



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

Ενότητα 4: Επίπεδο Δικτύου

-Επίπεδο δεδομένων

Διδάσκων: Νάσος Βάιος

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Εθνικό & Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

ΘΕ1: Εισαγωγή
(Κεφ. 1 του βιβλίου)

ΘΕ2: Επίπεδο Εφαρμογής
(Κεφ. 2 του βιβλίου)

ΘΕ3: Επίπεδο Μεταφοράς
(Κεφ. 3 του βιβλίου)

ΘΕ4: Επίπεδο Δικτύου
Επίπεδο Δεδομένων (Κεφ. 4 του βιβλίου)
Επίπεδο Ελέγχου (Κεφ. 5 του βιβλίου)

Συνιστώμενο Βιβλίο:
Computer Networking: A Top-Down
Approach, by Kurose & Ross,
Addison-Wesley, 8^η Έκδοση

Ελληνική Μετάφραση:
Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας



Οι περισσότερες από τις διαφάνειες αυτής της ενότητας αποτελούν προσαρμογή και απόδοση στα ελληνικά των διαφανείων που συνοδεύουν το βιβλίο Computer Networking: A Top-Down Approach, J.F. Kurose and K.W. Ross, 8/E, Addison-Wesley.

All material copyright 1996-2020
J.F. Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

Στόχοι κεφαλαίου:

- Κατανόηση των βασικών αρχών πίσω από τις υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου:
 - Μοντέλα υπηρεσιών του επιπέδου δικτύου
 - Προώθηση vs δρομολόγηση (forwarding vs routing)
 - Πως δουλεύει ένας δρομολογητής (router)
 - Γενικευμένη προώθηση
 - Αρχιτεκτονική Διαδικτύου
- πραγμάτωση, υλοποίηση στο Διαδίκτυο
 - Πρωτόκολλο IP
 - Πρωτόκολλο DHCP, NAT, ενδιάμεσα κουτιά

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-3

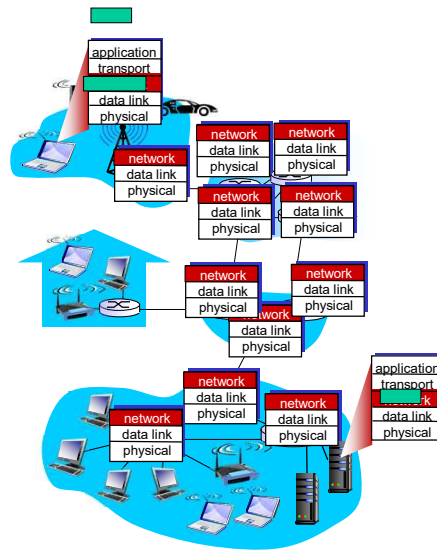
Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

- | | |
|---|---|
| 4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου | 4.4 Γενικευμένη προώθηση και SDN <ul style="list-style-type: none">▪ Ταίριασμα▪ Ενέργεια▪ Παραδείγματα (Openflow) |
| 4.2 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή | |
| 4.3 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol) <ul style="list-style-type: none">▪ Μορφή δεδομενογράματος IPv4▪ Κατάτμηση δεδομενογράματος IPv4▪ Διευθυνσιοδότηση IPv4▪ DHCP▪ Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)▪ IPv6 | 4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά (Middleboxes) |

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-4

Επίπεδο Δικτύου

- ❑ Μεταφορά τμήματος από τον υπολογιστή αποστολέα στον υπολογιστή δέκτη
- ❑ Στην πλευρά αποστολής ενθυλακώνει τα τμήματα σε datagrams (δεδομενογράμματα)
- ❑ Στην πλευρά του δέκτη, παραδίδει τα τμήματα στο επίπεδο μεταφοράς
- ❑ Πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου σε **κάθε** υπολογιστή, δρομολογητή
- ❑ **Ο δρομολογητής:**
 - ❑ εξετάζει πεδία της κεφαλίδας όλων των IP datagrams που περνούν από αυτόν
 - ❑ μετακινεί τα δεδομενογράμματα από τις θύρες εισόδου στις θύρες εξόδου ώστε να τα μεταφέρει προς τον τελικό προορισμό



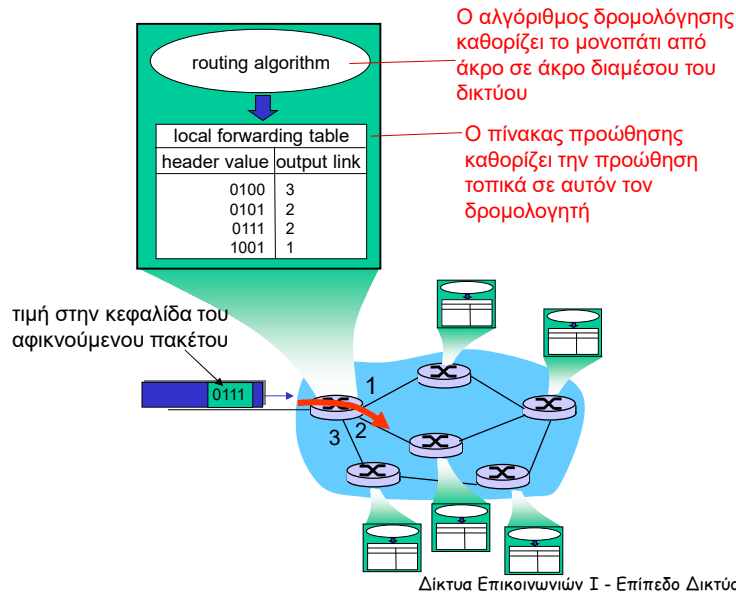
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-5

Δύο λειτουργίες κλειδιά του επιπέδου δικτύου

- ❑ **Προώθηση (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:**
 - ❑ **δρομολόγηση:** διαδικασία σχεδιασμού ταξιδιού από την προέλευση στον προορισμό
 - ❑ **προώθηση:** διαδικασία περάσματος από έναν κυκλικό κόμβο

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-6

Αλληλεπίδραση μεταξύ δρομολόγησης και προώθησης



Επίπεδο δεδομένων - Επίπεδο ελέγχου

Επίπεδο δεδομένων

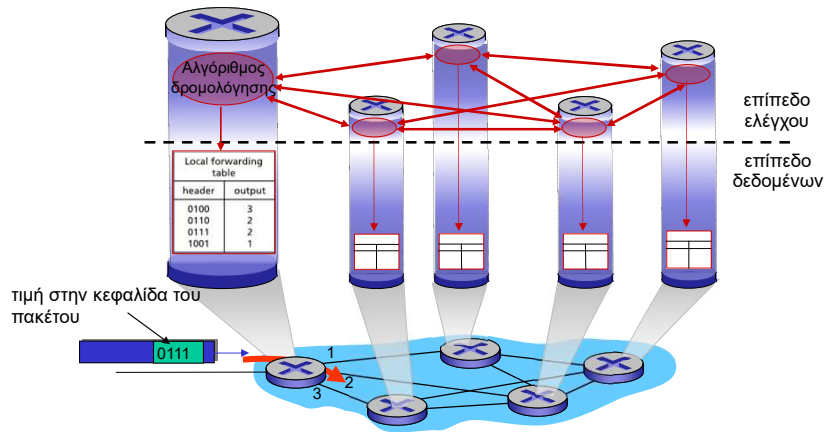
- τοπική λειτουργία, ανά δρομολογητή
- αποφασίζει πώς ένα αφικνούμενο δεδομένογραμμα σε μία θύρα εισόδου προωθείται σε μία θύρα εξόδου
- λειτουργία προώθησης

Επίπεδο ελέγχου

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

Επίπεδο ελέγχου ανά δρομολογητή

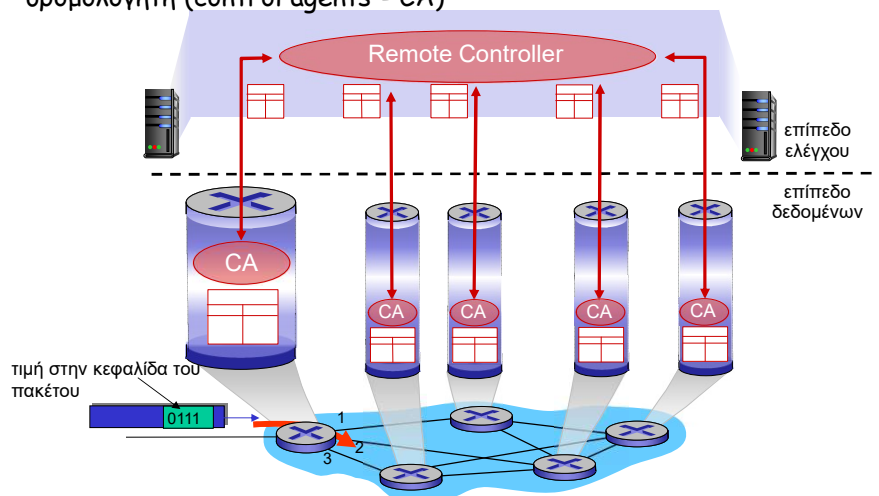
Κάθε δρομολογητής τρέχει έναν αλγόριθμο δρομολόγησης



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-9

Κεντριοποιημένο επίπεδο ελέγχου

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



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-10

Μοντέλο υπηρεσιών δικτύου

Ε: Ποιό *μοντέλο υπηρεσίας* για το «κάναλι» που μεταφέρει datagrams από τον αποστολέα στο δέκτη?

