



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

Ενότητα 4: Επίπεδο Δικτύου -Επίπεδο δεδομένων

Διδάσκων: Δρ. Νάσος Βάιος

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο εφαρμογής

1

Κεφάλαιο 4 Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων

Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

ΘΕ1: Εισαγωγή

(Κεφ. 1 του βιβλίου)

ΘΕ2: Επίπεδο Εφαρμογής

(Κεφ. 2 του βιβλίου)

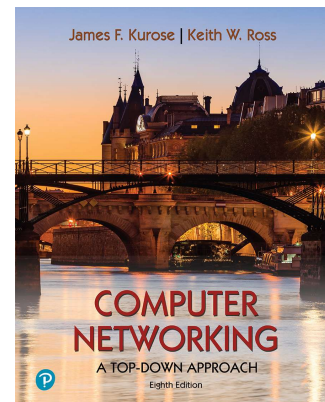
ΘΕ3: Επίπεδο Μεταφοράς

(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

8th edition

Jim Kurose, Keith Ross
Pearson, 2020

Επίπεδο Δικτύου: Στόχοι ενότητας

- 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: 4-3

Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

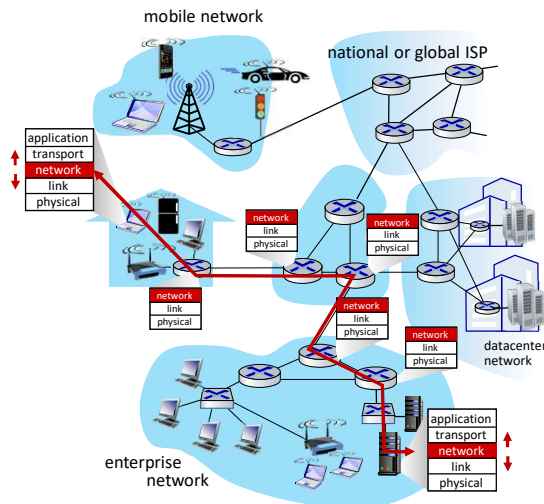
- **Επίπεδο δικτύου: Επισκόπηση**
 - Επίπεδο δεδομένων
 - Επίπεδο ελέγχου
- Τι βρίσκεται μέσα σε ένα δρομολογητή
 - Θύρες εισόδου, μεταγωγή, θύρες εξόδου
 - Διαχείριση ενταμίευσης, χρονοπρογραμματισμός
- IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)
 - Μορφή δεδομενογράμματος
 - Διευθυνσιοδότηση
 - Μετάφραση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



Επίπεδο Δικτύου: 4-4

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



Επίπεδο Δικτύου: 4-5

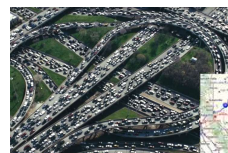
Δύο λειτουργίες κλειδιά του επιπέδου δικτύου

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



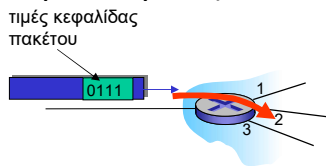
routing

Επίπεδο Δικτύου: 4-6

Επίπεδο δεδομένων – Επίπεδο ελέγχου

Επίπεδο δεδομένων:

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



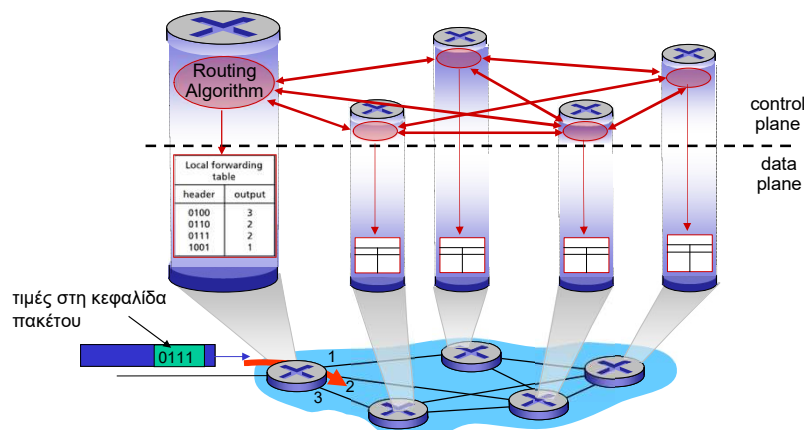
Επίπεδο ελέγχου

- λογική σε *εύρος δικτύου*
- αποφασίζει πώς ένα δεδομενόγραμμα 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 Δικτύου: 4-7

Επίπεδο ελέγχου ανά δρομολογητή

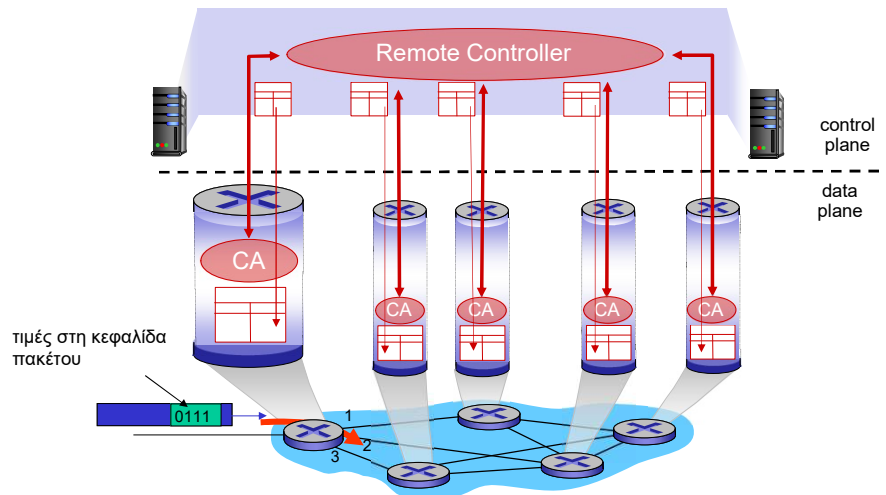
Τα ξεχωριστά συστατικά του αλγορίθμου δρομολόγησης αλληλεπιδρούν στο επίπεδο ελέγχου σε κάθε έναν δρομολογητή



Επίπεδο Δικτύου: 4-8

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 Δικτύου	Μοντέλο 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

Επίπεδο Δικτύου: 4-11

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...)

Επίπεδο Δικτύου: 4-12

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: 4-13

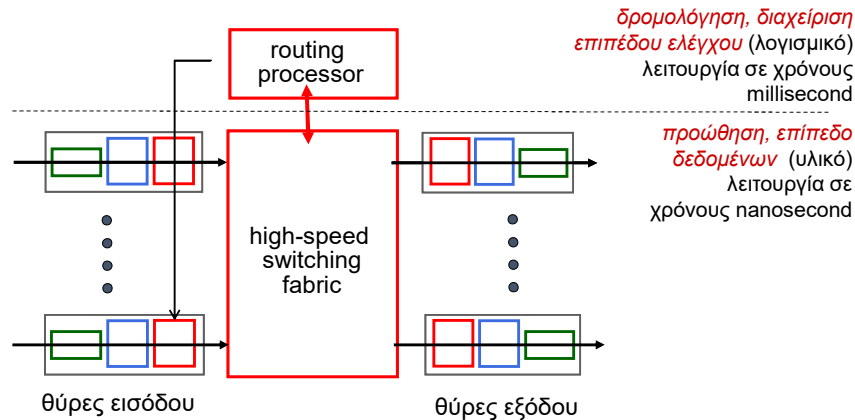
Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- 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



