

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων



Δίκτυα Υπολογιστών



Σπυρίδων Παναγιωτάκης

spanag@teicrete.gr

<http://eclass2.teicrete.gr>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος:

- ❑ γενική επισκόπηση της περιοχής των δικτύων
- ❑ περισσότερο βάθος και λεπτομέρειες αργότερα στο μάθημα
- ❑ προσέγγιση:
 - χρησιμοποιεί ως παράδειγμα το Διαδίκτυο

Επισκόπηση:

- ❑ τι είναι το Διαδίκτυο;
- ❑ τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- ❑ άκρα δικτύου
- ❑ πυρήνας δικτύου
- ❑ δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ❑ Δομή Διαδικτύου/ISP
- ❑ επίδοση: καθυστέρηση, απώλειες
- ❑ επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ❑ ιστορία

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;

1.2 Άκρα δικτύου

1.3 Πυρήνας δικτύου

1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα

1.5 Δομή Διαδικτύου και ISP

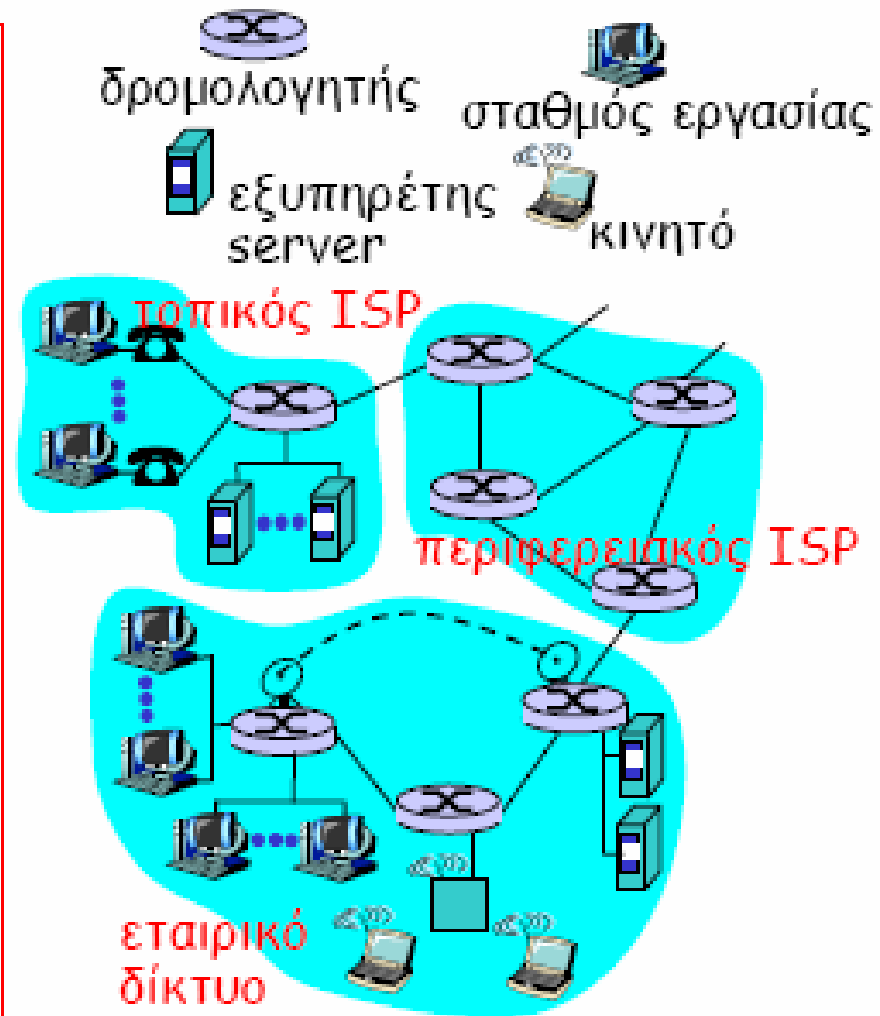
1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα
μεταγωγής πακέτων

1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

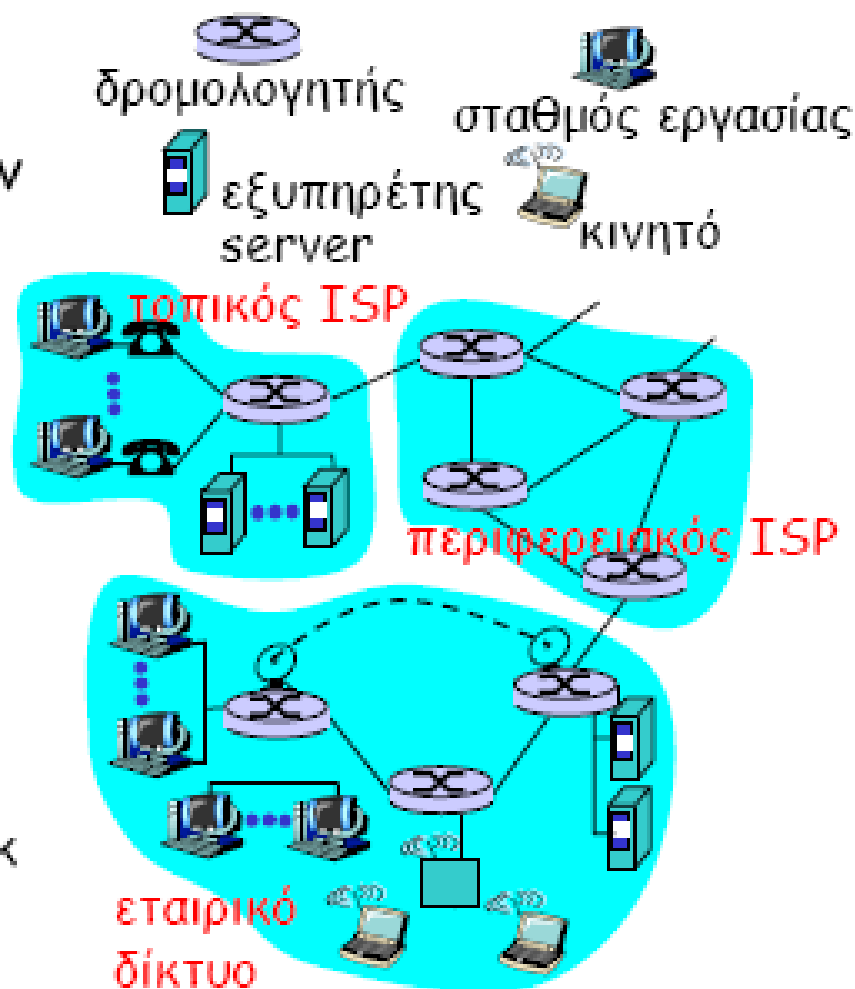
Τι είναι το Διαδίκτυο: στοιχεία που το συνθέτουν

- ❑ εκατομμύρια συνδεδεμένων υπολογιστικών συσκευών:
τερματικά συστήματα (hosts)
 - PC, σταθμοί εργασίας, servers
 - άλλες συσκευές (PDA, τηλέφωνα)
- ❑ τρέχουν *δικτυακές εφαρμογές*
- ❑ *ζεύξεις επικοινωνίας*
 - οπτικές, γραμμές χαλκού, ραδιοκυματικές, δορυφορικές
 - ρυθμός μετάδοσης = *bandwidth*
- ❑ *δρομολογητές*: προωθούν πακέτα



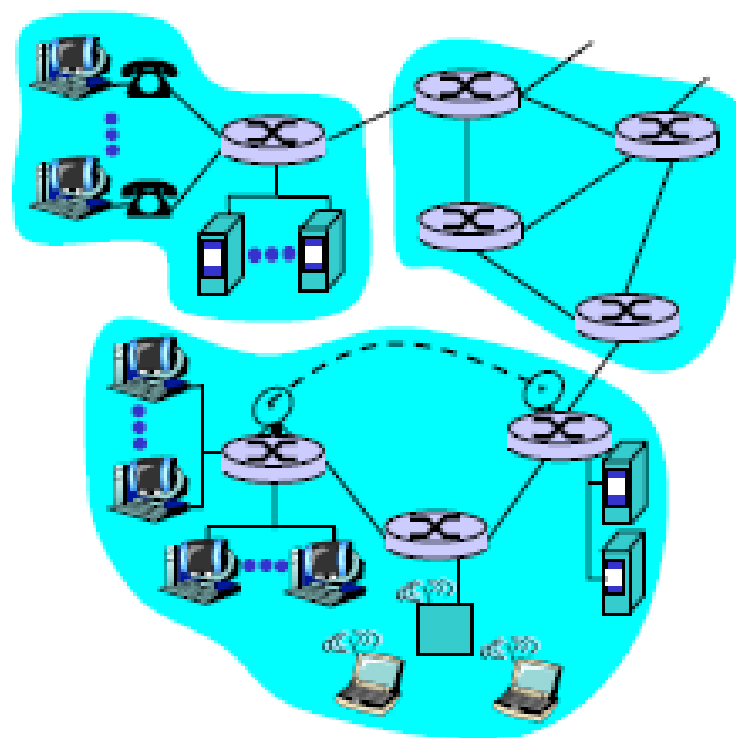
Τι είναι το Διαδίκτυο: στοιχεία που το συνθέτουν

- ❑ **πρωτόκολλα** ελέγχουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων
 - π.χ. TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- ❑ **Διαδίκτυο: "δίκτυο από δίκτυα"**
 - χαλαρά ιεραρχημένο
 - δημόσιο Διαδίκτυο - ιδιωτικό ενδοδίκτυο (intranet)
- ❑ **πρότυπα Internet (Internet standards)**
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



Τι είναι το Διαδίκτυο: παρεχόμενες υπηρεσίες

- ❑ **υποδομή επικοινωνιών** που καθιστά δυνατές κατανεμημένες εφαρμογές:
 - Web, email, παιχνίδια, ηλεκτρονικό εμπόριο, ...
- ❑ **υπηρεσίες επικοινωνιών** παρεχόμενες στις εφαρμογές:
 - συνδεδεσιστρεφής (connection-oriented), αξιόπιστη υπηρεσία
 - ασυνδεδεσιστρεφής (connectionless), αναξιόπιστη υπηρεσία



Τι είναι το πρωτόκολλο;

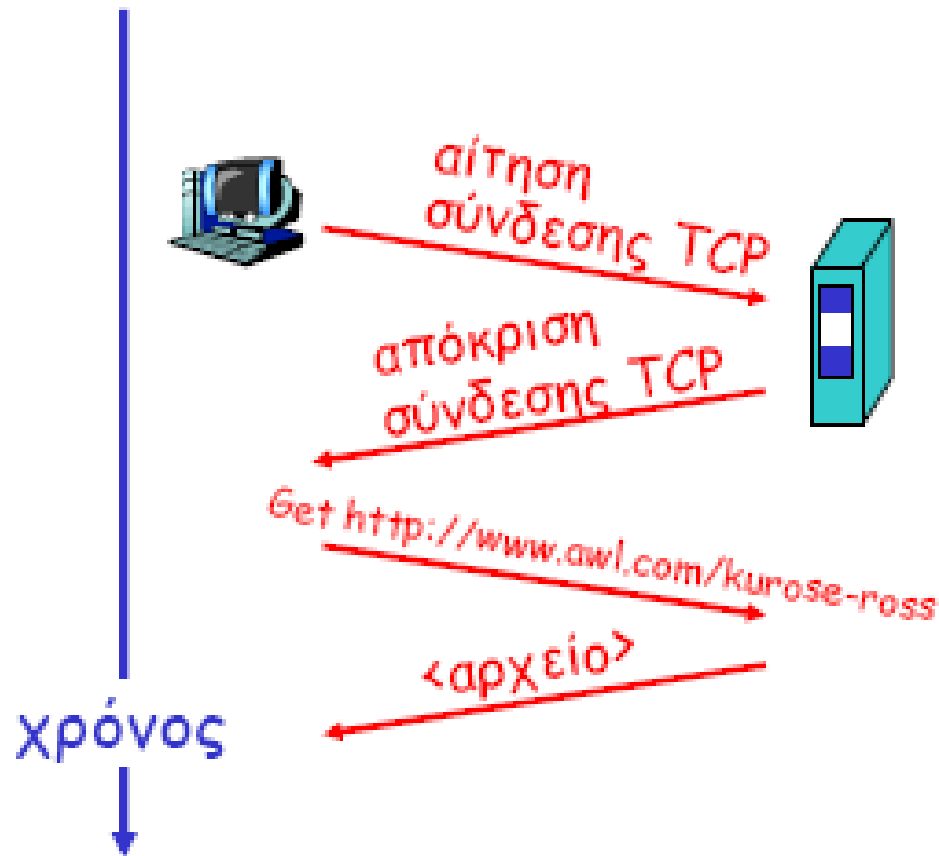
- Κάθε δραστηριότητα που εμπλέκει την επικοινωνία δύο ή περισσότερων στοιχείων του Διαδικτύου διέπεται από ένα πρωτόκολλο

- *Ένα πρωτόκολλο ορίζει:*

- *τη μορφή των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των επικοινωνούντων στοιχείων του δικτύου*
- *τη σειρά με την οποία ανταλλάσσονται τα μηνύματα*
- *τις ενέργειες στις οποίες προβαίνουν τα επικοινωνούντα στοιχεία όταν στέλνουν και/ή λαμβάνουν μηνύματα ή όταν συμβαίνουν άλλου είδους γεγονότα*

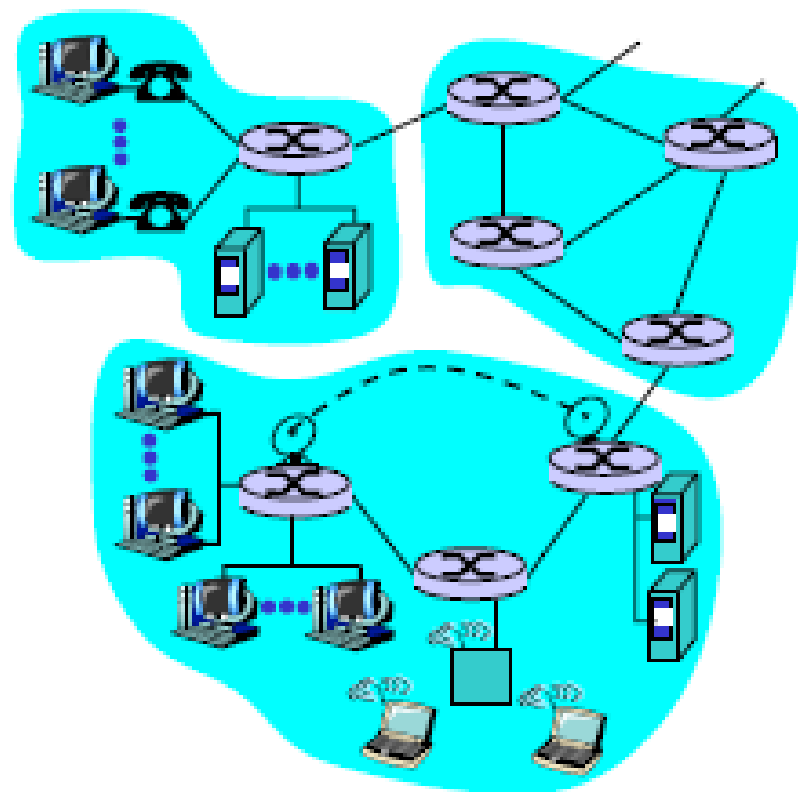
Τι είναι το πρωτόκολλο;

παράδειγμα ενός δικτυακού πρωτοκόλλου (HTTP):



Η δομή του δικτύου αναλυτικότερα:

- ❑ **άκρα δικτύου:**
εφαρμογές και hosts
- ❑ **πυρήνας δικτύου:**
 - δρομολογητές
 - δίκτυο από δίκτυα
- ❑ **δίκτυα πρόσβασης,**
φυσικά μέσα: ζεύξεις
επικοινωνίας



ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;

1.2 Άκρα δικτύου

1.3 Πυρήνας δικτύου

1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα

1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs

1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα
μεταγωγής πακέτων

1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

Άκρα Δικτύου:

❑ **τερματικά συστήματα (hosts):**

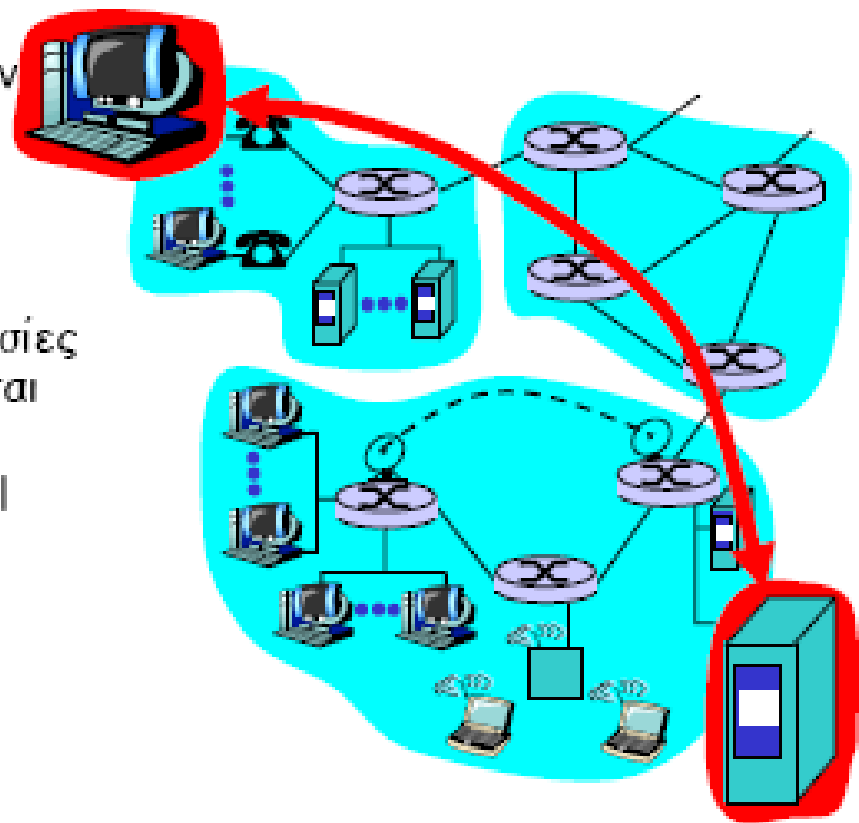
- στα "άκρα" του δικτύου
- τρέχουν προγράμματα εφαρμογών
- π.χ. Web, email

❑ **μοντέλο πελάτη/εξυπηρετή (client/server)**

- ο πελάτης ζητεί, λαμβάνει υπηρεσίες από έναν εξυπηρετή που βρίσκεται σε αδιάκοπη λειτουργία
- π.χ. Web browser/server, email client/server

❑ **μοντέλο μεταξύ ομοτίμων (peer-to-peer, P2P)**

- ελάχιστη (ή μηδενική) χρήση αποκλειστικών servers
- π.χ. Napster, KaZaA, BitTorrent



Άκρα Δικτύου: συνδεδεισμένη υπηρεσία

- Στόχος: μεταφορά δεδομένων μεταξύ τερματικών συστημάτων
- *χειραψία:* προετοιμασία για τη μεταφορά δεδομένων
 - ανταλλαγή πακέτων ελέγχου μεταξύ hosts
 - *πληροφορία "κατάστασης"* στους hosts
 - TCP - Transmission Control Protocol
 - συνδεδεισμένη υπηρεσία του Διαδικτύου

Υπηρεσία TCP [RFC 793]

- *αξιόπιστη, εν σειρά μεταφορά δεδομένων*
 - απώλειες: επιβεβαιώσεις και επαναμεταδόσεις
- *έλεγχος ροής:*
 - αποστολέας δεν υπερφορτώνει παραλήπτη
- *έλεγχος συμφόρησης:*
 - αποστολείς επιβραδύνουν ρυθμό αποστολής όταν το δίκτυο υφίσταται συμφόρηση

Άκρα Δικτύου: ασυνδεδεσιστρεφής υπηρεσία

Στόχος: μεταφορά

δεδομένων μεταξύ
τερματικών συστημάτων

- Όπως παραπάνω!

□ **UDP** - User Datagram
Protocol [RFC 768]:
ασυνδεδεσιστρεφής υπηρεσία
του Διαδικτύου

- αναξιόπιστη μεταφορά
δεδομένων
- δεν παρέχει έλεγχο ροής
- δεν παρέχει έλεγχο
συμφόρησης

TCP χρησιμοποιούν:

□ HTTP (Web), FTP
(μεταφορά αρχείων),
Telnet (απομακρυσμένη
σύνδεση), SMTP
(ηλεκτρονικό
ταχυδρομείο)

UDP χρησιμοποιούν:

□ εφαρμογές πολυμέσων,
τηλεδιάσκεψη,
Διαδικτυακή τηλεφωνία,
DNS

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;

1.2 Άκρα δικτύου

1.3 Πυρήνας δικτύου

1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα

1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs

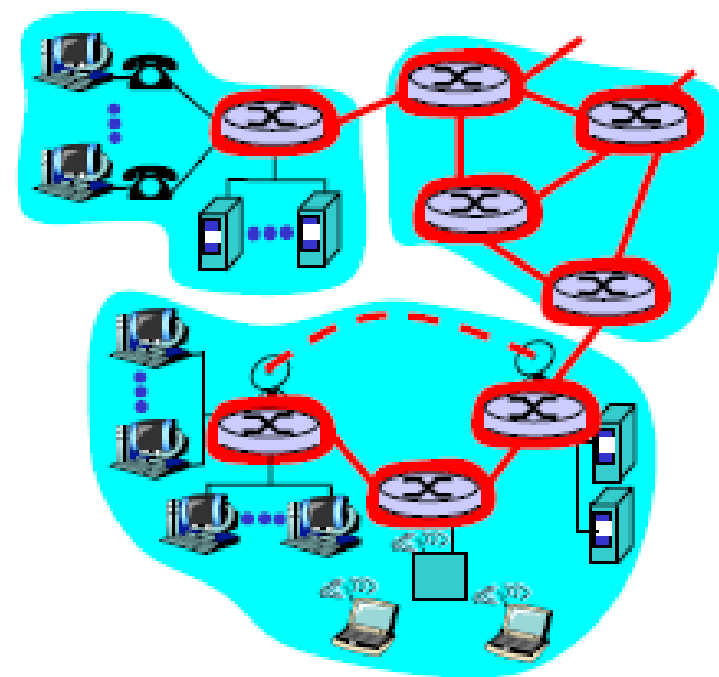
1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα
μεταγωγής πακέτων

1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

Πυρήνας Δικτύου

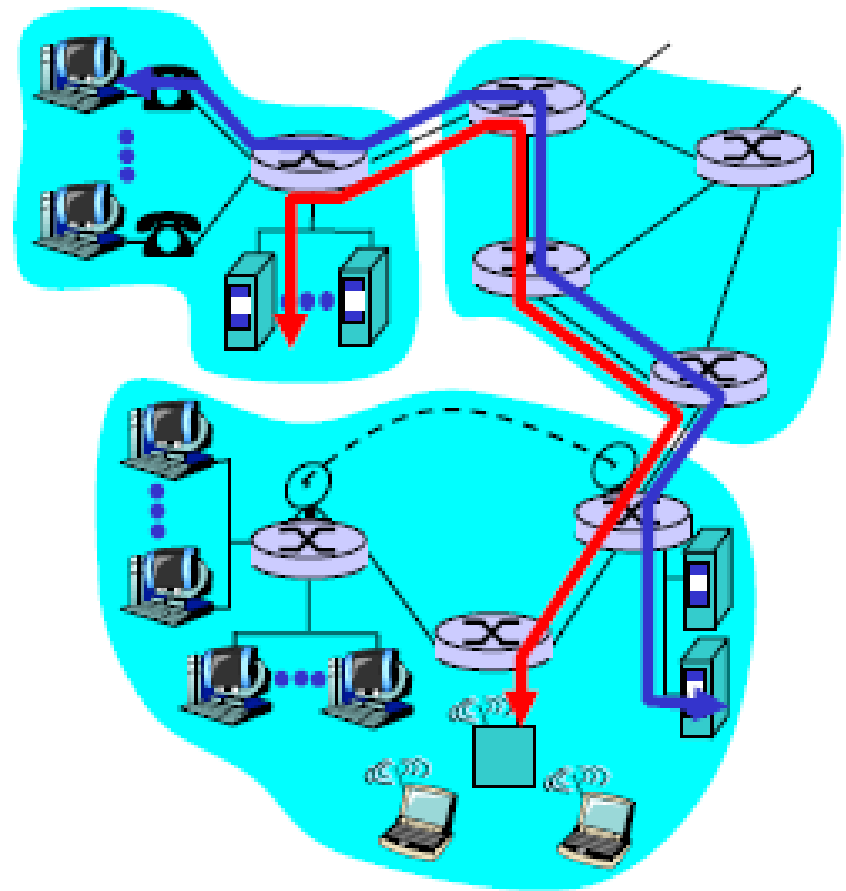
- πλέγμα διασυνδεόμενων δρομολογητών
- Θεμελιώδες ερώτημα: με ποιο τρόπο μεταφέρονται τα δεδομένα μέσω του δικτύου;
 - μεταγωγή κυκλώματος: αποκλειστικό κύκλωμα για κάθε κλήση
τηλεφωνικό δίκτυο
 - μεταγωγή πακέτων: δεδομένα μεταφέρονται μέσω δικτύου με μορφή πακέτων



Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Κυκλώματος

δέσμευση πόρων από
άκρο σε άκρο (end-
end) για την "κλήση"

- εύρος ζώνης ζεύξης,
χωρητικότητα μεταγωγέα
- αποκλειστική διάθεση
δεσμευμένων πόρων στην
κλήση
- εγγυημένη απόδοση
- απαιτείται εγκαθίδρυση
κυκλώματος



Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Κυκλώματος

οι δικτυακοί πόροι (π.χ. bandwidth) **διαιρούνται σε "κομμάτια"**

- ❑ τα **κομμάτια** απονέμονται στις κλήσεις
- ❑ πόροι **δεν** χρησιμοποιούνται όταν η πηγή είναι αδρανής

διαίρεση bandwidth σε "κομμάτια"

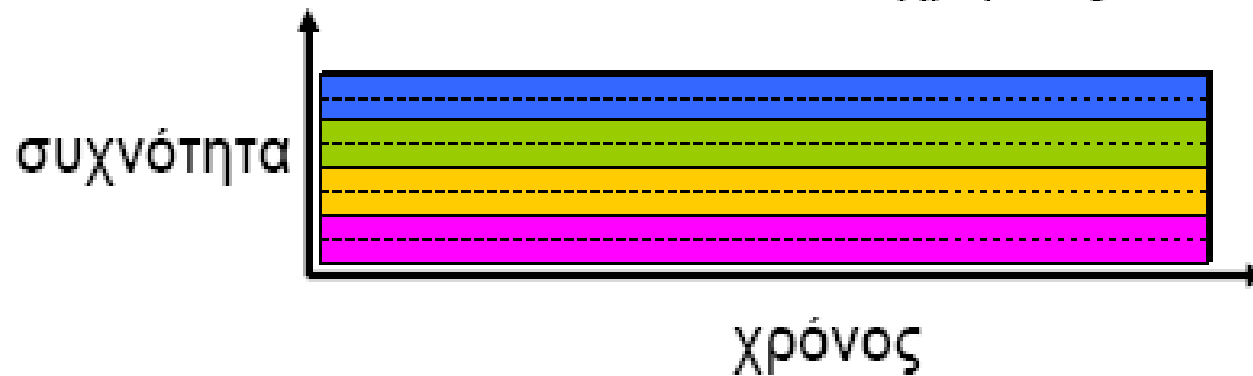
- ❑ διαίρεση συχνότητας
- ❑ διαίρεση χρόνου

Μεταγωγή Κυκλώματος: FDM και TDM

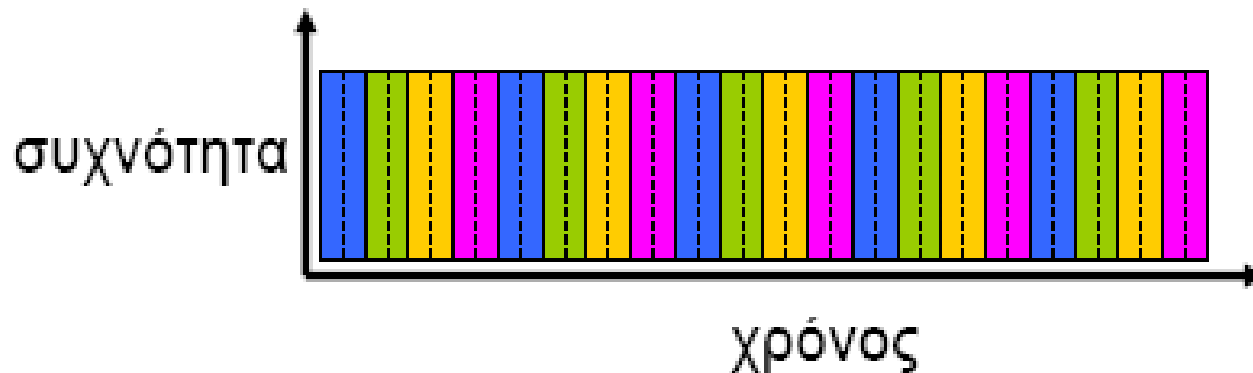
Παράδειγμα:

4 χρήστες ■ ■ ■ ■

FDM



TDM

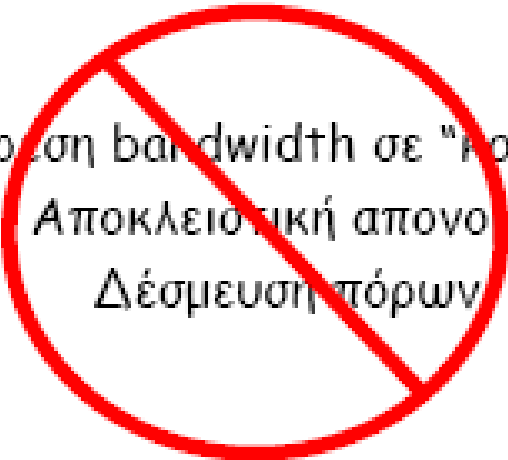


Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Πακέτων

κάθε ροή δεδομένων
διαιρείται σε πακέτα

- τα πακέτα των χρηστών A, B μοιράζονται τους δικτυακούς πόρους
- κάθε πακέτο χρησιμοποιεί όλο το bandwidth της ζεύξης
- πόροι χρησιμοποιούνται *μόνο* όταν χρειάζεται

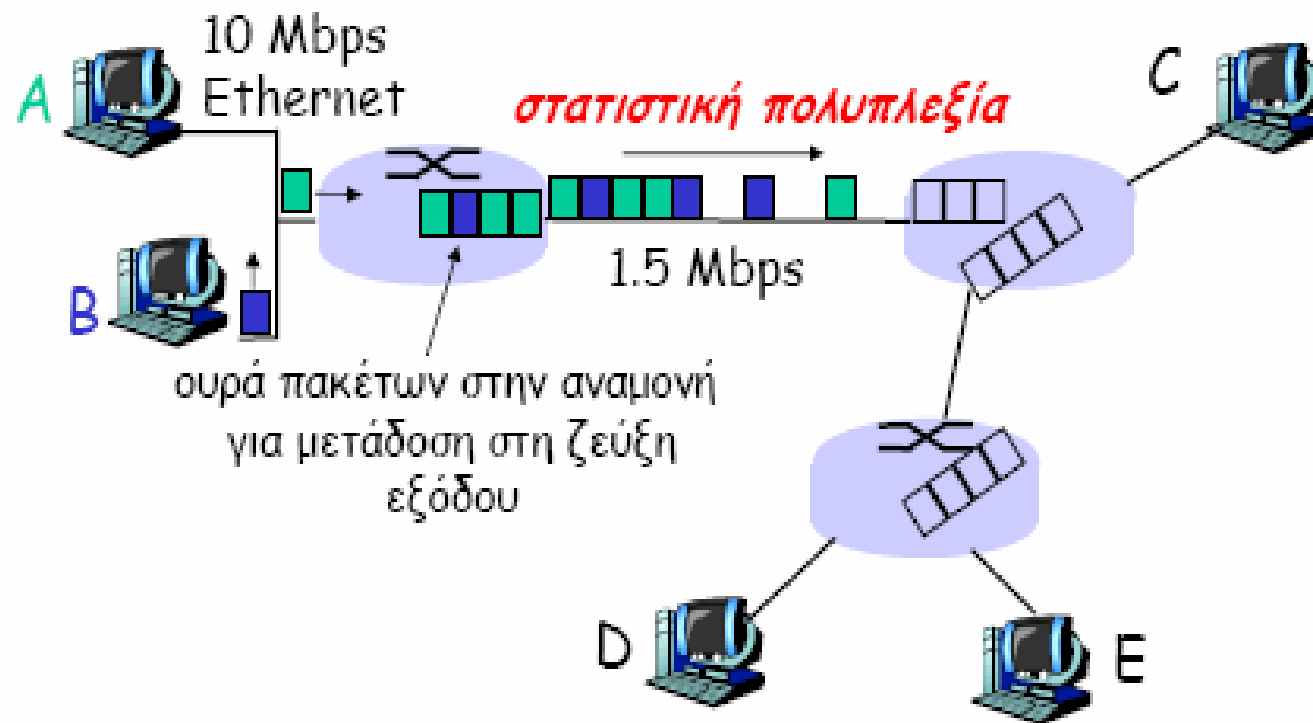
Διαίρεση bandwidth σε "κομμάτια"
Αποκλειστική απονομή
Δέσμευση πόρων