Παράδειγμα υπηρεσιών για ξεχωριστά datagrams:

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

Παράδειγμα υπηρεσιών για ροή datagrams:

- Σε σειρά παράδοση των datagrams
- Εγγυημένο ελάχιστο εύρος ζώνης στη ροή
- Περιορισμοί στις αλλαγές των αποστάσεων των πακέτων

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - 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...)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-12

Υπηρεσία επιπέδου δικτύου με & χωρίς σύνδεση

- ❑ Το δίκτυο datagram παρέχει υπηρεσία επιπέδου δικτύου χωρίς σύνδεση
- ❑ Το δίκτυο εικονικού κυκλώματος (Virtual Circuit -VC) παρέχει υπηρεσία επιπέδου δικτύου με σύνδεση
- ❑ Ανάλογο με τις υπηρεσίες επιπέδου μεταφοράς, αλλά
 - ❑ **υπηρεσία:** υπολογιστής-προς-υπολογιστή (host-to-host)
 - ❑ **χωρίς επιλογή:** το δίκτυο παρέχει τη μία ή την άλλη
 - ❑ **υλοποίηση:** στον πυρήνα του δικτύου

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-13

Δημιουργία σύνδεσης

- ❑ Η 3^η σημαντική λειτουργία σε ορισμένες δικτυακές αρχιτεκτονικές:
 - ❑ ATM, frame relay, X.25
- ❑ Πριν τη ροή των datagrams, οι δύο τερματικοί υπολογιστές και οι δρομολογητές που μεσολαβούν εγκαθιστούν εικονική σύνδεση
 - ❑ συμμετέχουν οι δρομολογητές
- ❑ Υπηρεσία σύνδεσης επιπέδου δικτύου έναντι μεταφοράς:
 - ❑ **δικτύου:** μεταξύ δύο υπολογιστών (μπορεί επίσης να συμμετέχουν δρομολογητές που μεσολαβούν στην περίπτωση των εικονικών κυκλωμάτων (VCs))
 - ❑ **μεταφοράς:** μεταξύ δύο διεργασιών

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-14

Εικονικά κυκλώματα (Virtual circuits)

“Η διαδρομή από την προέλευση στον προορισμό συμπεριφέρεται αρκετά σαν τηλεφωνικό κύκλωμα”

- ως προς την απόδοση
 - ενέργειες του δικτύου κατά μήκος της διαδρομής από την προέλευση στον προορισμό
-
- Εγκαθίδρυση και τερματισμός για κάθε κλήση πριν τα δεδομένα αρχίσουν να ρέουν
 - Κάθε πακέτο φέρει αναγνωριστικό του VC (όχι τη διεύθυνση του υπολογιστή προορισμού)
 - Κάθε δρομολογητής στη διαδρομή προέλευσης-προορισμού διατηρεί «κατάσταση» για κάθε σύνδεση που περνά
 - Οι πόροι ζεύξης, δρομολογητή (εύρος ζώνης, ενταμιευτές) μπορούν να αποδοθούν σε VC (αποκλειστικοί πόροι = προβλέψιμη υπηρεσία)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-15

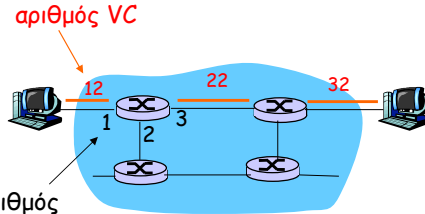
Υλοποίηση VC

Ένα VC αποτελείται από

1. **διαδρομή** από την προέλευση στον προορισμό
 2. **αριθμούς VC**, ένας αριθμός για κάθε ζεύξη κατά μήκος της διαδρομής
 3. **καταχωρίσεις σε πίνακες προώθησης** στους δρομολογητές κατά μήκος της διαδρομής
-
- Το πακέτο που ανήκει στο VC φέρει τον αριθμό του VC (αντί για διεύθυνση προορισμού)
 - Ο αριθμός VC ενδέχεται να αλλάζει σε κάθε ζεύξη.
 - Ο νέος αριθμός VC προέρχεται από τον πίνακα προώθησης

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-16

Πίνακας προώθησης



Πίνακας προώθησης στον
πάνω αριστερά δρομολογητή:

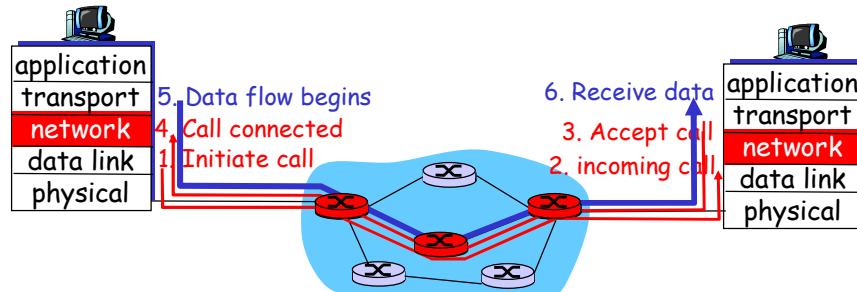
Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Οι δρομολογητές διατηρούν πληροφορίες κατάστασης σύνδεσης!

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-17

Εικονικά κυκλώματα: πρωτόκολλα σηματοδοσίας

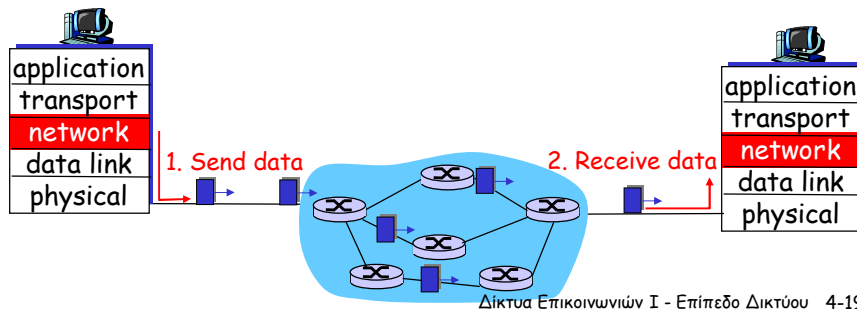
- ❑ Χρησιμοποιούνται για την εγκαθίδρυση, συντήρηση και τερματισμό του VC
- ❑ Χρησιμοποιούνται στα ATM, frame-relay, X.25
- ❑ Δε χρησιμοποιούνται στο σημερινό Διαδίκτυο



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-18

Δίκτυα Δεδομενογράμματος (Datagram)

- Χωρίς εγκαθίδρυση κλήσης στο επίπεδο δικτύου
- δρομολογητές: χωρίς κατάσταση για τις από-άκρο-σε-άκρο συνδέσεις
 - Χωρίς την έννοια της «σύνδεσης» στο επίπεδο δικτύου
- Τα πακέτα προωθούνται χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση του υπολογιστή προορισμού
 - Τα πακέτα μεταξύ του ίδιου ζεύγους προέλευσης προορισμού ενδέχεται να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές



Δίκτυο datagram ή VC: Γιατί;

Διαδίκτυο (datagram)

- Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ υπολογιστών
 - "ελαστική" υπηρεσία, χωρίς αυστηρές χρονικές απαιτήσεις
- "Εξυπνα" τερματικά συστήματα (υπολογιστές)
 - Μπορούν να προσαρμόζονται, να επιτελούν έλεγχο, διόρθωση σφαλμάτων
 - **Απλό εντός του δικτύου, πολυπλοκότητα στα "άκρα"**
- Πολλά είδη ζεύξεων
 - Διαφορετικά χαρακτηριστικά
 - Δύσκολα ομοιόμορφη υπηρεσία

ATM (VC)

- Εξελίχθηκε από την τηλεφωνία
- Ανθρώπινες συζητήσεις:
 - Αυστηρές χρονικές απαιτήσεις, απαιτήσεις αξιοπιστίας
 - Ανάγκη για εγγυημένη υπηρεσία
- "Χαζά" τερματικά συστήματα
 - Τηλέφωνα
 - **Πολυπλοκότητα εντός του δικτύου**

Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου

4.2 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

4.3 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράματος IPv4
- Κατάτμηση δεδομενογράματος IPv4
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)
- IPv6

4.4 Γενικευμένη προώθηση και SDN

- Ταίριασμα
- Ενέργεια
- Παραδείγματα (Openflow)

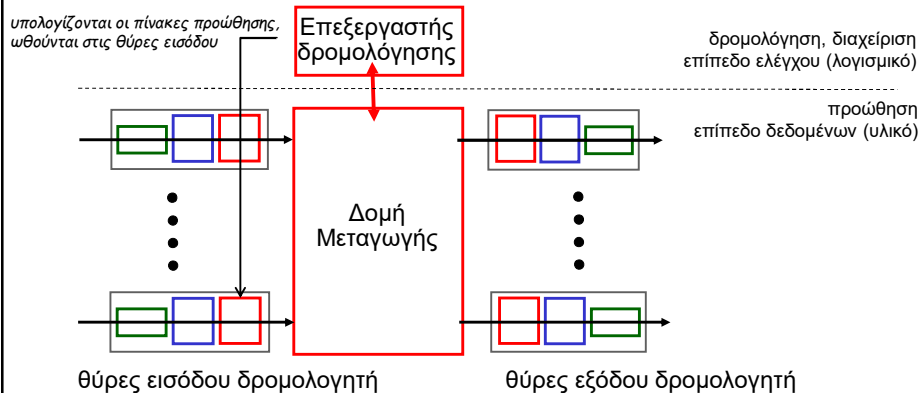
4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά (Middleboxes)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-21

Επισκόπηση αρχιτεκτονικής δρομολογητή

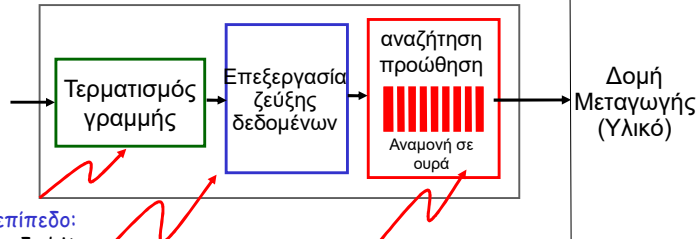
Δύο βασικές λειτουργίες του δρομολογητή:

- Εκτέλεση αλγορίθμων/πρωτοκόλλων δρομολόγησης (RIP, OSPF, BGP)
- Προώθηση datagrams από εισερχόμενη σε εξερχόμενη ζεύξη



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-22

Λειτουργίες Θύρας εισόδου



Φυσικό επίπεδο:
Λήψη σε επίπεδο bit

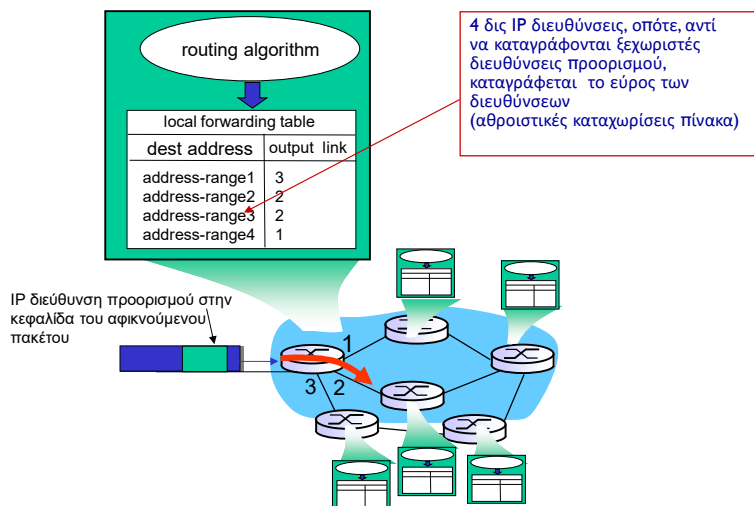
Επίπεδο ζεύξης δεδομένων:
π.χ., Ethernet
βλ. Κεφάλαιο 6