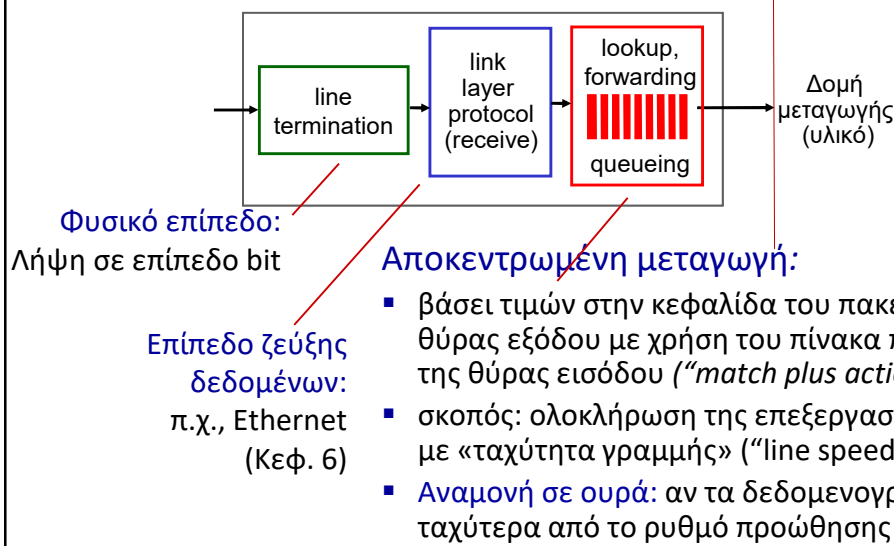
Επίπεδο Δικτύου: 4-14

Επισκόπηση αρχιτεκτονικής δρομολογητή



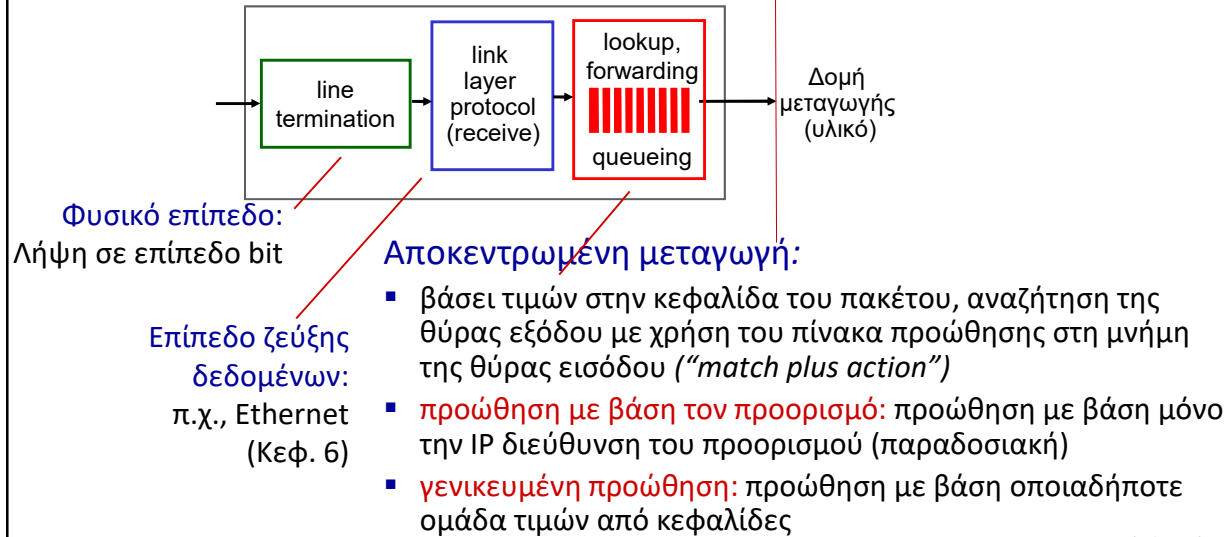
Επίπεδο Δικτύου: 4-15

Λειτουργίες θύρας εισόδου



Επίπεδο Δικτύου: 4-16

Λειτουργίες θύρας εισόδου



Επίπεδο Δικτύου: 4-17

Πρώθηση με βάση τον προορισμό

forwarding table

Destination Address Range	Link Interface
11001000 00010111 00010000 00000000 through	0
11001000 00010111 00010000 00000100 through	3
11001000 00010111 00010000 00000111 through	
11001000 00010111 00011000 11111111	
11001000 00010111 00011001 00000000 through	2
11001000 00010111 00011111 11111111	
otherwise	3

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-18

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;

Επίπεδο Δικτύου: 4-19

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

examples:

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-20

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

examples:

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-21

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

examples:

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-22

Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος

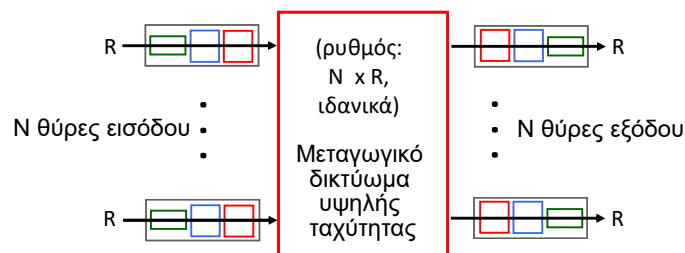
Στην πράξη χρησιμοποιούνται συχνά για αναζήτηση μνήμες τύπου Ternary Content Address Memories (TCAM).

- 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

Επίπεδο Δικτύου: 4-23

Τύποι δομήματος μεταγωγής

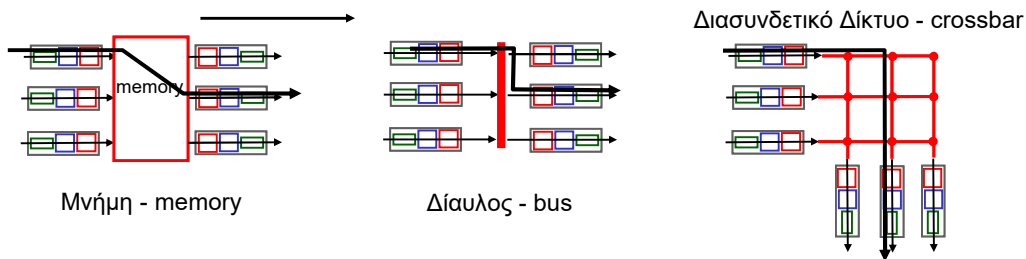
- μεταφορά πακέτου από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου
- **ρυθμός μεταγωγής:** ρυθμός στον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταφερθούν από τις εισόδους στις εξόδους
 - συχνά μετριέται ως πολλαπλάσιο του ρυθμού εισόδου/εξόδου της γραμμής
 - N εισοδοί: ρυθμός μεταγωγής N φορές τον ρυθμό των εισόδων



Επίπεδο Δικτύου: 4-24

Τύποι δομήματος μεταγωγής

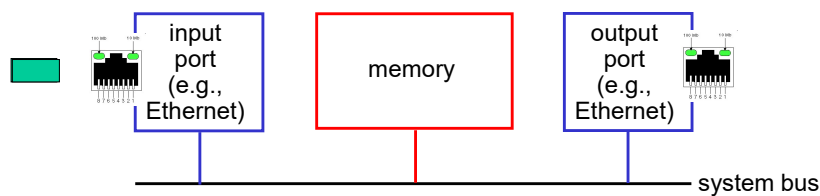
- μεταφορά πακέτου από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου
- **ρυθμός μεταγωγής:** ρυθμός στον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταφερθούν από τις εισόδους στις εξόδους
 - συχνά μετριέται ως πολλαπλάσιο του ρυθμού εισόδου/εξόδου της γραμμής
 - N εισοδοί: ρυθμός μεταγωγής N φορές ο επιθυμητός ρυθμός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



Μεταγωγή μέσω μνήμης

Δρομολογητές πρώτης γενιάς:

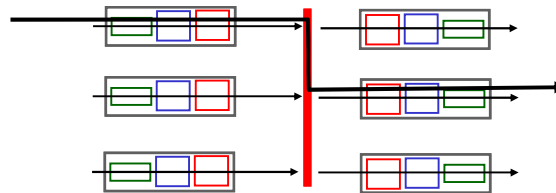
- παραδοσιακοί υπολογιστές με μεταγωγή υπό τον άμεσο έλεγχο της CPU
- το πακέτο αντιγράφεται στη μνήμη του συστήματος
- η ταχύτητα περιορίζεται από το εύρος ζώνης της μνήμης (2 διασχίσεις του διαύλου ανά δεδομένογράμμα)



Επίπεδο Δικτύου: 4-26

Μεταγωγή μέσω διαύλου

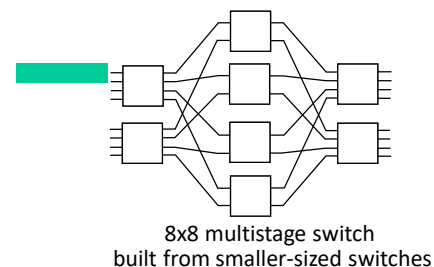
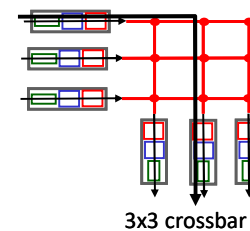
- το δεδομένογραμμα από τη θύρα εισόδου της μνήμης στη θύρα εξόδου της μνήμης μέσω διαμοιραζόμενου διαύλου (bus)
- **ανταγωνισμός διαύλου:** η ταχύτητα μεταγωγής περιορίζεται από το εύρος ζώνης του διαύλου
- δίαυλος 32 Gbps, Cisco 5600: επαρκής ταχύτητα για δρομολογητές πρόσβασης και εταιρικούς δρομολογητές



