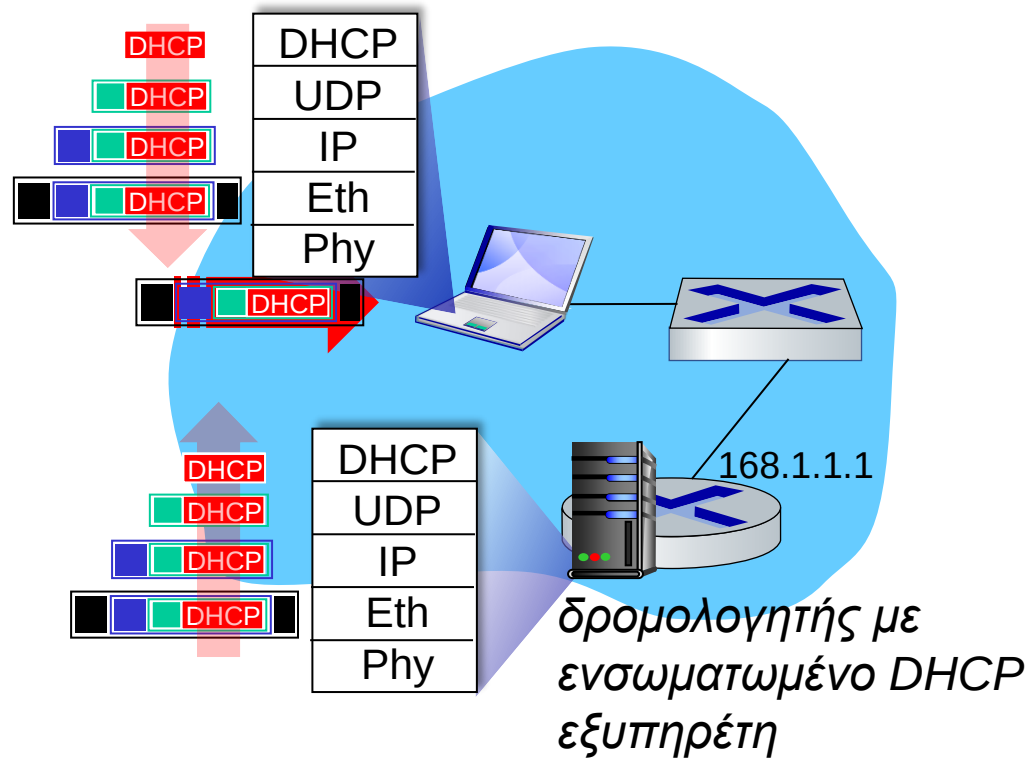
Τα πρώτα 2 βήματα  
μπορούν να  
παραλειφθούν «αν ένας  
πελάτης θυμάται κι  
επιθυμεί να  
χρησιμοποιήσει εκ νέου  
μία διεύθυνση που έχει  
διατεθεί παλιότερα» [RFC  
2131]

# DHCP: όχι μόνο IP διευθύνσεις

Το DHCP μπορεί να κάνει περισσότερα από απλά να παραχωρεί μία IP διεύθυνση στο υποδίκτυο:

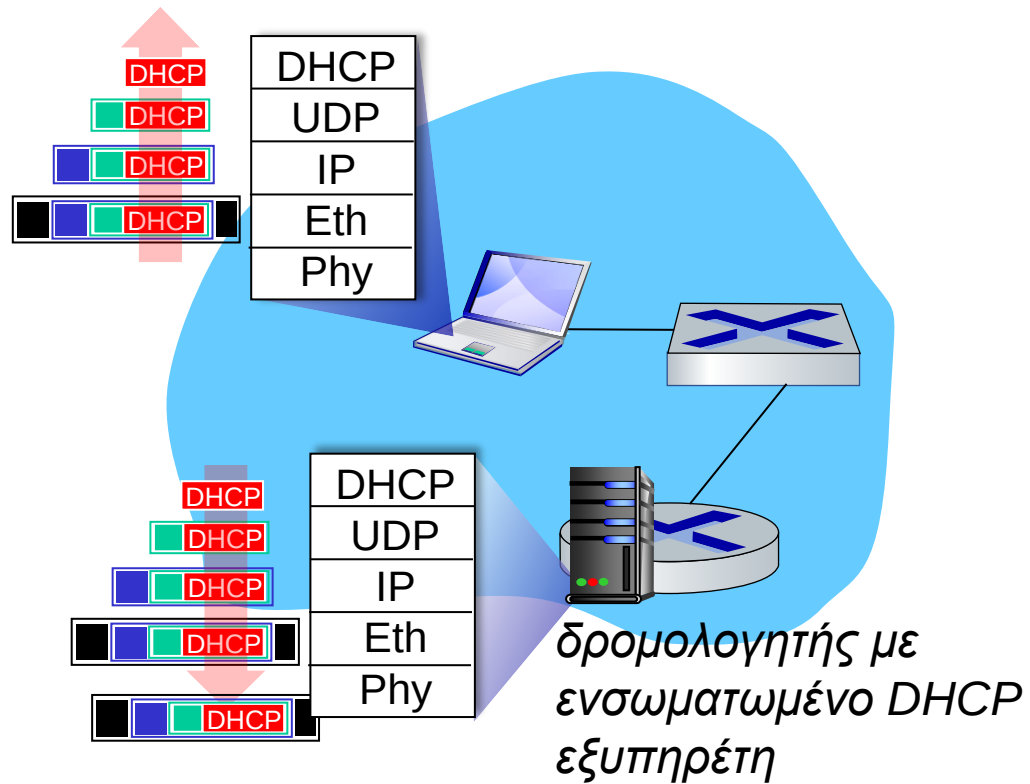
- διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος (first-hop router) για τον πελάτη
- όνομα και IP διεύθυνση του DNS εξυπηρέτη
- Μάσκα δικτύου (network mask) (υποδεικνύοντας το τμήμα υποδικτύου σε σχέση με το τμήμα υπολογιστή της διεύθυνσης)

# DHCP: παράδειγμα



- Για τη σύνδεση του laptop απαιτείται η IP διεύθυνσή του, η διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος, η διεύθυνση του DNS εξυπηρέτη.
- Το μήνυμα DHCP REQUEST ενθυλακώνεται στο UDP, κι έπειτα σε IP, και στο τέλος στο Ethernet
- Εκπέμπεται ένα broadcast Ethernet πλαίσιο στο τοπικό δίκτυο LAN (προορισμός: FF-FF-FF-FF-FF-FF), που λαμβάνεται στο δρομολογητή ο οποίος τρέχει τον εξυπηρέτη DHCP.
- Το Ethernet πλαίσιο αποθυλακώνεται σε IP, το IP σε UDP και τέλος σε DHCP μήνυμα.

# DHCP: παράδειγμα



- Ο εξυπηρέτης DHCP σχηματίζει το μήνυμα DHCP ACK εμπεριέχοντας την IP διεύθυνση του πελάτη, την IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος, καθώς και το όνομα και IP διεύθυνση του DNS
- Ενθυλακώνεται το μήνυμα απάντησης του εξυπηρέτη, προωθείται στον πελάτη, κι εκεί αποθυλακώνεται ως το επίπεδο του DHCP μηνύματος
- Ο πελάτης πλέον γνωρίζει την IP διεύθυνσή του το όνομα και IP διεύθυνση του DNS εξυπηρέτη και την IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος

# Διευθύνσεις IP: πώς αποδίδονται;

**E:** πώς εκχωρείται στο δίκτυο το τμήμα υποδικτύου της διεύθυνσης IP;

**A:** λαμβάνει μερίδιο από τον χώρο διευθύνσεων που έχει εκχωρηθεί στον ISP του

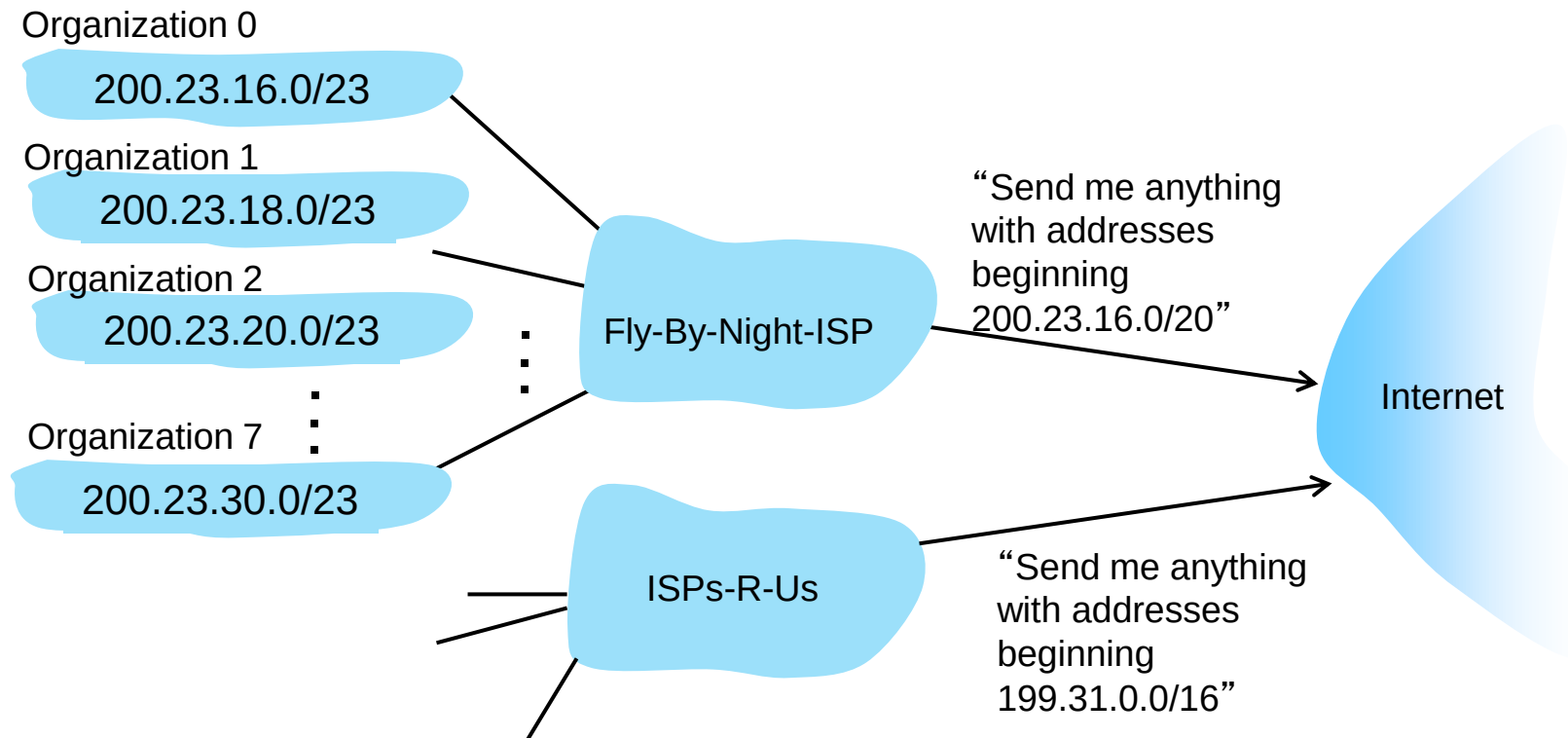
ISP's block      11001000 00010111 00010000 00000000    200.23.16.0/20