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 βάσει προορισμού
 - προώθηση γενικευμένη
- Σκοπός: ολοκλήρωση της επεξεργασίας της θύρας εισόδου με «ταχύτητα γραμμής» ('line speed')
- Αναμονή: αν τα datagrams φτάνουν ταχύτερα από το ρυθμό προώθησης στο δόμημα μεταγωγής

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-23

Πίνακας Προώθησης Δεδομενογραμμάτων



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-24

Πίνακας προώθησης

4 δισεκατομμύρια
πιθανές καταχωρίσεις

Εύρος διευθύνσεων προορισμού	Διεπαφή Ζεύξης
11001000 00010111 00010000 00000000 έως 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 έως 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 έως 11001000 00010111 00011111 11111111	2
διαφορετικά	3

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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-25

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

DA: 11001000 00010111 0001**0110 10100001** Ποιά διεπαφή;

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-26

Ταίριασμα μεγαλύτερου προθέματος (Longest prefix matching)

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

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

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

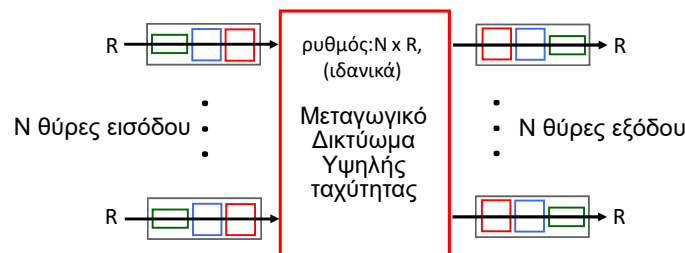
Παράδειγμα

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010 Ποιά διεπαφή;

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-27

Τύποι δομήματος μεταγωγής

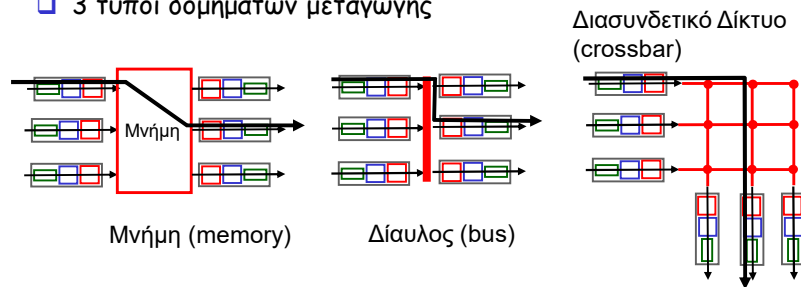
- ❑ Μεταφορά πακέτου από τον ενταμιευτή (buffer) εισόδου στον κατάλληλο ενταμιευτή εξόδου
- ❑ Ρυθμός μεταγωγής: ρυθμός στον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταφερθούν από τις εισόδους στις εξόδους
 - συχνά μετριέται ως πολλαπλάσιο του ρυθμού εισόδου/εξόδου της γραμμής
 - N εισοδοί: ρυθμός μεταγωγής N φορές ο επιθυμητός ρυθμός της



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-28

Τύποι δομήματος μεταγωγής

- ❑ Μεταφορά πακέτου από τον ενταμιευτή (buffer) εισόδου στον κατάλληλο ενταμιευτή 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 εισόδοι: ρυθμός μεταγωγής N φορές ο επιθυμητός ρυθμός της γραμμής
- ❑ 3 τύποι δομημάτων μεταγωγής

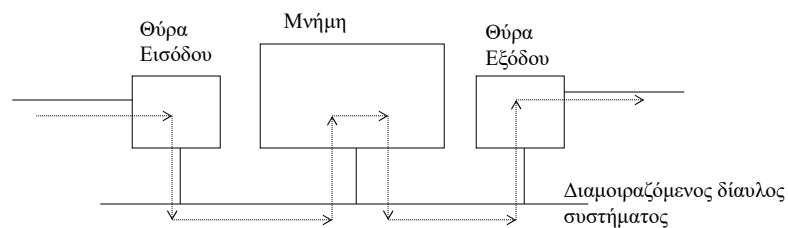


Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-29

Μεταγωγή μέσω μνήμης

Δρομολογητές πρώτης γενιάς:

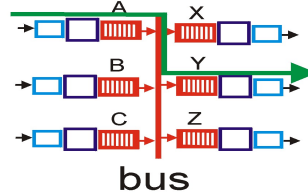
- ❑ παραδοσιακοί υπολογιστές με μεταγωγή υπό τον άμεσο έλεγχο της CPU
- ❑ το πακέτο αντιγράφεται στη μνήμη του συστήματος
- ❑ η ταχύτητα περιορίζεται από το εύρος ζώνης της μνήμης (2 διασχίσεις του διαύλου ανά datagram)



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-30

Μεταγωγή μέσω διαύλου

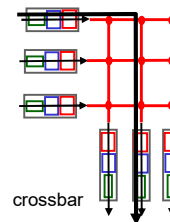
- ❑ Το datagram από τη θύρα εισόδου της μνήμης στη θύρα εξόδου της μνήμης μέσω διαμοιραζόμενου διαύλου (bus)
- ❑ **Ανταγωνισμός διαύλου:** η ταχύτητα μεταγωγής περιορίζεται από το εύρος ζώνης του διαύλου
- ❑ Διαύλος 32 Gbps, Cisco 5600: επαρκής ταχύτητα για δρομολογητές πρόσβασης και εταιρικούς δρομολογητές



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-31

Μεταγωγή μέσω δικτύου διασύνδεσης

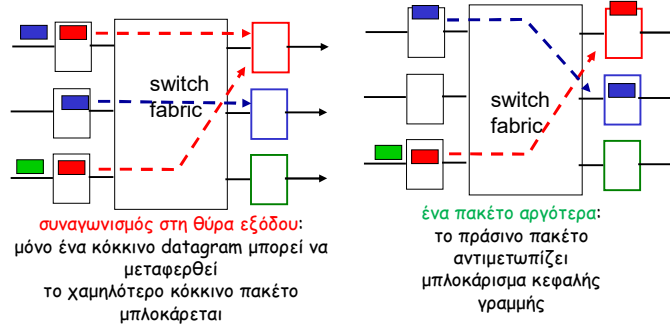
- ❑ Ξεπερνά τους περιορισμούς εύρους ζώνης του διαύλου
- ❑ Δίκτυα Banyan, crossbar δίκτυα, άλλα δίκτυα διασύνδεσης που αρχικά αναπτύχθηκαν για τη διασύνδεση επεξεργαστών σε πολυεπεξεργαστικά συστήματα
- ❑ Προηγμένη σχεδίαση: κατάτμηση του datagram σε σταθερού μήκους κελιά (cells), μεταγωγή των κελιών διαμέσω του δομήματος
- ❑ Cisco 12000: μεταγεί 60 Gbps μέσω του δικτύου διασύνδεσης



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-32

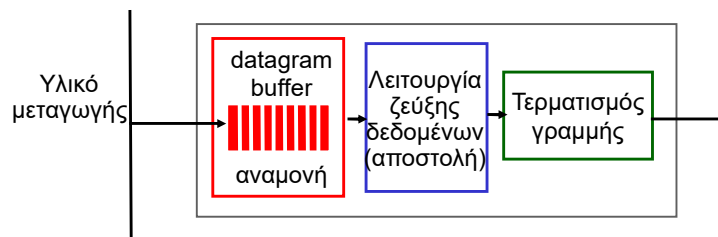
Ενταμίευση στη θύρα εισόδου

- Το δόμημα μεταγωγής πιο αργό από το συνδυασμό των θυρών εισόδου → ενδέχεται να εμφανιστεί αναμονή στις ουρές εισόδου
 - Καθυστέρηση αναμονής και απώλειες λόγω υπερχειλίσσης του ενταμιευτή της θύρας εισόδου!
- Μπλοκάρισμα κεφαλής γραμμής (Head-of-the-Line (HOL) blocking): ενταμιευμένο datagram στην κορυφή της ουράς εμποδίζει άλλα datagrams από το να προωθηθούν



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-33

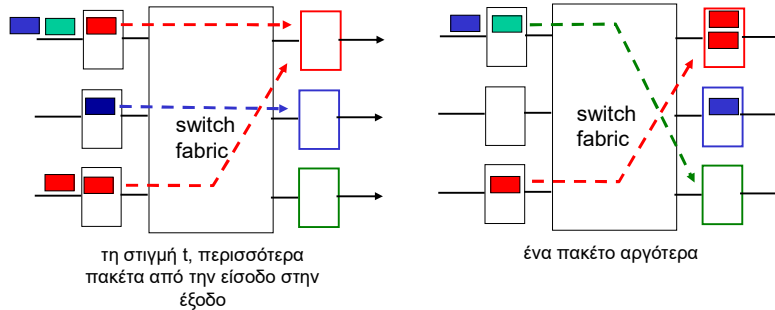
Θύρες εξόδου



- Απαιτείται **ενταμίευση (buffering)** όταν τα datagrams φτάνουν από το δόμημα μεταγωγής ταχύτερα από το ρυθμό μετάδοσης. **Πολιτική απόρριψης:** ποια πακέτα να απορρίψω; → Απώλειες λόγω συμφόρησης
- Η **πολιτική χρονοπρογραμματισμού (scheduling discipline)** επιλέγει κάποιο από τα ενταμιευμένα datagrams για μετάδοση → **Πολιτική προτεραιοτήτων** - ποιος λαμβάνει την καλύτερη απόδοση, ουδετερότητα Διαδικτύου

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-34

Ενταμίευση στη Θύρα εξόδου



- Ενταμίευση απαιτείται όταν ο ρυθμός άφιξης μέσω του μεταγωγού υπερβαίνει την ταχύτητα της γραμμής εξόδου
- *Καθυστέρηση αναμονής και απώλειες λόγω υπερχειλίσου του ενταμιευτή της θύρας εξόδου!*