Επίπεδο Δικτύου: 4-27

Μεταγωγή μέσω δικτύου διασύνδεσης

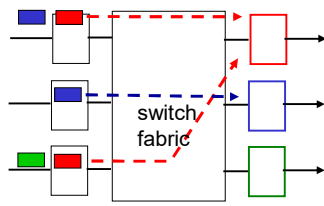
- Crossbar, άλλα δίκτυα διασύνδεσης που αρχικά αναπτύχθηκαν για τη διασύνδεση επεξεργαστών σε πολυεπεξεργαστικά συστήματα
- **πολυεπίπεδη μεταγωγή:** *n*ηη μεταγωγός από πολλαπλά επίπεδα μικρότερων μεταγωγών
- **Εκμεταλλευόμενοι τον παραλληλισμό:**
 - κατάρτιση του δεδομένογραμματος σε σταθερού μήκους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



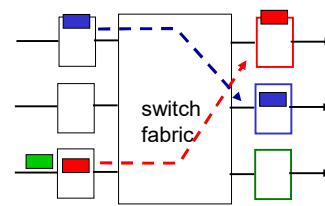
Επίπεδο Δικτύου: 4-28

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 απώλειας λόγω υπερχείλισης του ενταμιευτή (buffer) της θύρας εισόδου!
- **Μπλοκάρισμα κεφαλής γραμμής (Head-Of-the-Line blocking):**
ενταμιευμένο δεδομένογράμμα στην κορυφή της ουράς εμποδίζει άλλα δεδομένογράμματα από το να προωθηθούν



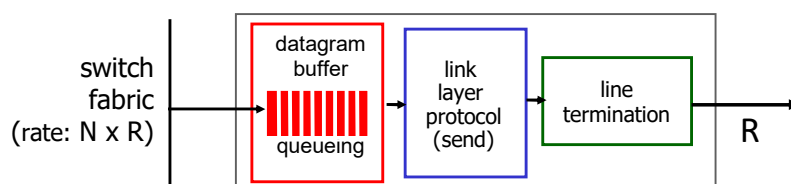
συναγωνισμός στη θύρα εξόδου:
μόνο ένα κόκκινο δεδομένογράμμα μπορεί να μεταφερθεί το χαμηλότερο κόκκινο πακέτο
μπλοκάρεται



ένα πακέτο αργότερα:
το πράσινο πακέτο αντιμετωπίζει
μπλοκάρισμα κεφαλής γραμμής

Επίπεδο Δικτύου: 4-29

Αναμονή στη θύρα εξόδου



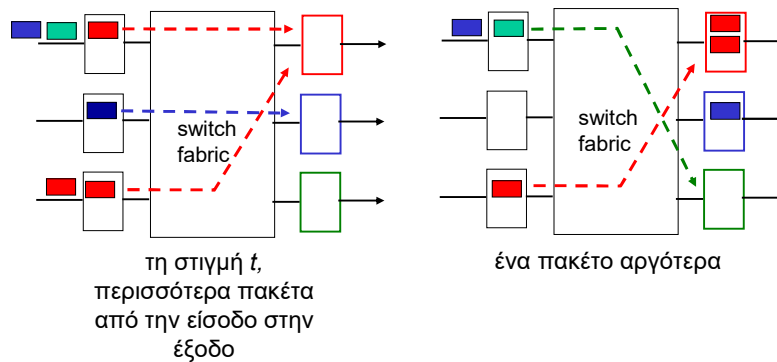
- Απαιτείται **ενταμίευση (buffering)** όταν τα δεδομένογράμματα φτάνουν από το δόμημα μεταγωγής ταχύτερα από το ρυθμό μετάδοσης. **Πολιτική απόρριψης:** ποια πακέτα να απορρίψω;
- Η **πολιτική χρονοπρογραμματισμού (scheduling discipline)** επιλέγει κάποιο από τα ενταμιευμένα δεδομένογράμματα για μετάδοση

Απώλειες λόγω
συμφόρησης, απουσίας
χώρου ενταμίευσης

Πολιτική προτεραιοτήτων –
ποιος λαμβάνει την
καλύτερη απόδοση,
ουδετερότητα Διαδικτύου

Επίπεδο Δικτύου: 4-30

Αναμονή στη θύρα εξόδου



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

Επίπεδο Δικτύου: 4-31

Πόση ενταμίευση;

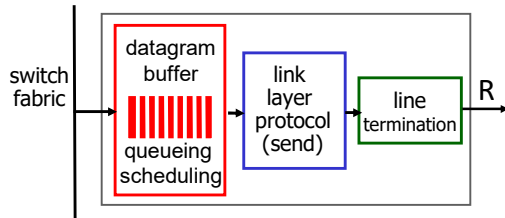
- Πρακτικός κανόνας του RFC 3439: μέση ενταμίευση ίση με το «τυπικό» RTT (π.χ. 250 msec) επί τη χωρητικότητα της ζεύξης C
 - π.χ., $C = 10 \text{ Gbps}$ ζεύξη $\rightarrow$ ενταμιευτής 2.5 Gbit
- Πρόσφατη σύσταση: με N ανεξάρτητες ροές, ενταμίευση ίση με

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

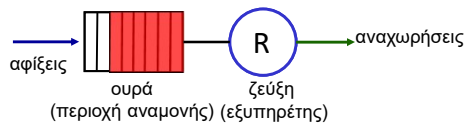
- αλλά η πολλή ενταμίευση μπορεί να αυξήσει τις καθυστερήσεις (ειδικά σε οικιακούς δρομολογητές)
 - αυξημένα RTT: χαμηλή απόδοση για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, λιγότερο ευαίσθητοι και πιο αργοί TCP αποστολείς
 - θυμηθείτε τον έλεγχο συμφόρησης με βάση την καθυστέρηση: “διατήρησε τη ζεύξη συμφόρησης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

Επίπεδο Δικτύου: 4-32

Διαχείριση ενταμίευσης (buffer)



Αναπαράσταση ουράς



- **απόρριψη (drop):** ποιο πακέτο να απορριφθεί όταν οι ενταμιευτές έχουν γεμίσει
 - **απόρριψη ουράς:** απορρίπτεται το πακέτο που φτάνει
 - **προτεραιότητα:** απόρριψη / αφαίρεση με βάση προτεραιότητες
- **ΕΤΙΚΕΤΕΣ:** ποια πακέτα να σηματοδοτούν ώστε να «δείξουν» συμφόρηση (ECN, RED)

Επίπεδο Δικτύου: 4-33

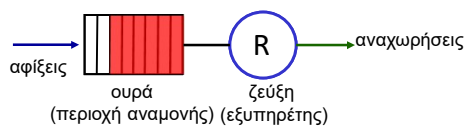
Χρονοπρογραμματισμός: Πρώτο-Μέσα-Πρώτο-Έξω FCFS

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

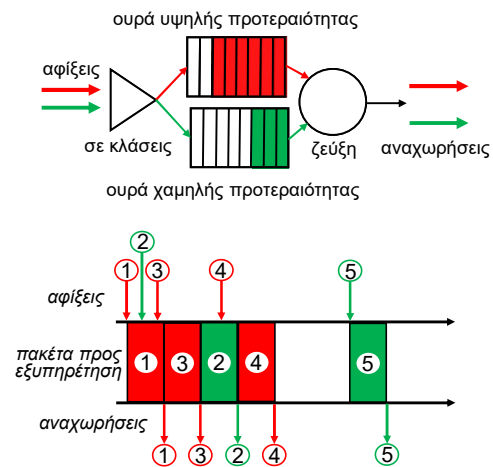


Επίπεδο Δικτύου: 4-34

Χρονοπρογραμματισμός: προτεραιότητες

Priority scheduling:

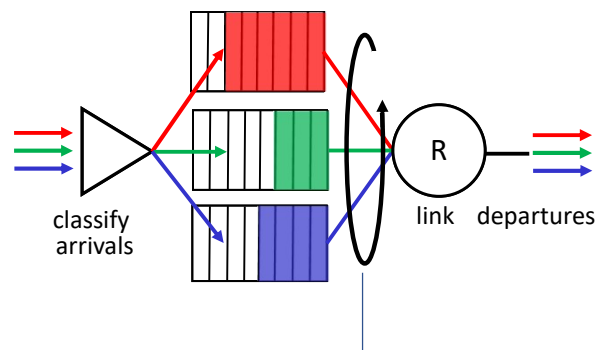
- τα πακέτα που φτάνουν ταξινομούνται με βάση μία κλάση και εισάγονται στην αντίστοιχη ουρά
 - η κλάση μπορεί να εξαρτάται από έναν δείκτη ή άλλη πληροφορία στην κεφαλίδα
- στείλει το πακέτο που αναμένει με την υψηλότερη προτεραιότητα
 - FCFS σε κάθε ουρά αναμονής (ανά κλάση)



Επίπεδο Δικτύου: 4-35

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



Επίπεδο Δικτύου: 4-36

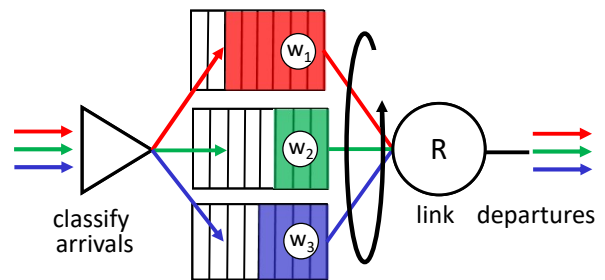
Χρονοπρογραμματισμός: Σταθμισμένη δίκαιη ουρά

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)



Επίπεδο Δικτύου: 4-37

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-38

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: 4-39

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

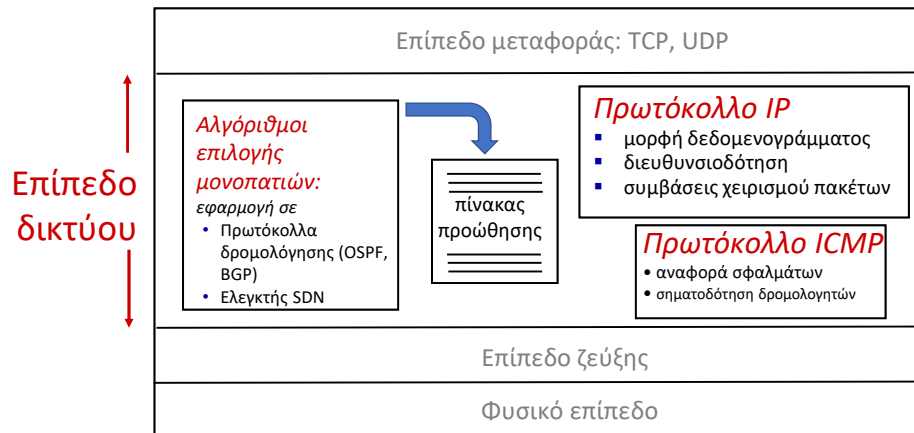
- **Ενδιάμεσα κουτιά**



Επίπεδο Δικτύου: 4-40

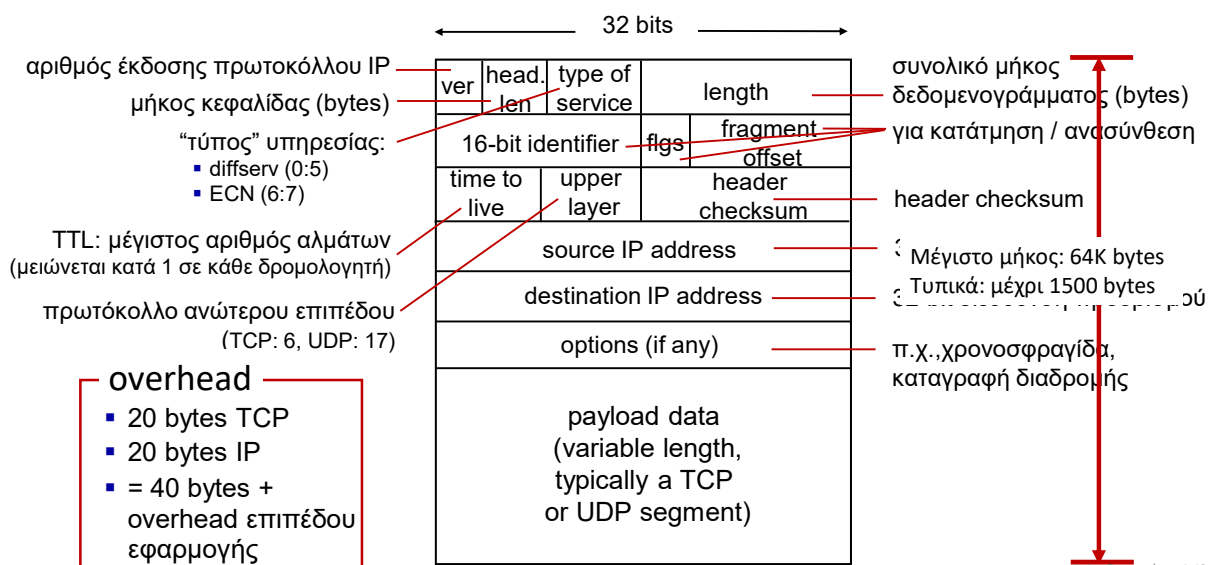
Επίπεδο δικτύου: Διαδίκτυο

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου σε υπολογιστές, δρομολογητές



Επίπεδο Δικτύου: 4-41

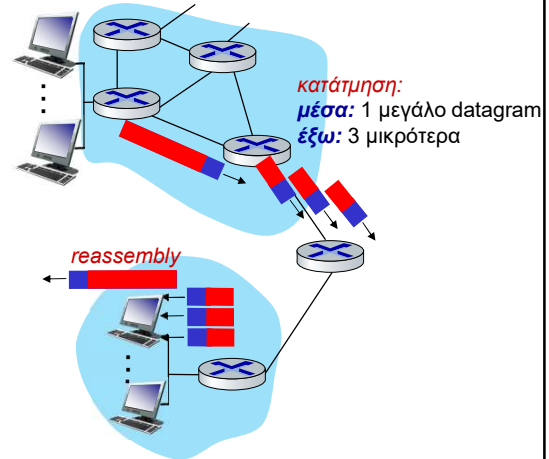
Δομή δεδομενογράμματος



Επίπεδο Δικτύου: 4-42

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



Επίπεδο Δικτύου: 4-43

Κατάτμηση και ανασύνθεση

παράδειγμα:

- δεδομένογραμμα 4000 byte
- MTU = 1500 bytes

1480 στο πεδίο
δεδομένων

Μετατόπιση (offset) =
1480/8

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

ένα μεγάλο δεδομένογραμμα γίνεται πολλά μικρότερα

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

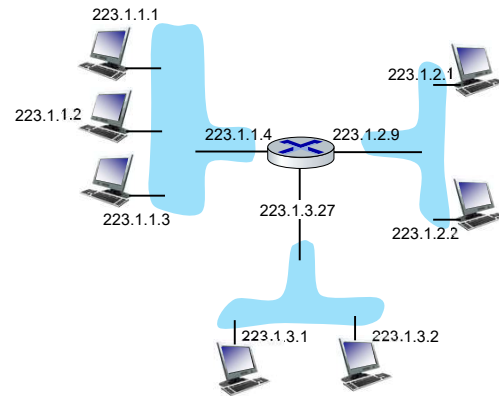
length	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=185

