

Κεφάλαιο 1

Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο



*Δικτύωση Υπολογιστών:
Προσέγγιση από Πάνω
προς τα Κάτω με
Έμφαση στο Διαδίκτυο,
Jim Kurose, Keith Ross
2η έκδοση, Addison-
Wesley, 2002.
(Μετάφραση - Εκδόσεις
Γκιούρδας, 2004)*

Πηγή των ακόλουθων διαφανειών είναι οι διαφάνειες που συνοδεύουν ως διδακτικό υλικό το βιβλίο των J.F. Kurose and K.W. Ross:
Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet, 2η έκδοση

Εισαγωγή 1-1

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

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

Εισαγωγή 1-2

Κεφάλαιο 1

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

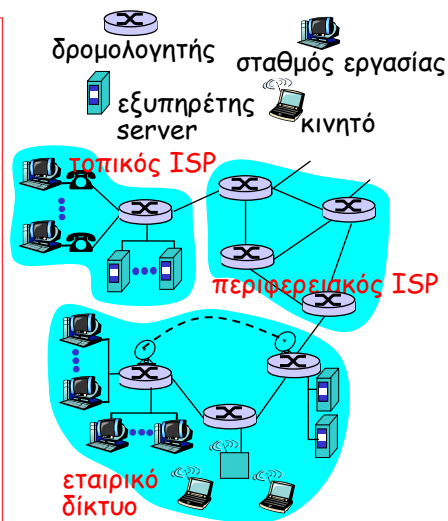
1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

Εισαγωγή 1-3

Τι είναι το Διαδίκτυο: στοιχεία που το συνθέτουν

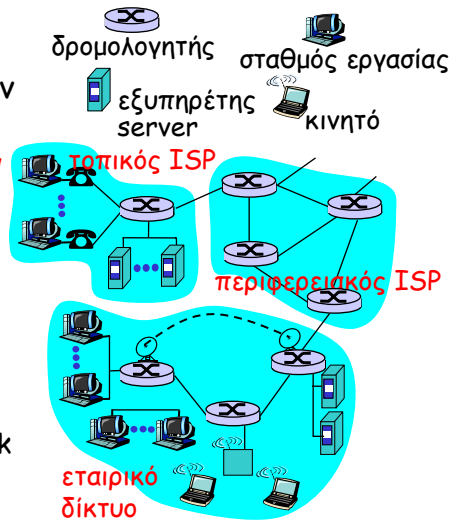
- ❑ εκατομμύρια συνδεδεμένων υπολογιστικών συσκευών:
τερματικά συστήματα (hosts)
 - PC, σταθμοί εργασίας, servers
 - άλλες συσκευές (PDA, τηλέφωνα)
- ❑ τρέχουν *δίκτυακές εφαρμογές*
- ❑ *ζεύξεις επικοινωνίας*
 - οπτικές, γραμμές χαλκού, ραδιοκυματικές, δορυφορικές
 - ρυθμός μετάδοσης = *bandwidth*
-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



Εισαγωγή 1-4

Τι είναι το Διαδίκτυο: στοιχεία που το συνθέτουν

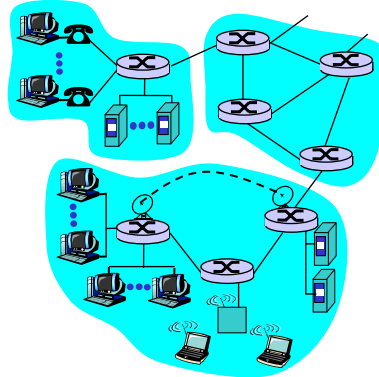
- **πρωτόκολλα** ελέγχουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων
 - π.χ. TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- **Διαδίκτυο: "δίκτυο από δίκτυα"**
 - χαλαρά ιεραρχημένο
 - δημόσιο Διαδίκτυο - ιδιωτικό ενδοδίκτυο (intranet)
- **πρότυπα Internet (Internet standards)**
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering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



Εισαγωγή 1-5

Τι είναι το Διαδίκτυο: παρεχόμενες υπηρεσίες

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



Εισαγωγή 1-6

Τι είναι το πρωτόκολλο;

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

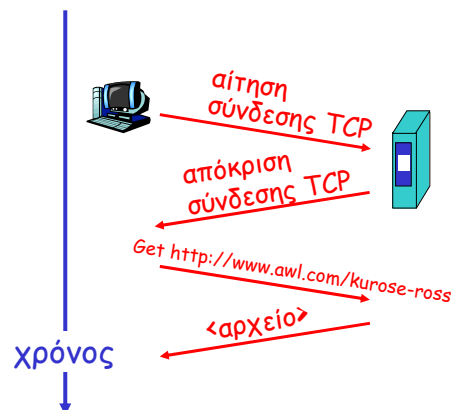
- Ένα πρωτόκολλο ορίζει:

- 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

Εισαγωγή 1-7

Τι είναι το πρωτόκολλο;

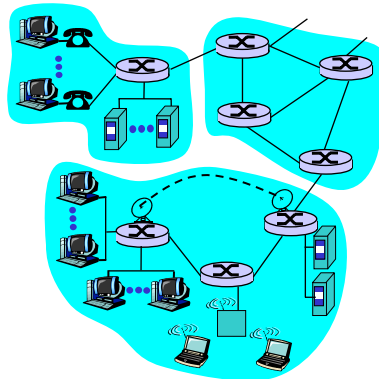
παράδειγμα ενός δικτυακού πρωτοκόλλου (HTTP):