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-35

Πόση ενταμίευση;

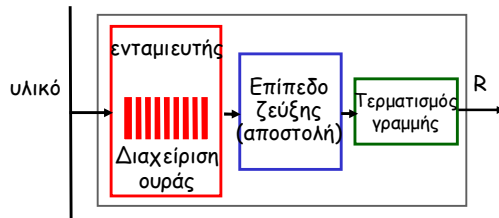
- Πρακτικός κανόνας του RFC 3439: μέση ενταμίευση ίση με το «τυπικό» RTT (π.χ. 250 msec) επί τη χωρητικότητα της ζεύξης C
 - π.χ., $C = 10 \text{ Gbps}$ ζεύξη : ενταμιευτής 2.5 Gbit
- Πρόσφατη σύσταση: με N ανεξάρτητες ροές, ενταμίευση ίση με

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

- Περισσότερη ενταμίευση μειώνει την καθυστέρηση;

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-36

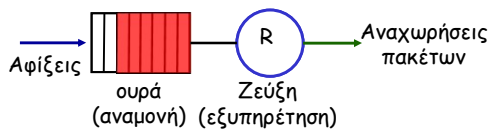
Διαχείριση ενταμιευτή (buffer)



Απόρριψη: ποιο πακέτο να προστεθεί, να απορριφθεί όταν οι ενταμιευτές έχουν γεμίσει

- **Απόρριψη ουράς:** απορρίπτεται το πακέτο που φτάνει
- **Προτεραιότητα:** απόρριψη/αφαίρεση με βάση προτεραιότητες

Αναμονή



Ετικέτες: ποια πακέτα να σημαδευτούν ώστε να «δείξουν» συμφόρηση (ECN, RED)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-37

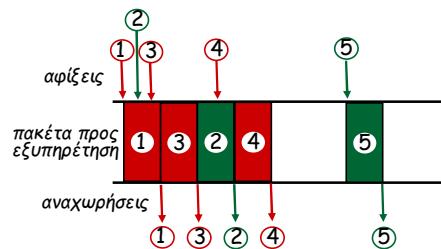
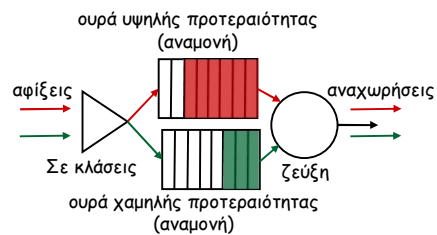
Χρονοπρογραμματισμός: Προτεραιότητες

priority scheduling:

στείλε το πακέτο που αναμένει με την υψηλότερη προτεραιότητα

- Πολλαπλές κλάσεις, με διαφορετικές προτεραιότητες

- η κλάση μπορεί να εξαρτάται από έναν δείκτη ή άλλη πληροφορία στην κεφαλίδα

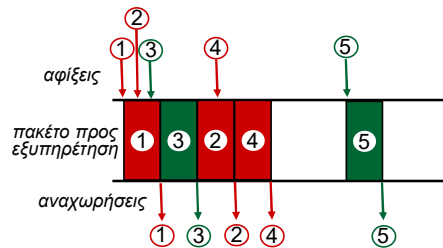


Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-38

Χρονοπρογραμματισμός ...

Round Robin (RR) scheduling:

- πολλαπλές κλάσεις
- σκάνανε κυκλικά τις ουρές των κλάσεων, και στείλει ένα ολόκληρο πακέτο από κάθε κλάση (αν υπάρχει στην ουρά)

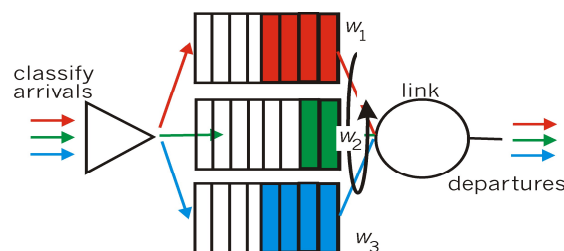


Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-39

Χρονοπρογραμματισμός...

Σταθμικά δίκαιη αναμονή - Weighted Fair Queuing (WFQ):

- γενικευμένος Round Robin
- κάθε κλάση εξυπηρετείται σε κάθε κύκλο ανάλογα με μια στάθμη



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-40

Ουδετερότητα δικτύου

- **Σε τεχνικό επίπεδο:**
Πώς ένας πάροχος μπορεί να μοιράσει/διαθέσει τους πόρους του.
 - Χρονοπρογραμματισμός πακέτων, διαχείριση ενταμιευτή.
- **Κοινωνικές, οικονομικές αρχές:**
 - Προστασία ελεύθερου λόγου
 - Ενθάρρυνση καινοτομίας, συναγωνισμού
- **Νομικές αποφάσεις και πολιτικές**

Διαφορετικές «αναγνώσεις» και πρακτικές σε διαφορετικές χώρες

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-41

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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-42

Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου

4.2 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

4.3 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράματος IPv4
- Κατάτμηση δεδομενογράματος IPv4
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)
- DHCP
- IPv6

4.4 Γενικευμένη προώθηση και SDN

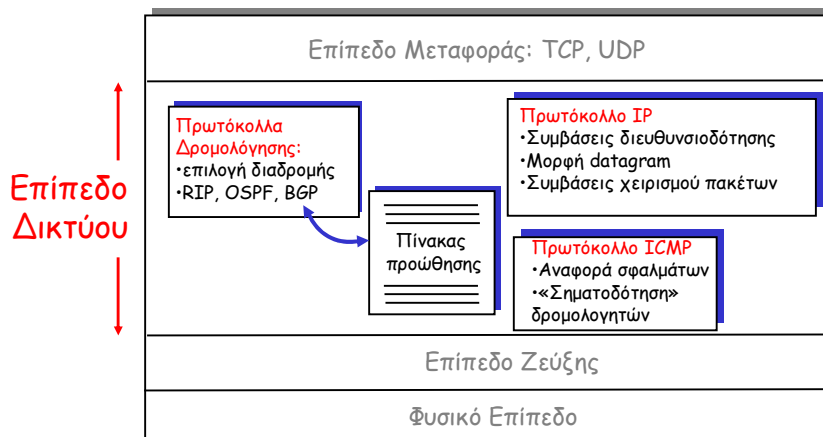
- Ταίριασμα
- Ενέργεια
- Παραδείγματα (Openflow)

4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά (Middleboxes)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-43

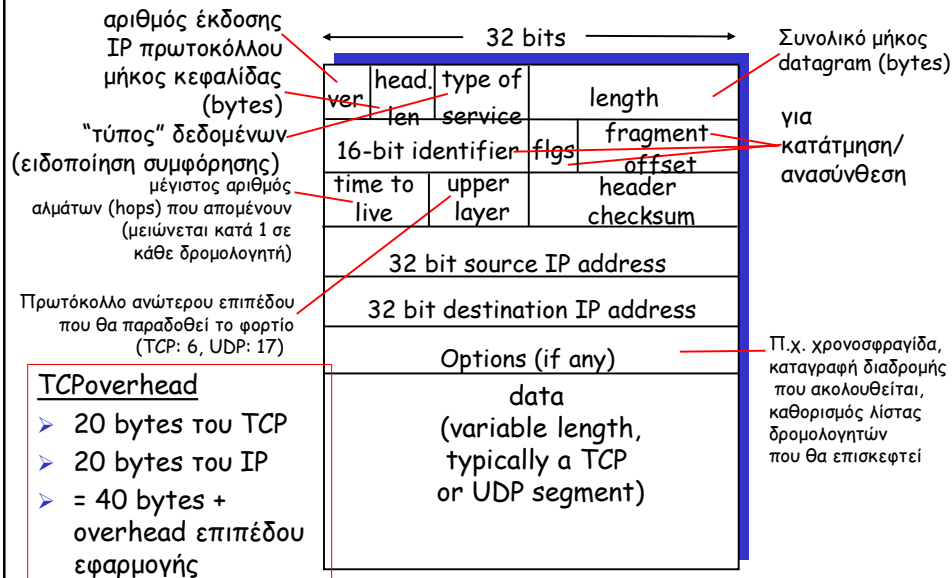
Το επίπεδο δικτύου του Διαδικτύου

Λειτουργίες επιπέδου δικτύου υπολογιστή, δρομολογητή:



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-44

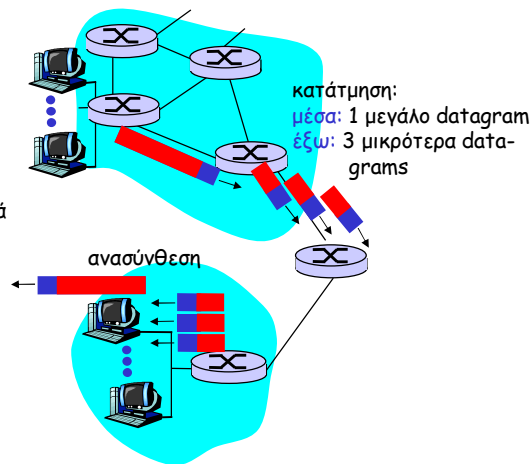
Δομή IP datagram



Δίκτυα Επικοινωνιών I - Επίπεδο Δικτύου 4-45

Κατάτμηση και Ανασύνθεση του IP (Fragmentation & Reassembly)

- ❑ Οι ζεύξεις του δικτύου έχουν μέγιστη μονάδα μεταφοράς (MTU (max. transfer size)) - μέγιστο δυνατό πλαίσιο επιπέδου ζεύξης
 - ❑ Διαφορετικοί τύποι ζεύξης, διαφορετικά MTUs
- ❑ μεγάλο IP datagram τεμαχίζεται εντός του δικτύου
 - ❑ ένα datagram γίνεται πολλαπλά datagrams
 - ❑ "ανασυντίθενται" μόνο στον τελικό προορισμό
 - ❑ Τα bits της κεφαλίδας IP χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση, διάταξη των σχετικών τεμαχίων (fragments)



Δίκτυα Επικοινωνιών I - Επίπεδο Δικτύου 4-46

Κατάτμηση και Ανασύνθεση του IP

Παράδειγμα

- 4000 byte datagram
- MTU = 1500 bytes

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

Ένα μεγάλο datagram γίνεται πολλά μικρότερα datagrams

1480 bytes στο πεδίο δεδομένων (data field)