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-44

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-45

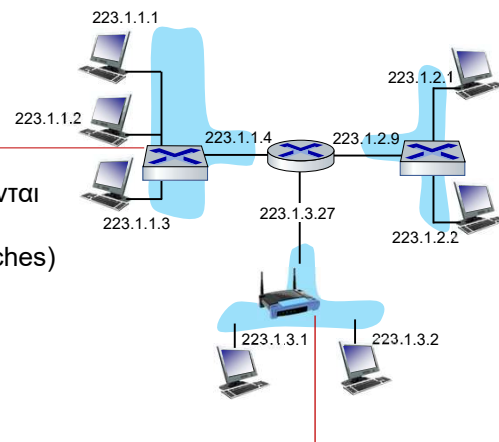
Διευθυνσιοδότηση: εισαγωγή

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-46

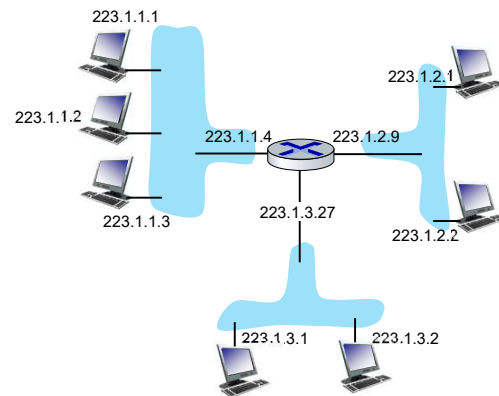
Υποδίκτυα

■ 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



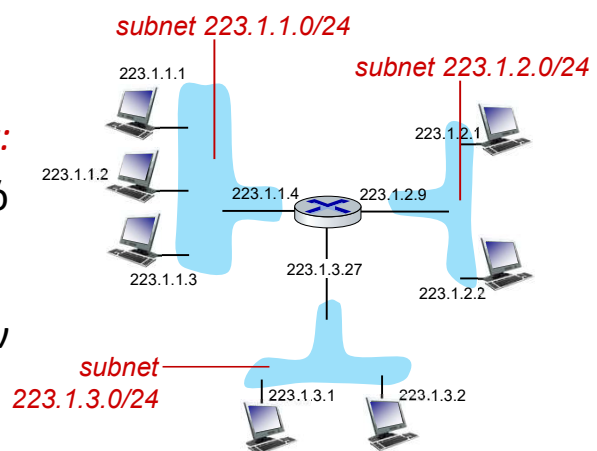
Δίκτυο που αποτελείται από 3 υποδίκτυα

Επίπεδο Δικτύου: 4-47

Υποδίκτυα

Συνταγή καθορισμού υποδικτύων:

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

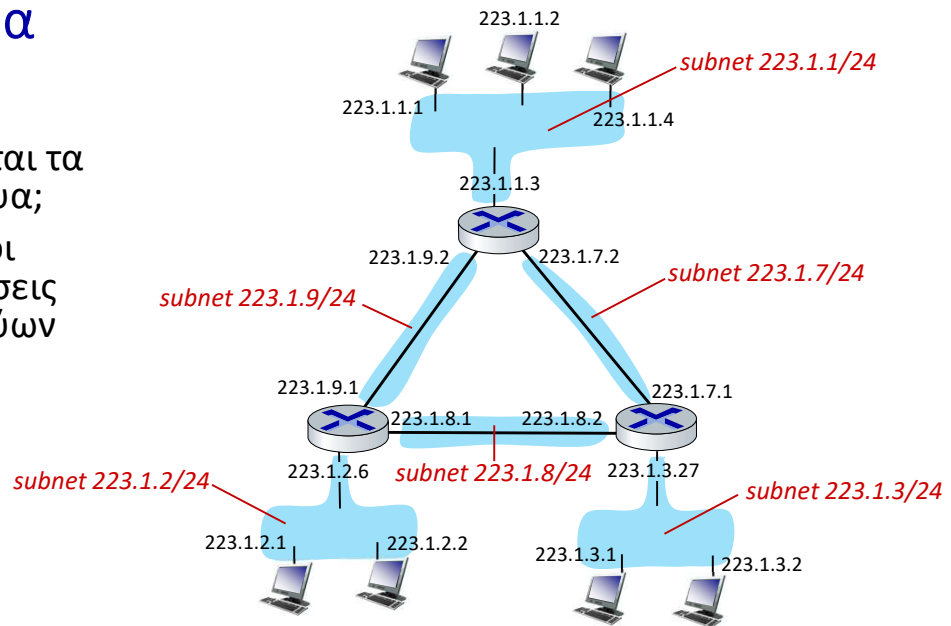


subnet mask: /24
(υψηλής τάξης 24 bits: δηλώνει το υποδίκτυο στην IP διεύθυνση)

Επίπεδο Δικτύου: 4-48

Υποδίκτυα

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



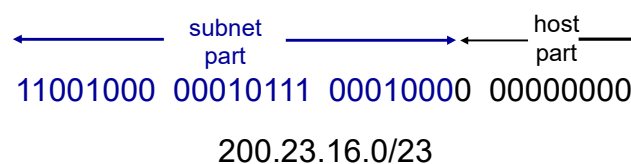
Επίπεδο Δικτύου: 4-49

Διευθυνσιοδότηση IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing ("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



Επίπεδο Δικτύου: 4-50

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: Dynamic Host Configuration Protocol**: δυναμική απόδοση διεύθυνσης από έναν εξυπηρέτη
 - “plug-and-play”

Επίπεδο Δικτύου: 4-51

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

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

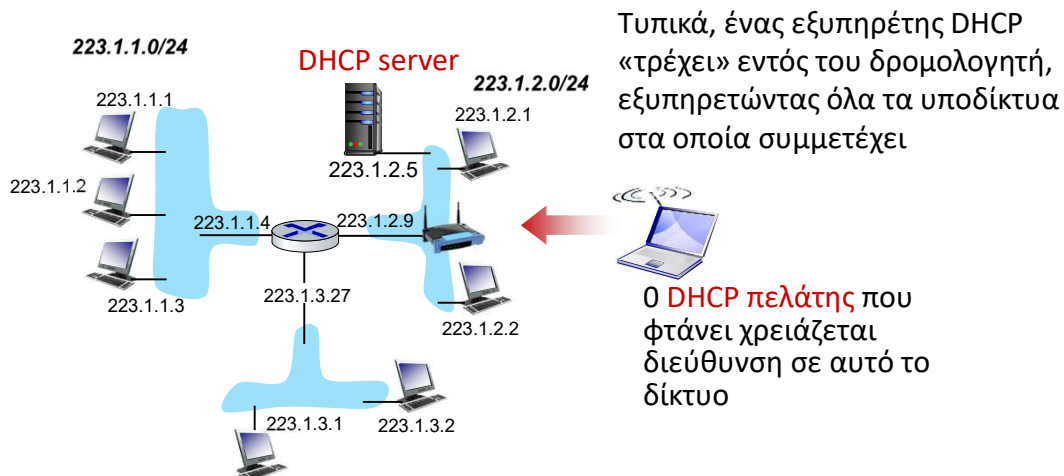
- μπορεί να ανανεώσει τη μίσθωση της διεύθυνσης που χρησιμοποιείται
- επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των διευθύνσεων (κρατά τη διεύθυνση μόνο όσο είναι συνδεδεμένος και «ενεργός»)
- υποστήριξη για κινητούς χρήστες που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο (περισσότερα σε λίγο)

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**

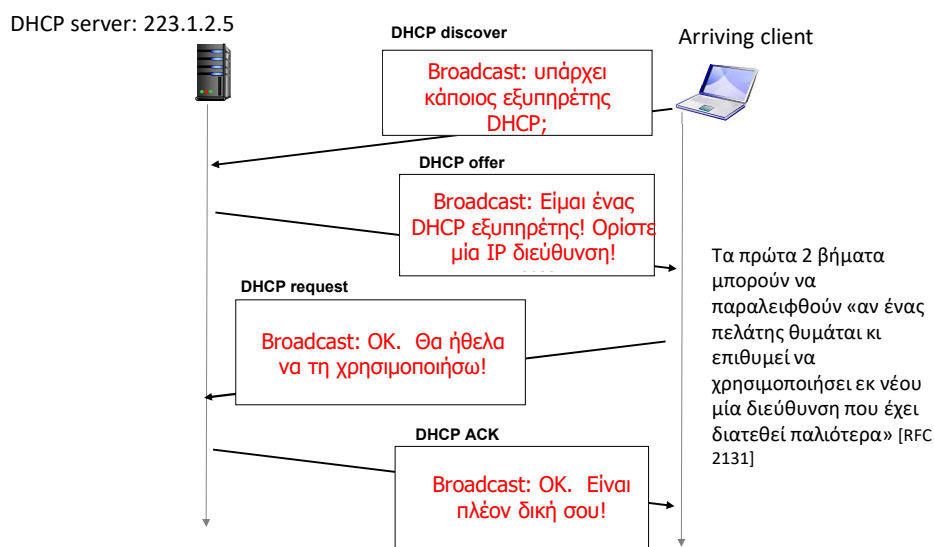
Επίπεδο Δικτύου: 4-52

Σενάριο πελάτη-εξυπηρετή DHCP



Επίπεδο Δικτύου: 4-53

DHCP client-server scenario



Επίπεδο Δικτύου: 4-54

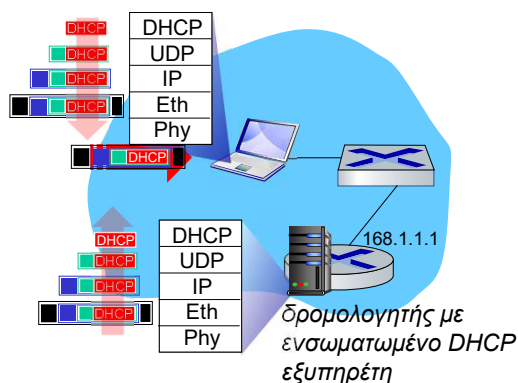
DHCP: όχι μόνο IP διευθύνσεις

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)

Επίπεδο Δικτύου: 4-55

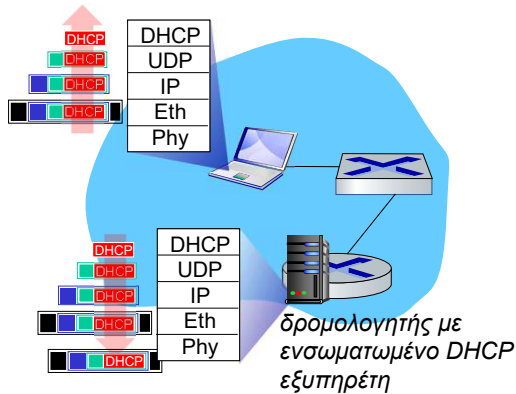
DHCP: παράδειγμα



- 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.

Επίπεδο Δικτύου: 4-56

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-57

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

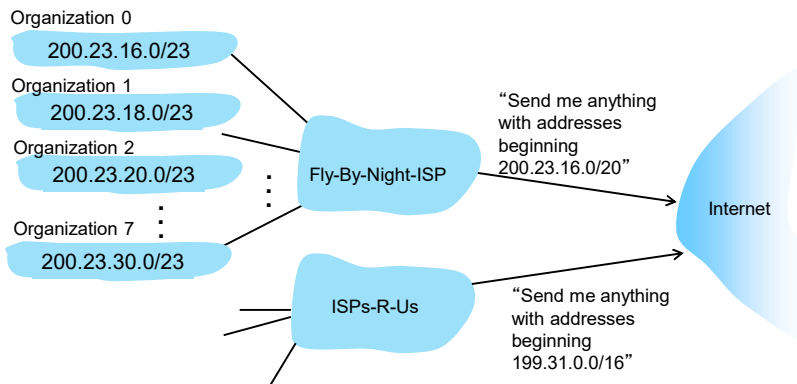
Ο ISP μπορεί έπειτα να μοιράσει ένα κομμάτι διευθύνσεων που του ανήκουν σε επιμέρους μικρότερα κομμάτια (8 blocks):

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-58

Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: συνάθροιση διαδρομών

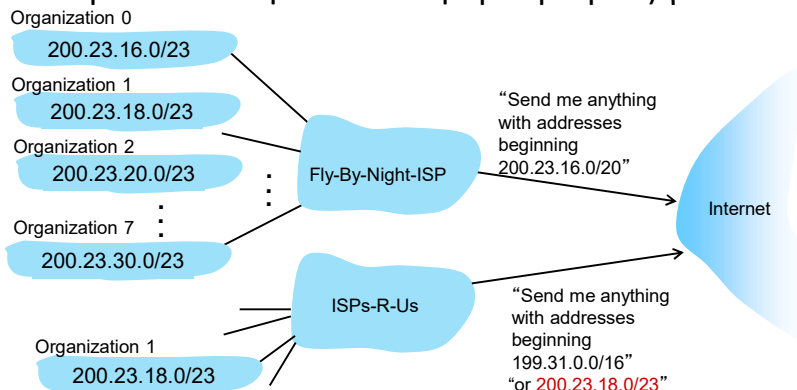
Η ιεραρχική διευθυνσιοδότηση επιτρέπει την αποδοτική διαφήμιση (advertisement) των πληροφοριών δρομολόγησης:



Επίπεδο Δικτύου: 4-59

Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση: πιο συγκεκριμένες διαδρομές

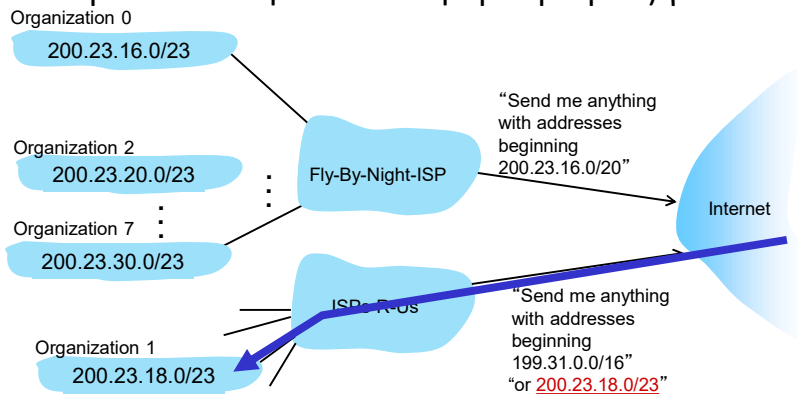
- Ο Organization 1 αλλάζει πάροχο (από Fly-By-Night-ISP σε ISPs-R-Us)
- Ο ISPs-R-Us πλέον διαφημίζει πιο συγκεκριμένη διαδρομή (ταύτιση περισσότερων bits στη διεύθυνση προορισμού) για τον Organization 1



Επίπεδο Δικτύου: 4-60

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



Επίπεδο Δικτύου: 4-61

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 εξυπηρέτες και αποδίδει ονόματα τομέων (TLD servers)

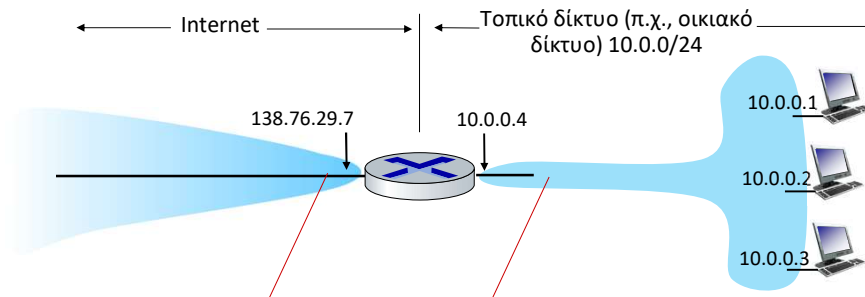
E: υπάρχουν αρκετές 32-bit IP διευθύνσεις;

- 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

Επίπεδο Δικτύου: 4-62

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)

Επίπεδο Δικτύου: 4-63

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-64

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/εξυπηρετές 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 δεδομενόγραμμα με το αντίστοιχο (IP διεύθυνση προέλευσης, # θύρας) που είναι αποθηκευμένο στον πίνακα NAT

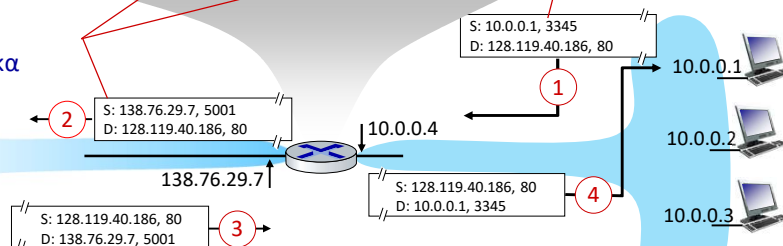
Επίπεδο Δικτύου: 4-65

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

NAT translation table	
WAN side addr	LAN side addr
138.76.29.7, 5001	10.0.0.1, 3345
.....	

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-66

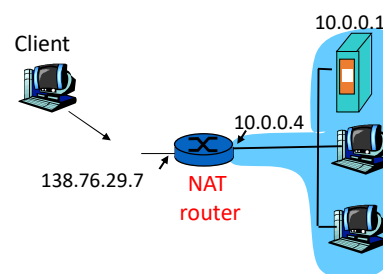
NAT: network address translation

- 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 εξυπηρετή πίσω από NAT;
- αλλά το NAT ήρθε για να μείνει:
 - εκτεταμένη χρήση σε οικιακά και ιδρυματικά δίκτυα, κυψελωτά δίκτυα 4G/5G

Επίπεδο Δικτύου: 4-67

Πρόβλημα εγκάρσιας διάβασης NAT

- Πελάτης θέλει να συνδεθεί σε εξυπηρετή με διεύθυνση 10.0.0.1
 - Η διεύθυνση του εξυπηρετή 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 εξυπηρετή
 - Π.χ., (138.76.29.7, θύρα 2500) προωθείται πάντα στο 10.0.0.1 θύρα 2500



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου

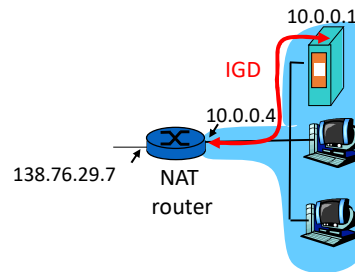
Επίπεδο Δικτύου: 4-68

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

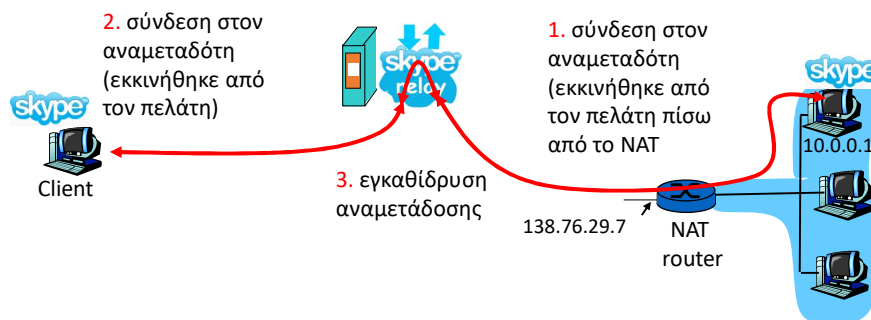


Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου

Επίπεδο Δικτύου: 4-69

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



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου

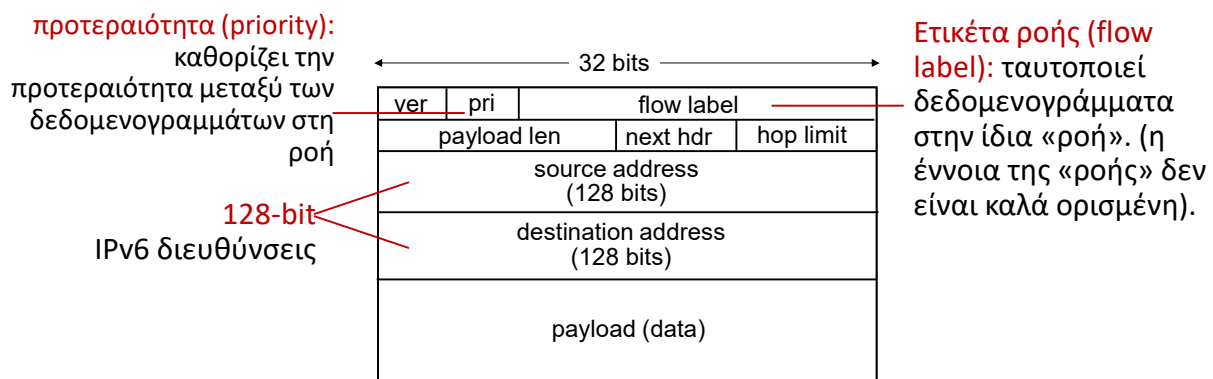
Επίπεδο Δικτύου: 4-70

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)

Επίπεδο Δικτύου: 4-71

Δομή IPv6 κεφαλίδας δεδομενογράμματος



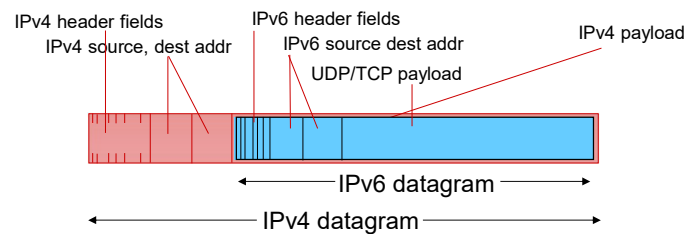
Τι λείπει σε σχέση με το IPv4:

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-72

Μετάβαση από το IPv4 στο IPv6

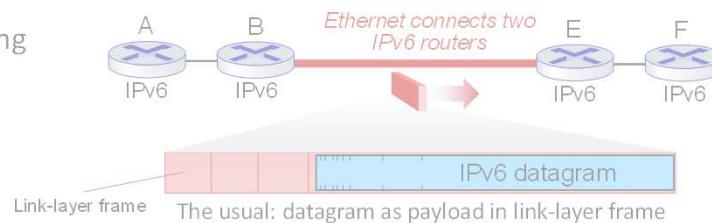
- δεν μπορούν να αναβαθμιστούν όλοι οι δρομολογητές ταυτόχρονα
 - χωρίς «ημερομηνία μετάβασης»
 - πώς θα μπορέσει να λειτουργήσει το δίκτυο με μείγμα δρομολογητών IPv4 και IPv6;
- **σηράγγωση (tunneling)**: το IPv6 δεδομένογραμμα μεταφέρεται ως *ωφέλιμο φορτίο (payload)* σε IPv4 δεδομένογραμμα μεταξύ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



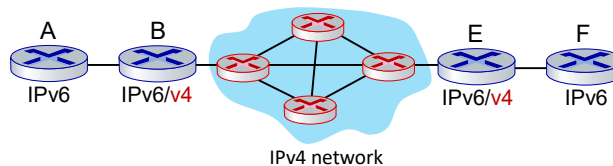
Επίπεδο Δικτύου: 4-73

Σηράγγωση (Tunneling)

Ethernet connecting two IPv6 routers:



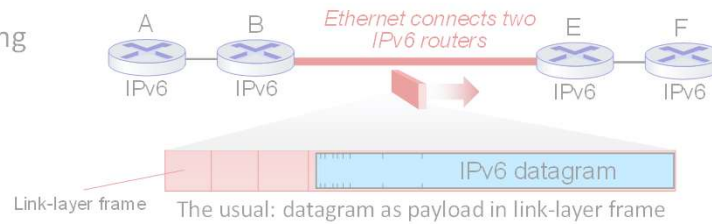
IPv4 δίκτυο
συνδέει δύο IPv6
δρομολογητές



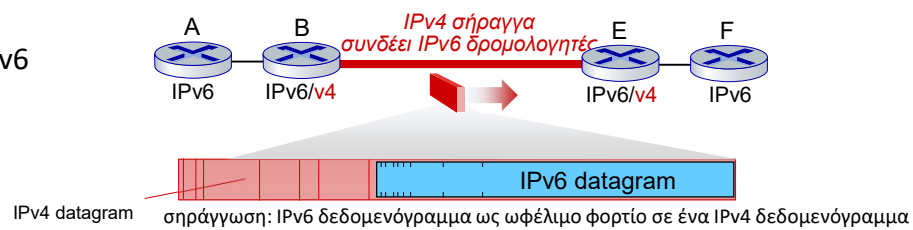
Επίπεδο Δικτύου: 4-74

Σηράγγωση (Tunneling)

Ethernet connecting two IPv6 routers:



IPv4 δίκτυο
συνδέει δύο IPv6
δρομολογητές



Επίπεδο Δικτύου: 4-75

Σηράγγωση

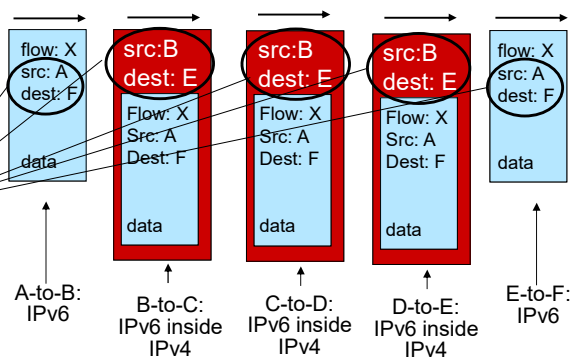
λογική όψη:



φυσική όψη:



Προσοχή στις
διευθύνσεις
προέλευσης και
προορισμού!