Ο ISP μπορεί έπειτα να μοιράσει ένα κομμάτι διευθύνσεων που του ανήκουν σε επιμέρους μικρότερα κομμάτια (8 blocks):

|                |                                   |          |                |
|----------------|-----------------------------------|----------|----------------|
| Organization 0 | <u>11001000 00010111 00010000</u> | 00000000 | 200.23.16.0/23 |
| Organization 1 | <u>11001000 00010111 00010010</u> | 00000000 | 200.23.18.0/23 |
| Organization 2 | <u>11001000 00010111 00010100</u> | 00000000 | 200.23.20.0/23 |
| ...            | .....                             | ....     | ....           |
| Organization 7 | <u>11001000 00010111 00011110</u> | 00000000 | 200.23.30.0/23 |

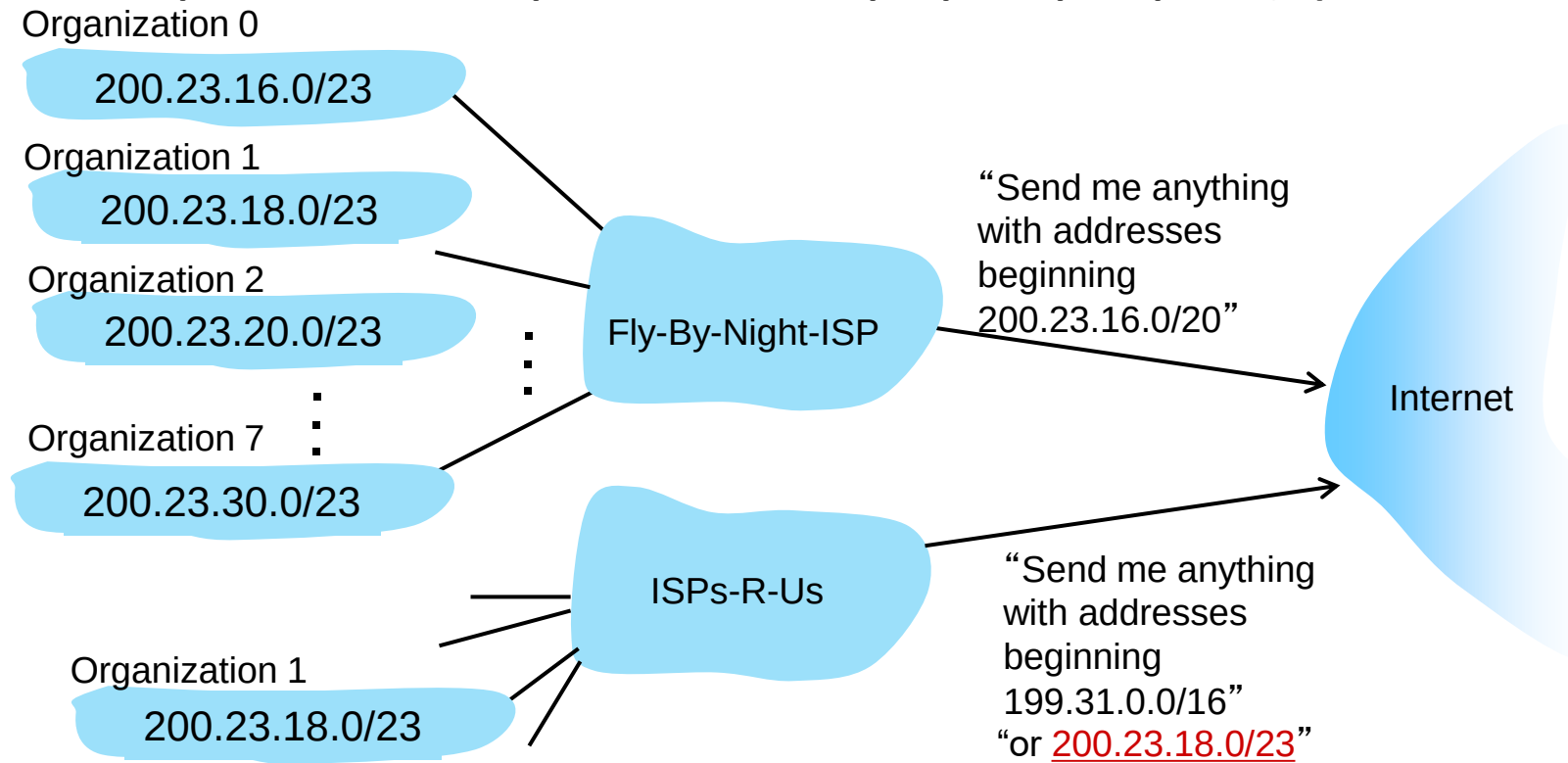
# Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: συνάθροιση διαδρομών

Η ιεραρχική διευθυνσιοδότηση επιτρέπει την αποδοτική διαφήμιση (advertisement) των πληροφοριών δρομολόγησης:



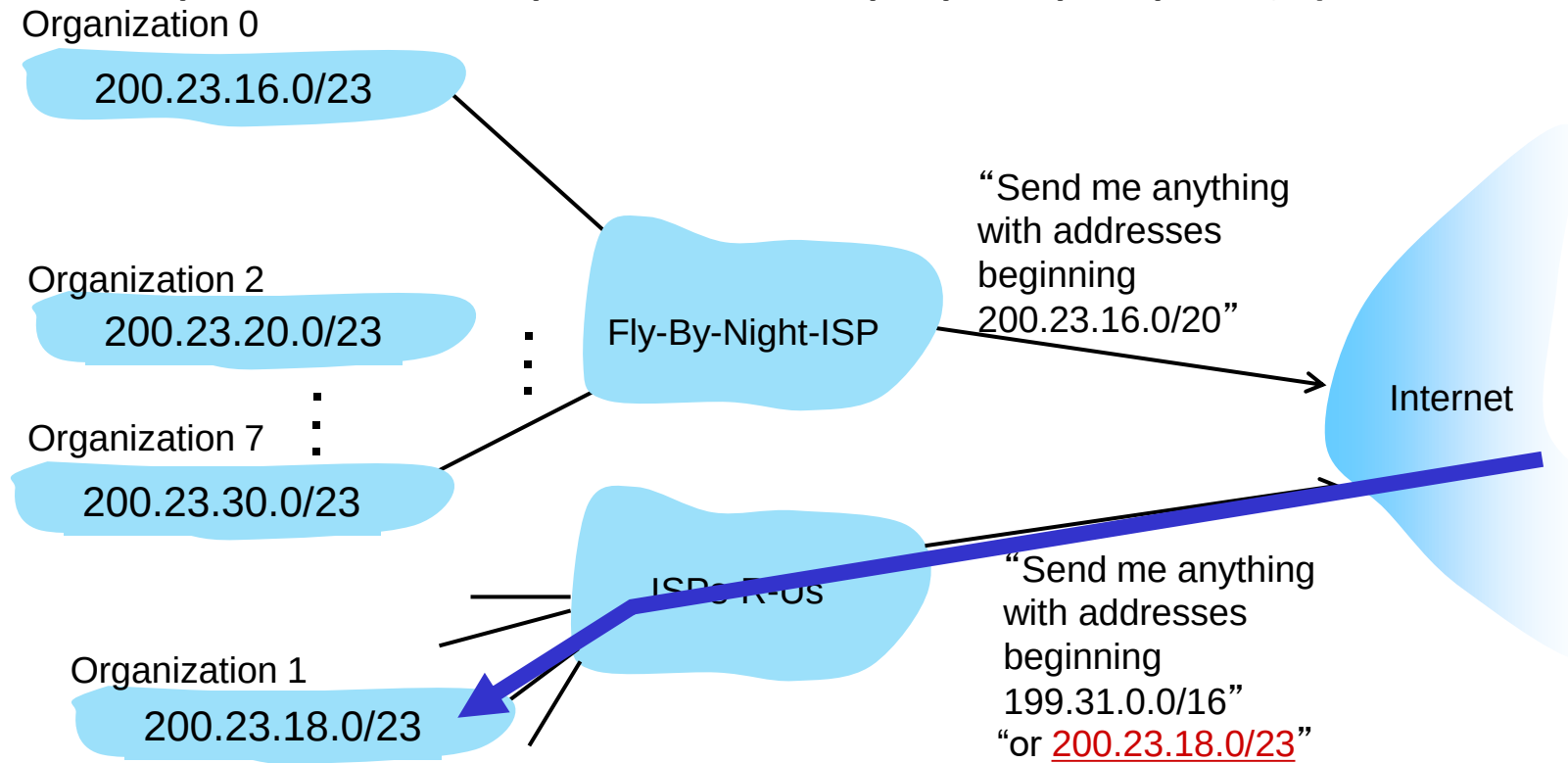
# Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: πιο συγκεκριμένες διαδρομές

- Ο Organization 1 αλλάζει πάροχο (από Fly-By-Night-ISP σε ISPs-R-Us)
- Ο ISPs-R-Us πλέον διαφημίζει πιο συγκεκριμένη διαδρομή (ταύτιση περισσότερων bits στη διεύθυνση προορισμού) για τον Organization 1



# Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: πιο συγκεκριμένες διαδρομές

- Ο Organization 1 αλλάζει πάροχο (από Fly-By-Night-ISP σε ISPs-R-Us)
- Ο ISPs-R-Us πλέον διαφημίζει πιο συγκεκριμένη διαδρομή (ταύτιση περισσότερων bits στη διεύθυνση προορισμού) για τον Organization 1