ανταγωνισμός για τους
πόρους:

- η συνολική ζήτηση πόρων ενδέχεται να υπερβαίνει τους διαθέσιμους πόρους
- συμφόρηση: πακέτα περιμένουν τη σειρά τους για μετάδοση στην ουρά
- αποθήκευση & προώθηση: μεταφορά κατά άλματα (hop by hop)
 - μετάδοση στη ζεύξη
 - αναμονή στην επόμενη ζεύξη

Μεταγωγή Πακέτων: Στατιστική Πολυπλεξία



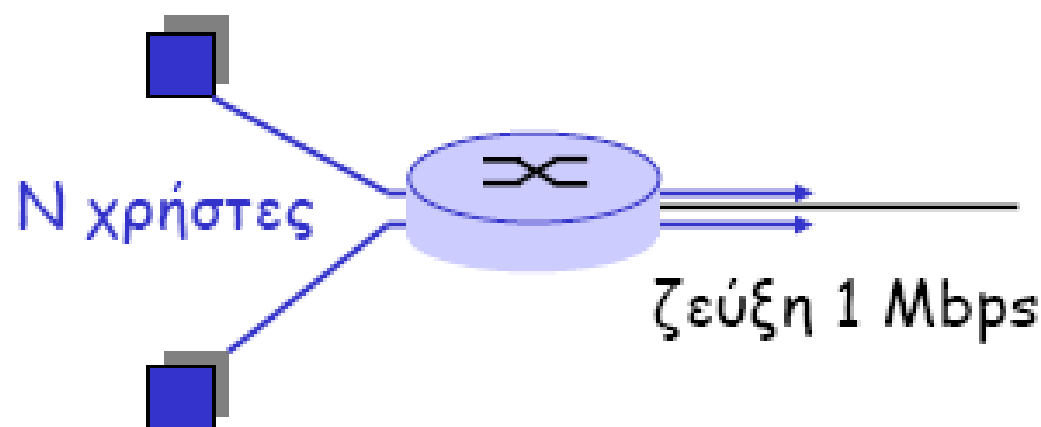
Η ακολουθία πακέτων παράγεται από τις πηγές A & B με τυχαίο τρόπο → **στατιστική πολυπλεξία**

Στο TDM δίνεται σε κάθε host η ίδια χρονοθυρίδα (slot) στο περιστρεφόμενο πλαίσιο TDM

Μεταγωγή πακέτων έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Η μεταγωγή πακέτων επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να χρησιμοποιούν το δίκτυο

- ζεύξη 1 Mbps
- κάθε χρήστης:
 - 100 kbps όταν "ενεργός"
 - ενεργός 10% του χρόνου
- μεταγωγή κυκλώματος:
 - 10 χρήστες
- μεταγωγή πακέτων:
 - με 35 χρήστες, πιθανότητα > 10 ενεργοί χρήστες ταυτόχρονα μικρότερη από .0004

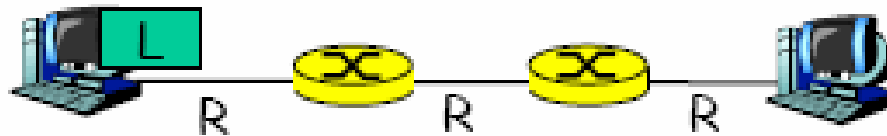


Μεταγωγή πακέτων έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Μεταγωγή πακέτων:

- Ιδανική για δεδομένα που χαρακτηρίζονται από σποραδικότητα (bursty)
 - διαμοιρασμός πόρων
 - απλούστερη, δεν απαιτεί εγκαθίδρυση σύνδεσης
- **Υπερβολική συμφόρηση:** καθυστέρηση και απώλειες πακέτων
 - απαιτούνται πρωτόκολλα για την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, έλεγχο συμφόρησης
- **Υπάρχει τρόπος να συμπεριφερθεί όπως η μεταγωγή κυκλώματος;**
 - οι εφαρμογές audio/video απαιτούν εγγυήσεις ως προς το bandwidth
 - παραμένει άλυτο πρόβλημα

Μεταγωγή πακέτων: αποθήκευση και προώθηση

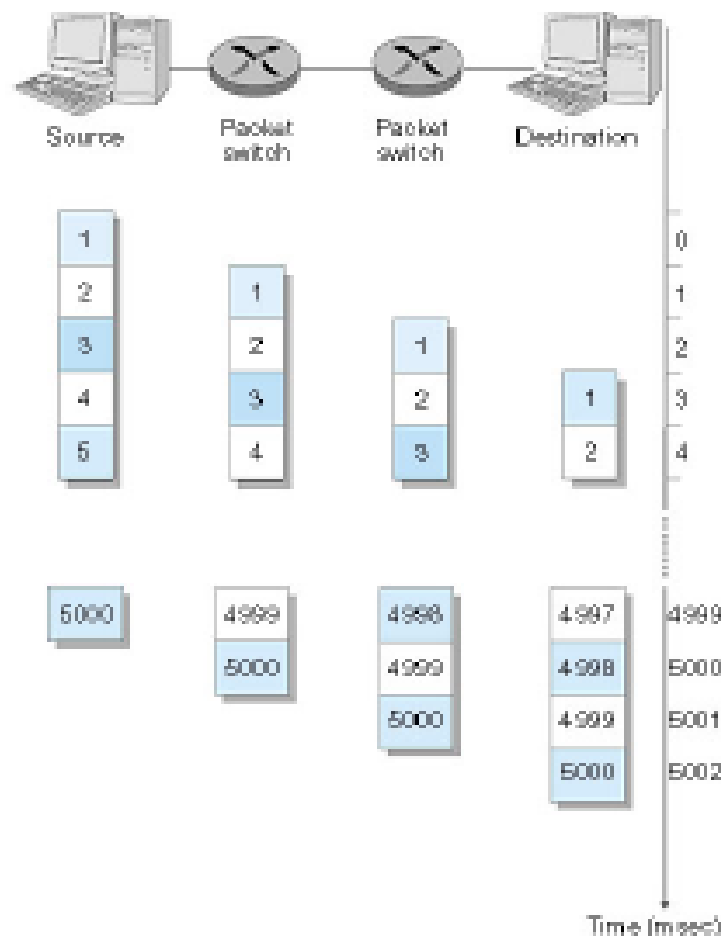


- Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου από L bits σε μία ζεύξη με ρυθμό R bps είναι L/R sec
- Ο δρομολογητής πρέπει να λάβει ολόκληρο το πακέτο πριν είναι σε θέση να το μεταδώσει στην επόμενη ζεύξη: *αποθήκευση και προώθηση*
- καθυστέρηση = $3L/R$

Παράδειγμα:

- $L = 7.5$ Mbits
- $R = 1.5$ Mbps
- καθυστέρηση = 15 sec

Μεταγωγή πακέτων: κατάτμηση μηνυμάτων



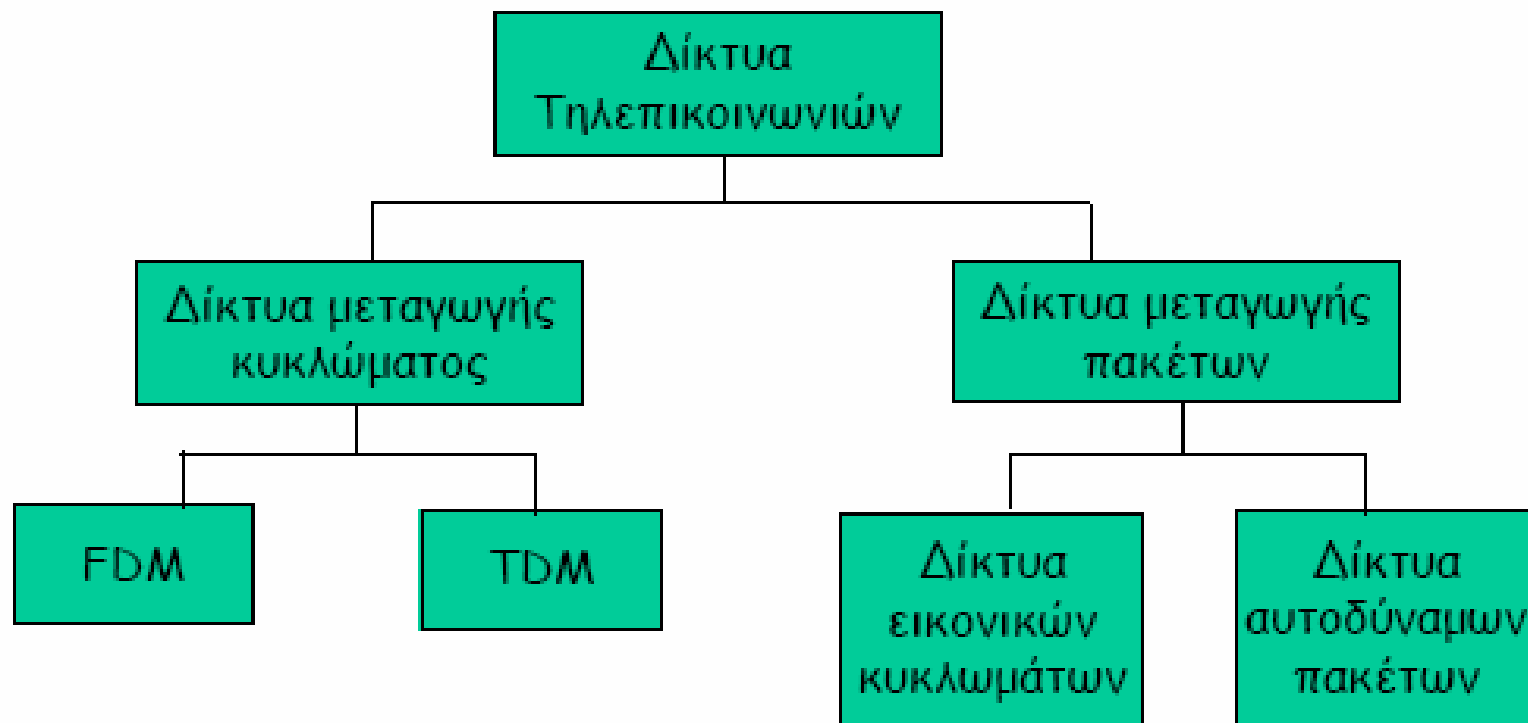
Κατάτμηση του μηνύματος των 7.5 Mbits σε 5000 πακέτα

- κάθε πακέτο 1500 bits
- χρόνος μετάδοσης σε μία ζεύξη: 1 msec
- *pipelining*: οι ζεύξεις δουλεύουν παράλληλα
- η καθυστέρηση μειώνεται από 15 sec σε 5.002 sec

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων: προώθηση

- **Στόχος:** μετακίνηση πακέτων από την πηγή στον προορισμό μέσω δρομολογητών
 - αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms): αλγόριθμοι επιλογής διαδρομής μεταξύ πηγής - προορισμού
- **δίκτυο αυτοδύναμων πακέτων (datagrams):**
 - η *διεύθυνση προορισμού* που περιέχεται στο πακέτο προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο
 - οι διαδρομές ενδέχεται να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια ενός session
- **δίκτυο εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuits):**
 - κάθε πακέτο φέρει "ετικέτα (tag)" (ID εικονικού κυκλώματος), η ετικέτα προσδιορίζει τον επόμενο κόμβο
 - η διαδρομή προσδιορίζεται κατά την *εγκαθίδρυση κλήσης*, παραμένει αμετάβλητη κατά τη διάρκεια της κλήσης
 - *οι δρομολογητές διατηρούν πληροφορία για την κατάσταση κάθε κλήσης*

Ταξινόμηση Δικτύων



- Ένα δίκτυο αυτοδύναμων πακέτων δεν είναι ούτε συνδεδεισμένο ούτε ασυνδεδεισμένο
- Το Διαδίκτυο παρέχει στις εφαρμογές και συνδεδεισμένες υπηρεσίες (TCP) και ασυνδεδεισμένες υπηρεσίες (UDP)

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

- 1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;
- 1.2 Άκρα δικτύου
- 1.3 Πυρήνας δικτύου
- 1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα
- 1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs
- 1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- 1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- 1.8 Ιστορία

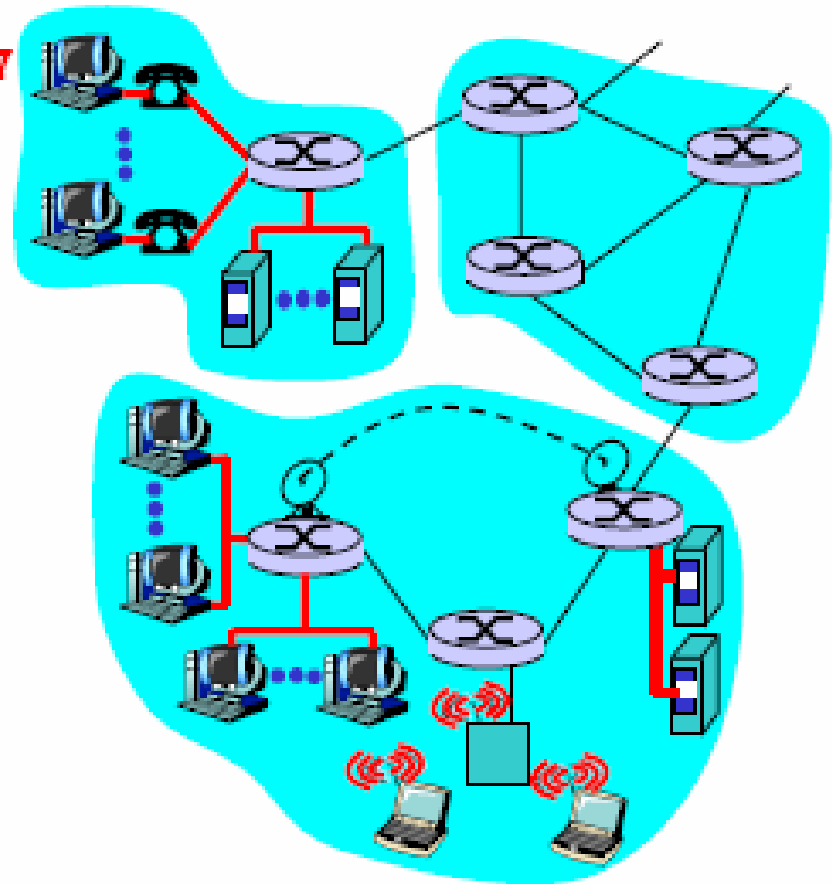
Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα

Ε: Με ποιους τρόπους μπορεί να συνδεθεί ένα τερματικό σύστημα στον ακραίο δρομολογητή;

- ❑ δίκτυα οικιακής πρόσβασης
- ❑ δίκτυα εταιρικής πρόσβασης (σχολεία, επιχειρήσεις)
- ❑ δίκτυα κινητής πρόσβασης

Παρατηρήσεις:

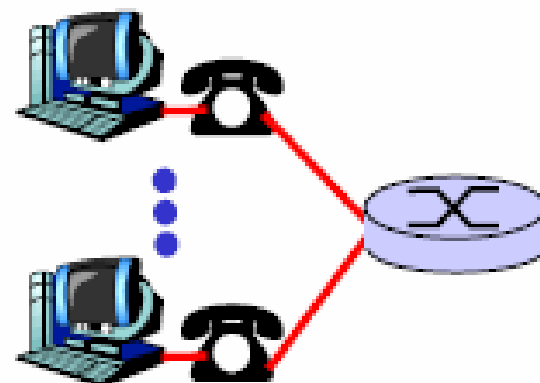
- ❑ bandwidth (bits ανά δευτερόλεπτο) δικτύου πρόσβασης;
- ❑ διαμοιραζόμενο ή αποκλειστικό;



Οικιακή πρόσβαση: πρόσβαση σημείου προς σημείο

□ Dialup modem (Μόντεμ μέσω τηλεφώνου)

- ρυθμός έως 56 kbps
- δεν επιτρέπει ταυτόχρονη πρόσβαση στο Διαδίκτυο και το δίκτυο τηλεφωνίας