Επίπεδο Δικτύου: 4-76

IPv6: μετάβαση

- Google¹: ~ 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;*

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

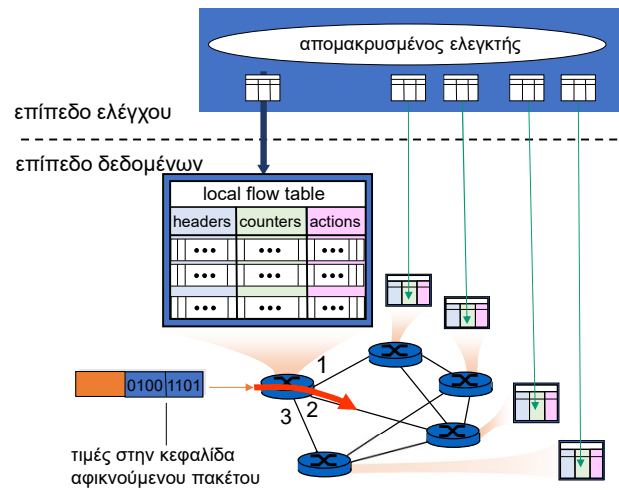
Επίπεδο δικτύου: επίπεδο δεδομένων

- 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

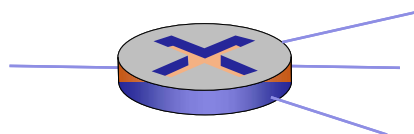
Κάθε δρομολογητής περιέχει έναν πίνακα ταιριάσματος και ενέργειας όπου ο πίνακας υπολογίζεται και ενημερώνεται από έναν απομακρυσμένο ελεγκτή



Επίπεδο Δικτύου: 4-79

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



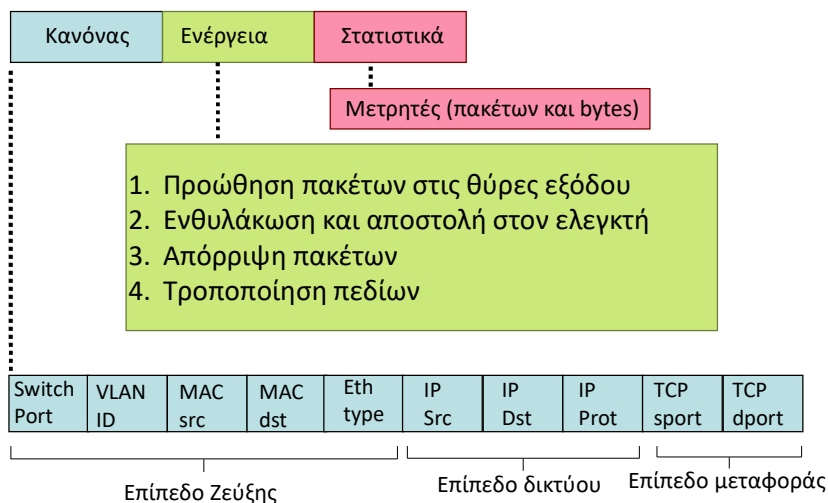
1. src=1.2.*.* , dest=3.4.5.* → απόρριψη
2. src = *.*.*.* , dest=3.4.*.* → προώθηση
3. src=10.1.2.3, dest=*.*.*.* → στον ελεγκτή

* : wildcard

Επίπεδο Δικτύου: 4-80

Πίνακας ροής

Κάθε καταχώριση μέσα στον πίνακα προώθησης, ταιριάσματος και ενέργειας.



Επίπεδο Δικτύου: 4-81

Παραδείγματα

Προώθηση 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

Επίπεδο Δικτύου: 4-82

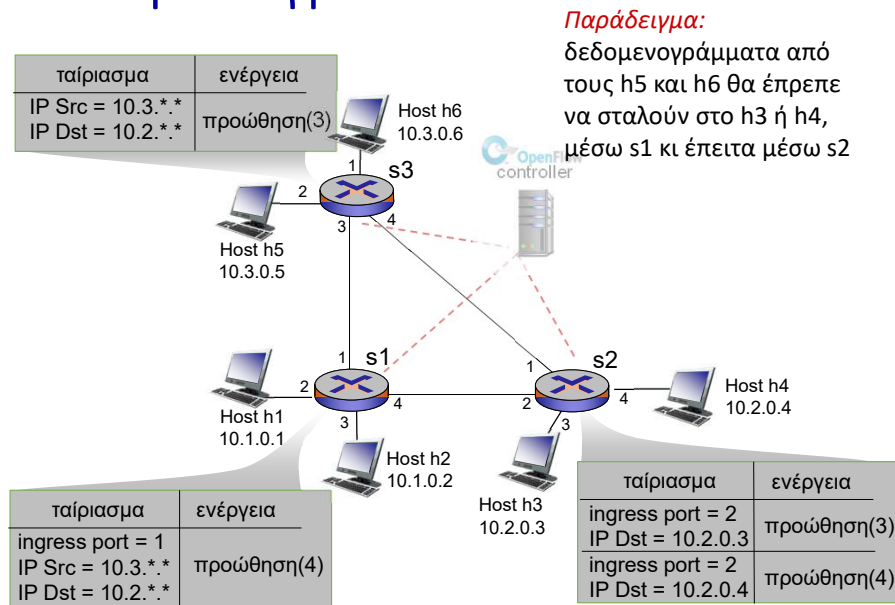
OpenFlow: Συνοπτικά

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

Επίπεδο Δικτύου: 4-83

OpenFlow παράδειγμα



Επίπεδο Δικτύου: 4-84

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: 4-85

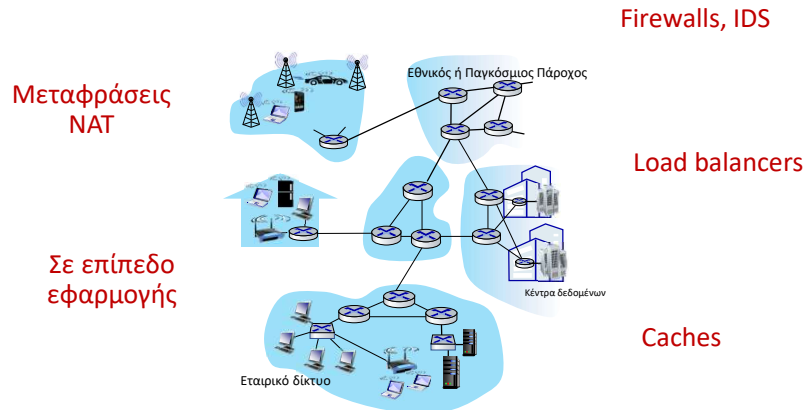
Ενδιάμεσα Κουτιά

— 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”

Επίπεδο Δικτύου: 4-86

Ενδιάμεσα Κουτιά παντού!



Επίπεδο Δικτύου: 4-87

Ενδιάμεσα Κουτιά

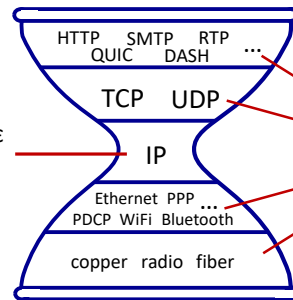
- αρχικά: ξεχωριστά εξειδικευμένα κουτιά υλικού
- κίνηση προς υλικά που βασίζονται σε κοινή στοίβα λογισμικού
- **SDN:** (σε λογικό επίπεδο) κεντριοποιημένος έλεγχος και διαχείριση ρυθμίσεων συχνά σε ιδιωτικό/δημόσιο υπολογιστικό νέφος
- **Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (network functions virtualization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

Επίπεδο Δικτύου: 4-88

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

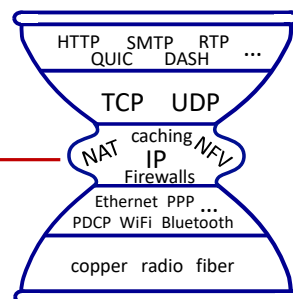


πολλά πρωτόκολλα σε φυσικό επίπεδο, επίπεδο ζεύξης, επίπεδο μεταφοράς και επίπεδο εφαρμογής

Επίπεδο Δικτύου: 4-89

Τα πρώτα χρόνια...

Αρχικά τα ενδιαμέσασα κουτιά λειτουργούσαν στο επίπεδο δικτύου



Επίπεδο Δικτύου: 4-90

Αρχές του Διαδικτύου

RFC 1958

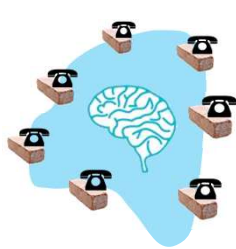
“Σε γενικές γραμμές

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

Τρεις βασικές πεποιθήσεις:

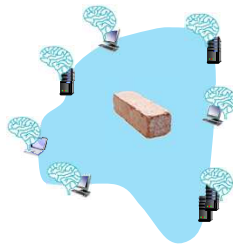
- απλή συνδεσιμότητα
- IP πρωτόκολλο: η λεπτή «μέση»
- εξυπνάδα και πολυπλοκότητα στα άκρα

Πού βρίσκεται η εξυπνάδα;



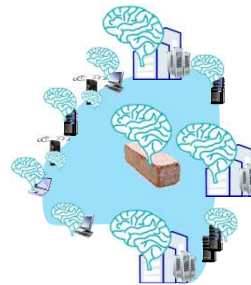
Τηλεφωνικό Δίκτυο

- 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)