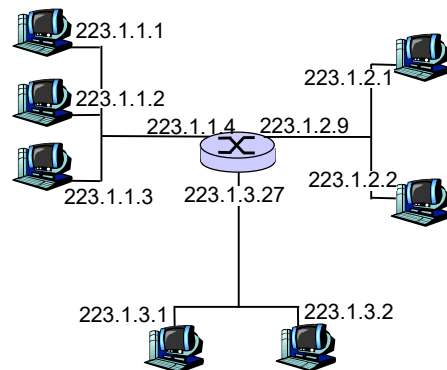
Μετατόπιση (offset) = $1480/8$

length	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=0
=1500	=x	=1	=185
=1040	=x	=0	=370

Δίκτυα Επικοινωνιών I - Επίπεδο Δικτύου 4-47

Διευθυνσιοδότηση IP

- Διεύθυνση IP (IP address): 32-bit αναγνωριστικό της διασύνδεσης του υπολογιστή, δρομολογητή
- Διασύνδεση (interface): σύνδεση μεταξύ υπολογιστή/δρομολογητή και φυσικής ζεύξης
 - Οι δρομολογητές τυπικά έχουν πολλές διασυνδέσεις
 - Ένας υπολογιστής τυπικά έχει μία ή δύο διασυνδέσεις (π.χ. ενσύρματο Ethernet, ασύρματο 802.11)
- Διευθύνσεις IP σχετίζονται με κάθε διεπαφή



223.1.1.1 = $\underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$

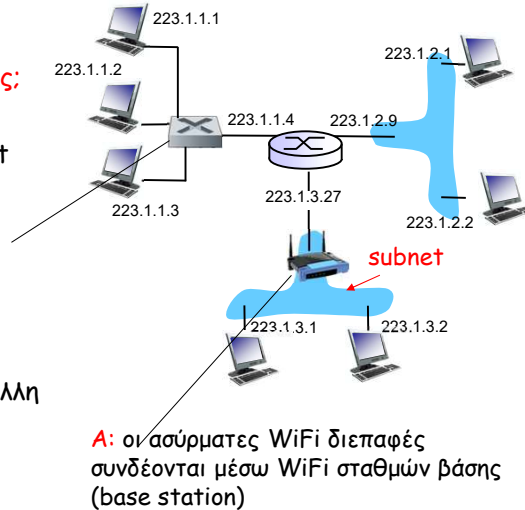
Δίκτυα Επικοινωνιών I - Επίπεδο Δικτύου 4-48

Διευθυνσιοδότηση IP: εισαγωγή

Ε: πώς συνδέονται στην πραγματικότητα οι διεπαφές;

Α: οι ενσύρματες Ethernet 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)

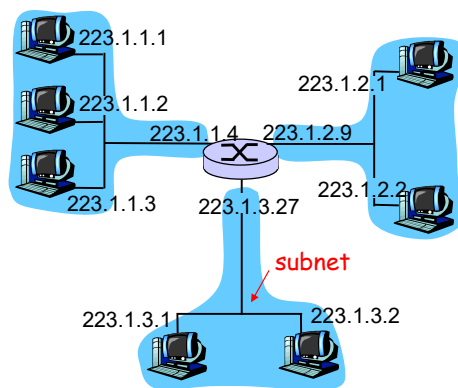


Α: οι ασύρματες WiFi διεπαφές συνδέονται μέσω WiFi σταθμών βάσης (base station)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-49

Υποδίκτυα (Subnets)

- Διεύθυνση IP:
 - Τμήμα υποδικτύου (subnet part) - bits υψηλής τάξης
 - Τμήμα υπολογιστή (host part) - bits χαμηλής τάξης
- Τι είναι ένα υποδίκτυο;
 - Διασυνδέσεις συσκευών με ίδιο τμήμα υποδικτύου στην IP διεύθυνση
 - Έχουν φυσική πρόσβαση το ένα στο άλλο **χωρίς μεσολάβηση δρομολογητή**



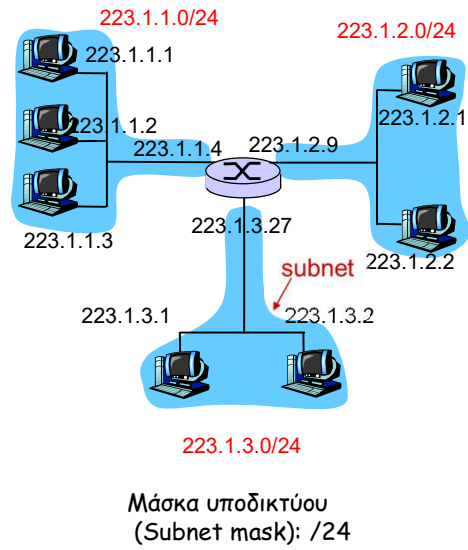
Δίκτυο που αποτελείται από 3 υποδίκτυα

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-50

Υποδίκτυα

Συνταγή

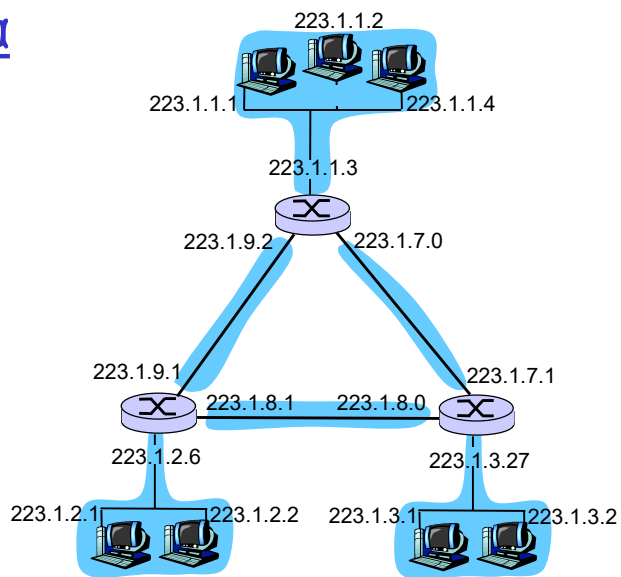
- Για τον καθορισμό των υποδικτύων, αποσυνδέστε κάθε διεπαφή από τον υπολογιστή ή το δρομολογητή, δημιουργώντας νησίδες απομονωμένων δικτύων
- Κάθε απομονωμένο δίκτυο καλείται **υποδίκτυο**



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-51

Υποδίκτυα

Πόσα;



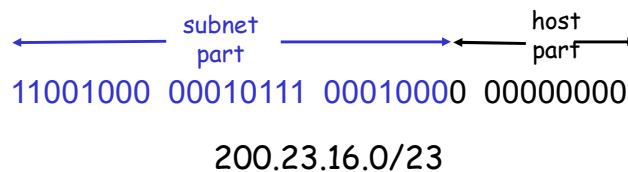
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-52

Διευθύνσιοδότηση IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing

(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



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-53

Διευθύνσεις IP: πώς αποδίδονται;

Ε: Πώς παίρνει ένας υπολογιστής διεύθυνση IP?

- Προσδιορισμένο σε ένα αρχείο από το διαχειριστή του συστήματος
 - Windows: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
 - UNIX: /etc/rc.config
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:** δυναμική απόδοση διεύθυνσης από έναν εξυπηρετή
 - "plug-and-play"

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-54

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

Σκοπός: να επιτρέπει στον υπολογιστή να αποκτά δυναμικά διεύθυνση IP από τον εξυπηρετή του δικτύου όταν συνδέεται στο δίκτυο

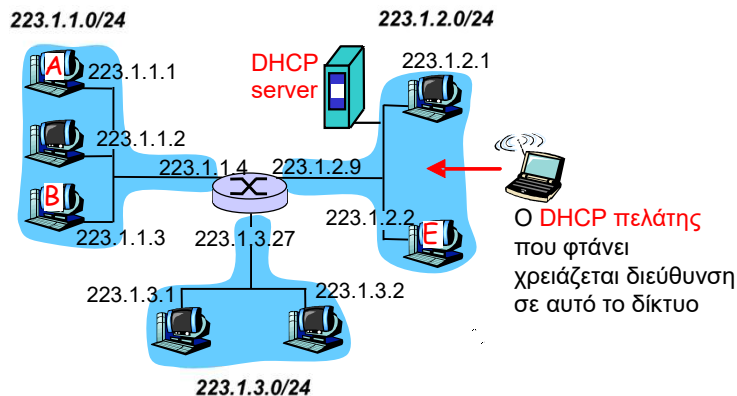
- Μπορεί να ανανεώσει τη μίσθωση της διεύθυνσης που χρησιμοποιείται
- Επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των διευθύνσεων (κρατά τη διεύθυνση μόνο όσο είναι συνδεδεμένος και «ενεργός»)
- Υποστήριξη για κινητούς χρήστες που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο (περισσότερα σε λίγο)

Επισκόπηση DHCP:

- Ο υπολογιστής εκπέμπει (broadcasts) "DHCP discover" msg
- Ο εξυπηρετής DHCP αποκρίνεται με ένα μήνυμα "DHCP offer" msg
- Ο υπολογιστής ζητά διεύθυνση IP: "DHCP request" msg
- Ο εξυπηρετής DHCP στέλνει τη διεύθυνση: "DHCP ack" msg

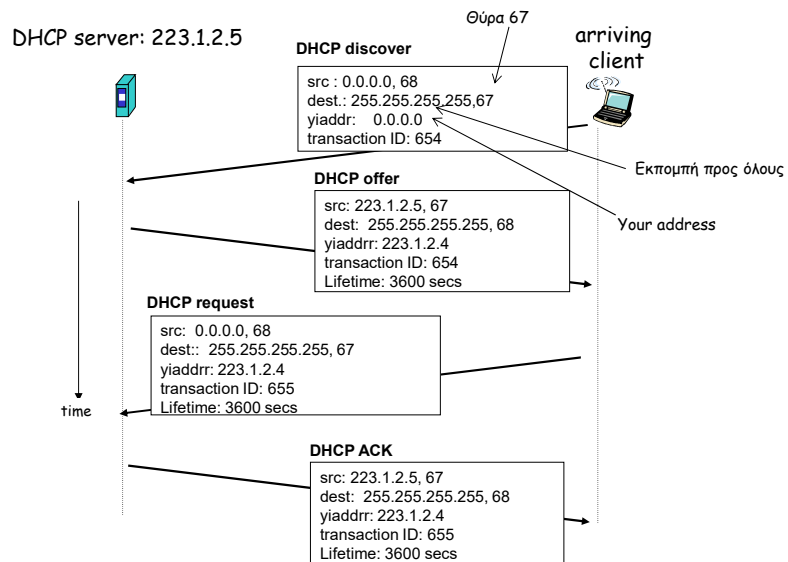
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-55