# Διευθυνσιοδότηση IP: τελευταίες λέξεις ...

**E:** πώς παίρνει ένας ISP ένα κομμάτι-μπλοκ διευθύνσεων;

**A:** **ICANN:** Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

<http://www.icann.org/>

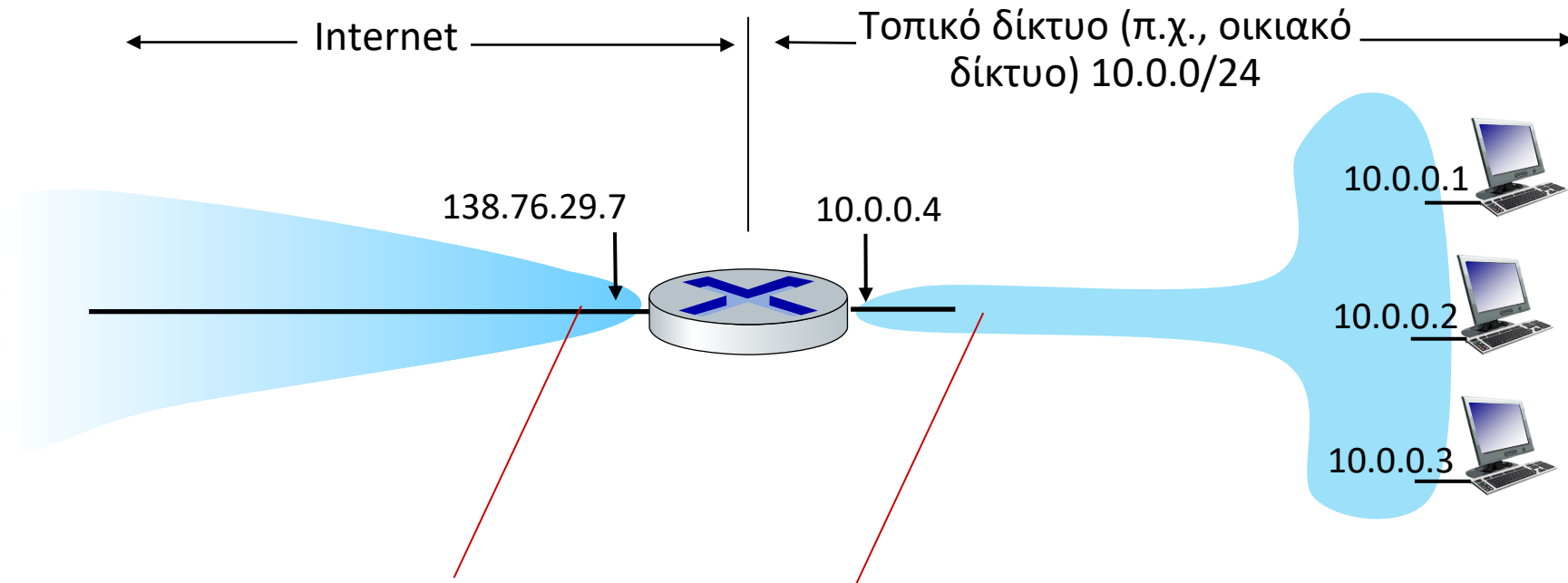
- κατανέμει IP διευθύνσεις, μέσω 5 γραφείων - **regional registries (RRs)** (τα οποία και κατανέμουν στη συνέχεια σε τοπικά αντίστοιχα γραφεία)
- διαχειρίζεται τους DNS root εξυπηρετές και αποδίδει ονόματα τομέων (TLD servers)

**E:** υπάρχουν αρκετές 32-bit IP διευθύνσεις;

- ο ICANN παραχώρησε το τελευταίο κομμάτι IPv4 διευθύνσεων το 2011
- το πρωτόκολλο Network Address Translation «φρενάρει» τον κορεσμό σε IPv4 διευθύνσεις
- το IPv6 χρησιμοποιεί 128-bits για IP διευθύνσεις

# NAT: network address translation (μετάφραση διευθύνσεων δικτύου)

**NAT:** στο τυπικό σενάριο, όλες οι συσκευές στο τοπικό δίκτυο μοιράζονται μόλις **μία** IPv4 διεύθυνση για να προωθηθούν στον «έξω» κόσμο



**όλα** τα δεδομενογράμματα **που φεύγουν** από το τοπικό δίκτυο έχουν την **ίδια** διεύθυνση προέλευσης NAT: 138.76.29.7, αλλά διαφορετικούς αριθμούς θύρας προέλευσης

τα δεδομενογράμματα με προέλευση ή προορισμό σε αυτό το δίκτυο έχουν διεύθυνση 10.0.0.x/24 ως προέλευση, προορισμό (όπως συνήθως)

# NAT: network address translation

- όλες οι συσκευές στο τοπικό δίκτυο έχουν 32-bit διευθύνσεις που ανήκουν σε ιδιωτικά (private) μπλοκ διευθύνσεων (10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στο τοπικό δίκτυο
- πλεονεκτήματα:
  - μόλις **μία** IP διεύθυνση χρειάζεται από τον πάροχο για **όλες** τις συσκευές
  - μπορούν να αλλαχτούν οι διευθύνσεις των συσκευών στο τοπικό δίκτυο χωρίς να ειδοποιηθεί ο έξω κόσμος
  - μπορεί να αλλάξει ο ISP χωρίς να αλλάξουν οι διευθύνσεις στο τοπικό δίκτυο
  - ασφάλεια: οι συσκευές εντός του τοπικού δικτύου δεν είναι ορατές από τον έξω κόσμο ως σαφώς διευθυνσιοδοτημένες

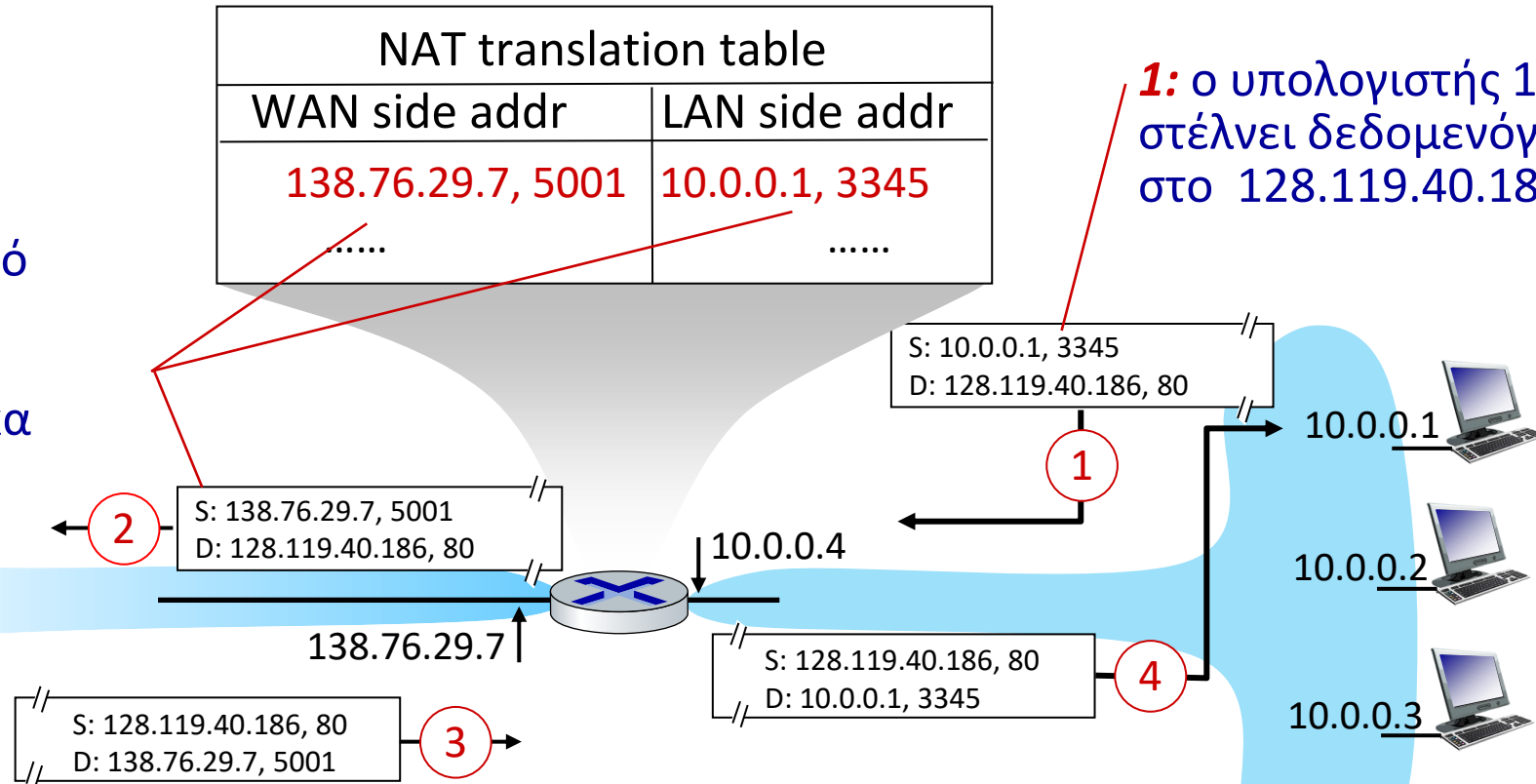
# NAT: network address translation

**εφαρμογή:** οι δρομολογητές NAT πρέπει (διαφανώς) να:

- **(εξερχόμενα δεδομενογράμματα) αντικαθιστούν** (IP διεύθυνση προέλευσης, # θύρας) κάθε εξερχόμενου δεδομενογράμματος με (διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας)
  - οι απομακρυσμένοι πελάτες/εξυπηρέτες θα απαντήσουν χρησιμοποιώντας (διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας) ως διεύθυνση προορισμού
- **θυμούνται (αποθήκευση στον πίνακα μεταφράσεων NAT) τη μετάφραση** κάθε ζεύγους (IP διεύθυνση προέλευσης, # θύρας) σε (διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας)
- **(εισερχόμενα δεδομενογράμματα) αντικαθιστούν** τον προορισμό (διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας) για κάθε εισερχόμενο δεδομένογραμμα με το αντίστοιχο (IP διεύθυνση προέλευσης, # θύρας) που είναι αποθηκευμένο στον πίνακα NAT

# NAT: network address translation

**2:** ο δρομολογητής NAT αλλάζει τη διεύθυνση προέλευσης του δεδομενογράμματος από 10.0.0.1, 3345 σε 138.76.29.7, 5001, κι ενημερώνει τον πίνακα