Εισαγωγή 1-8

Η δομή του δικτύου αναλυτικότερα:

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



Εισαγωγή 1-9

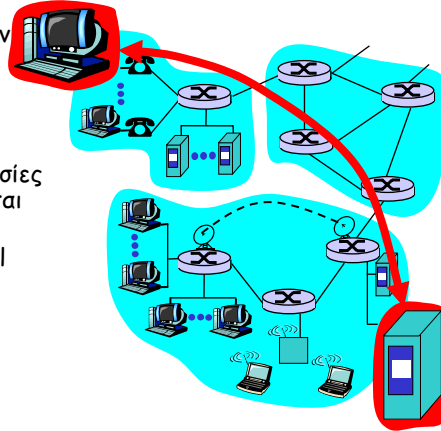
Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-10

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 αδιάκοπτη 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



Εισαγωγή 1-11

Άκρα Δικτύου: συνδεδειστροφής 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**
 - συνδεδειστροφής 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

Εισαγωγή 1-12

Άκρα Δικτύου: ασυνδειστρεφής υπηρεσία

Στόχος: μεταφορά

δεδομένων μεταξύ
τερματικών συστημάτων

- Όπως παραπάνω!

- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]:
ασυνδειστρεφής 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

Εισαγωγή 1-13

Κεφάλαιο 1

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

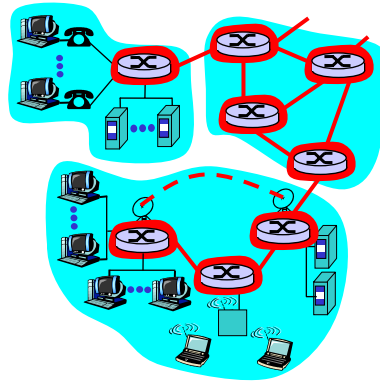
1.7 Επίπεδα πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.8 Ιστορία

Εισαγωγή 1-14

Πυρήνας Δικτύου

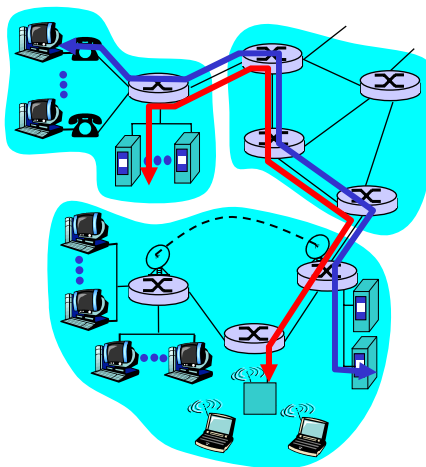
- ❑ πλέγμα διασυνδεόμενων δρομολογητών
- ❑ **Θεμελιώδες ερώτημα:** με ποιο τρόπο μεταφέρονται τα δεδομένα μέσω του δικτύου;
 - **μεταγωγή κυκλώματος:** αποκλειστικό κύκλωμα για κάθε κλήση τηλεφωνικό δίκτυο
 - **μεταγωγή πακέτων:** δεδομένα μεταφέρονται μέσω δικτύου με μορφή πακέτων



Εισαγωγή 1-15

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



Εισαγωγή 1-16

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

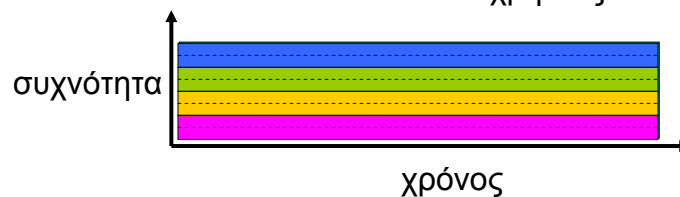
Εισαγωγή 1-17

Μεταγωγή Κυκλώματος: FDM και TDM

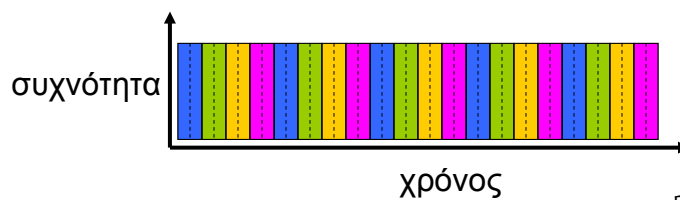
FDM

Παράδειγμα:

4 χρήστες ■ ■ ■ ■



TDM



Εισαγωγή 1-18

Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Πακέτων

κάθε ροή δεδομένων
διαίρεται 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

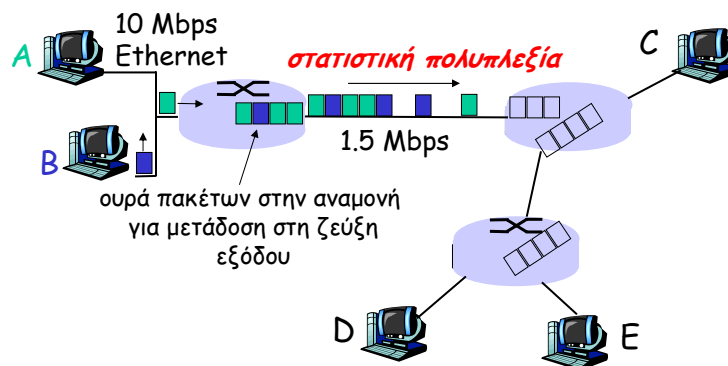
Διαίρεση bandwidth σε "κομμάτια"
Αποκλειστική απανομή
Δέσμευση πόρων