Σενάριο πελάτη-εξυπηρετή DHCP



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-56

Σενάριο πελάτη-εξυπηρετή DHCP



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-57

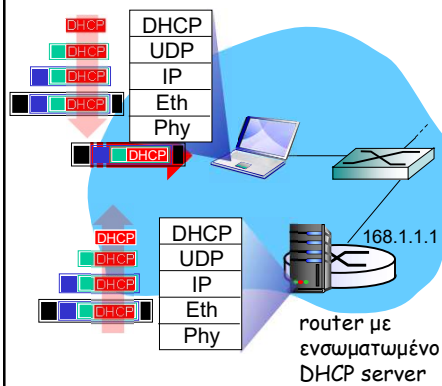
DHCP: περισσότερα

Το **DHCP** μπορεί να κάνει περισσότερα από απλά να κατανέμει μια IP διεύθυνση στο υποδίκτυο:

- Διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος (first-hop router) για τον πελάτη
- Όνομα και IP διεύθυνση του DNS server
- Μάσκα δικτύου (υποδεικνύοντας το τμήμα δικτύου σε σχέση με το τμήμα υπολογιστή της διεύθυνσης)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-58

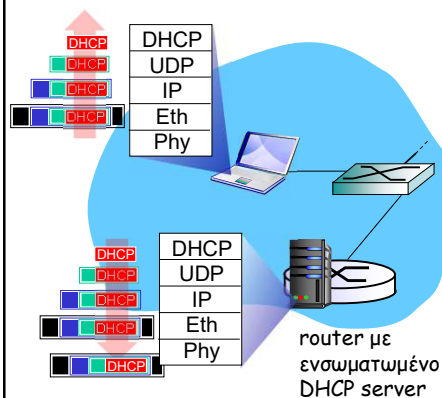
DHCP: παράδειγμα



- ❖ Για τη σύνδεση του laptop απαιτείται η IP διεύθυνσή του, η διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος, η διεύθυνση του DNS server: χρησιμοποίησε DHCP
- ❖ Το μήνυμα DHCP request ενθυλακώνεται στο UDP, που ενθυλακώνεται σε IP, που ενθυλακώνεται στο Ethernet 802.1
- ❖ Εκπέμπεται ένα broadcast Ethernet πλαίσιο στο LAN (προορισμός: FF-FF-FF-FF-FF-FF), που λαμβάνεται στο δρομολογητή ο οποίος τρέχει τον DHCP server
- ❖ Το Ethernet frame αποθυλακώνεται σε IP, το IP αποθυλακώνεται σε UDP και το UDP σε DHCP.

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-59

DHCP: παράδειγμα



- Ο DHCP server σχηματίζει το DHCP ACK μήνυμα εμπεριέχοντας την IP διεύθυνση του πελάτη, την IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος για τον πελάτη, καθώς και το όνομα και IP διεύθυνση του DNS server.
- Ενθυλακώνεται το πακέτο του DHCP server, το πλαίσιο προωθείται στον πελάτη, όπου και αποθυλακώνεται ως το επίπεδο του DHCP πακέτου.
- Ο πελάτης πλέον γνωρίζει την IP διεύθυνσή του, το όνομα και IP διεύθυνση του DNS server και την IP διεύθυνση του δρομολογητή πρώτου άλματος.

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-60

Διευθύνσεις IP: πώς αποδίδονται;

Ε: Πώς εκχωρείται στο δίκτυο το τμήμα υποδικτύου της διεύθυνσης IP;

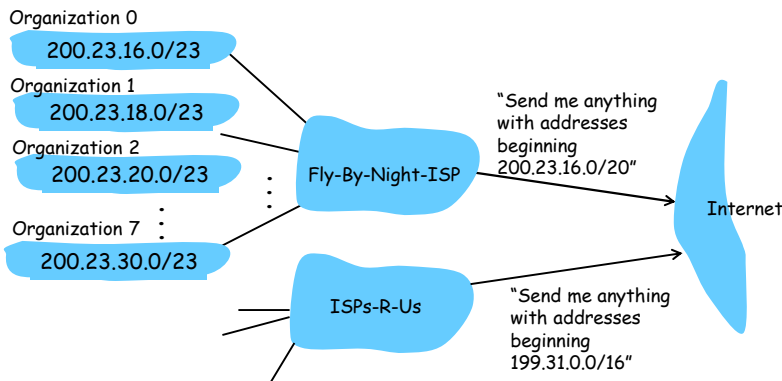
Α: Λαμβάνει μερίδιο από τον χώρο διευθύνσεων που έχει εκχωρηθεί στον ISP του

ISP's block	11001000	00010111	00010000	00000000	200.23.16.0/20
Organization 0	11001000	00010111	00010000	00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	11001000	00010111	00010010	00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	11001000	00010111	00010100	00000000	200.23.20.0/23
...
Organization 7	11001000	00010111	00011110	00000000	200.23.30.0/23

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-61

Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση (hierarchical addressing): συνάθροιση διαδρομών

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

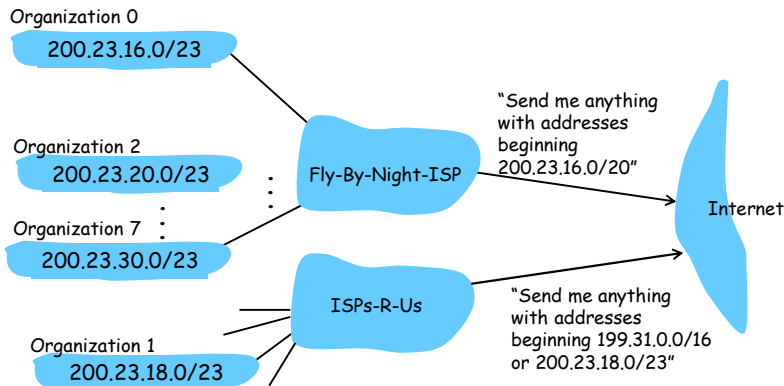


Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-62

Ιεραρχική διευθυνσιοδότηση : επιλέγονται οι πιο συγκεκριμένες διαδρομές

Ο ISPs-R-Us και ο Fly-By-Night-ISP δημοσιοποιούν blocks που περιέχουν τις διευθύνσεις του Organization 1

Ο ISPs-R-Us έχει μια πιο συγκεκριμένη* διαδρομή προς τον Organization 1



* -> μεγαλύτερου προθέματος (23>20). Άρα στέλνεται στον ISPs-R-Us

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-63

Διευθυνσιοδότηση IP: τελευταίες λέξεις...

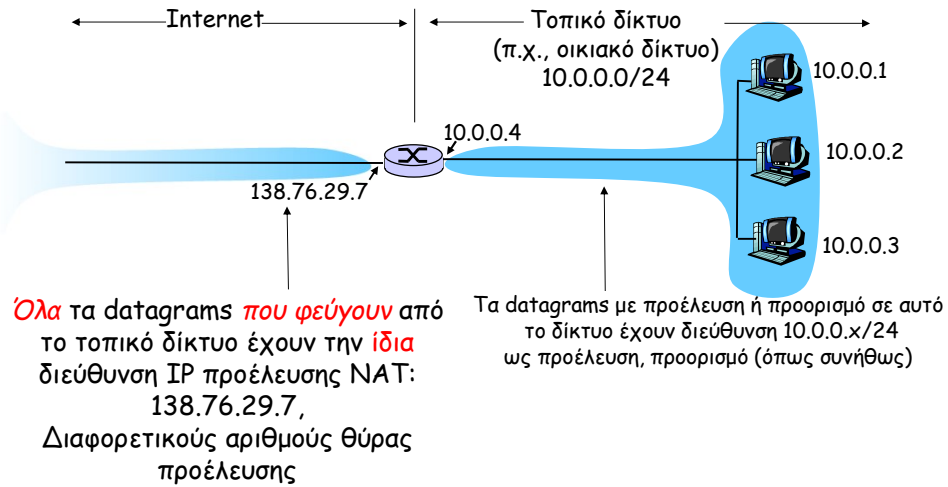
E: Πώς παίρνει ένας ISP ένα μπλοκ διευθύνσεων;

A: ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

- Κατανέμει διευθύνσεις
- Διαχειρίζεται το DNS
- Αποδίδει ονόματα τομέων (domain names), διευθετεί διαφορές

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-64

NAT: Network Address Translation (Μετάφραση Διευθύνσεων Δικτύου)



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-65

NAT: Network Address Translation

- **Κίνητρο:** το τοπικό δίκτυο χρησιμοποιεί μόνο μία διεύθυνση IP όσο αφορά τον εξωτερικό κόσμο
 - Δεν απαιτείται σύνολο διευθύνσεων από τον ISP: μόνο μία διεύθυνση IP 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
 - Μία συσκευή εντός του τοπικού δικτύου δεν είναι ορατή από τον έξω κόσμο ως σαφώς διευθυνσιοδοτημένη (ένα συν στην ασφάλεια).