**1:** ο υπολογιστής 10.0.0.1 στέλνει δεδομένογραμμα στο 128.119.40.186, 80

**3:** η απάντηση φτάνει στη διεύθυνση προορισμού: 138.76.29.7, 5001

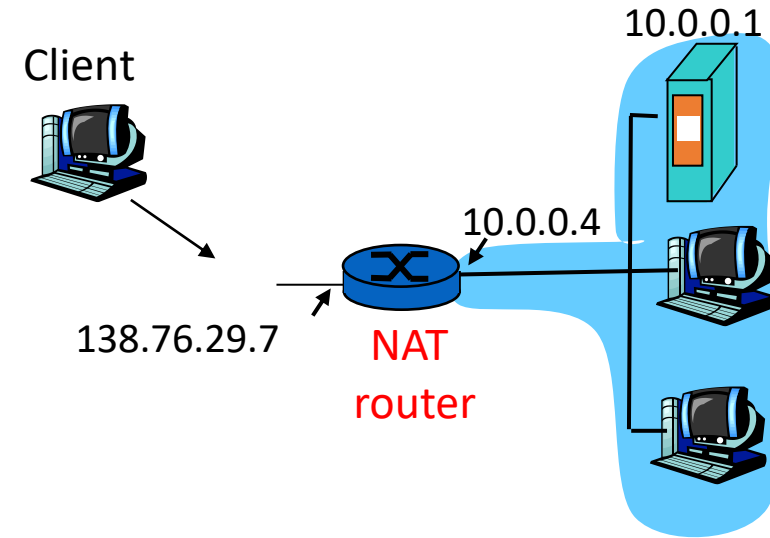
**4:** ο δρομολογητής NAT αλλάζει τη διεύθυνση προορισμού του δεδομενογράμματος από 138.76.29.7, 5001 σε 10.0.0.1, 3345

# NAT: network address translation

- αριθμός θύρας: 16 bits, άρα μέχρι 60.000 ταυτόχρονες συνδέσεις σε μία μόνο διεύθυνση για όλο το LAN!
- το NAT είναι αμφιλεγόμενο:
  - οι δρομολογητές θα πρέπει να επεξεργάζονται πακέτα μόνο μέχρι το επίπεδο 3 (δικτύου)
  - η έλλειψη διευθύνσεων θα πρέπει να επιλυθεί με το IPv6
  - παραβιάζει την αρχή από-άκρο-σε-άκρο (end-to-end argument) (χειρισμός # θυρών από συσκευές επιπέδου δικτύου)
  - περνώντας μέσα από NAT: κι αν ο πελάτης θέλει να συνδεθεί με έναν εξυπηρέτη πίσω από NAT;
- αλλά το NAT ήρθε για να μείνει:
  - εκτεταμένη χρήση σε οικιακά και ιδρυματικά δίκτυα, κυψελωτά δίκτυα 4G/5G

# Πρόβλημα εγκάρσιας διάβασης NAT

- Πελάτης θέλει να συνδεθεί σε εξυπηρέτη με διεύθυνση 10.0.0.1
  - Η διεύθυνση του εξυπηρέτη 10.0.0.1 είναι τοπική στο LAN (ο πελάτης δεν μπορεί να τη χρησιμοποιήσει ως διεύθυνση προορισμού)
  - Μόνο μία εξωτερικά ορατή διεύθυνση στην οποία εφαρμόζεται NAT: 138.76.29.7
- Λύση 1: στατική διαμόρφωση του NAT να προωθεί αιτήσεις εισερχόμενων συνδέσεων στη δοσμένη θύρα του εξυπηρέτη
  - Π.χ., (138.76.29.7, θύρα 2500) προωθείται πάντα στο 10.0.0.1 θύρα 2500

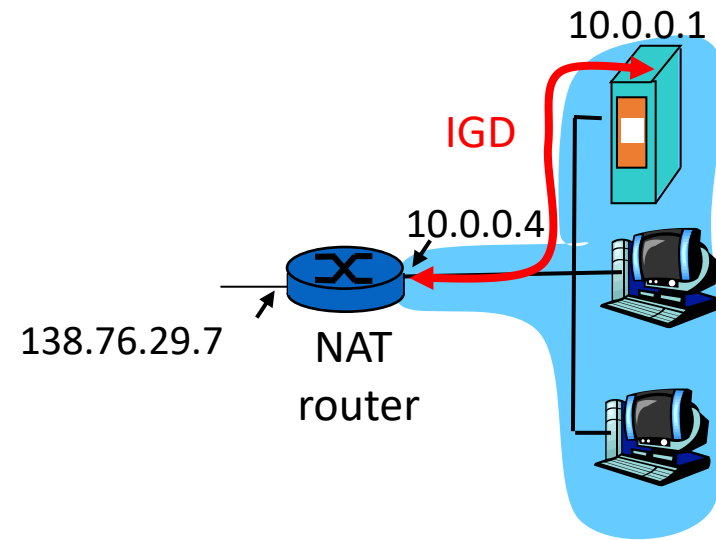


# Πρόβλημα εγκάρσιας διάβασης NAT

- Λύση 2: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Επιτρέπει σε υπολογιστή πίσω από NAT:

- Εκμάθηση δημόσιας διεύθυνσης IP (138.76.29.7)
- Προσθήκη/αφαίρεση αντιστοιχίσεων θυρών (με χρόνους μίσθωσης)

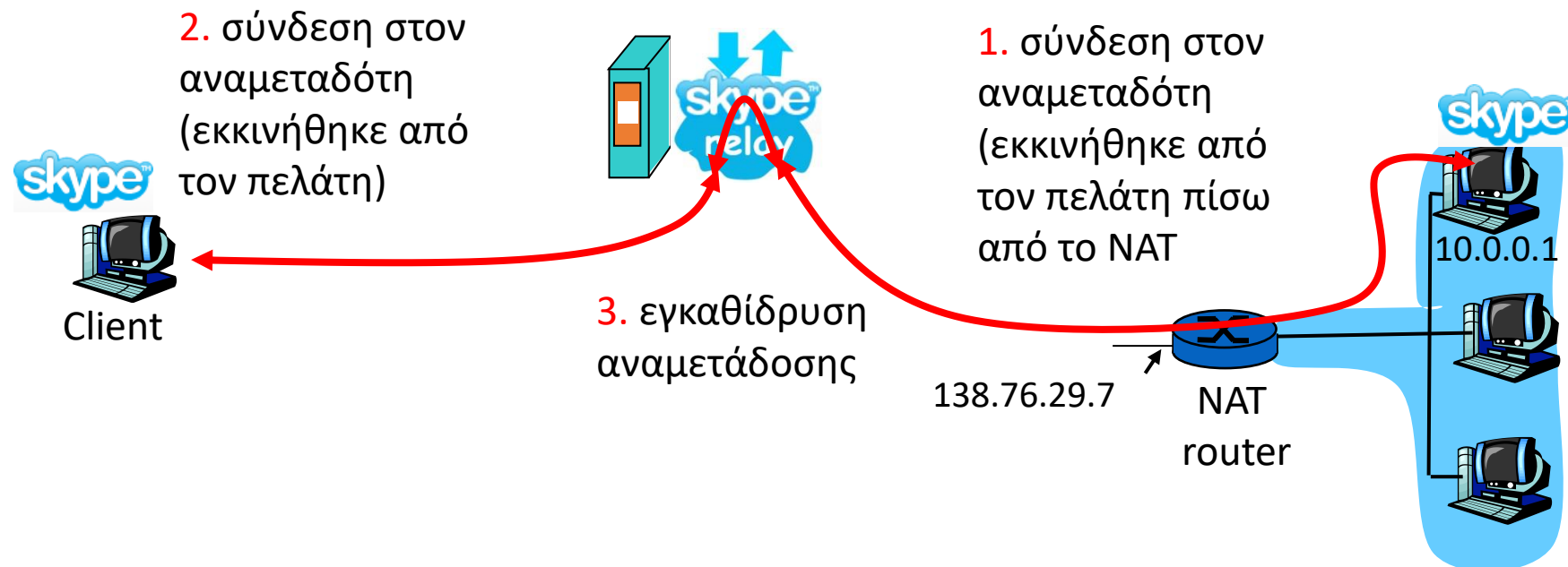
δηλ., αυτοματοποίηση της στατικής διαμόρφωσης αντιστοίχισης θυρών στο NAT





# Πρόβλημα εγκάρσιας διάβασης NAT

- **Λύση 3: αναμετάδοση** (χρησιμοποιείται στο Skype)
  - Ο πελάτης πίσω από το NAT εγκαθιδρύει σύνδεση με αναμεταδότη
  - Ο εξωτερικός πελάτης συνδέεται με αναμεταδότη (relay)
  - Ο αναμεταδότης γεφυρώνει πακέτα μεταξύ των συνδέσεων



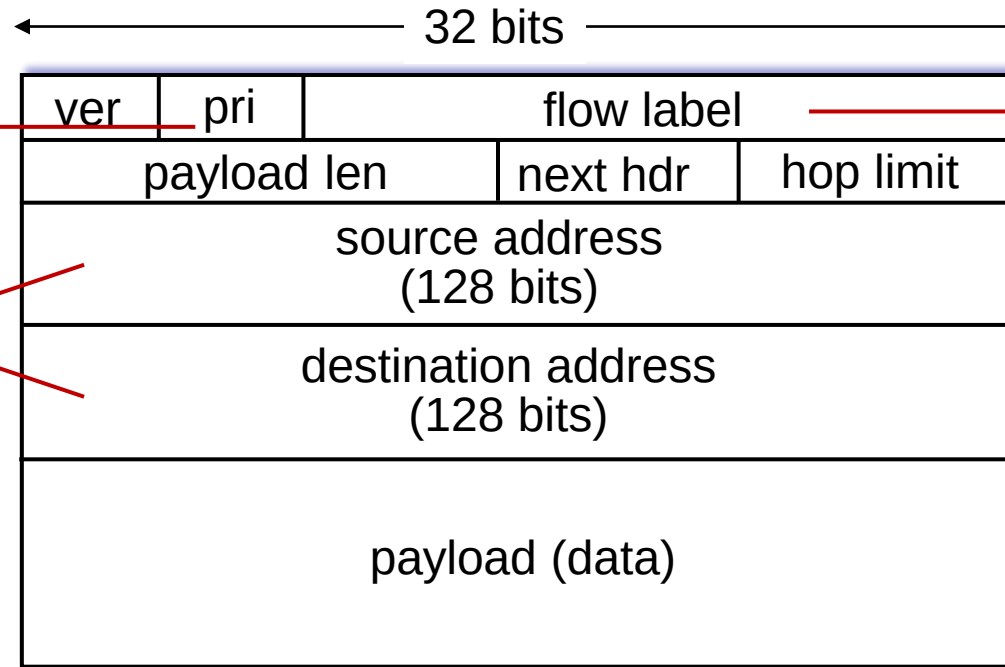
# IPv6: κίνητρο

- **αρχικό κίνητρο:** ο χώρος των 32-bit IPv4 διευθύνσεων είχε δεσμευτεί σχεδόν πλήρως
- επιπλέον κίνητρο:
  - ταχύτητα επεξεργασίας/προώθησης: σταθερού μήκους κεφαλίδα 40 bytes, δεν επιτρέπεται η κατάτμηση
  - δυνατότητα εξυπηρέτησης διαφορετικών «ροών» με άλλη ποιότητα υπηρεσίας (QoS)

# Δομή IPv6 κεφαλίδας δεδομενογράμματος

προτεραιότητα (priority):  
καθορίζει την  
προτεραιότητα μεταξύ των  
δεδομενογραμμάτων στη  
ροή

128-bit  
IPv6 διευθύνσεις



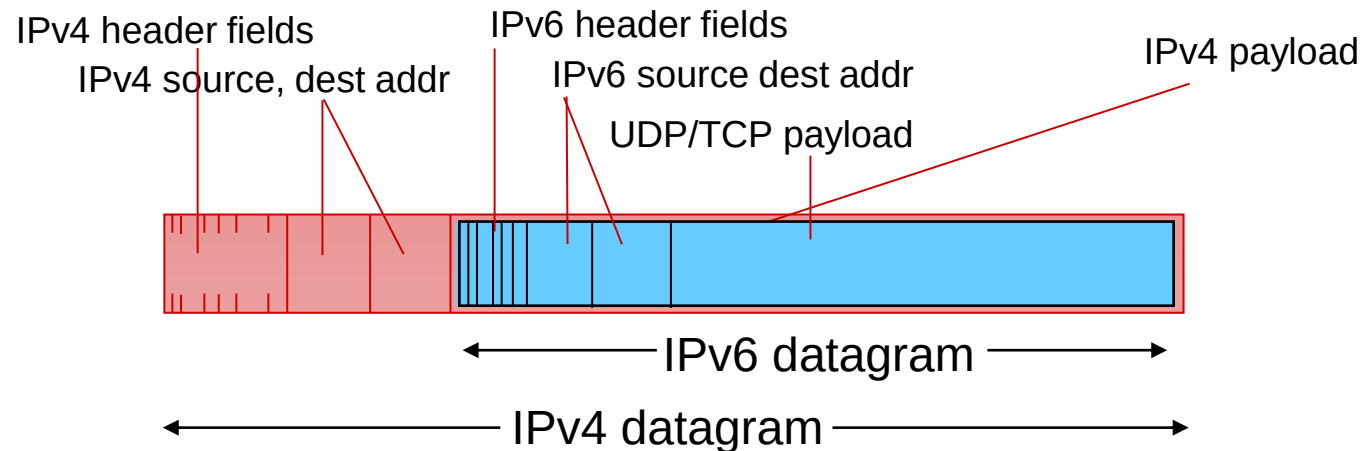
Ετικέτα ροής (flow label): ταυτοποιεί  
δεδομενογράμματα  
στην ίδια «ροή». (η  
έννοια της «ροής» δεν  
είναι καλά ορισμένη).

Τι λείπει σε σχέση με το IPv4:

- όχι checksum (ταχύτητα επεξεργασίας)
- όχι κατάτμηση / επανασύνθεση (λιγότερες ενέργειες για δρομολογητές)
- όχι options (διαθέσιμο από παραπάνω επίπεδο, next-header επιλογή)

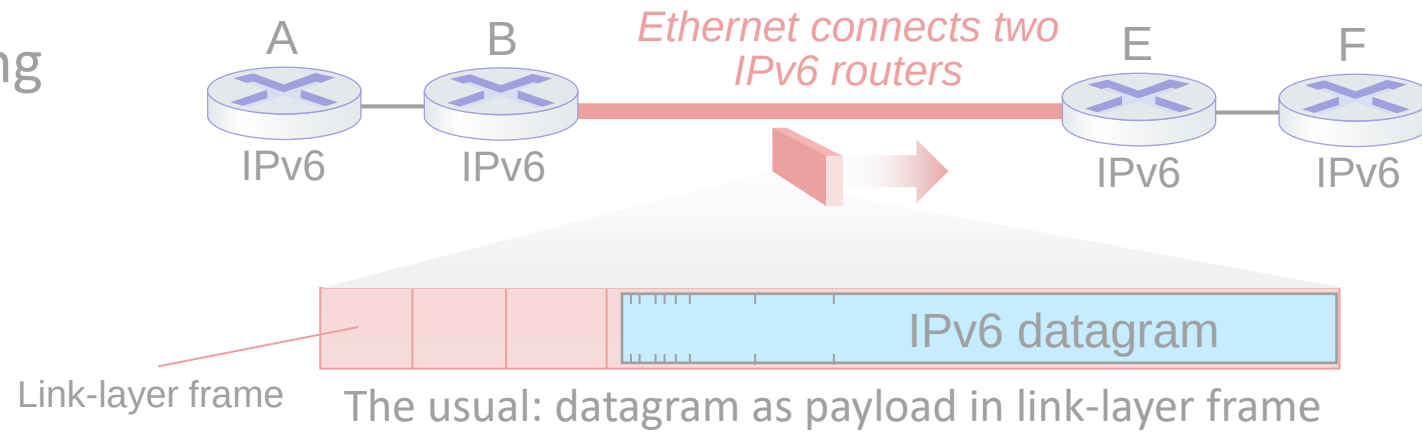
# Μετάβαση από το IPv4 στο IPv6

- δεν μπορούν να αναβαθμιστούν όλοι οι δρομολογητές ταυτόχρονα
  - χωρίς «ημερομηνία μετάβασης»
  - πώς θα μπορέσει να λειτουργήσει το δίκτυο με μείγμα δρομολογητών IPv4 και IPv6;
- **σηράγγωση (tunneling)**: το IPv6 δεδομένογραμμα μεταφέρεται ως *ωφέλιμο φορτίο (payload)* σε IPv4 δεδομένογραμμα μεταξύ IPv4 δρομολογητών (πακέτο μέσα σε πακέτο)
  - η τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως σε άλλες τεχνολογίες (4G/5G)

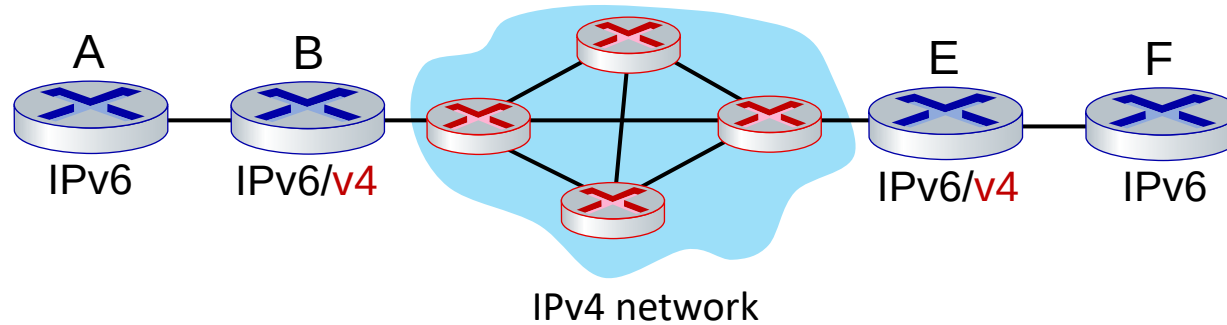


# Σηράγγωση (Tunneling)

Ethernet connecting  
two IPv6 routers:

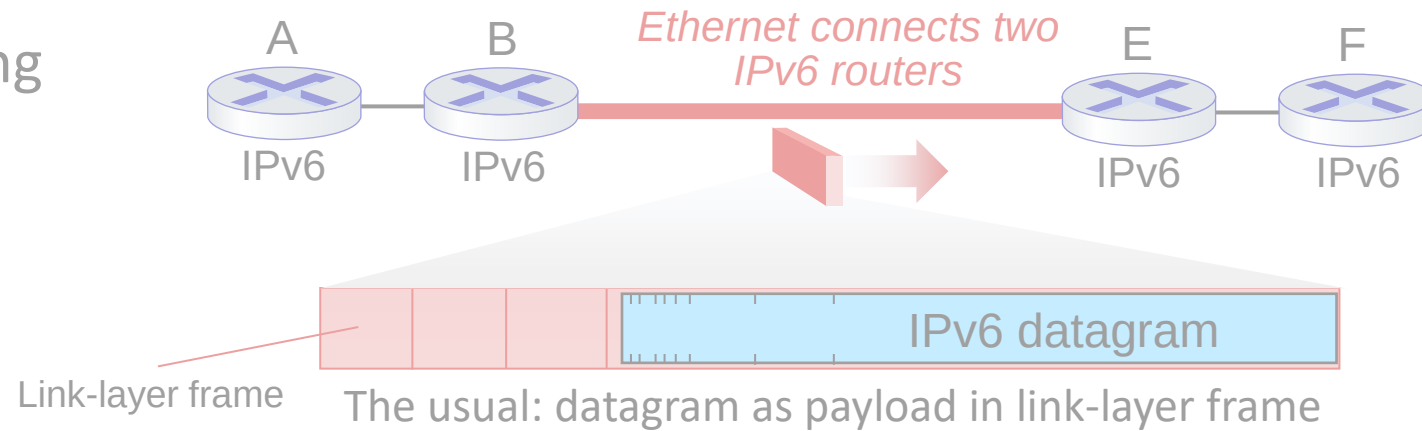


IPv4 δίκτυο  
συνδέει δύο IPv6  
δρομολογητές

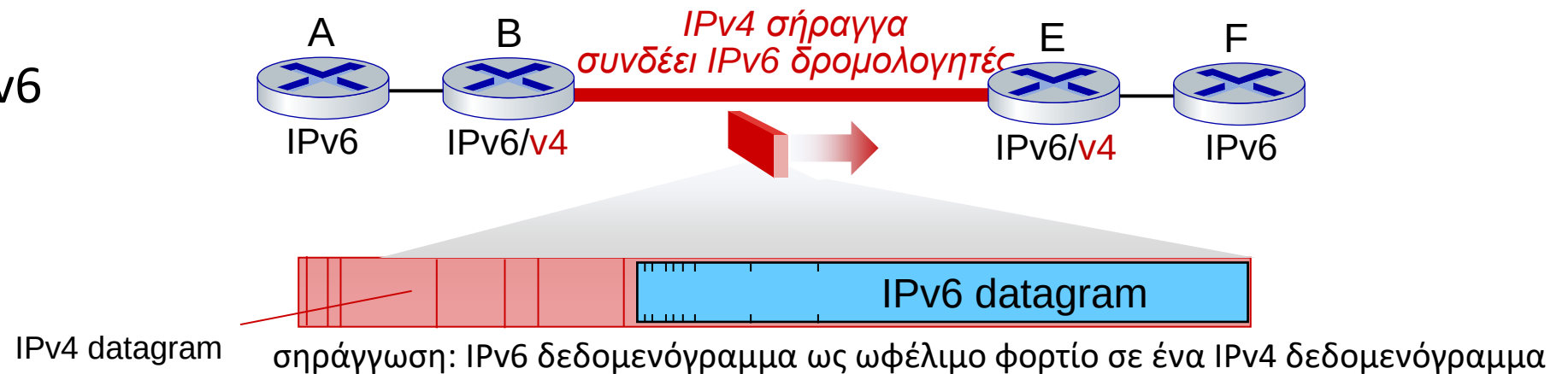


# Σηράγγωση (Tunneling)

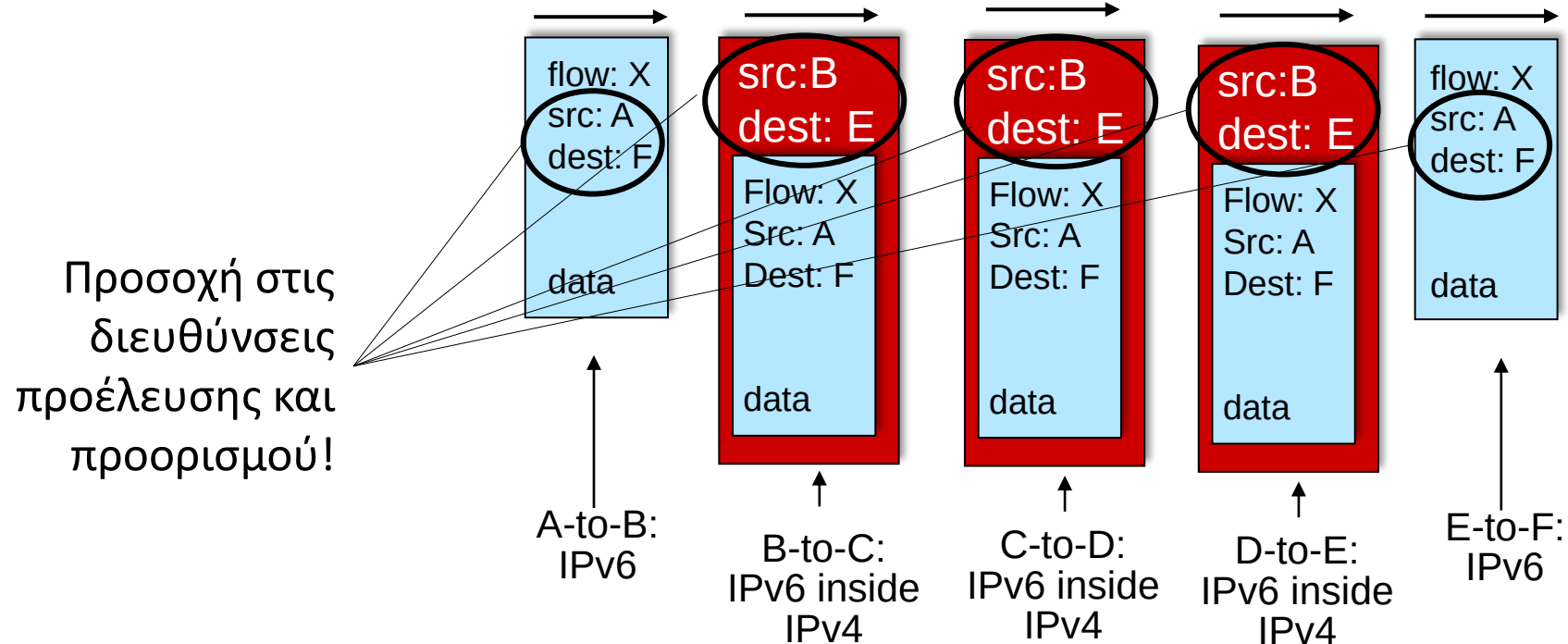
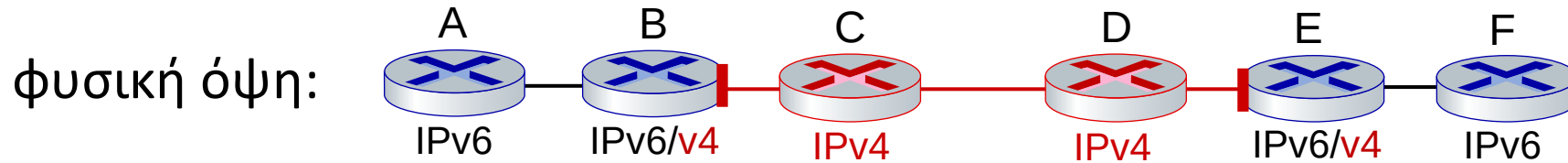
Ethernet connecting two IPv6 routers:



IPv4 δίκτυο  
συνδέει δύο IPv6  
δρομολογητές



# Σηράγγωση



# IPv6: μετάβαση

- Google<sup>1</sup>: ~ 30% των πελατών έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες μέσω του IPv6
- NIST: 1/3 όλων των κυβερνητικών δικτυακών χώρων (US) υποστηρίζουν IPv6
- Μακρύ διάστημα για ανάπτυξη και χρήση
  - 25 χρόνια και συνεχίζουμε!
  - άλλαξαν πολλά σε επίπεδο εφαρμογής: WWW, κοινωνικά δίκτυα, υπηρεσίες ροής σε πραγματικό χρόνο, τηλεδιασκέψεις...
  - *Γιατί;*

<sup>1</sup> <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>



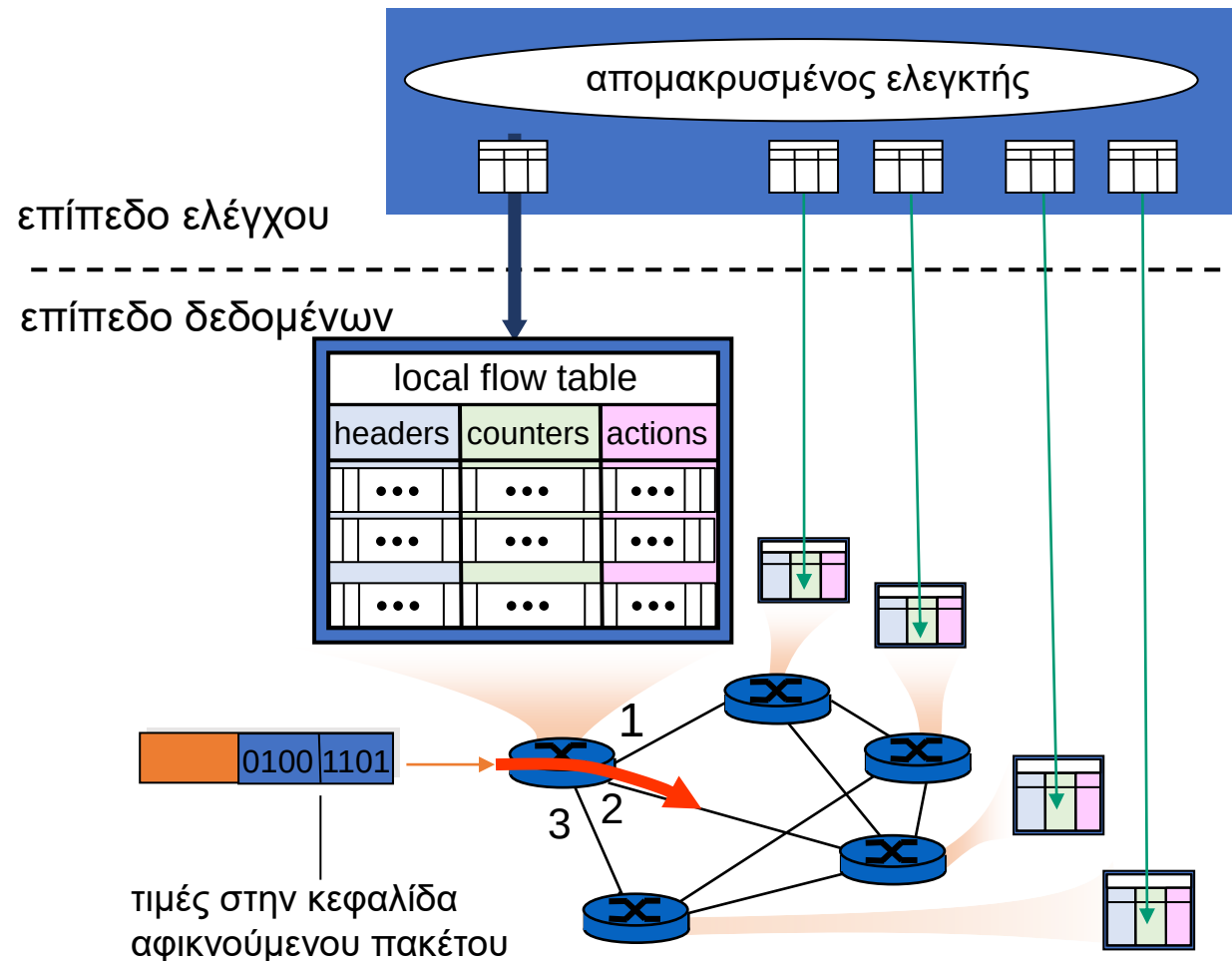
# Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση
  - Επίπεδο δεδομένων
  - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
  - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
  - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)
  - Μορφή δεδομενογράμματος
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Μετάφραση διευθύνσεων δικτύου
  - IPv6
- Γενικευμένη προώθηση και SDN
  - Ταίριασμα+ενέργεια
  - Παραδείγματα OpenFlow
- Ενδιάμεσα κουτιά



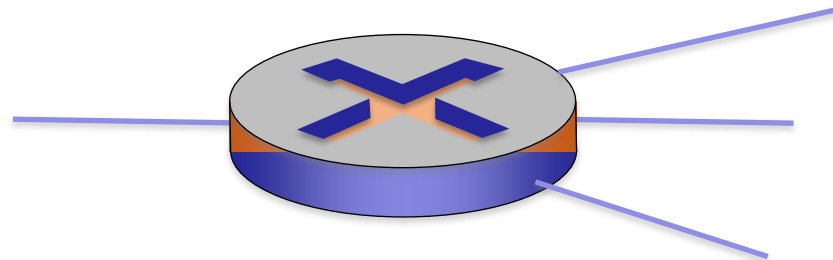
# Γενικευμένη προώθηση και SDN

Κάθε δρομολογητής περιέχει έναν πίνακα ταιριάσματος και ενέργειας όπου ο πίνακας υπολογίζεται και ενημερώνεται από έναν απομακρυσμένο ελεγκτή



# OpenFlow: Επίπεδο δεδομένων

- Ροή: ορίζεται από τα πεδία της κεφαλίδας
- Γενικευμένη προώθηση: απλοί κανόνες διαχείρισης πακέτων
  - *Κανόνας ταιριάσματος*: ταιριάζει τιμές με τα πεδία κεφαλίδας πακέτου
  - *Ενέργειες*: για κάθε πακέτο που ταιριάζει: απόρριψη, προώθηση, τροποποίηση πακέτου ή αποστολή του στον ελεγκτή
  - *Μετρητές*: #bytes και #πακέτων

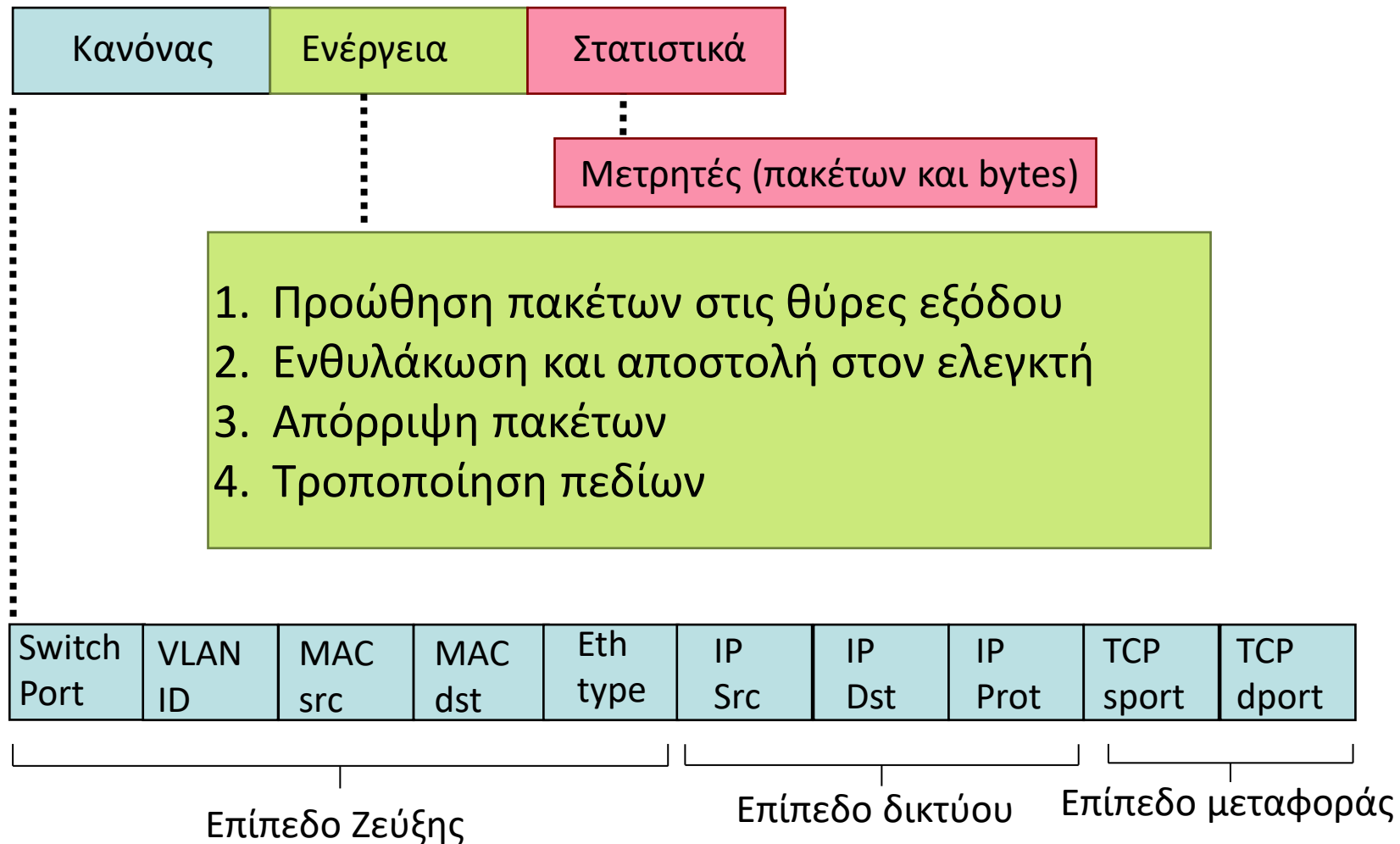


1. src=1.2.\*.\*, dest=3.4.5.\* → απόρριψη
2. src = \*.\*.\*.\*, dest=3.4.\*.\* → προώθηση
3. src=10.1.2.3, dest=\*.\*.\*.\* → στον ελεγκτή

\* : wildcard

# Πίνακας ροής

Κάθε καταχώριση μέσα στον πίνακα προώθησης, ταιριάσματος και ενέργειας.



# Παραδείγματα

Πρώθηση με βάση τον προορισμό:

| Switch Port | MAC src | MAC dst | Eth type | VLAN ID | IP Src | IP Dst   | IP Prot | TCP sport | TCP dport | Action |
|-------------|---------|---------|----------|---------|--------|----------|---------|-----------|-----------|--------|
| *           | *       | *       | *        | *       | *      | 51.6.0.8 | *       | *         | *         | port6  |

*IP δεδομενογράμματα που προορίζονται για το 51.6.0.8 θα πρέπει να προωθηθεί στην θύρα εξόδου 6*

Τείχος προστασίας:

| Switch Port | MAC src | MAC dst | Eth type | VLAN ID | IP Src | IP Dst | IP Prot | TCP sport | TCP dport | Action |
|-------------|---------|---------|----------|---------|--------|--------|---------|-----------|-----------|--------|
| *           | *       | *       | *        | *       | *      | *      | *       | *         | 22        | drop   |

*Μην προωθείς τα δεδομενογράμματα που προορίζονται για την TCP πόρτα 22*

| Switch Port | MAC src | MAC dst | Eth type | VLAN ID | IP Src      | IP Dst | IP Prot | TCP sport | TCP dport | Action |
|-------------|---------|---------|----------|---------|-------------|--------|---------|-----------|-----------|--------|
| *           | *       | *       | *        | *       | 128.119.1.1 | *      | *       | *         | *         | drop   |

*Μην προωθείς τα δεδομενογράμματα που στέλνονται από το 128.119.1.1*

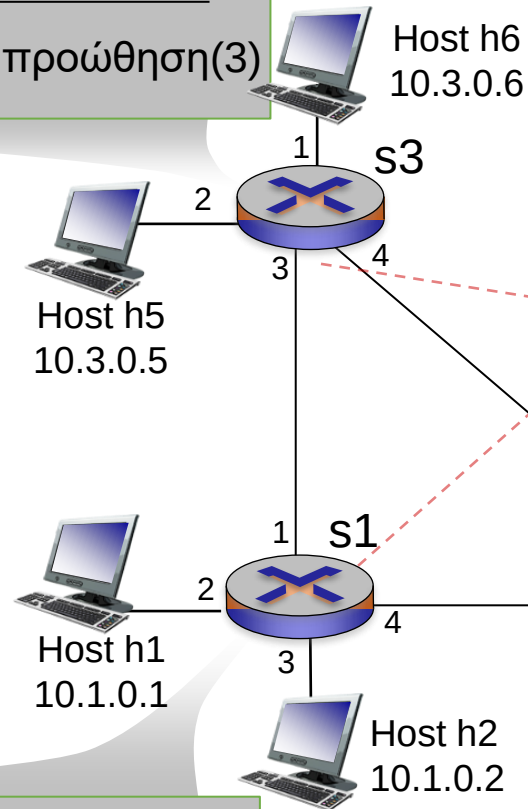
# OpenFlow: Συνοπτικά

*ταίριασμα + ενέργεια:* για διαφορετικά είδη συσκευών

- **Δρομολογητής**
  - *ταίριασμα:* μεγαλύτερο πρόθεμα της IP διεύθυνσης του προορισμού
  - *ενέργεια:* προώθηση σε ζεύξη εξόδου
- **Μεταγωγός (switch)**
  - *ταίριασμα:* MAC διεύθυνση προορισμού
  - *ενέργεια:* προώθηση ή πλημμύρα (*broadcast*)
- **Τείχος προστασίας**
  - *ταίριασμα:* IP διευθύνσεις και TCP/UDP αριθμοί πόρτας
  - *ενέργεια:* επιτρέπω ή απαγορεύω
- **NAT**
  - *ταίριασμα:* IP διεύθυνση και πόρτα
  - *ενέργεια:* αλλαγή διεύθυνσης και πόρτας

# OpenFlow παράδειγμα

| ταίριασμα                              | ενέργεια    |
|----------------------------------------|-------------|
| IP Src = 10.3.*.*<br>IP Dst = 10.2.*.* | προώθηση(3) |



| ταίριασμα                                                  | ενέργεια    |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| ingress port = 1<br>IP Src = 10.3.*.*<br>IP Dst = 10.2.*.* | προώθηση(4) |

*Παράδειγμα:*

δεδομενογράμματα από τους h5 και h6 θα έπρεπε να σταλούν στο h3 ή h4, μέσω s1 κι έπειτα μέσω s2

| ταίριασμα                             | ενέργεια    |
|---------------------------------------|-------------|
| ingress port = 2<br>IP Dst = 10.2.0.3 | προώθηση(3) |
| ingress port = 2<br>IP Dst = 10.2.0.4 | προώθηση(4) |

# Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση
  - Επίπεδο δεδομένων
  - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
  - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
  - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)
  - Μορφή δεδομενογράμματος
  - Διευθυνσιοδότηση
  - Μετάφραση διευθύνσεων δικτύου
  - IPv6
- Γενικευμένη προώθηση και SDN
  - Ταίριασμα+ενέργεια
  - Παραδείγματα OpenFlow
- **Ενδιάμεσα κουτιά**





# Ενδιάμεσα Κουτιά

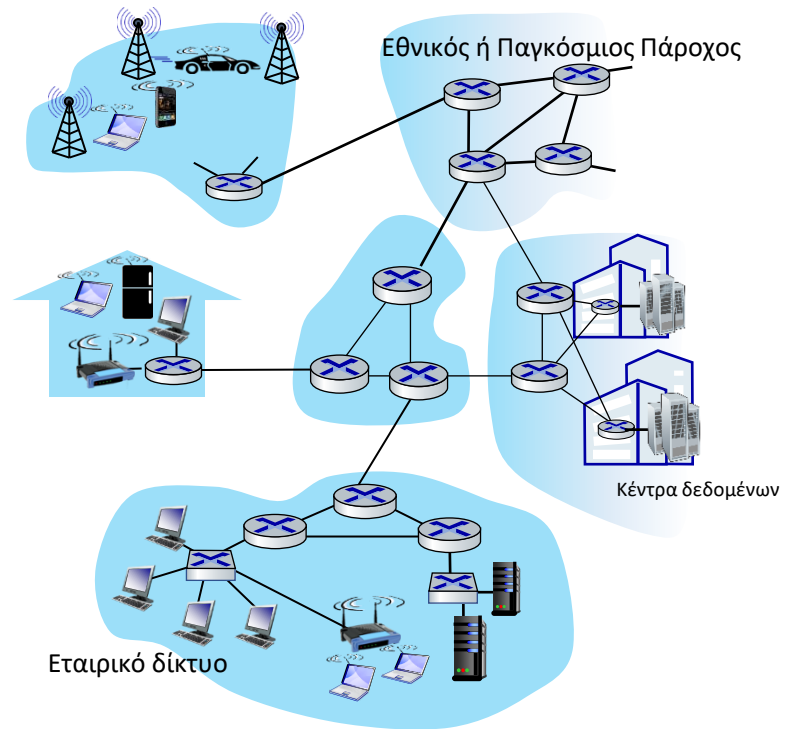
— Middlebox (RFC 3234) —

“οποιοδήποτε ενδιάμεσο κουτί, το οποίο επιτελεί λειτουργίες διαφορετικές από τις κανονικές, τυπικές λειτουργίες ενός IP δρομολογητή επί της διαδρομής δεδομένων μεταξύ ενός υπολογιστή προέλευσης κι ενός υπολογιστή προορισμού”

# Ενδιάμεσα Κουτιά παντού!

Μεταφράσεις  
NAT

Σε επίπεδο  
εφαρμογής



Firewalls, IDS

Load balancers

Caches

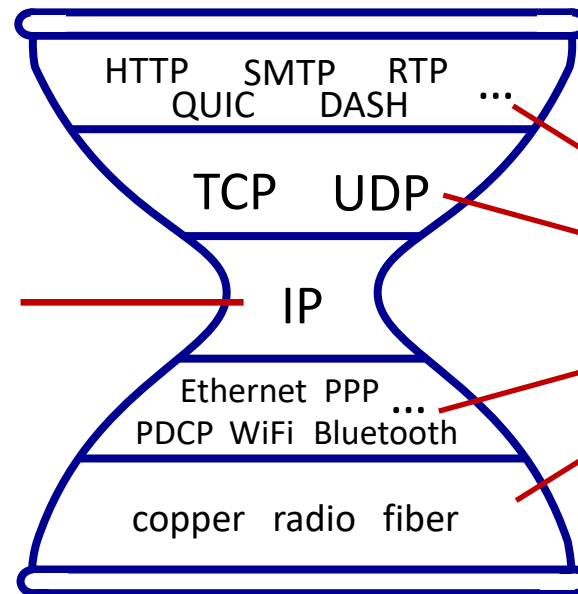
# Ενδιάμεσα Κουτιά

- αρχικά: ξεχωριστά εξειδικευμένα κουτιά υλικού
- κίνηση προς υλικά που βασίζονται σε κοινή στοίβα λογισμικού
- **SDN**: (σε λογικό επίπεδο) κεντριοποιημένος έλεγχος και διαχείριση ρυθμίσεων συχνά σε ιδιωτικό/δημόσιο υπολογιστικό νέφος
- **Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (network functions virtualization (NFV))**: προγραμματιζόμενες υπηρεσίες για δικτύωση, υπολογισμούς και αποθήκευση

# Η κλεψύδρα του IP

Η «λεπτή μέση» του Διαδικτύου:

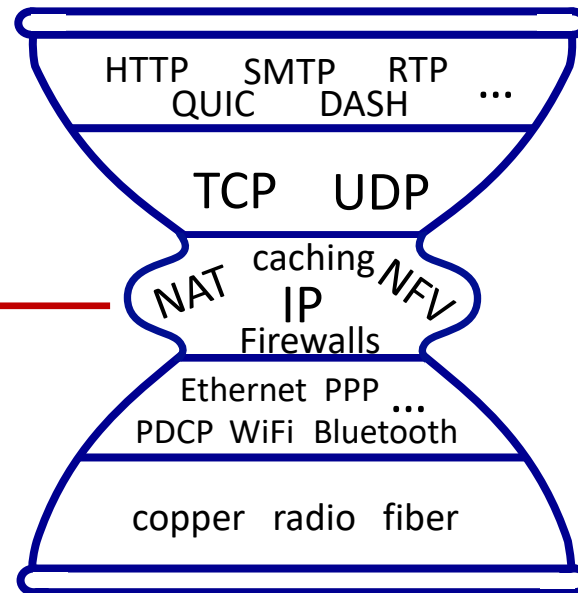
- ένα πρωτόκολλο σε επίπεδο δικτύου: IP
- πρέπει να εφαρμοστεί από κάθε μία (από τις δισεκατομμύρια) συσκευή που συνδέεται στο Διαδίκτυο



πολλά  
πρωτόκολλα σε  
φυσικό επίπεδο,  
επίπεδο ζεύξης,  
επίπεδο  
μεταφοράς και  
επίπεδο  
εφαρμογής

# Τα πρώτα χρόνια...

Αρχικά τα  
ενδιάμεσα κουτιά  
λειτουργούσαν  
στο επίπεδο  
δικτύου



# Αρχές του Διαδικτύου

RFC 1958

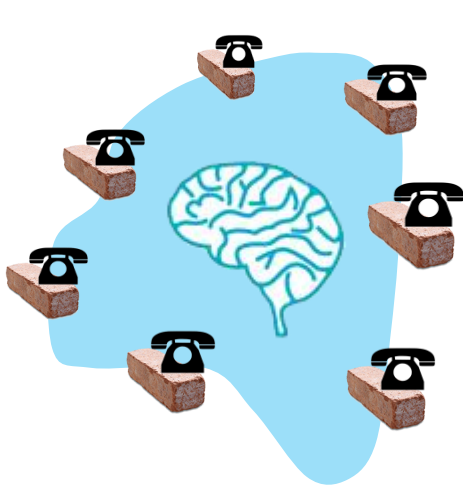
“Σε γενικές γραμμές

ο στόχος είναι η συνδεσιμότητα, το εργαλείο είναι το πρωτόκολλο IP, και η εξυπνάδα βρίσκεται στα δύο άκρα της επικοινωνίας.”

Τρεις βασικές πεποιθήσεις:

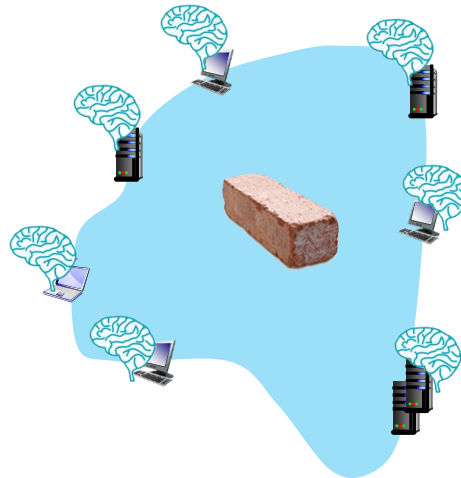
- απλή συνδεσιμότητα
- IP πρωτόκολλο: η λεπτή «μέση»
- εξυπνάδα και πολυπλοκότητα στα άκρα

# Πού βρίσκεται η εξυπνάδα;



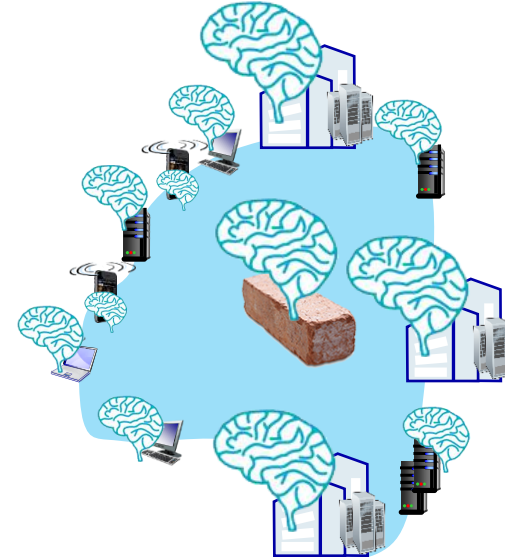
## Τηλεφωνικό Δίκτυο

- Εξυπνάδα στους μεταγωγείς



## Διαδίκτυο (προ 2005)

- εξυπνάδα, υπολογισμοί στα άκρα



## Διαδίκτυο (μετά το 2005)

- προγραμματιζόμενες δικτυακές συσκευές
- εξυπνάδα, υπολογισμοί, τεράστιες υποδομές σε επίπεδο εφαρμογής

# Κεφάλαιο 4: Τέλος!

- Επίπεδο δικτύου: επισκόπηση
- Τι υπάρχει μέσα σε έναν δρομολογητή;
- IP: Internet Protocol
- Γενικευμένη Προώθηση, SDN
- Ενδιάμεσα κουτιά

*Ερώτηση:* πώς υπολογίζονται οι πίνακες προώθησης (προώθηση με βάση τον προορισμό) ή οι πίνακες ροής (γενικευμένη προώθηση);

*Απάντηση:* από το επίπεδο ελέγχου (επόμενο κεφάλαιο)