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

Εισαγωγή 1-19

Μεταγωγή Πακέτων: Στατιστική Πολυπλεξία



Η ακολουθία πακέτων παράγεται από τις πηγές A & B με τυχαίο τρόπο → **ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ**

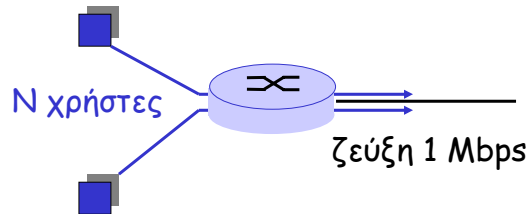
Στο TDM δίνεται σε κάθε host η ίδια χρονοθυρίδα (slot) στο περιστρεφόμενο πλαίσιο TDM

Εισαγωγή 1-20

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



Εισαγωγή 1-21

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 (κεφάλαιο 6)

Εισαγωγή 1-22

Μεταγωγή πακέτων: αποθήκευση και προώθηση



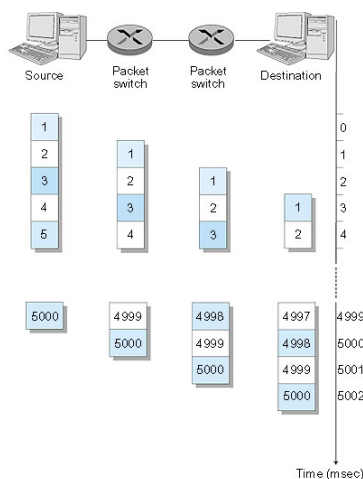
- ❑ Ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου από L bits σε μία ζεύξη με ρυθμό R bps είναι L/R sec
- ❑ Ο δρομολογητής πρέπει να λάβει ολόκληρο το πακέτο πριν είναι σε θέση να το μεταδώσει στην επόμενη ζεύξη: *αποθήκευση και προώθηση*
- ❑ καθυστέρηση = $3L/R$

Παράδειγμα:

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

Εισαγωγή 1-23

Μεταγωγή πακέτων: κατάντηση μηνυμάτων



Κατάντηση 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

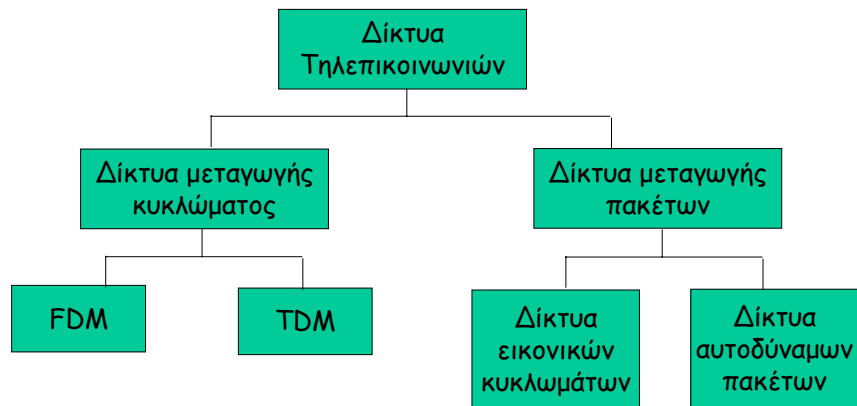
Εισαγωγή 1-24

Δίκτυα μεταγωγής πακέτων: προώθηση

- **Στόχος:** μετακίνηση πακέτων από την πηγή στον προορισμό μέσω δρομολογητών
 - αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms): αλγόριθμοι επιλογής διαδρομής μεταξύ πηγής - προορισμού (κεφάλαιο 4)
- **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*

Εισαγωγή 1-25

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)

Εισαγωγή 1-26

Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-27

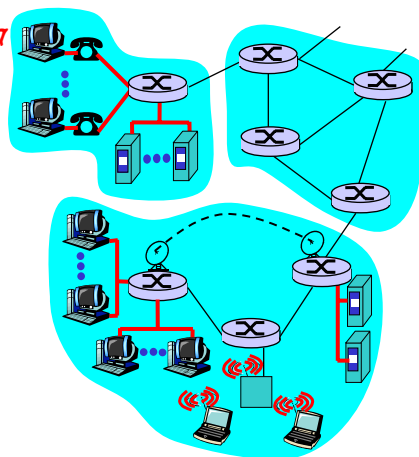
Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα

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;

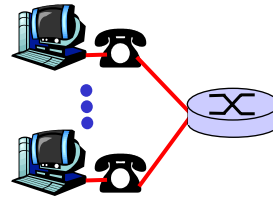


Εισαγωγή 1-28

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

Εισαγωγή 1-29

Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ

❑ HFC: hybrid fiber coax (υβριδικό ιννομοαξονικό καλώδιο)

- έως 30 Mbps downstream
- έως 2 Mbps upstream

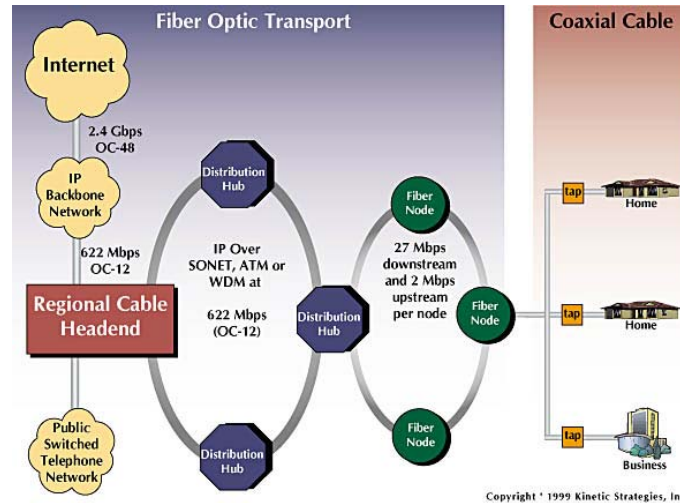
❑ δίκτυο ομοαξονικού καλωδίου και οπτικής ίνας συνδέει οικίες στο δρομολογητή του ISP