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-66

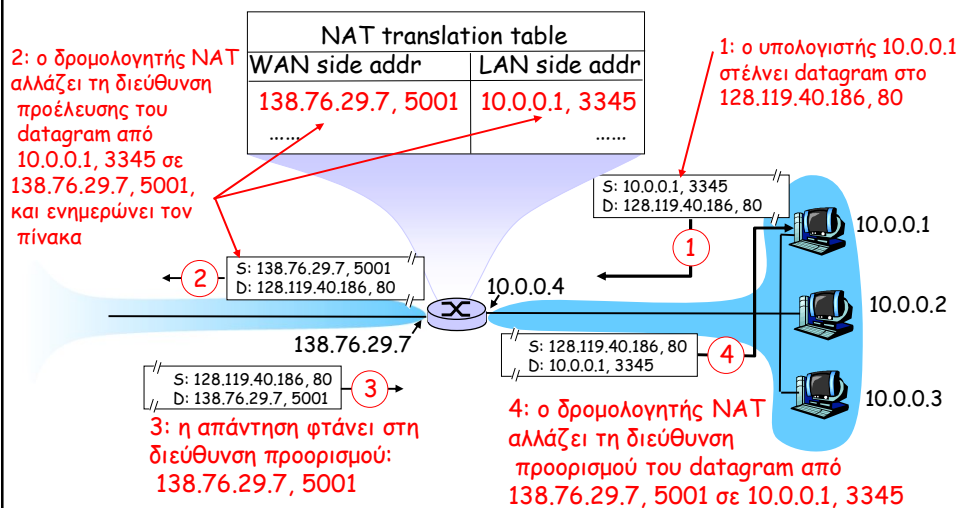
NAT: Network Address Translation

Υλοποίηση από δρομολογητή NAT :

- **εξερχόμενα datagrams: αντικατάσταση** {διεύθυνση IP προέλευσης, # θύρας} κάθε εξερχόμενου datagram με {διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας}
 . . . Οι απομακρυσμένοι πελάτες/εξυπηρέτες θα απαντήσουν χρησιμοποιώντας {διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας} ως διεύθυνση προορισμού
- **αποθήκευση (στον πίνακα μετάφρασης NAT (translation table))** κάθε ζεύγους μετάφρασης από {διεύθυνση IP προέλευσης, # θύρας} σε {διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας}
- **εισερχόμενα datagrams: αντικατάσταση** {διεύθυνση IP NAT, νέος # θύρας} στα πεδία προορισμού κάθε εισερχόμενου datagram με το αντίστοιχο {διεύθυνση IP προέλευσης, # θύρας} που είναι αποθηκευμένο στον πίνακα NAT

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-67

NAT: Network Address Translation



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-68

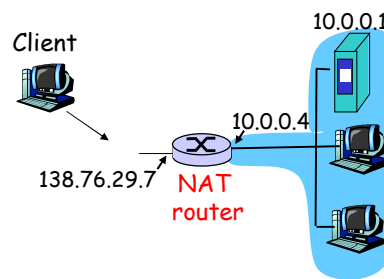
NAT: Network Address Translation

- Πεδίο 16-bit αριθμού θύρας:
 - 60,000 ταυτόχρονες συνδέσεις με μία μόνο διεύθυνση στην πλευρά του LAN!
- Το NAT είναι αμφιλεγόμενο:
 - Οι δρομολογητές θα πρέπει να επεξεργάζονται πακέτα μόνο μέχρι το επίπεδο 3
 - Παραβιάζει την αρχή από-άκρο-σε-άκρο (end-to-end argument)
 - Η NAT δυνατότητα πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους σχεδιαστές εφαρμογών, πχ, εφαρμογές P2P
 - Η έλλειψη διευθύνσεων θα πρέπει να επιλυθεί με το IPv6 (και όχι με το NAT)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-69

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



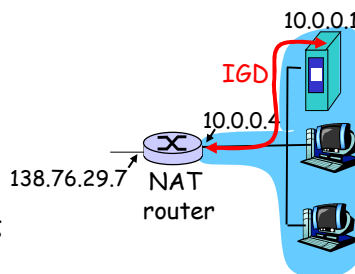
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-70

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)

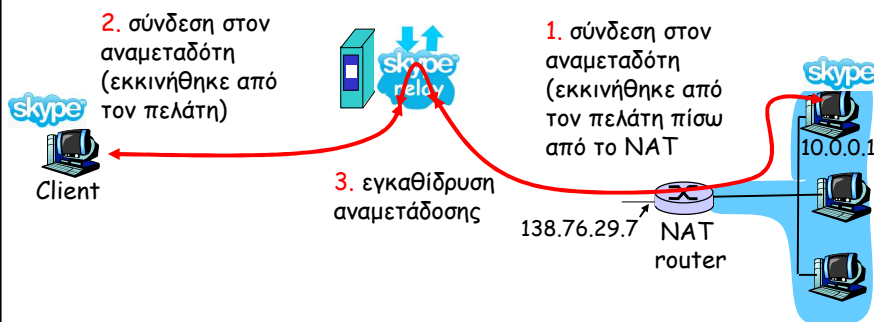
δηλ., αυτοματοποίηση της στατικής διαμόρφωσης αντιστοίχισης θυρών στο NAT



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-71

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 4-72

IPv6: κίνητρο

- ❑ **Αρχικό κίνητρο:** Ο χώρος των 32-bit διευθύνσεων είχε δεσμευτεί σχεδόν πλήρως.
- ❑ **Επιπλέον κίνητρο:**
 - ❑ Η δομή της κεφαλίδας βοηθά στην ταχύτητα επεξεργασίας/ προώθησης
 - ❑ Η κεφαλίδα αλλάζει για να εξυπηρετήσει το QoS

Δομή IPv6 datagram:

- ❑ Σταθερού μήκους κεφαλίδα 40 byte
- ❑ Δεν επιτρέπεται κατάτμηση

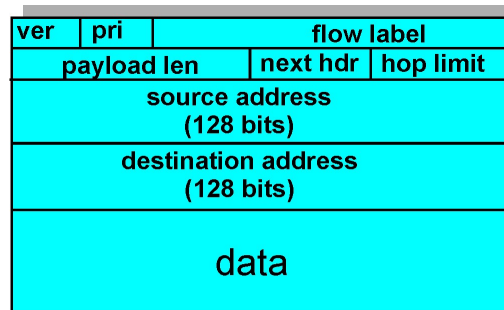
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-73

Δομή IPv6 Κεφαλίδας

Προτεραιότητα (Priority): καθορίζει την προτεραιότητα μεταξύ των datagrams στη ροή (flow)

Ετικέτα ροής (Flow Label): ταυτοποιεί datagrams στην ίδια "ροή" (η έννοια της "ροής" δεν είναι καλά ορισμένη)

Επόμενη κεφαλίδα (Next header): αναγνωρίζει το πρωτόκολλο ανώτερου επιπέδου για δεδομένα



← 32 bits →

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-74

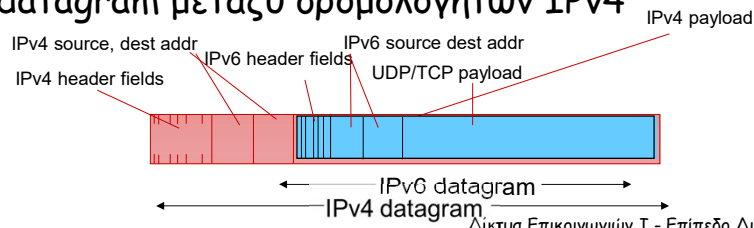
Άλλες αλλαγές σε σχέση με το IPv4

- ❑ **Άθροισμα ελέγχου (checksum)**: αφαιρέθηκε τελείως προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας σε κάθε άλμα (hop)
- ❑ **Επιλογές**: επιτρέπονται, αλλά εκτός κεφαλίδας, καθορίζονται από το πεδίο "Next Header"
- ❑ **ICMPv6**: νέα έκδοση του ICMP
 - Πρόσθετοι τύποι μηνυμάτων, π.χ. "Πακέτο πολύ μεγάλο"
 - Συναρτήσεις διαχείρισης ομάδων πολυεκπομπής (multicast)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-75

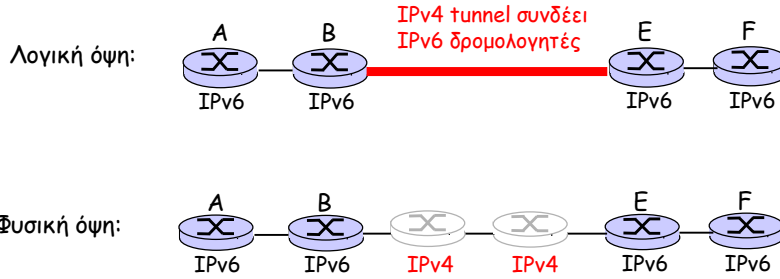
Μετάβαση από το IPv4 στο IPv6

- ❑ Δεν μπορούν να αναβαθμιστούν όλοι οι δρομολογητές ταυτόχρονα
 - ❑ χωρίς "ημερομηνία μετάβασης"
 - ❑ Πώς θα μπορέσει το δίκτυο να λειτουργήσει με μείγμα δρομολογητών IPv4 και IPv6;
- ❑ **Σηράγγωση (Tunneling)**: Το IPv6 datagram μεταφέρεται ως ωφέλιμο φορτίο (payload) σε IPv4 datagram μεταξύ δρομολογητών IPv4



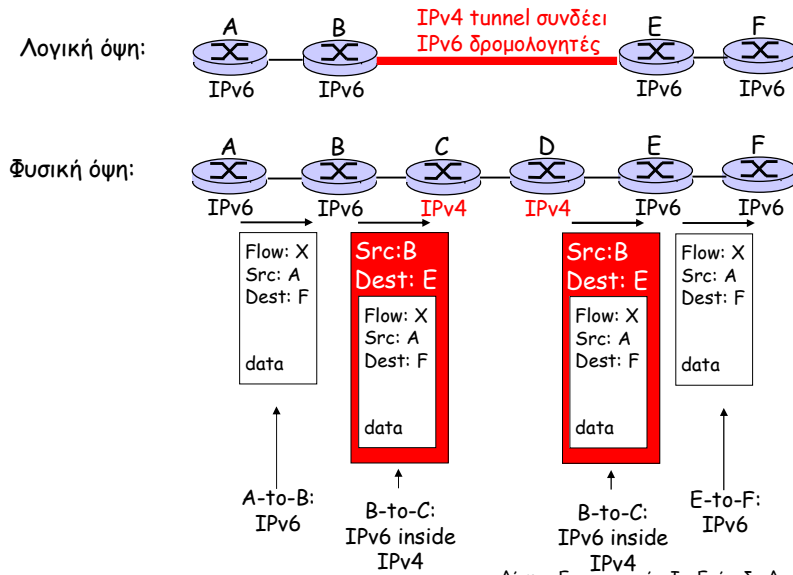
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-76

Σηράγγωση (Tunneling)



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-77

Σηράγγωση (Tunneling)



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-78

Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου

4.2 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

4.3 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράματος IPv4
- Κατάτμηση δεδομενογράματος IPv4
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)
- IPv6