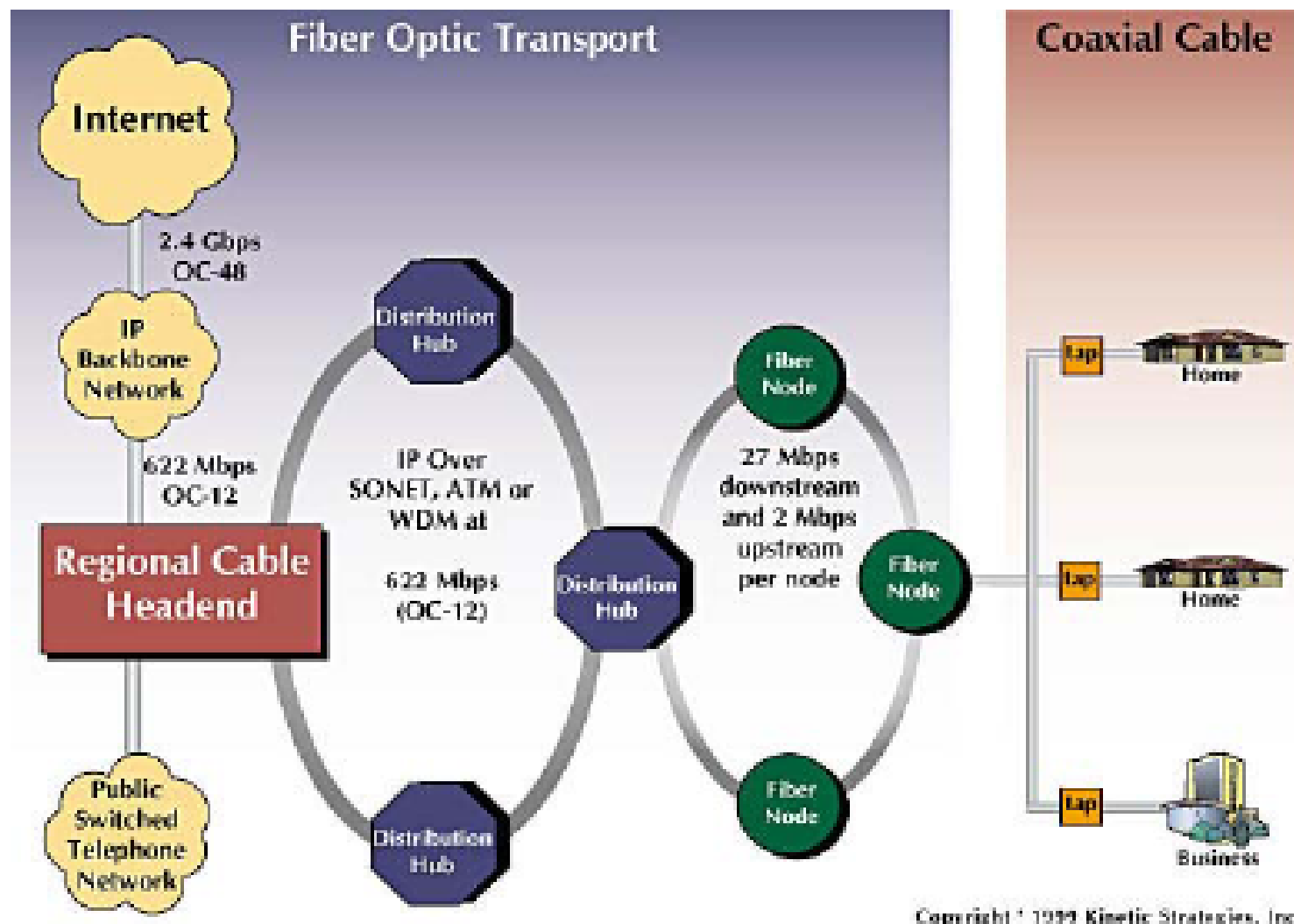
□ ADSL: asymmetric digital subscriber line (ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή)

- έως 1 Mbps upstream (συνήθως < 256 kbps)
- έως 8 Mbps downstream (συνήθως < 1 Mbps)
- FDM: 50 kHz - 1 MHz downstream
4 kHz - 50 kHz upstream
0 kHz - 4 kHz τηλεφωνικό κανάλι

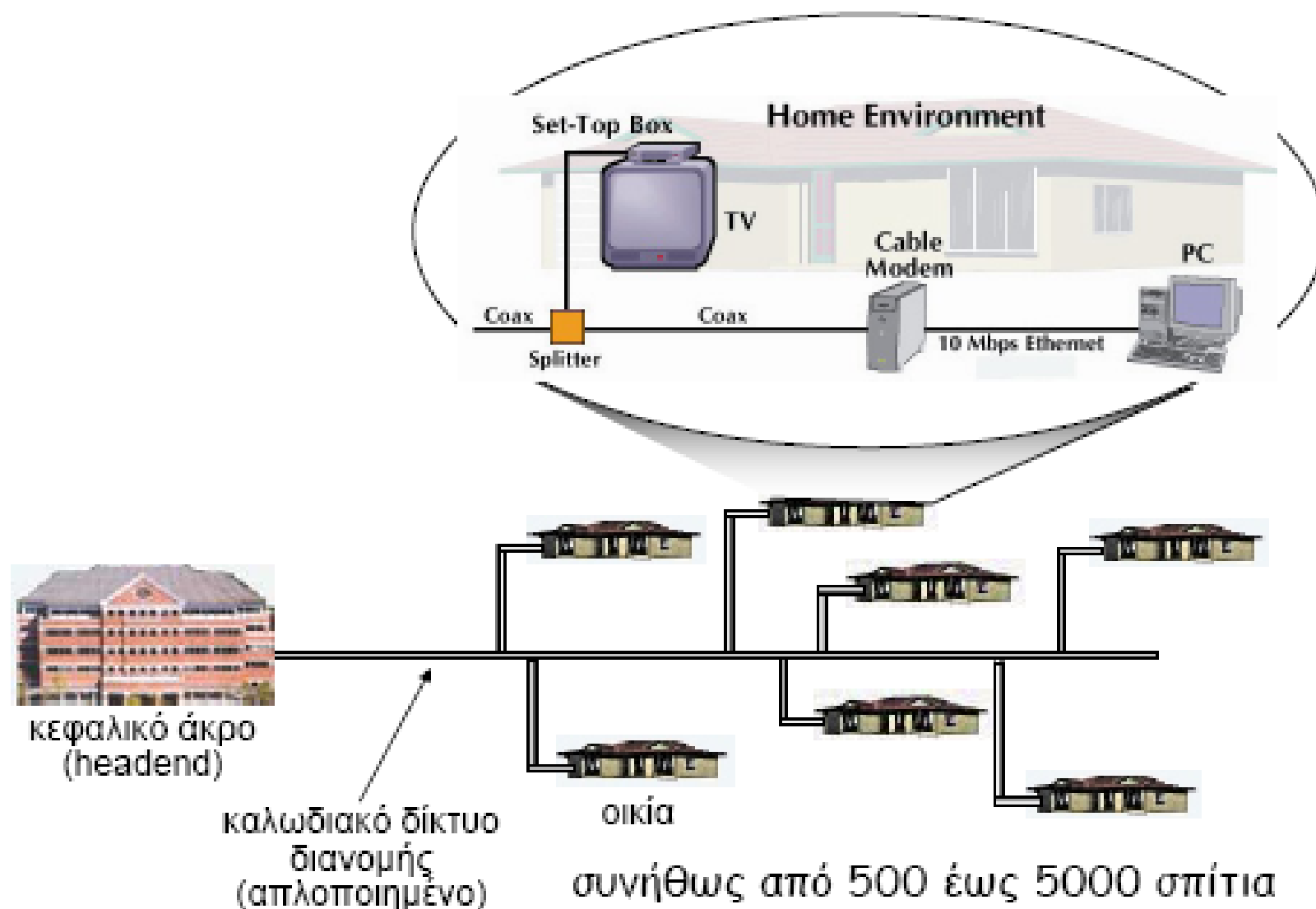
Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ

- HFC: hybrid fiber coax (υβριδικό ινομοαξονικό καλώδιο)
 - έως 30 Mbps downstream
 - έως 2 Mbps upstream
- **δίκτυο** ομοαξονικού καλωδίου και οπτικής ίνας συνδέει οικίες στο δρομολογητή του ISP
 - από κοινού πρόσβαση των οικιών
- παρέχεται από τις εταιρείες καλωδιακής τηλεόρασης

Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ

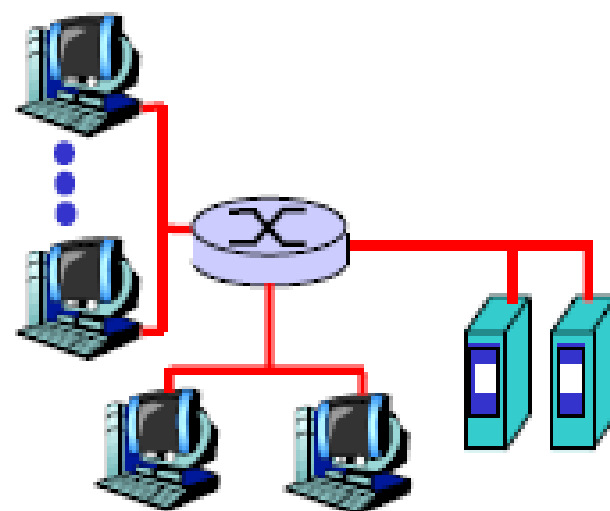


Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ



Εταιρική πρόσβαση: τοπικά δίκτυα

- **ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (LAN)**
πανεπιστημίου/επιχείρησης
συνδέει τερματικό σύστημα
στον ακραίο δρομολογητή
- **Ethernet:**
 - shared ή switched
 - 10 Mbps, 100 Mbps,
Gigabit Ethernet



Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

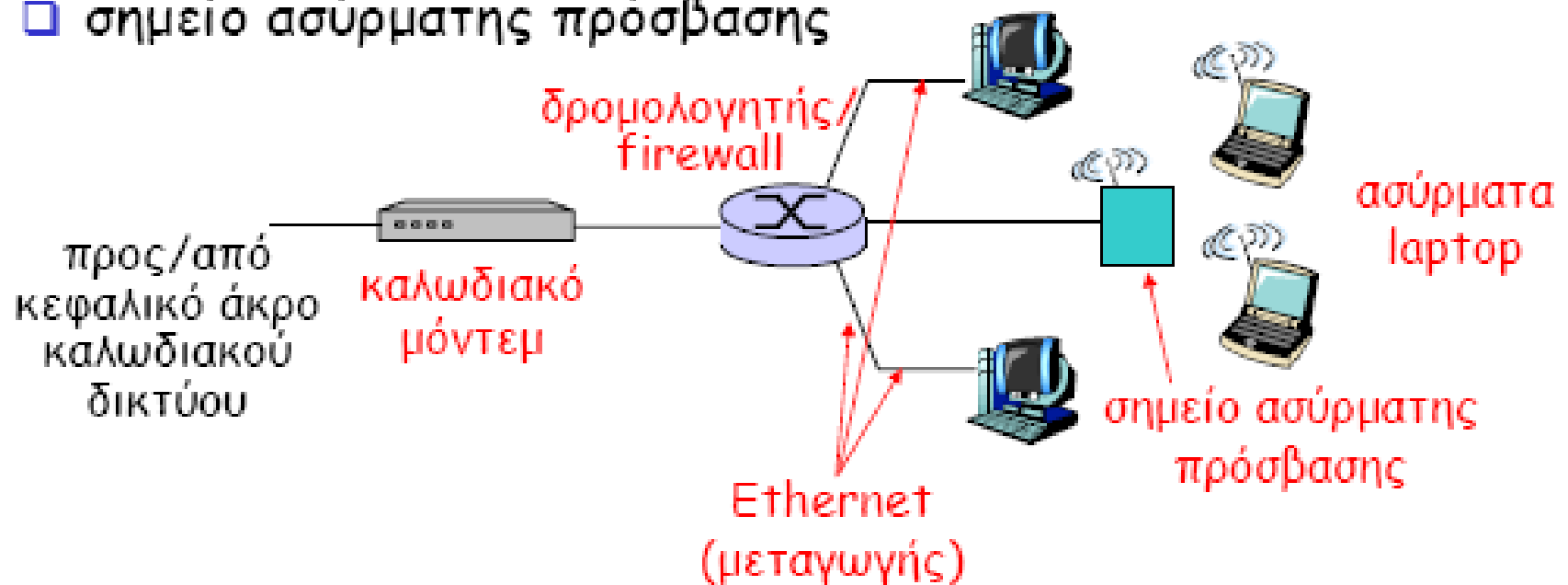
- διαμοιραζόμενο δίκτυο *ασύρματης* πρόσβασης συνδέει τερματικό σύστημα στο δρομολογητή
 - μέσω σταθμού βάσης (base station) ή σημείου πρόσβασης (access point)
- **ασύρματα τοπικά δίκτυα (wireless LANs):**
 - IEEE 802.11b (WiFi): 11 Mbps
- **ασύρματη πρόσβαση ευρείας περιοχής (wide-area wireless access)**
 - παρέχεται από εταιρείες τηλεφωνίας
 - 36 ~ 384 kbps



Οικιακά δίκτυα

Για ένα σύνηθες οικιακό δίκτυο απαιτούνται:

- ❑ ADSL ή καλωδιακό μόντεμ
- ❑ δρομολογητής/firewall/NAT
- ❑ Ethernet
- ❑ σημείο ασύρματης πρόσβασης



Φυσικά μέσα

- ❑ **Bit:** διαδίδεται μεταξύ ζεύγους πομπού - δέκτη
- ❑ **φυσική ζεύξη:** μεταξύ πομπού - δέκτη
- ❑ **οδηγούμενα μέσα:**
 - σήματα διαδίδονται σε στερεά μέσα: χαλκός, οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο
- ❑ **μη οδηγούμενα μέσα:**
 - σήματα διαδίδονται ελεύθερα π.χ. ραδιοκύματα

Συνεστραμμένο Ζεύγος Twisted Pair (TP)

- ❑ δύο μονωμένα σύρματα χαλκού
 - Category 3: τηλεφωνικά καλώδια, 10 Mbps Ethernet
 - Category 5: 100 Mbps Ethernet
 - Category 5e/6: 1 Gbps Ethernet

Φυσικά μέσα: ομοαξονικό καλώδιο, οπτική ίνα

Ομοαξονικό καλώδιο:

- δύο συγκεντρικοί αγωγοί χαλκού
- μοιραζόμενο μέσο
- βασικής ζώνης (baseband):
 - ένα κανάλι στο καλώδιο
 - Ethernet
- ευρείας ζώνης (broadband):
 - πολλαπλά κανάλια στο καλώδιο (FDM)
 - HFC



Καλώδιο οπτικής ίνας:

- ίνα από γυαλί που μεταφέρει οπτικούς παλμούς, κάθε παλμός ένα bit
- υψηλές ταχύτητες μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις
- χαμηλός ρυθμός σφαλμάτων δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές



Φυσικά μέσα: ραδιοζεύξεις

- σήμα μεταφέρεται στο Η/Μ φάσμα
- δίχως φυσική σύνδεση
- μοιραζόμενο μέσο
- επιδράσεις περιβάλλοντος διάδοσης:
 - ανάκλαση
 - σκίαση από αντικείμενα
 - παρεμβολές

Είδη ραδιοζεύξεων:

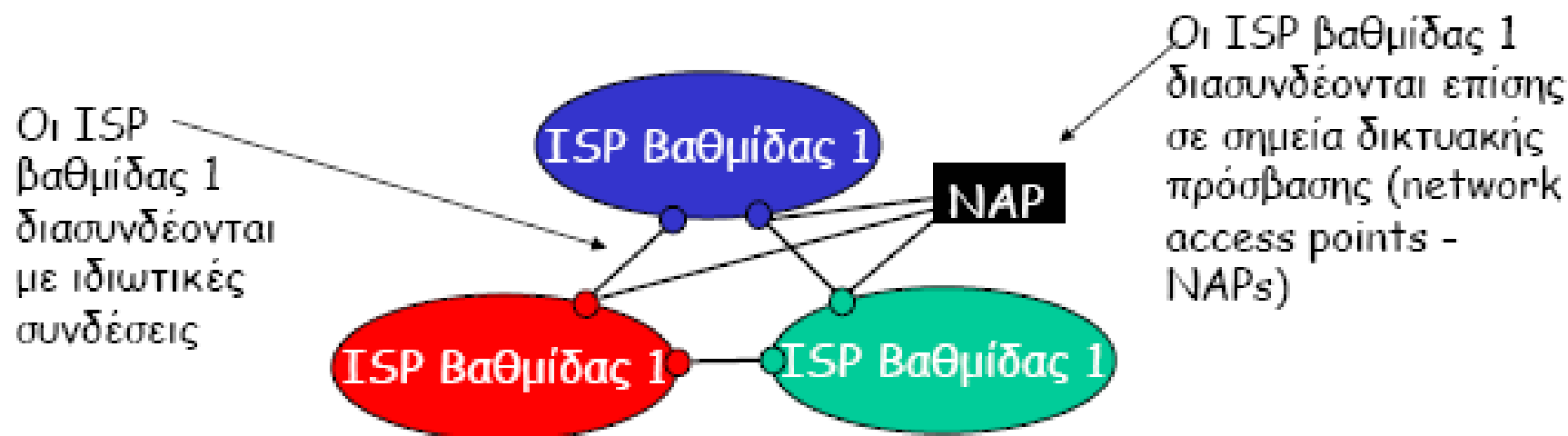
- **επίγειες μικροκυματικές**
 - **τοπικές** (π.χ. 802.11b LAN)
 - 11 Mbps
 - **ευρείας περιοχής** (π.χ. κινητή τηλεφωνία)
 - π.χ. 3G: εκατοντάδες kbps
- **δορυφορικές**
 - καθυστέρηση 270 msec μεταξύ επίγειων σταθμών
 - γεωστατικοί (geostationary) δορυφόροι, δορυφόροι χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbit - LEO)

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

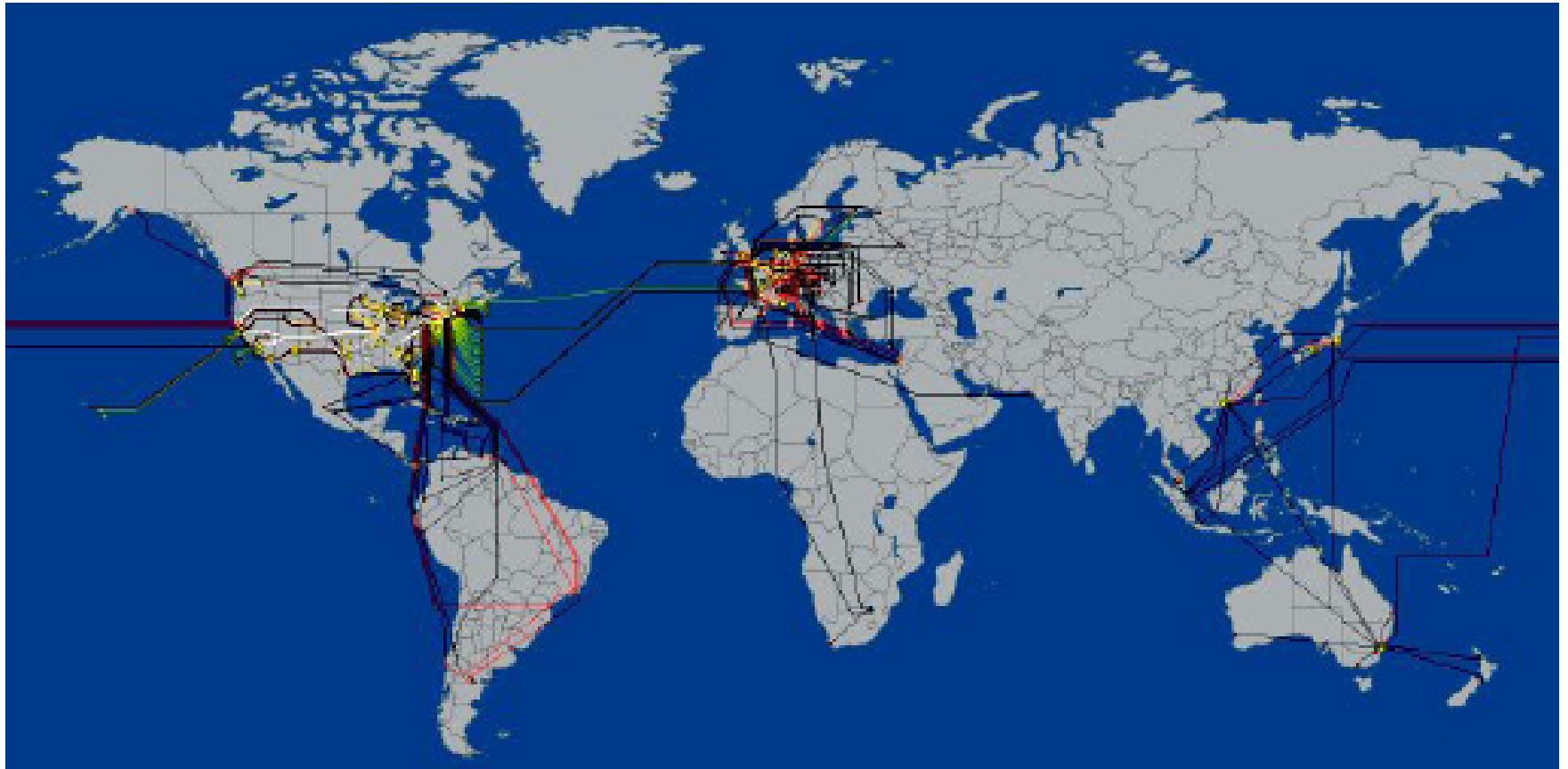
- 1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;
- 1.2 Άκρα δικτύου
- 1.3 Πυρήνας δικτύου
- 1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα
- 1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs
- 1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- 1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- 1.8 Ιστορία

Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

- δομή σχεδόν ιεραρχική
- στο κέντρο: **ISP "βαθμίδας 1"** (Δίκτυα κορμού Διαδικτύου)
 - συνδέονται απευθείας μεταξύ τους
 - συνδέονται με μεγάλο αριθμό από ISP βαθμίδας 2
 - εθνική/διεθνής κάλυψη
 - ζεύξεις/δρομολογητές υψηλών ταχυτήτων



ISP Βαθμίδα 1: π.χ. AT&T (2003)

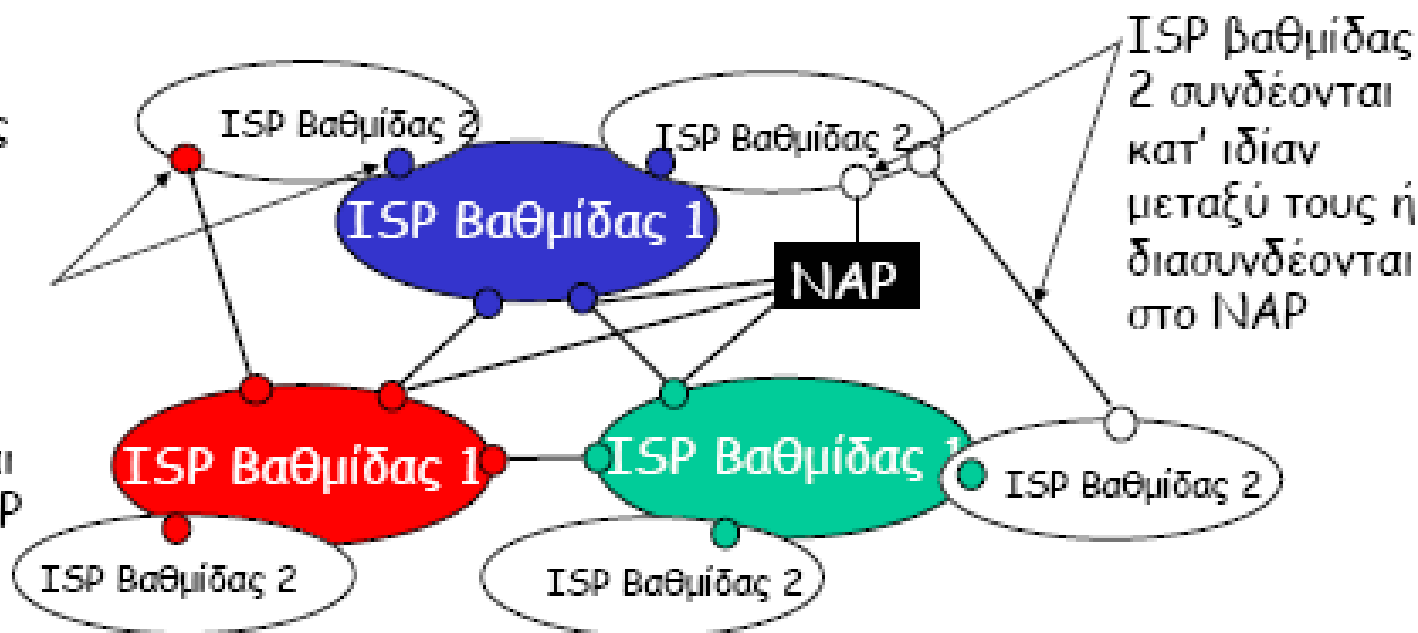


Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

- **ISP "Βαθμίδας 2":** μικρότεροι ISP (συχνά περιφερειακοί)
 - συνδέονται με έναν ή περισσότερους ISP βαθμίδας 1 και πιθανώς με άλλους ISP βαθμίδας 2

Ο ISP βαθμίδας 2 πληρώνει τον ISP βαθμίδας 1 για να συνδεθεί στο Διαδίκτυο

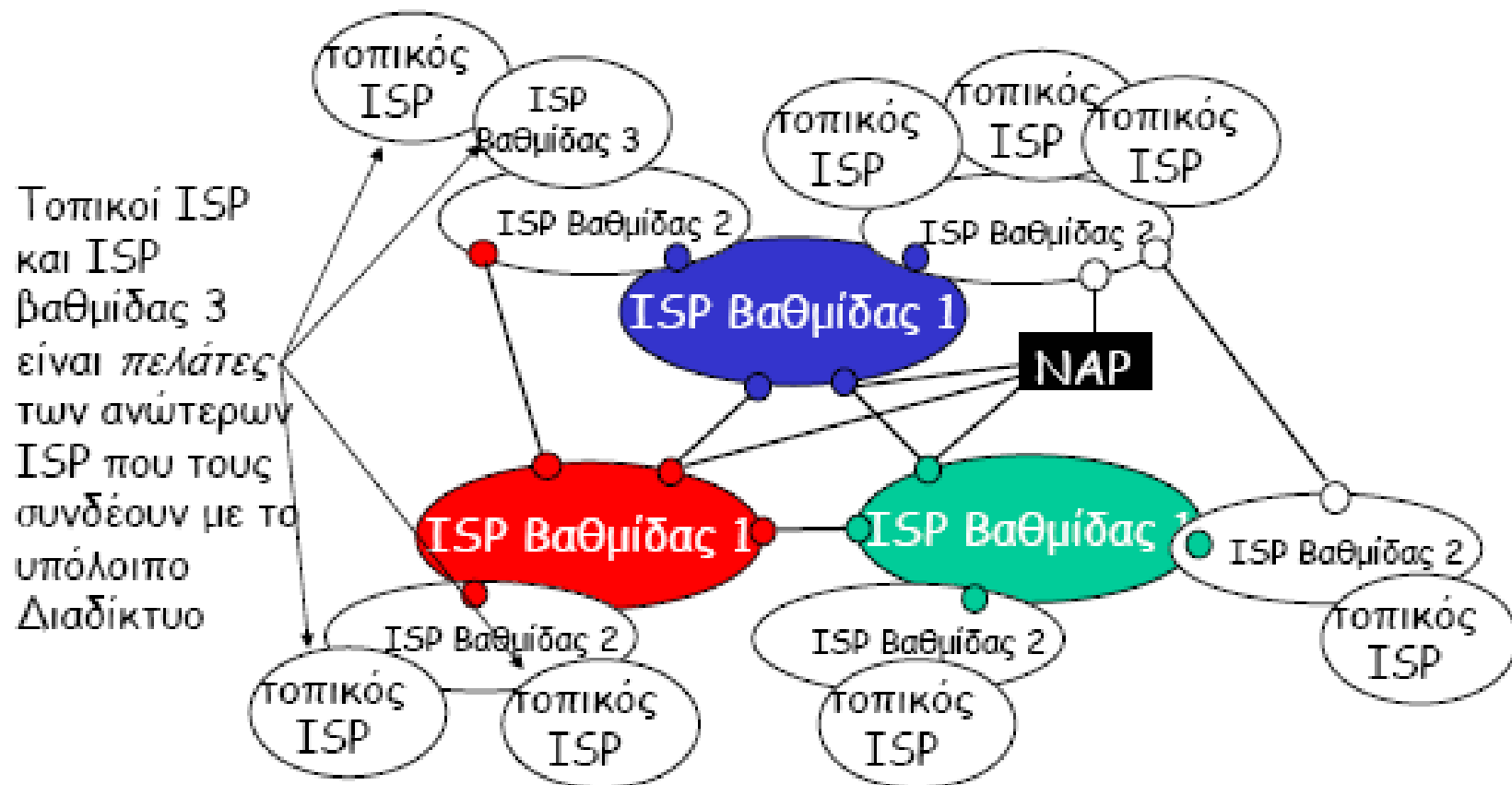
□ Ο ISP βαθμίδας 2 είναι πελάτης του ISP βαθμίδας 1



Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

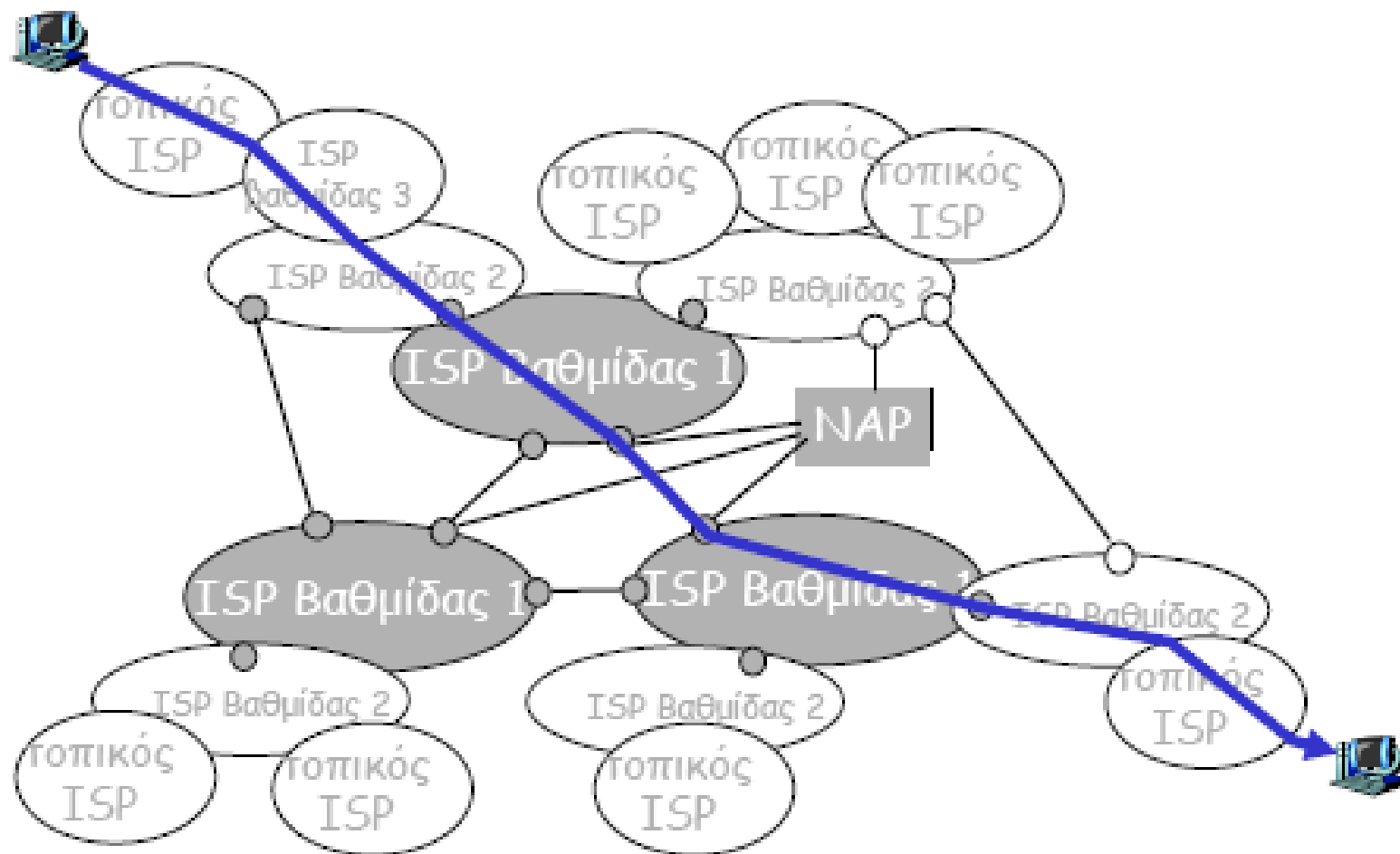
□ ISP βαθμίδας 3 και τοπικοί ISP

- τοπικοί ISP πλησιέστεροι στα τερματικά συστήματα



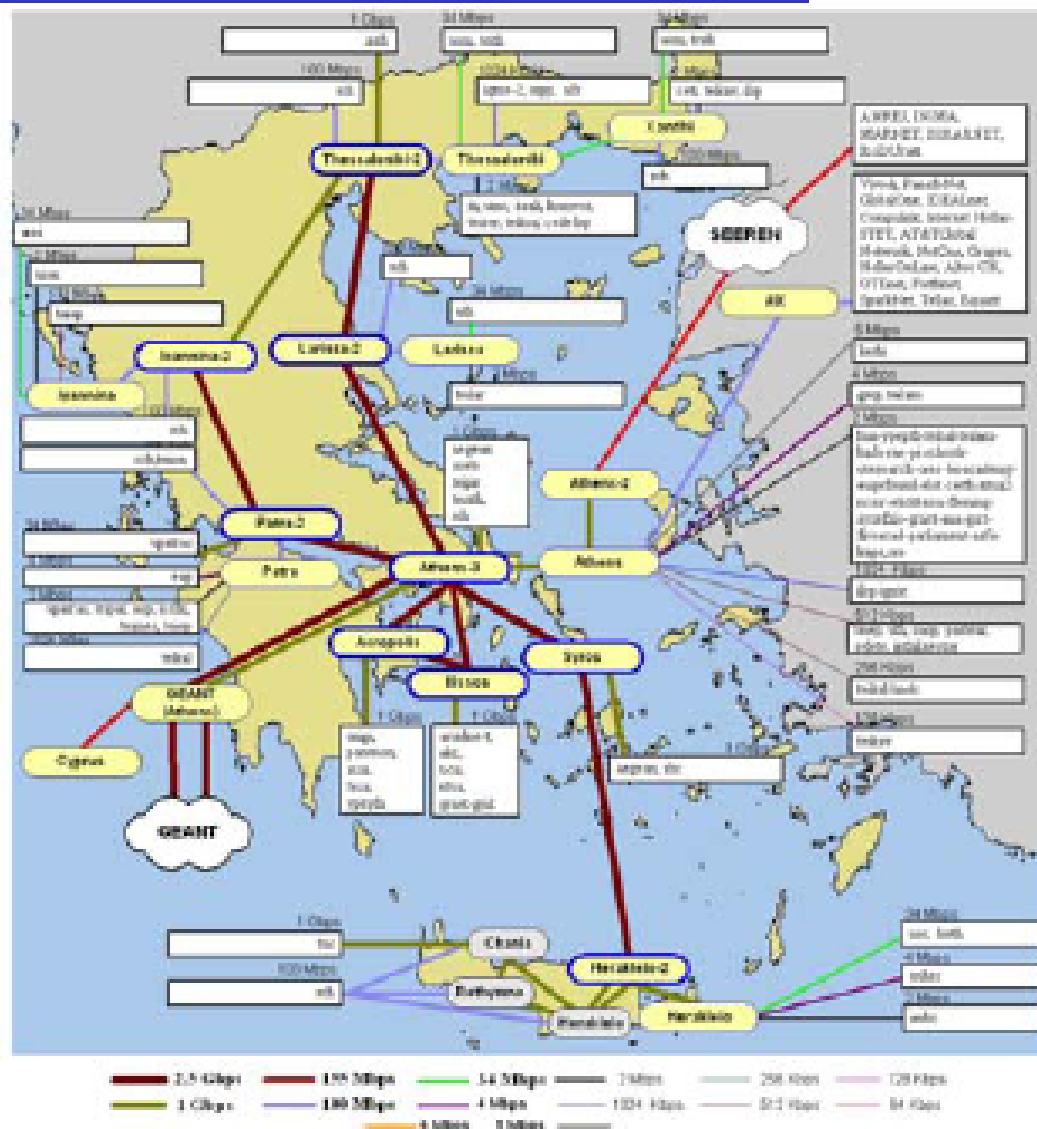
Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

- ένα πακέτο διέρχεται μέσα από πολλά δίκτυα



Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας ΕΔΕΤ/GRNET

- Το ΕΔΕΤ συνδέει τα ερευνητικά και εκπαιδευτικά ιδρύματα της Ελλάδας με τα αντίστοιχα ιδρύματα της Ευρώπης μέσω του πανευρωπαϊκού ερευνητικού και εκπαιδευτικού δικτύου GÉant



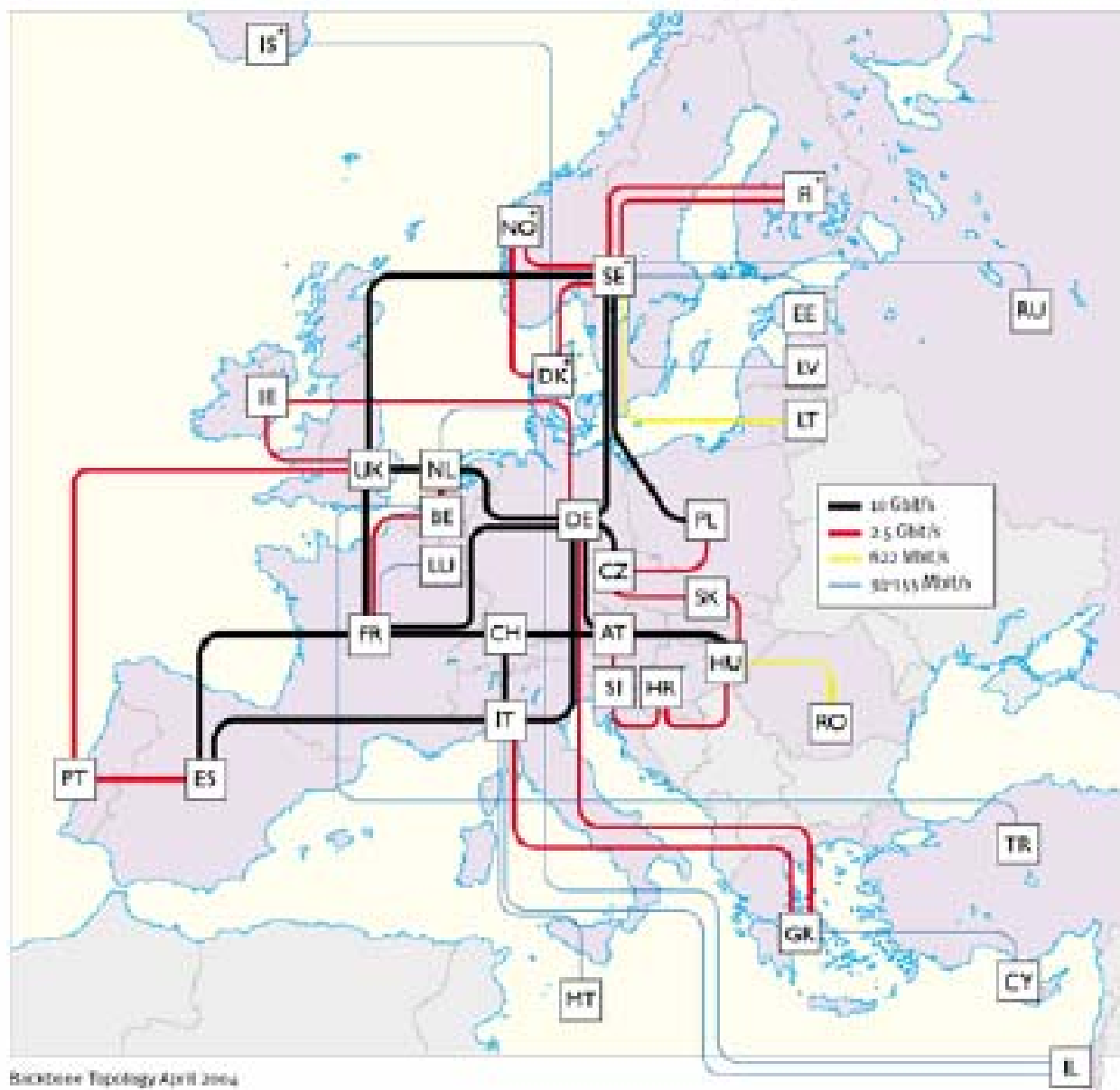
Athens Internet Exchange (AIX)

- Ο κόμβος Athens Internet Exchange (AIX) προσφέρει τοπική διασύνδεση μεταξύ των εμπορικών δικτύων των μεγαλύτερων εταιρειών παροχής υπηρεσιών Internet στην Ελλάδα:

ISPs ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ AIX		
1.	GRNET	http://www.grnet.gr
2.	OTEnet	http://www.otenet.gr
3.	FORTHnet	http://www.forthnet.gr
4.	Hellas On Line	http://www.hol.gr
5.	Panafonet	http://www.panafonet.gr
6.	AT&T Global Network Services Hellas	http://www.att.com/globalnetwork/
7.	NetOne	http://www.netone.gr/
8.	Computelink	http://www.computelink.gr
9.	Global One	http://www.globalone.gr/
10.	SPARKnet	http://www.spark.net.gr/
11.	Internet Hellas	http://www.internet.gr/
12.	Telesat	http://www.telesat.gr
13.	Vivodi	http://www.vivodi.gr/
14.	Altec Communication Networks	http://www.acn.gr
15.	Tellas	http://www.tellas.gr

Géant

- Το ΕΔΕΤ συνδέεται με το *Géant* με δύο γραμμές ταχύτητας 2,5 Gbps προς Ιταλία και Γερμανία

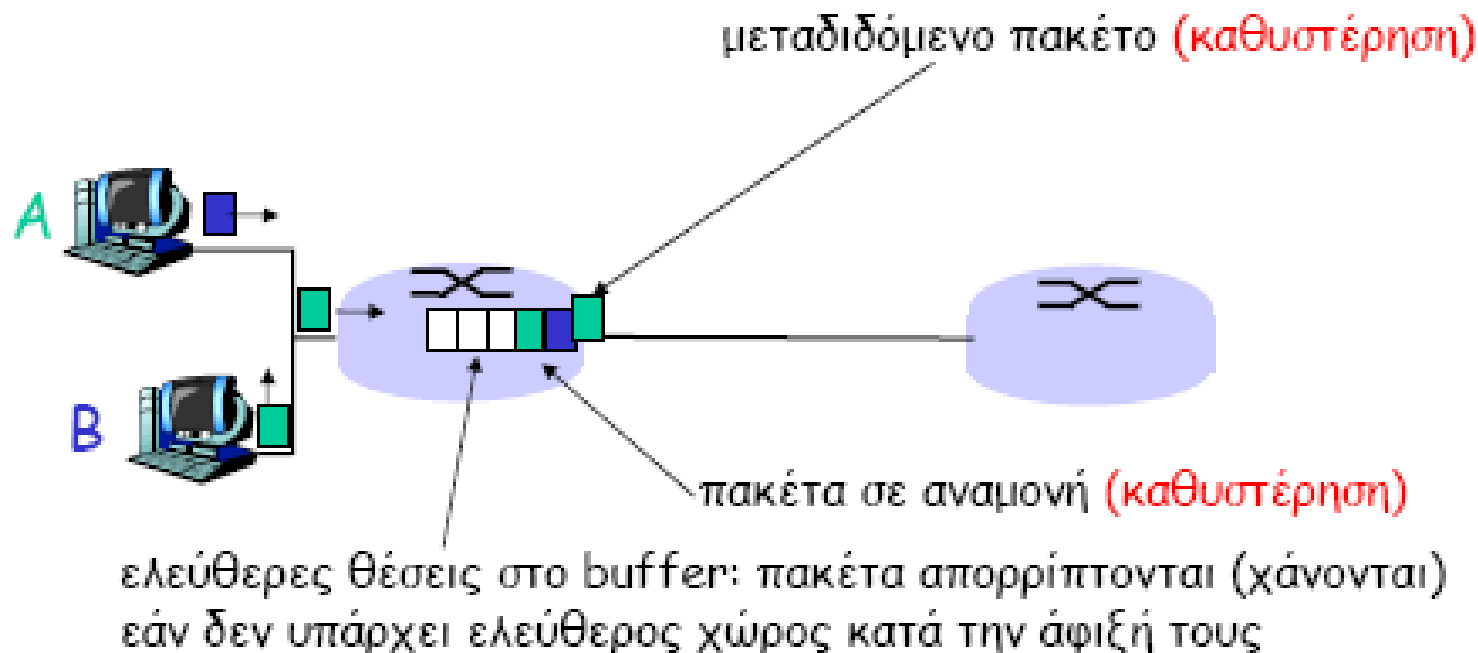


ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

- 1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;
- 1.2 Άκρα δικτύου
- 1.3 Πυρήνας δικτύου
- 1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα
- 1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs
- 1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- 1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- 1.8 Ιστορία

Που οφείλονται απώλειες και καθυστερήσεις;

- ❑ τα πακέτα περιμένουν τη σειρά τους να μεταδοθούν στους buffers των δρομολογητών
- ❑ πακέτα συσσωρεύονται στην ουρά όταν ο ρυθμός άφιξης των πακέτων υπερβαίνει τη χωρητικότητα της ζεύξης



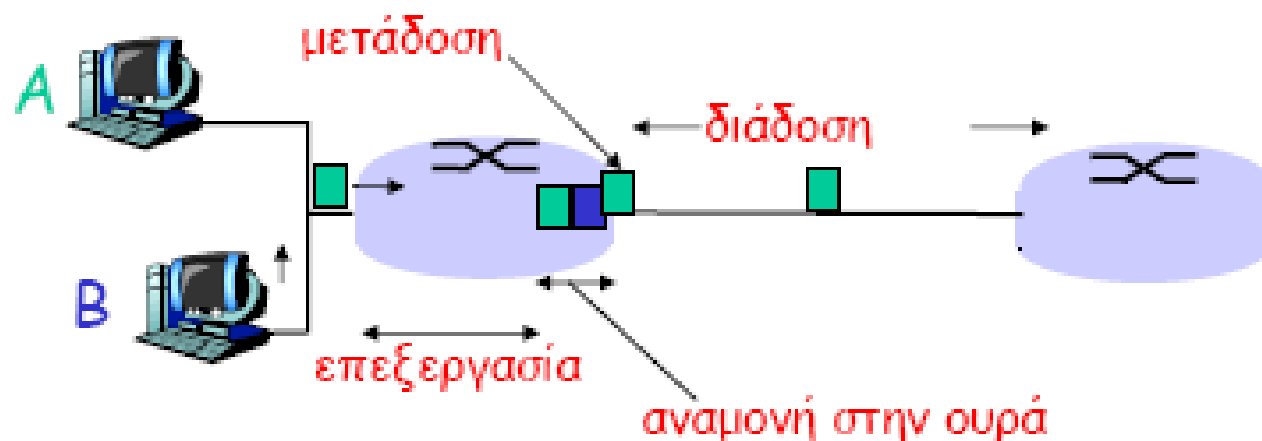
Τέσσερις πηγές καθυστέρησης

□ 1. επεξεργασία στον κόμβο:

- προσδιορισμός ζεύξης εξόδου
- έλεγχος σφαλμάτων bits

□ 2. αναμονή στην ουρά

- χρόνος αναμονής στη ζεύξη εξόδου
- εξαρτάται από το βαθμό συμφόρησης του δρομολογητή



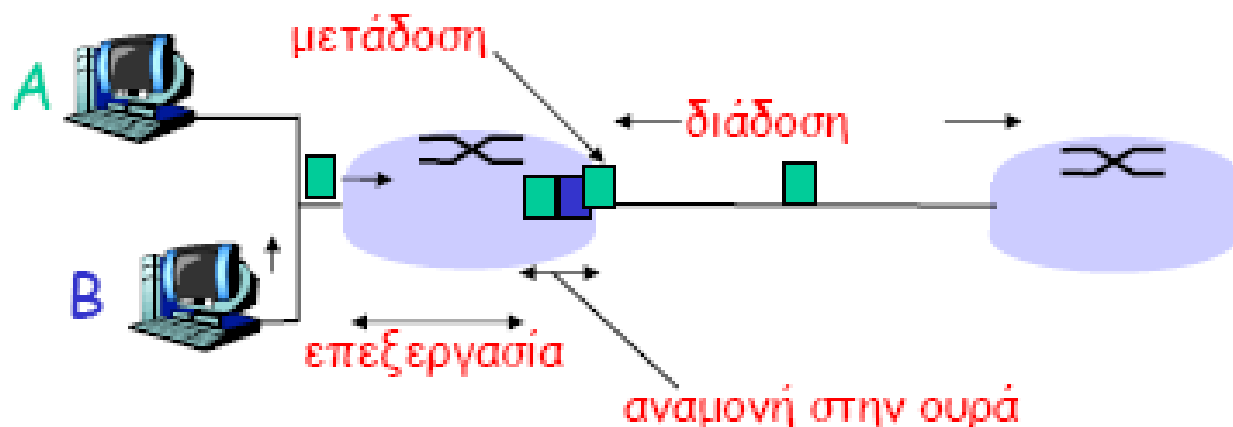
Τέσσερις πηγές καθυστέρησης

3. Καθυστέρηση μετάδοσης:

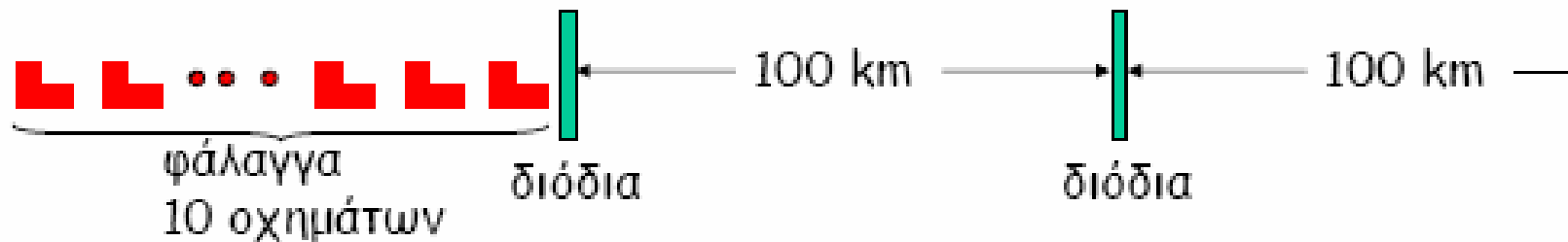
- R = bandwidth ζεύξης (bps)
- L = μήκος πακέτου (bits)
- χρόνος μετάδοσης πακέτου = L/R

4. Καθυστέρηση διάδοσης:

- d = μήκος φυσικής ζεύξης
- s = ταχύτητα διάδοσης μέσου ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- χρόνος διάδοσης = d/s

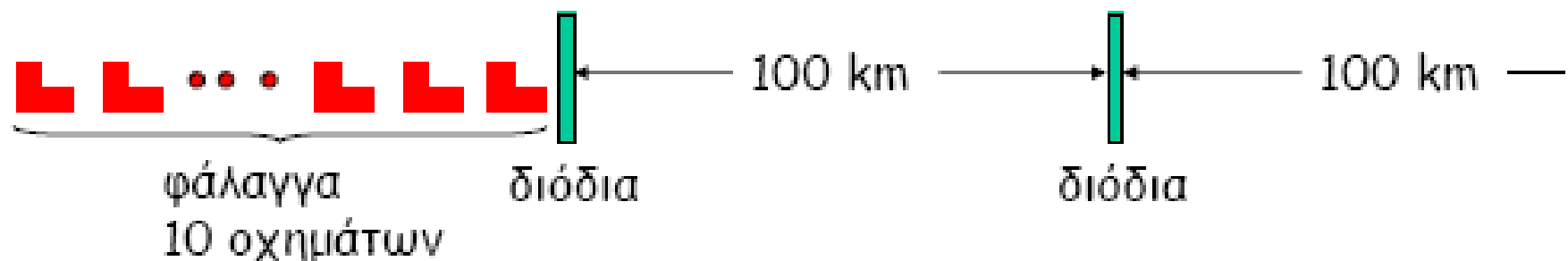


Αναλογία (Φάλαγγα οχημάτων)



- Οχήματα "οδεύουν" με ταχύτητα 100 km/hr
- Κάθε όχημα κάνει 12 sec στα διόδια (χρόνος μετάδοσης)
- όχημα ~ bit; φάλαγγα ~ πακέτο
- Ε: Πόσος χρόνος για να φθάσει η φάλαγγα στα δεύτερα διόδια;
- Συνολικός χρόνος διέλευσης από τα διόδια για όλα τα οχήματα = $12 \times 10 = 120 \text{ sec}$
- Χρόνος διαδρομής από πρώτα διόδια σε δεύτερα: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/hr}) = 1 \text{ hr}$
- A: 62 min

Αναλογία (Φάλαγγα οχημάτων)



- ❑ Οχήματα "οδεύουν" με ταχύτητα 1000 km/hr
- ❑ Χρόνος στα διόδια ανά όχημα 1 min

- ❑ Μετά από 7 min, 1ο όχημα στα δεύτερα διόδια ενώ 3 οχήματα βρίσκονται ακόμη στα πρώτα διόδια
- ❑ 1ο bit του πακέτου μπορεί να φθάσει στο 2ο δρομολογητή πριν το πακέτο μεταδοθεί πλήρως από το δρομολογητή 1

Καθυστέρηση στον κόμβο

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- d_{proc} = καθυστέρηση επεξεργασίας
 - συνήθως μερικά μsecs ή λιγότερο
- d_{queue} = καθυστέρηση αναμονής στην ουρά
 - εξαρτάται από τη συμφόρηση
- d_{trans} = καθυστέρηση μετάδοσης
 - $= L/R$, σημαντική για ζεύξεις χαμηλού ρυθμού
- d_{prop} = καθυστέρηση διάδοσης
 - μερικά μsecs έως εκατοντάδες msecs

Καθυστέρηση αναμονής στην ουρά

- R = bandwidth ζεύξης (bps)
- L = μήκος πακέτου (bits)
- a = ρυθμός άφιξης πακέτων

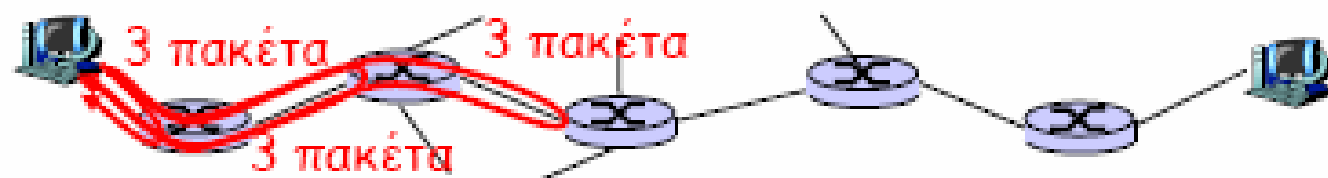
φορτίο κίνησης = La/R



- $La/R \sim 0$: μέση καθυστέρηση αναμονής μικρή
- $La/R \rightarrow 1$: καθυστερήσεις μεγαλώνουν
- $La/R > 1$: το "έργο" που φθάνει μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να προσφερθεί, άπειρη μέση καθυστέρηση (άπειρη ουρά)

Μέτρηση καθυστέρησης στο Διαδίκτυο

- Πρόγραμμα **Traceroute**: παρέχει μετρήσεις της καθυστέρησης από την πηγή προς κάθε δρομολογητή μίας διαδρομής στο Διαδίκτυο προς τον προορισμό. Για κάθε δρομολογητή i :
 - στέλνει τρία πακέτα που θα φθάσουν τον δρομολογητή i στη διαδρομή προς τον προορισμό
 - ο δρομολογητής i θα επιστρέψει πακέτα στον αποστολέα
 - ο αποστολέας μετρά τα χρονικά διαστήματα από τη μετάδοση μέχρι την απόκριση.



Μετρήσεις καθυστέρησης στο Διαδίκτυο

traceroute: από gaia.cs.umass.edu σε fantasia.eurecom.fr

Τρεις μετρήσεις καθυστέρησης από
gaia.cs.umass.edu σε cs-gw.cs.umass.edu

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

υπερατλαντική
ζεύξη

* σημαίνει δεν ελήφθη απάντηση (πακέτο
χάθηκε, δρομολογητής δεν αποκρίνεται)

Μετρήσεις καθυστέρησης στο Διαδίκτυο

tracert: από tuc.gr σε gaia.cs.umass.edu

```
Command Prompt

C:\WINDOWS\system32>tracert gaia.cs.umass.edu

Tracing route to gaia.cs.umass.edu [128.119.245.12]
over a maximum of 30 hops:

  0  1      <1 ms      <1 ms      <1 ms      147.27.7.254
    2      <1 ms      <1 ms      <1 ms      chargvdi.internal.tuc.gr [147.27.240.3]
    3      <1 ms      <1 ms      <1 ms      mitos.external.tuc.gr [147.27.244.252]
    4      2 ms       2 ms       2 ms      backboneRouter.tuc.chania.creteMAN.grnet.gr [195.
.251.26.6]
    5      7 ms       6 ms       6 ms      Syros-to-Heraklio2.backbone.grnet.gr [195.251.27
.81]
    6      8 ms       8 ms       8 ms      athens3-to-Syros.backbone.grnet.gr [195.251.27.1
0]
    7      *          8 ms       8 ms      grnet.gr1.gr.geant.net [62.40.103.57]
    8      50 ms      50 ms      50 ms      gr.de2.de.geant.net [62.40.96.82]
    9      62 ms      62 ms      62 ms      de.at1.at.geant.net [62.40.96.57]
   10     253 ms     168 ms     169 ms     at.ny1.ny.geant.net [62.40.96.109]
   11     168 ms     169 ms     170 ms     198.32.11.50
   12     174 ms     174 ms     174 ms     nox230gw1-P0-9-1-NOX-NOX.nox.org [192.5.89.9]
   13     174 ms     174 ms     174 ms     nox300gw1-U1-802-NOX.nox.org [192.5.89.253]
   14     177 ms     177 ms     177 ms     nox300gw1-PEER-NOX-UMASS-192-5-89-102.nox.org [1
92.5.89.102]
   15     177 ms     177 ms     176 ms     lgrc-rt-106-8.gw.umass.edu [128.119.2.193]
   16     178 ms     178 ms     178 ms     128.119.3.153
   17     178 ms     177 ms     177 ms     gaia.cs.umass.edu [128.119.245.12]

Trace complete.
```

Απώλειες πακέτων

- ❑ Η ουρά (buffer) στη ζεύξη εξόδου έχει πεπερασμένη χωρητικότητα
- ❑ όταν ένα πακέτο βρίσκει την ουρά γεμάτη, το πακέτο απορρίπτεται (χάνεται)
- ❑ ένα πακέτο που χάνεται μπορεί να επαναμεταδοθεί από άκρο σε άκρο από το πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς ή επιπέδου εφαρμογής

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;

1.2 Άκρα δικτύου

1.3 Πυρήνας δικτύου

1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα

1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs

1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα
μεταγωγής πακέτων

1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

“Επίπεδα” Πρωτοκόλλων

Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα!

□ πολλά “κομμάτια”:

- τερματικά συστήματα
- δρομολογητές
- διαφόρων ειδών ζεύξεις
- εφαρμογές
- πρωτόκολλα
- υλικό, λογισμικό

Ερώτημα:

Υπάρχει ελπίδα *οργάνωσης* της αρχιτεκτονικής του δικτύου;

Ή τουλάχιστον της συζήτησής μας για την αρχιτεκτονική του δικτύου;

Οργάνωση αεροπορικών ταξιδιών

εισιτήριο (αγορά)

αποσκευές (έλεγχος)

θύρες (επιβίβαση)

τροχοδρόμηση για
προσγείωση

δρομολόγηση
αεροπλάνου

εισιτήριο (παράπονα)

αποσκευές (παραλαβή)

θύρες (αποβίβαση)

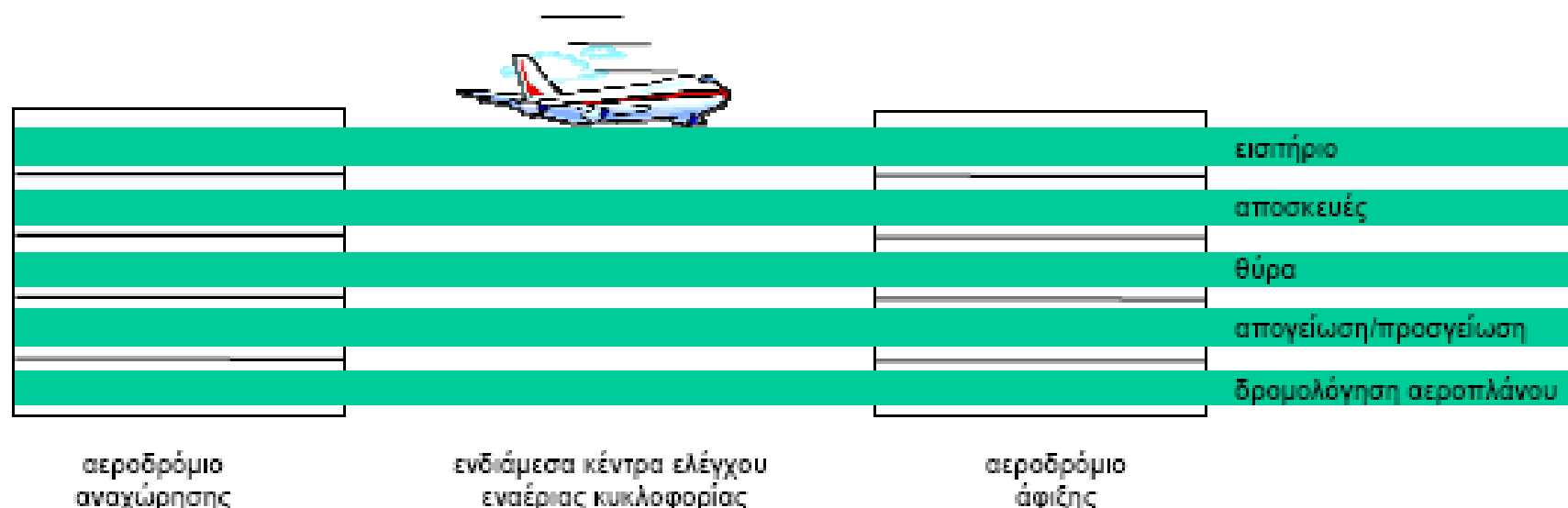
τροχοδρόμηση για
προσγείωση

δρομολόγηση
αεροπλάνου

δρομολόγηση αεροπλάνου

□ ακολουθία από βήματα

Οργάνωση λειτουργιών αερογραμμών σε επίπεδα



Επίπεδα: κάθε επίπεδο υλοποιεί μία υπηρεσία

- με δικές του ενέργειες στο εσωτερικό του
- βασίζεται στις υπηρεσίες που παρέχονται από τα κατώτερα επίπεδα

Στοιβά πρωτοκόλλων Διαδικτύου

- **εφαρμογής (application):** υποστηρίζει δικτυακές εφαρμογές
 - FTP, SMTP, HTTP
- **μεταφοράς (transport):** μεταφορά δεδομένων μεταξύ hosts
 - TCP, UDP
- **δικτύου (network):** δρομολόγηση datagrams από πηγή σε προορισμό
 - IP, πρωτόκολλα δρομολόγησης
- **ζεύξης (link):** μεταφορά δεδομένων μεταξύ γειτονικών κόμβων
 - PPP, Ethernet
- **φυσικό (physical):** μετάδοση bits μεταξύ γειτονικών κόμβων



Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδα

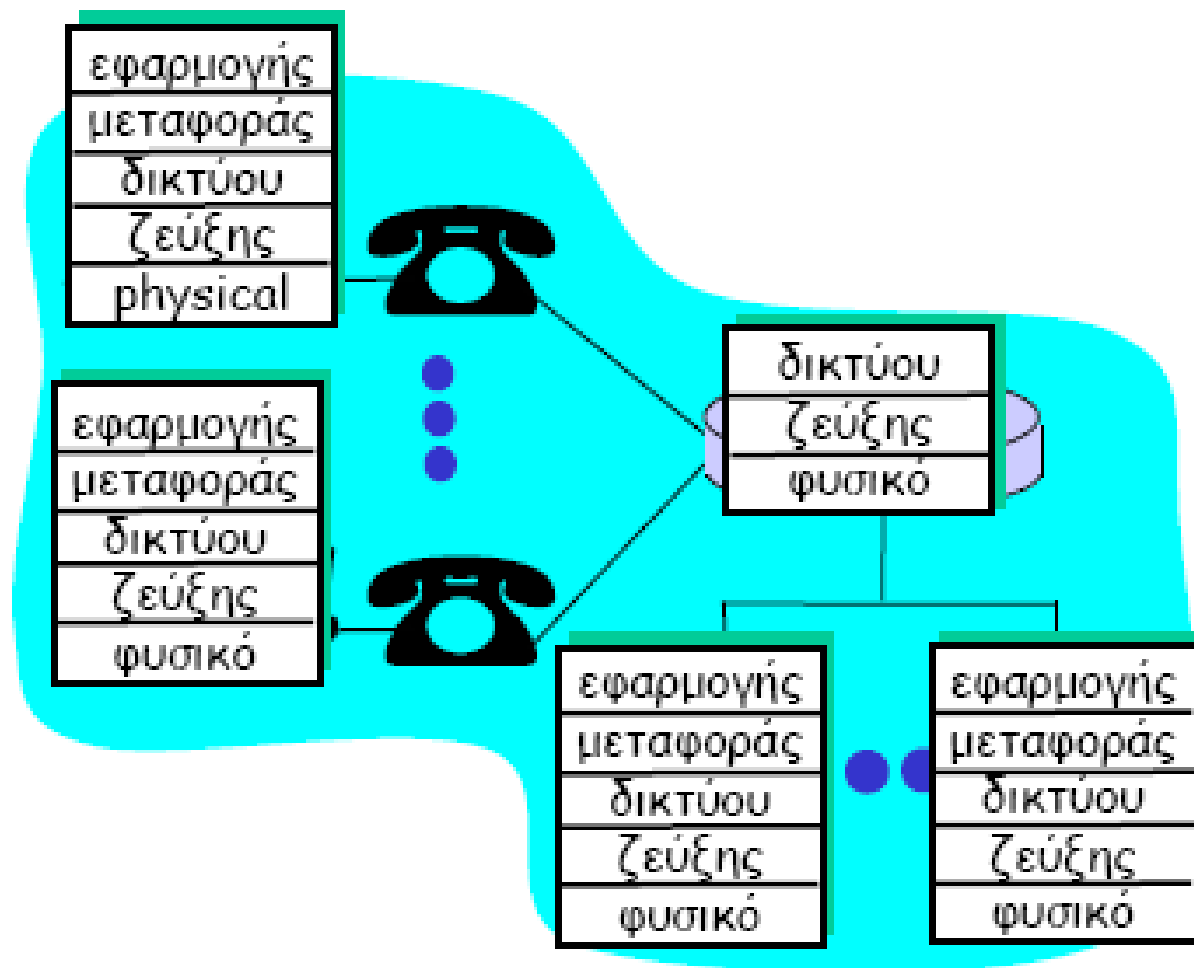
Οργάνωση λειτουργιών δικτύου σε επίπεδα διευκολύνει:

- ❑ κατανόηση, περιγραφή λειτουργιών πολύπλοκου συστήματος καθώς και των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών
- ❑ συντήρηση και αναβάθμιση του δικτύου
 - αλλαγές στον τρόπο υλοποίησης των υπηρεσιών ενός επιπέδου "διαφανείς" στο υπόλοιπο σύστημα
- ❑ μειονεκτήματα;
 - η ίδια λειτουργία εκτελείται σε δύο επίπεδα (π.χ. έλεγχος σφαλμάτων)

Επίπεδα: Λογική επικοινωνία

Κάθε επίπεδο:

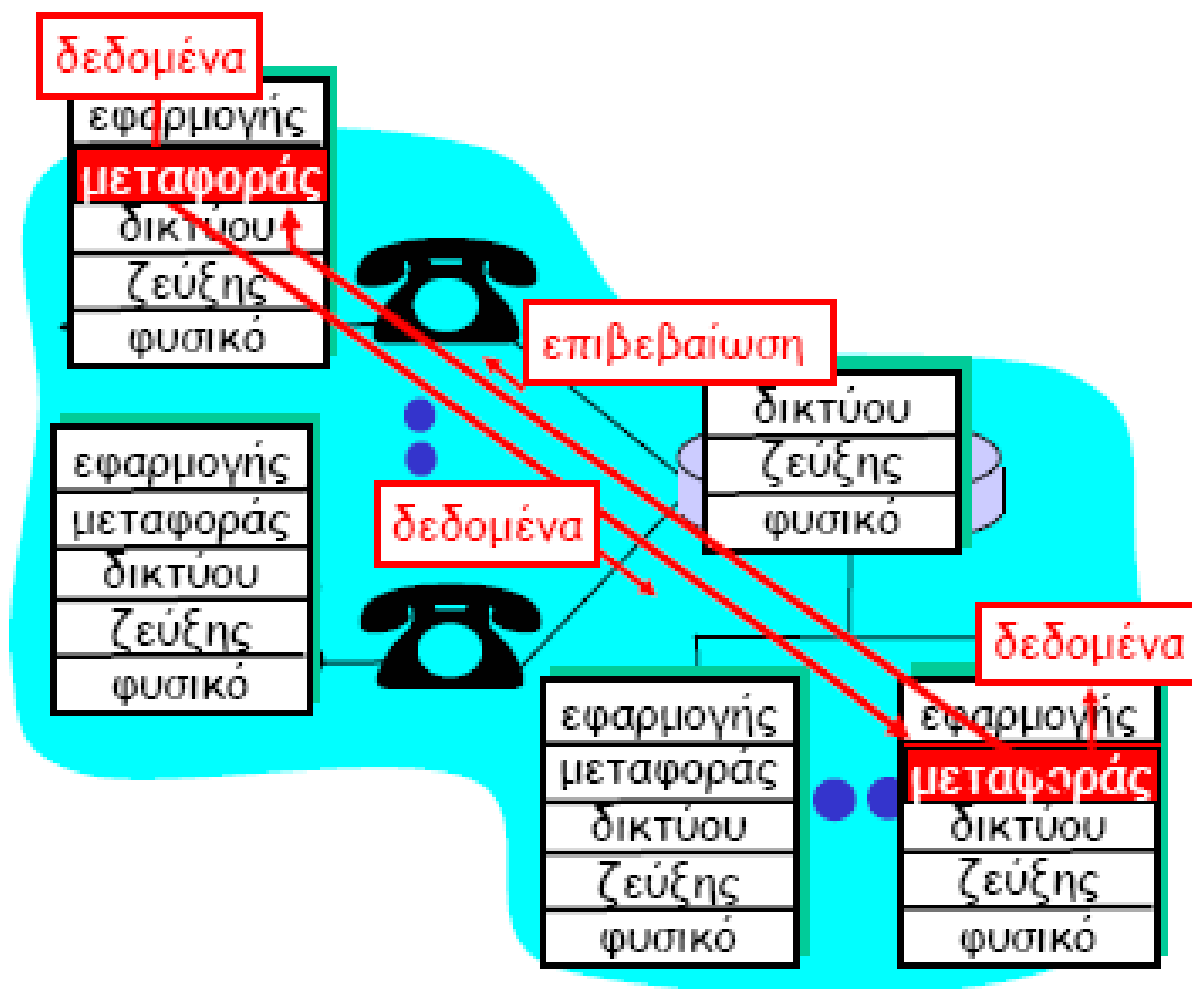
- κατανεμημένο
- δικτυακές "οντότητες" υλοποιούν τις λειτουργίες του επιπέδου σε κάθε κόμβο
- οι οντότητες αυτές εκτελούν τις απαραίτητες ενέργειες, ανταλλάσσουν μηνύματα με ομότιμα επίπεδα



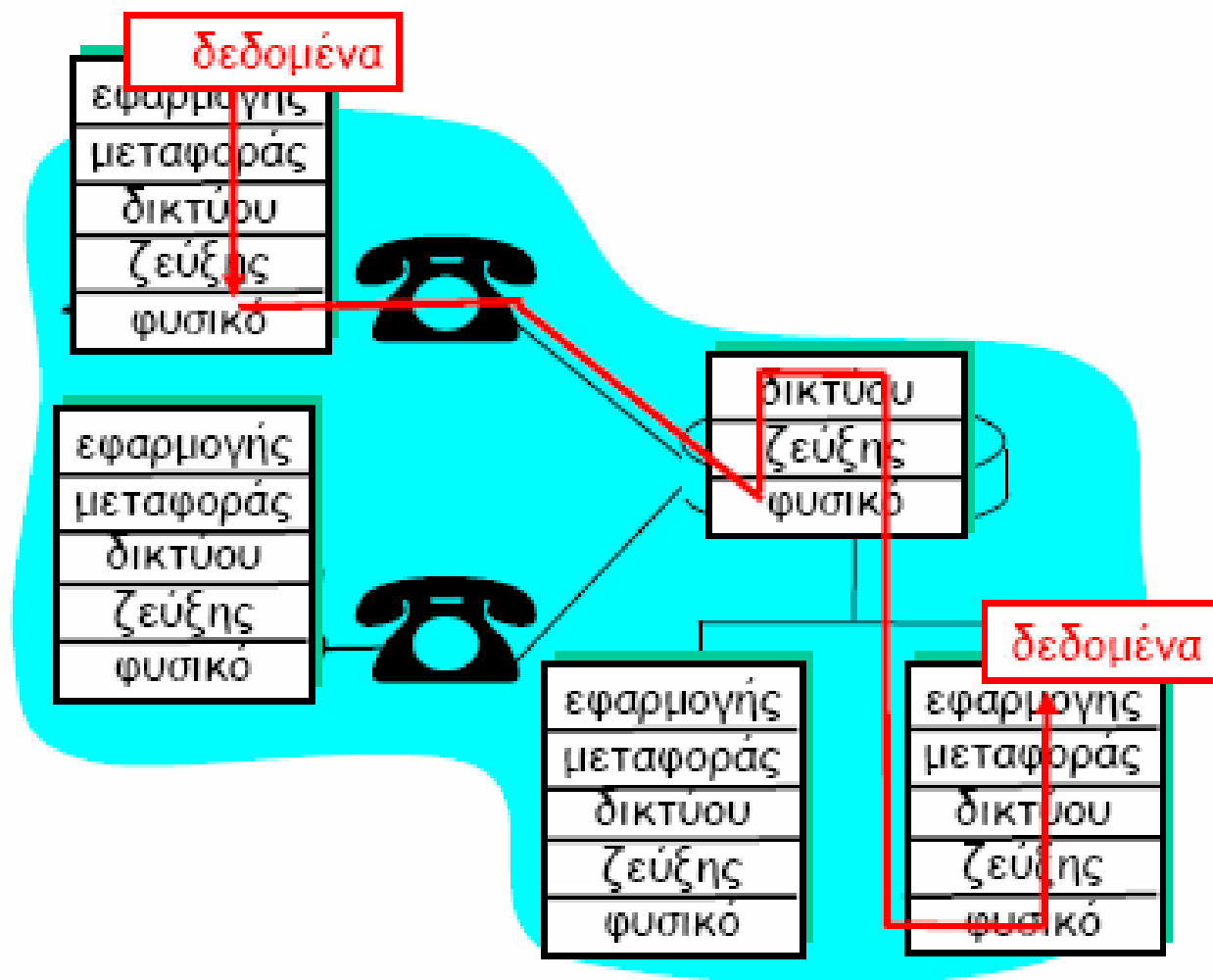
Επίπεδα: Λογική επικοινωνία

Π.χ.: επίπεδο μεταφοράς

- λαμβάνει δεδομένα από εφαρμογή
- προσθέτει επικεφαλίδα και σχηματίζει τμήμα (segment)
- στέλνει τμήμα στο ομότιμο (peer) επίπεδο στον προορισμό
- περιμένει επιβεβαίωση λήψης του τμήματος από το ομότιμο επίπεδο
- το ομότιμο επίπεδο παραδίδει δεδομένα στην εφαρμογή, στέλνει επιβεβαίωση

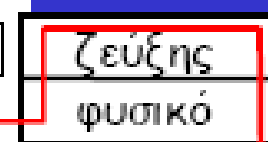
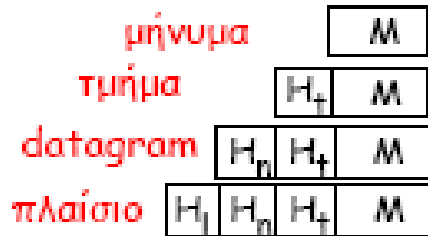


Επίπεδα: Φυσική επικοινωνία



Ενθυλάκωση

πηγή

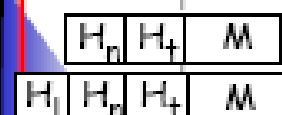
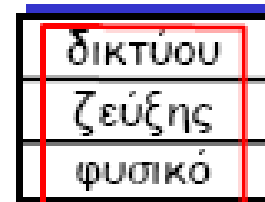
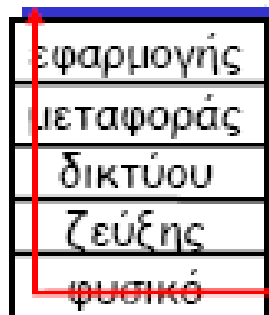
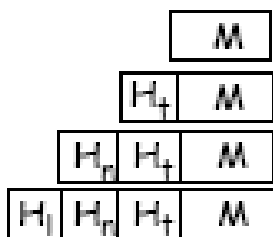


μεταγωγέας

Κάθε επίπεδο λαμβάνει δεδομένα από πάνω

- προσθέτει επικεφαλίδα και δημιουργεί νέα μονάδα δεδομένων
- προωθεί νέα μονάδα δεδομένων στο επόμενο επίπεδο

προορισμός



δρομολογητής

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

- 1.1 Τι *είναι* το Διαδίκτυο;
- 1.2 Άκρα δικτύου
- 1.3 Πυρήνας δικτύου
- 1.4 Πρόσβαση στο δίκτυο και φυσικά μέσα
- 1.5 Δομή Διαδικτύου και ISPs
- 1.6 Καθυστέρηση & απώλειες σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- 1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- 1.8 Ιστορία

Ιστορία Διαδικτύου

1961-1972: Πρώιμες αρχές μεταγωγής πακέτων

- **1961:** Kleinrock – Θεωρία ουρών αναμονής αποδεικνύει αποτελεσματικότητα μεταγωγής πακέτων
- **1964:** Baran – μεταγωγή πακέτων σε στρατιωτικά δίκτυα
- **1967:** συλλαμβάνεται η ιδέα του ARPAnet (Advanced Research Projects Agency)
- **1969:** σε λειτουργία ο πρώτος κόμβος του ARPAnet
- **1972:**
 - δημόσια επίδειξη του ARPAnet
 - NCP (Network Control Protocol): πρώτο πρωτόκολλο από host σε host
 - πρώτο πρόγραμμα e-mail
 - το ARPAnet έχει 15 κόμβους

Ιστορία Διαδικτύου

1972-1980: Διαδικτύωση, νέα και ιδιοταγή δίκτυα

- ❑ 1970: ραδιοδίκτυο ALOHAnet στη Χαβάη
- ❑ 1973: Ο Metcalfe προτείνει το Ethernet στο διδακτορικό του
- ❑ 1974: Cerf and Kahn - αρχιτεκτονική διασύνδεσης δικτύων
- ❑ τέλη δεκαετίας 70: ιδιοταγείς αρχιτεκτονικές: DECnet, SNA, XNS
- ❑ τέλη δεκαετίας 70: μεταγωγή πακέτων σταθερού μήκους (πρόδρομος ATM)
- ❑ 1979: το ARPAnet έχει 200 κόμβους

Αρχές διαδικτύωσης των Cerf και Kahn:

- μινιμαλισμός, αυτονομία - δεν απαιτούνται εσωτερικές αλλαγές για τη διασύνδεση δικτύων
- υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort)
- δρομολογητές "χωρίς καταστάσεις" (stateless)
- αποκεντρωμένος (decentralized) έλεγχος

*ορίζουν την παρούσα
αρχιτεκτονική του
Διαδικτύου*

Ιστορία Διαδικτύου

1980-1990: νέα πρωτόκολλα, εξάπλωση δικτύων

- 1983: εφαρμόζεται το TCP/IP
- 1982: ορίζεται το πρωτόκολλο e-mail SMTP
- 1983: ορίζεται το DNS (μετάφραση ονομάτων σε διευθύνσεις IP)
- 1985: ορίζεται το πρωτόκολλο FTP
- 1988: έλεγχος συμμόρφωσης στο TCP
- νέα εθνικά δίκτυα: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100,000 hosts συνδεδεμένοι σε συνομοσπονδία δικτύων

Ιστορία Διαδικτύου

1990 - 2000 εμπορευματοποίηση, το Web, νέες εφαρμογές

- Αρχή δεκαετίας 90: παύει να υπάρχει το ARPAnet
- 1991: Η NSF άρει τους περιορισμούς σχετικά με τη χρήση του NSFnet για εμπορικούς σκοπούς (παύση 1995)
- Αρχή δεκαετίας 90 : Web
 - υπερκείμενο (hypertext) [Bush 1945, Nelson δεκαετία 60]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, έπειτα Netscape
 - τέλη δεκαετίας 90: εμπορευματοποίηση του Web

Τέλη δεκαετίας 90 - αρχές 2000:

- περισσότερες εφαρμογές: κοινή χρήση αρχείων μεταξύ ομοτίμων (peer-to-peer file sharing, π.χ. Napster)
- ασφάλεια δικτύου στο προσκήνιο
- εκτιμώνται 50 εκατομμύρια hosts
- οι ζεύξεις του κορμού του Διαδικτύου μεταδίδουν με ρυθμούς της τάξης των Gbps