- από κοινού πρόσβαση των οικιών

❑ παρέχεται από τις εταιρείες καλωδιακής τηλεόρασης

Εισαγωγή 1-30

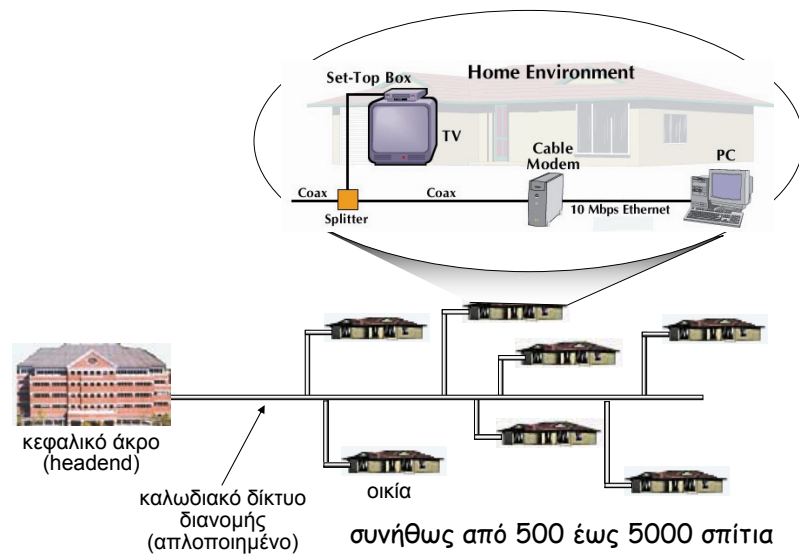
Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ



Διάγραμμα: <http://www.cabledatcomnews.com/cm/cic/diagram.html>

Εισαγωγή 1-31

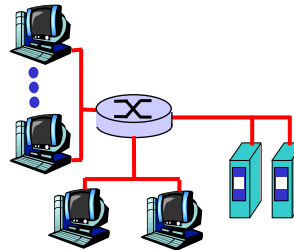
Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά μόντεμ



Εισαγωγή 1-32

Εταιρική πρόσβαση: τοπικά δίκτυα

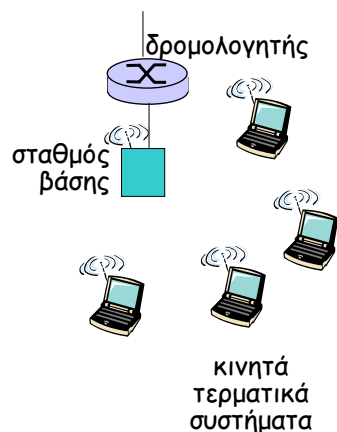
- **τοπικό δίκτυο (LAN)**
πανεπιστημίου/επιχείρησης
συνδέει τερματικό σύστημα
στον ακραίο δρομολογητή
- **Ethernet:**
 - shared ή switched
 - 10 Mbps, 100 Mbps,
Gigabit Ethernet



Εισαγωγή 1-33

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
 - 3G ~ 384 kbps

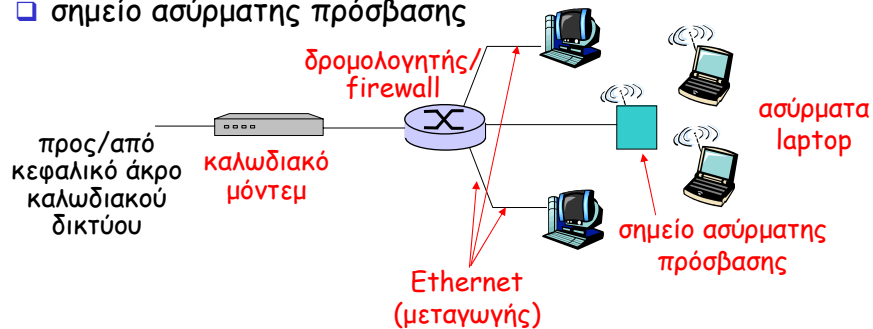


Εισαγωγή 1-34

Οικιακά δίκτυα

Για ένα σύνηθες οικιακό δίκτυο απαιτούνται:

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



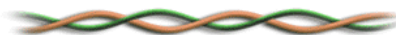
Εισαγωγή 1-35

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



Εισαγωγή 1-36

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



Εισαγωγή 1-37

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)

Εισαγωγή 1-38

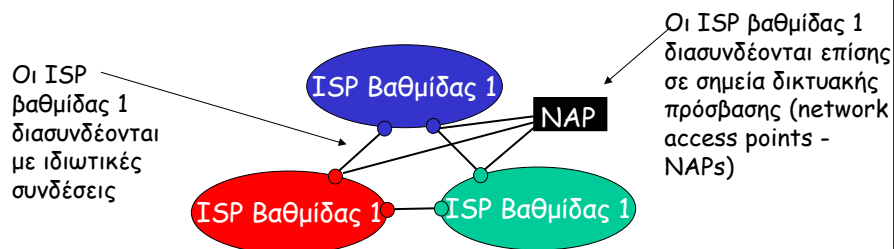
Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-39

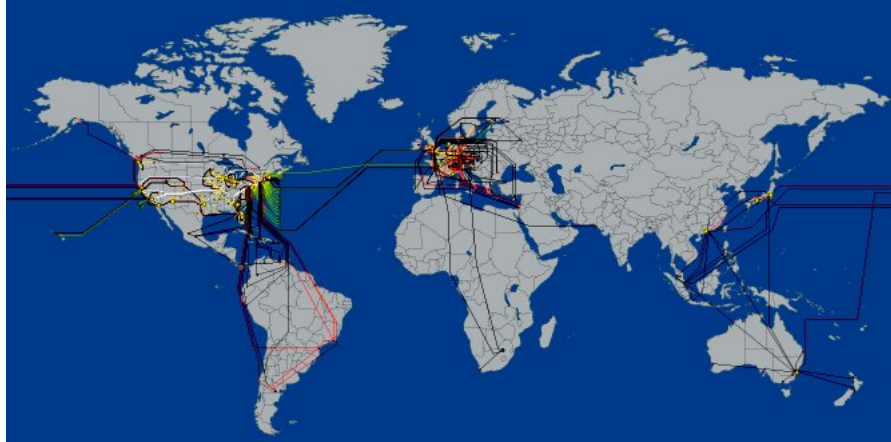
Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

- 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



Εισαγωγή 1-40

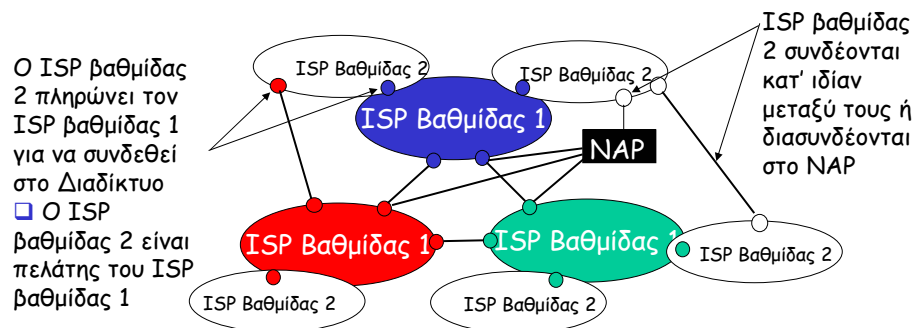
ISP Βαθμίδας 1: π.χ. AT&T (2003)



Εισαγωγή 1-41

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

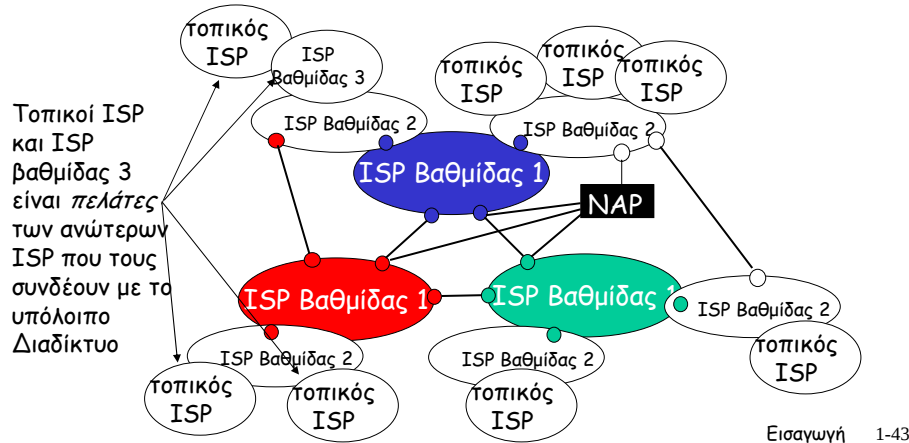


Εισαγωγή 1-42

Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

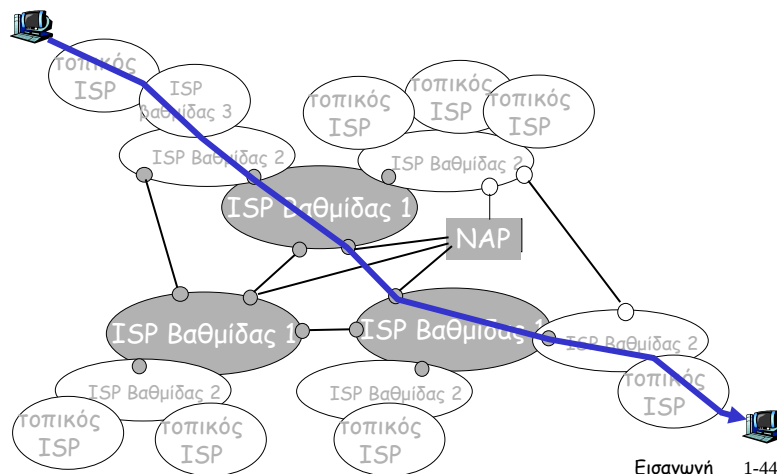
□ ISP βαθμίδας 3 και τοπικοί ISP

- ο τοπικοί ISP πλησιέστεροι στα τερματικά συστήματα



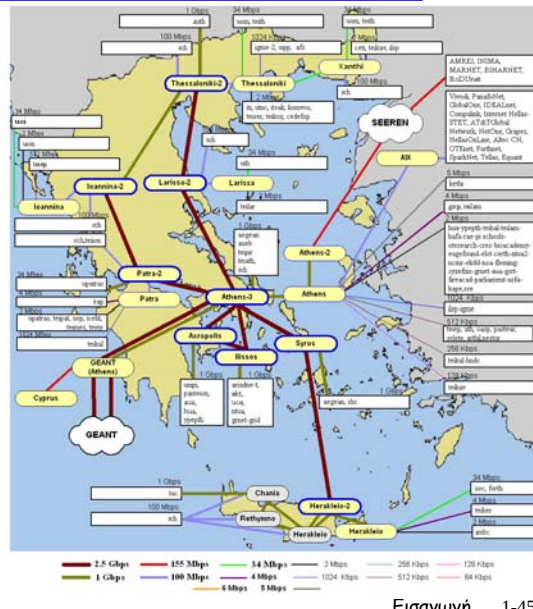
Δομή Διαδικτύου: δίκτυο από δίκτυα

□ 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)

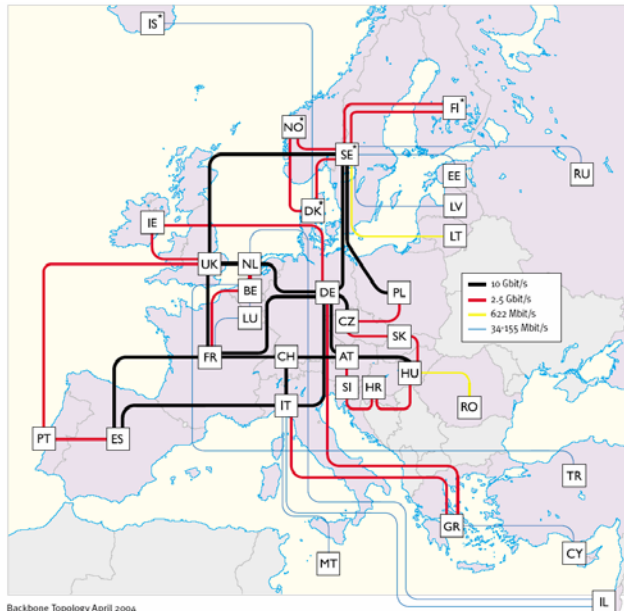
- Ο κόμβος Athens Internet Exchange (AIX) προσφέρει τοπική διασύνδεση μεταξύ των εμπορικών δικτύων των μεγαλύτερων εταιρειών παροχής υπηρεσιών Internet στην Ελλάδα:

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. Compulink	http://www.compulink.gr
9. Global One	http://www.globalone.gr/
10. SPARKnet	http://www.sparknet.gr/
11. Internet Hellas	http://www.internet.gr/
12. Telestet	http://www.telestet.gr
13. Vivodi	http://www.vivodi.gr/
14. Altec Communication Networks	http://www.acn.gr
15. Tellas	http://www.tellas.gr

Εισαγωγή 1-46

Γέαντ

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



Εισαγωγή 1-47

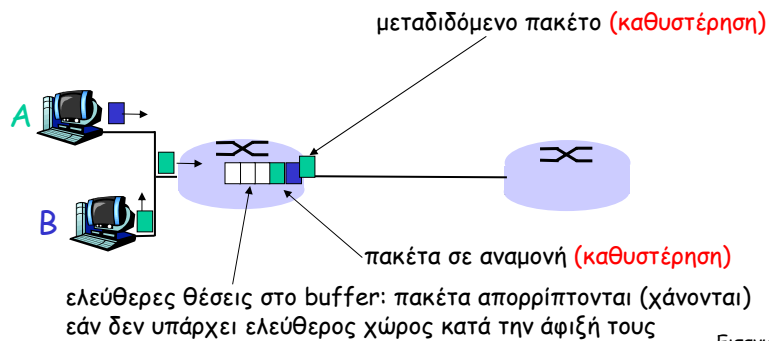
Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-48

Που οφείλονται απώλειες και καθυστερήσεις;

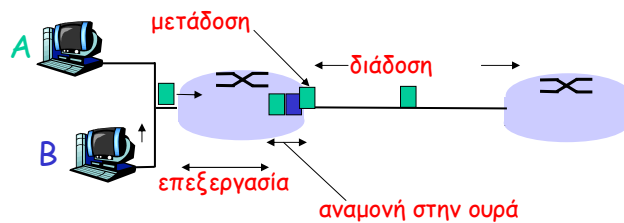
- ❑ τα πακέτα περιμένουν τη σειρά τους να μεταδοθούν στους buffers των δρομολογητών
- ❑ πακέτα συσσωρεύονται στην ουρά όταν ο ρυθμός άφιξης των πακέτων υπερβαίνει τη χωρητικότητα της ζεύξης



Εισαγωγή 1-49

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



Εισαγωγή 1-50

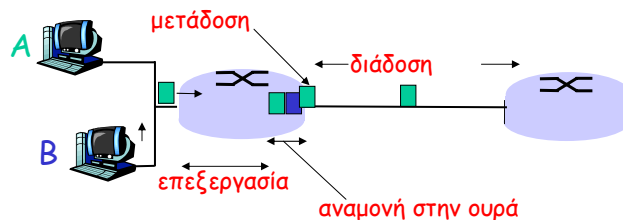
Τέσσερις πηγές καθυστέρησης

3. Καθυστέρηση μετάδοσης:

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

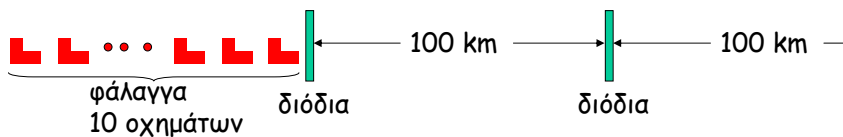
4. Καθυστέρηση διάδοσης:

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



Εισαγωγή 1-51

Αναλογία (Φάλαγγα οχημάτων)

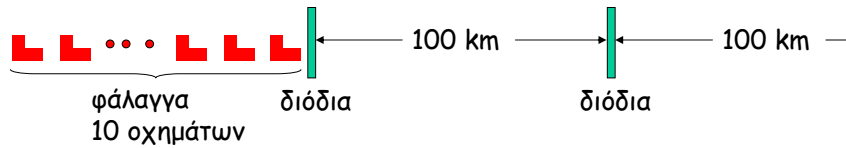


- Οχήματα "οδεύουν" με ταχύτητα 100 km/hr
- Κάθε όχημα κάνει 12 sec στα διόδια (χρόνος μετάδοσης)
- όχημα ~ bit; φάλαγγα ~ πακέτο
- Ε: Πόσος χρόνος για να φθάσει η φάλαγγα στα δεύτερα διόδια;

- Συνολικός χρόνος διέλευσης από τα διόδια για όλα τα οχήματα = $12 \times 10 = 120$ sec
- Χρόνος διαδρομής από πρώτα διόδια σε δεύτερα: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/hr}) = 1$ hr
- Α: 62 min

Εισαγωγή 1-52

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

Εισαγωγή 1-53

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

Εισαγωγή 1-54

Καθυστέρηση αναμονής στην ουρά

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

φορτίο κίνησης = $\frac{La}{R}$



- $La/R \sim 0$: 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)

Εισαγωγή 1-55

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.



Εισαγωγή 1-56

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.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)

Εισαγωγή 1-57

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

Εισαγωγή 1-58

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

Εισαγωγή 1-59

Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-60

“Επίπεδα” Πρωτοκόλλων

Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα!

□ πολλά “κομμάτια”:

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

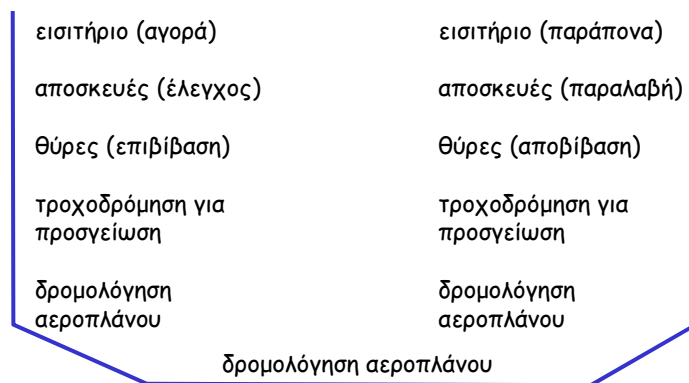
Ερώτημα:

Υπάρχει ελπίδα *οργάνωσης* της αρχιτεκτονικής του δικτύου;

Ή τουλάχιστον της συζήτησής μας για την αρχιτεκτονική του δικτύου;

Εισαγωγή 1-61

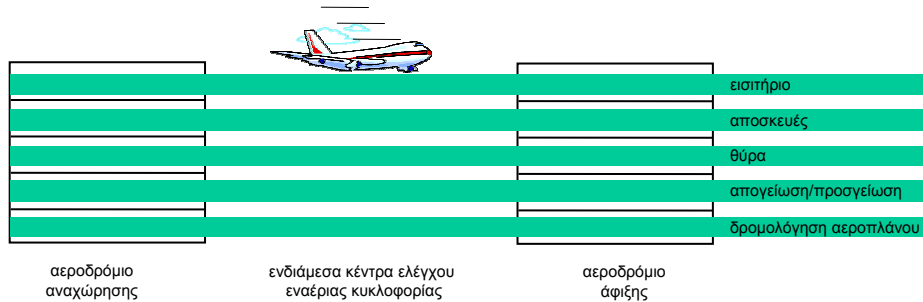
Οργάνωση αεροπορικών ταξιδιών



□ ακολουθία από βήματα

Εισαγωγή 1-62

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

Εισαγωγή 1-63

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



Εισαγωγή 1-64

Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων σε επίπεδα

Οργάνωση λειτουργιών δικτύου σε επίπεδα διευκολύνει:

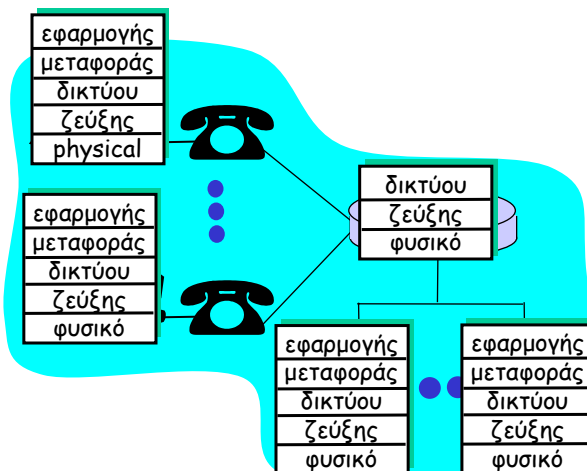
- ❑ κατανόηση, περιγραφή λειτουργιών πολύπλοκου συστήματος καθώς και των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών
- ❑ συντήρηση και αναβάθμιση του δικτύου
 - αλλαγές στον τρόπο υλοποίησης των υπηρεσιών ενός επιπέδου "διαφανείς" στο υπόλοιπο σύστημα
- ❑ μειονεκτήματα:
 - η ίδια λειτουργία εκτελείται σε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

Εισαγωγή 1-65

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

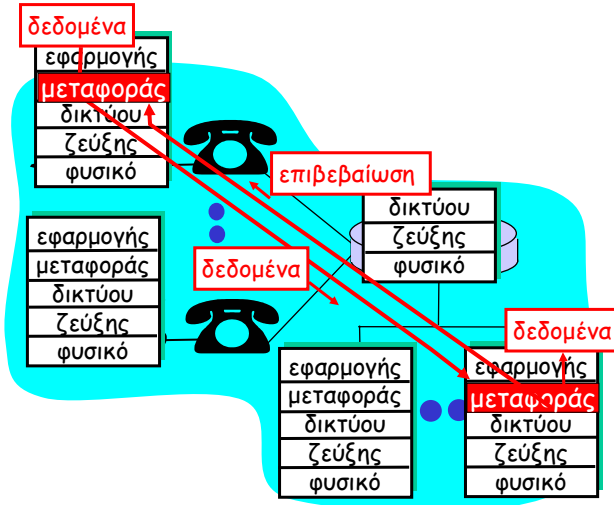


Εισαγωγή 1-66

Επίπεδα: Λογική επικοινωνία

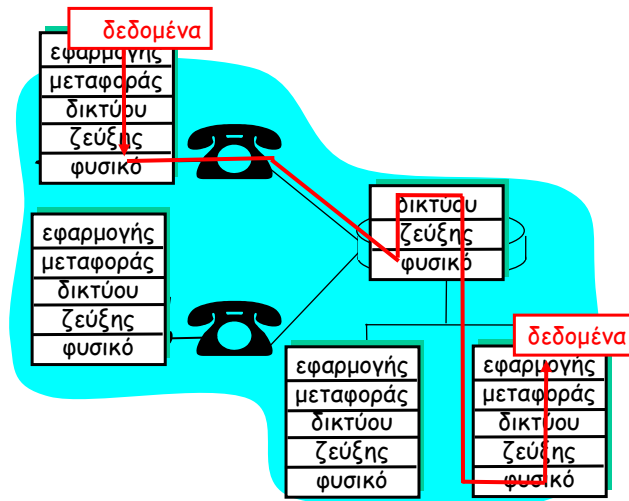
Π.χ.: επίπεδο μεταφοράς

- ❑ 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

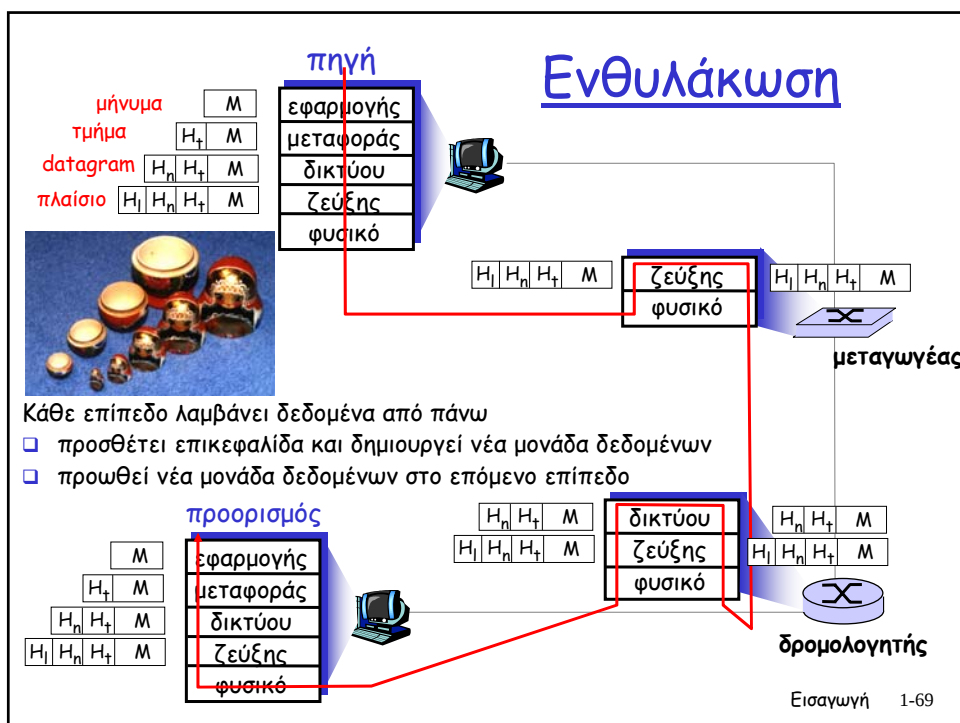


Εισαγωγή 1-67

Επίπεδα: Φυσική επικοινωνία



Εισαγωγή 1-68



Κεφάλαιο 1

- 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

Εισαγωγή 1-71

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

Εισαγωγή 1-72

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 συμφόρησης στο TCP
- ❑ νέα εθνικά δίκτυα: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100,000 hosts συνδεδεμένοι σε συνομοσπονδία δικτύων

Εισαγωγή 1-73

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

Εισαγωγή 1-74