4.4 Γενικευμένη προώθηση και SDN

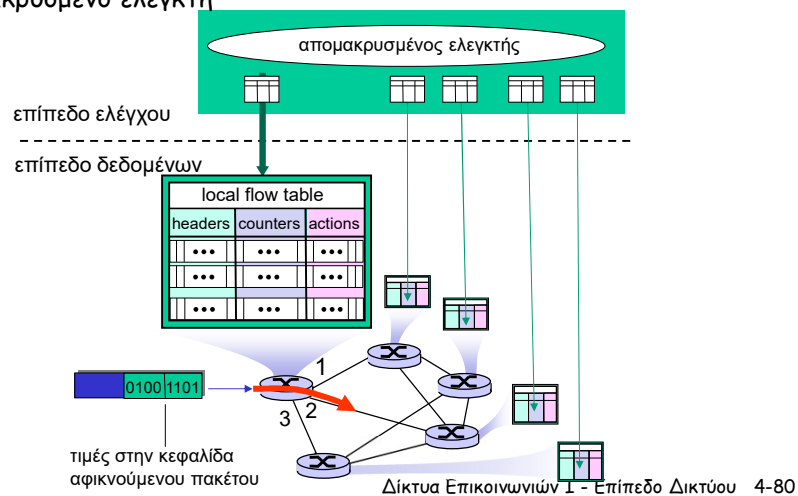
- Ταίριασμα
- Ενέργεια
- Παραδείγματα (Openflow)

4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά (Middleboxes)

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-79

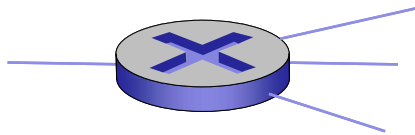
Γενικευμένη προώθηση και SDN

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
 - **Κανόνες 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

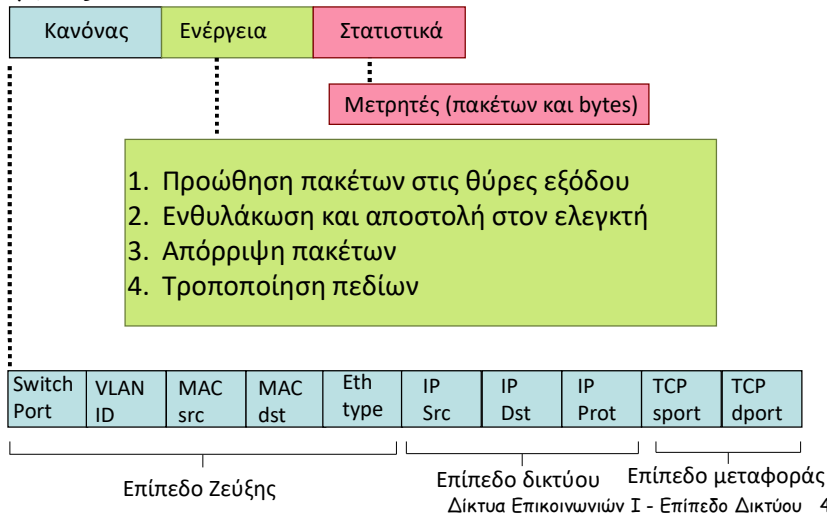


1. src=1.2.*.* , dest=3.4.5.* → απόρριψη
 2. src = *.*.*.* , dest=3.4.*.* → προώθηση
 3. src=10.1.2.3, dest=*.*.*.* → στον ελεγκτή
- * : wildcard

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-81

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	Forward
*	*	*	*	*	*	*	*	*	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	Forward
*	*	*	*	*	128.119.1.1	*	*	*	*	drop

Μην προωθείς τα δεδομενογράμματα που στέλνονται από το 128.119.1.1

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-83

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
 - 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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-84

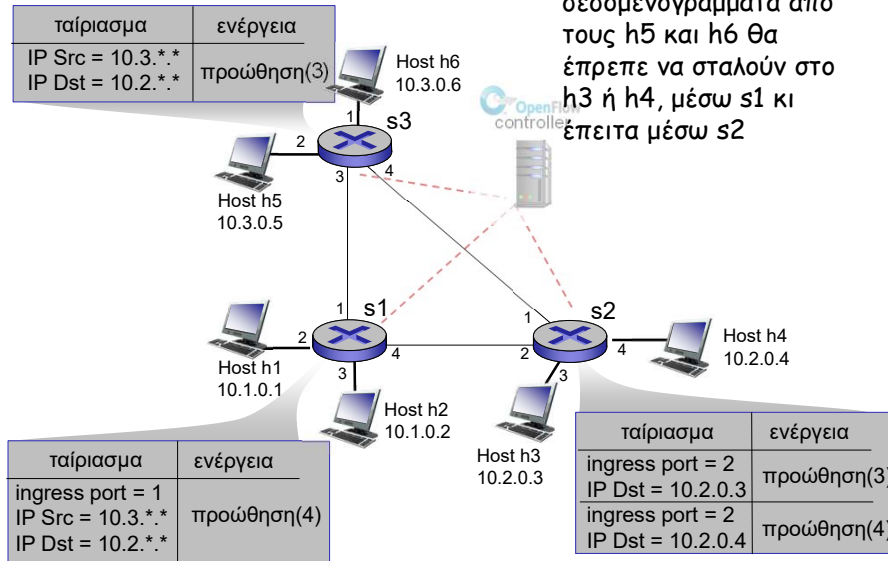
OpenFlow παράδειγμα

ταίριασμα	ενέργεια
IP Src = 10.3.*.* IP Dst = 10.2.*.*	προώθηση(3)

ταίριασμα	ενέργεια
ingress port = 1 IP Src = 10.3.*.* 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



Κεφάλαιο 4: Επίπεδο Δικτύου - Επίπεδο Δεδομένων

4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου

4.2 Τι βρίσκεται μέσα σ' ένα δρομολογητή

4.3 IP: Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol)

- Μορφή δεδομενογράματος IPv4
- Κατάτμηση δεδομενογράματος IPv4
- Διευθυνσιοδότηση IPv4
- Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)
- IPv6

4.4 Γενικευμένη προώθηση και SDN

- Ταίριασμα
- Ενέργεια
- Παραδείγματα (Openflow)

4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά (Middleboxes)

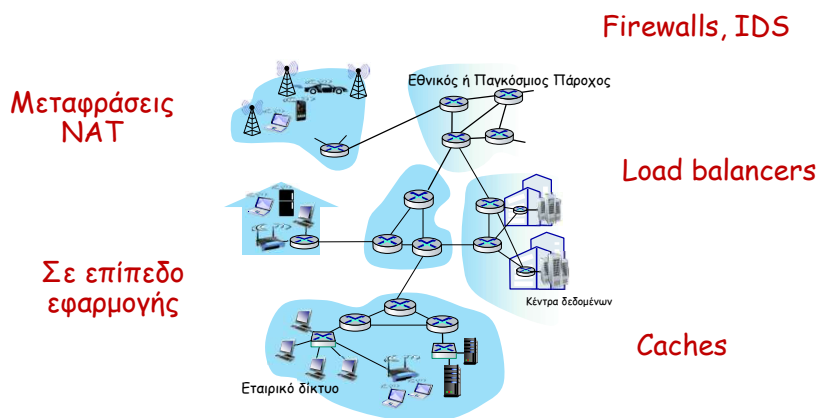
Ενδιάμεσα Κουτιά

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"

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-87

Ενδιάμεσα Κουτιά παντού!



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-88

Ενδιάμεσα Κουτιά

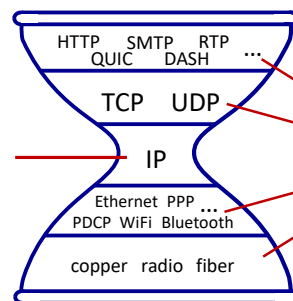
- αρχικά: ξεχωριστά εξειδικευμένα κουτιά υλικού
- κίνηση προς υλικά που βασίζονται σε κοινή στοίβα λογισμικού
- **SDN**: (σε λογικό επίπεδο) κεντρικοποιημένος έλεγχος και διαχείριση ρυθμίσεων συχνά σε ιδιωτικό/δημόσιο υπολογιστικό νέφος
- **Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών (network functions virtualization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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-89

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

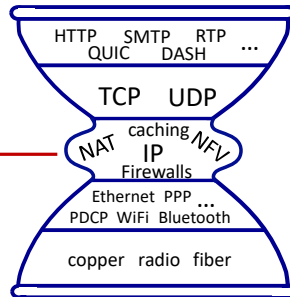


πολλά πρωτόκολλα σε φυσικό επίπεδο, επίπεδο ζεύξης, επίπεδο μεταφοράς και επίπεδο εφαρμογής

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-90

Τα πρώτα χρόνια...

Αρχικά τα
ενδιάμεσα
κουτιά
λειτουργούσαν
στο επίπεδο
δικτύου



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-91

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."

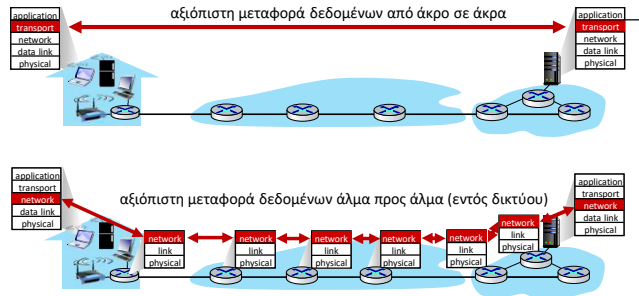
Τρεις βασικές πεποιθήσεις:

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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-92

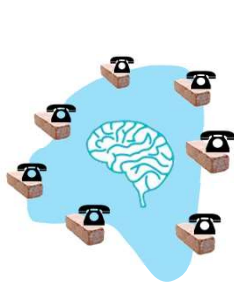
Το «Από-άκρο-σε-άκρο» επιχείρημα

- κάποια δικτυακή λειτουργικότητα (π.χ., αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, συμφόρηση) μπορεί να εφαρμοστεί εντός του δικτύου ή στα άκρα του



Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-93

Πού βρίσκεται η εξυπνάδα;



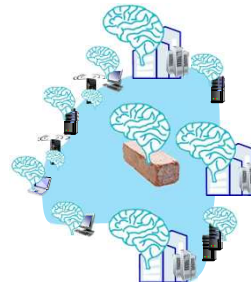
Τηλεφωνικό Δίκτυο

- Εξυπνάδα στους μεταγωγείς



Διαδίκτυο (προ 2005)

- εξυπνάδα, υπολογισμοί στα άκρα



Διαδίκτυο (μετά το 2005)

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

Δίκτυα Επικοινωνιών Ι - Επίπεδο Δικτύου 4-94

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης