

Δίκτυα Επικοινωνιών και Διαδίκτυο

Communication Networks and Internet

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 1

Διάδοση ΗΜ ακτινοβολίας

- Καθοδηγούμενη
 - ✓ **Μεταλλικοί αγωγοί**
 - **Μεταλλικά καλώδια**
 - Συνεστραμμένο ζεύγος
 - Ομοαξονικό καλώδιο
 - **Οπτικές ίνες**
 - **Κυματοδηγοί**
 - ✓ **Πρότυπα:**
 - **Γραμμική μεταφοράς**
 - **Οπτική Φυσική**
- Μη-καθοδηγούμενη
 - ✓ **Ελεύθερη διάδοση μέσω κεραίων**
 - **Στην ατμόσφαιρα**
 - Επιφανειακά κύματα
 - Ελεύθερα
 - Ιονόσφαιρα
 - **Στο κενό**
 - δορυφόροι
 - ✓ **Πρότυπο:**
 - **Κυματική Φυσική**

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 2

Δίκτυα Επικοινωνιών Communication Networks

Στόχος:

- **Επισκόπηση δικτυακών τεχνολογιών και υπηρεσιών**
- **προσέγγιση:**
 - Περιγραφική
 - χρήση του παραδείγματος Internet

Scope:

- **Overview of communication technologies and services**
- **Approach**
 - **Descriptive**
 - **Use the example of Internet**

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 3

Δίκτυα Επικοινωνιών Communication Networks

Overview:

- What is the Internet?
- What is protocol
- Network edge
- Core of network
- Access networks, physical means
- Internet/structure ISP
- Performance: losses, delays
- Protocol layers
- Models of services
- History

Επισκόπηση:

- Τι είναι το Internet;
- Τι είναι πρωτόκολλο;
- Περιφέρεια δικτύου
- Πυρήνας δικτύου
- Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα
- Internet/δομή ISP
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση
- Επίπεδα πρωτοκόλλων,
- μοντέλα υπηρεσιών
- ιστορία

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 4

Δίκτυα Επικοινωνιών

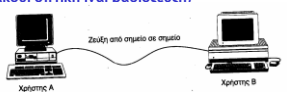
Ορισμός: Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από κόμβους που είναι διασυνδεδεμένοι έτσι ώστε να επιτρέψουν την ανταλλαγή της πληροφορίας ανάμεσα σε τελικούς χρήστες

Πληροφορία: ήχος, video, δεδομένα, εικόνες

Χρήστες: φυσικά πρόσωπα, προγράμματα υπολογιστών, συσκευές

Ψηφιακή μετάδοση πληροφορίας: μετατροπή πληροφορίας σε δυαδικά ψηφία 0,1 (bit) και αποστέλλονται από ένα πομπό σε ένα δέκτη ως ηλεκτρικά ή οπτικά σήματα (ηλεκτρομαγνητικά κύματα)

Τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις: Σημείο προς σημείο ή μοιραζόμενες ζεύξεις (σύρματα χαλκού, οπτική ίνα, ραδιοζεύξη)

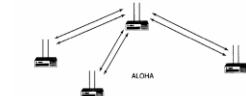


Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 5

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων (δίκτυα Η/Υ)

Δίκτυα Πολλαπλής Πρόσβασης (Multiple Access) –ALOHA

Σύνδεση υπολογιστών σε διαφορετικά νησιά της Χαβάης (1970's)



Δίκτυα Πολλαπλής Προσπέλασης (Multiple Access) –Ethernet

Παρόμοιο με το ALOHA (αναπτύχθηκε από τη Xerox, Palo Alto)

Ανίχνευση φέροντος και συγκρούσεων - αποδοτικότερο του ALOHA



Δίκτυα Πολλαπλής Προσπέλασης (Multiple Access) –Token Ring

Πρωτόκολλο με κουτόνι για την πρόσβαση στο κανάλι

Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών 6

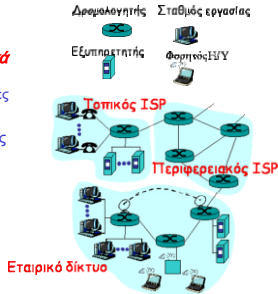
Τι είναι το Διαδίκτυο

Εκατομμύρια συνδεδεμένες υπολογιστικές συσκευές: **Τερματικά συστήματα**

pc's, σταθμοί εργασίας, εξυπηρετητές PDA's, τηλέφωνα, τσιπτέρες! Που τρέχουν δικτυακές εφαρμογές

Γραμμές επικοινωνίας

• Οπτικές ίνες, χαλκός, ραδιοκύματα
Δρομολογητές: προωθούν πακέτα (κομμάτια πληροφορίας) μέσα στο δίκτυο



"ενδιαφέρουσες" internet συσκευές



IP picture frame
<http://www.ceiva.com/>



smart toaster that toasts a weather forecast
<http://laughingsquid.com/jammy-a-weather-forecasting-smart-toaster/>



World's smallest web server

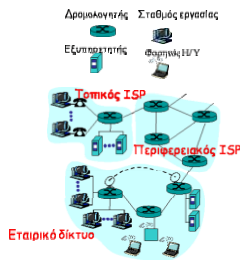
<http://www.ccs.cs.umass.edu/shri/Pic.html>

Τι είναι το Διαδίκτυο

Πρωτόκολλα: ελέγχουν την αποστολή και λήψη μηνυμάτων
 Π.χ., TCP, IP, HTTP, FTP, PPP

Διαδίκτυο: δίκτυο δικτύων
 χαλαρά ιεραρχικό
 δημόσιο Internet, ιδιωτικό intranet

Πρότυπα του Internet
 RFC: Request for comments (περισσότερα από 2000)
 IETF: Internet Engineering Task Force (www.ietf.org)

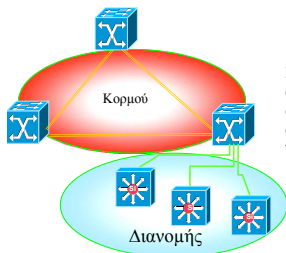


Δικτυακές τοπολογίες



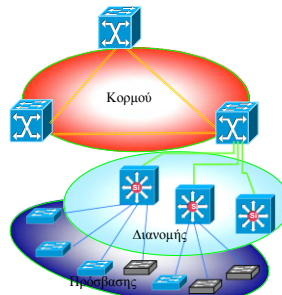
Υλοποιείται από ισχυρές δικτυακές συσκευές με απότερο σκοπό τη μεταγωγή της κίνησης από το ένα σημείο του συστήματος στο άλλο, με χρήση τεχνολογιών απόδοσης υψηλών ρυθμών μετάδοσης όπως αυτών των ATM και Gigabit Ethernet.

Δικτυακές τοπολογίες



Σχηματίζεται από συσκευές που συγκεντρώνουν την κατά τόπους δικτυακή κίνηση και οι οποίες συνδέονται με το δίκτυο κορμού με τεχνολογίες ATM ή και Gigabit Ethernet

Δικτυακές τοπολογίες



Είναι το δίκτυο εξυπηρέτησης των Χρηστών και συνδέεται με το δευτερεύον δίκτυο συνήθως με τεχνολογία Fast Ethernet

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Η τοπολογία των ακαδημαϊκών και ερευνητικών δικτύων στην Ελλάδα

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών, Εισαγωγή

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Τι είναι το Internet : Υπηρεσίες What is the Internet: services

Επικοινωνιακή υποδομή καθιστά δυνατές τις κατακεντρωμένες εφαρμογές:
WWW, email, μεταφορά αρχείων, παιχνίδια, ηλεκτρονικό εμπόριο, βάσεις δεδομένων

Παρεχόμενες δικτυακές υπηρεσίες
Υπηρεσία με σύνδεση
Υπηρεσία χωρίς σύνδεση
Ποιότητα υπηρεσιών;

Εισαγωγή 1-14

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Τι είναι ένα πρωτόκολλο

Ανθρώπινα πρωτόκολλα:
"Τι ώρα είναι" "έχω μια ερώτηση"
... συγκεκριμένα μηνύματα στέλνονται
... συγκεκριμένες ενέργειες εκτελούνται όταν λαμβάνονται μηνύματα ή συμβαίνουν άλλα γεγονότα

Δικτυακά πρωτόκολλα:
Μηχανές αντί για ανθρώπους Κάθε επικοινωνία στο διαδίκτυο γίνεται με πρωτόκολλα

Τα πρωτόκολλα ορίζουν τη μορφή, τη σειρά των μηνυμάτων που στέλνονται ή λαμβάνονται από τις δικτυακές οντότητες, και τις ενέργειες που εκτελούνται με κάθε αποστολή και λήψη

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών, Εισαγωγή

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Τι είναι ένα πρωτόκολλο

Αναλογία ανθρώπινου πρωτοκόλλου και πρωτοκόλλου υπολογιστών

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών, Εισαγωγή

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Μια καλύτερη εξέταση της δικτυακής υποδομής

Στην άκρη του δικτύου:
εφαρμογές και τερματικές συσκευές

Στο κέντρο του δικτύου:
δρομολογητές δίκτυα δικτύων

Δίκτυα πρόσβασης, Φυσικά μέσα:
γραμμές επικοινωνίας

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών, Εισαγωγή

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Στην άκρη του δικτύου

Τερματικές συσκευές:
Εκτελούν εφαρμογές (π.χ. WWW, email, ...)

Μοντέλο πελάτη εξυπηρετητή (client-server)
Ο πελάτης αιτείται και λαμβάνει μια υπηρεσία από τον εξυπηρετητή π.χ., WWW client (browser)/ server; email client/server

Μοντέλο ομότιμων κόμβων (peer to peer)
Συμμετρική αλληλεπίδραση κόμβων Ελάχιστη χρήση εξυπηρετητών π.χ. Τηλεδιάσκεψη, Gnutella, KoZoA

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών, Εισαγωγή

Τι είναι ένα πρωτόκολλο

Ανθρώπινα πρωτόκολλα:

"Τι ώρα είναι;" "έχω μια ερώτηση"

... συγκεκριμένα μηνύματα στέλνονται

... συγκεκριμένες ενέργειες εκτελούνται όταν λαμβάνονται μηνύματα ή συμβαίνουν άλλα γεγονότα

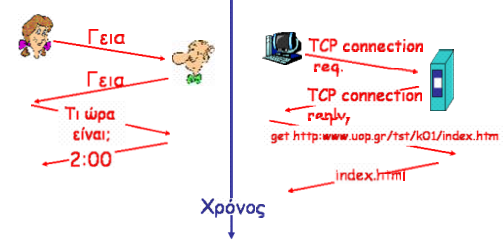
Δικτυακά πρωτόκολλα:

Μηχανές αντί για ανθρώπους Κάθε επικοινωνία στο διαδίκτυο γίνεται με πρωτόκολλα

Τα πρωτόκολλα ορίζουν τη μορφή, τη σειρά των μηνυμάτων που στέλνονται ή λαμβάνονται από τις δικτυακές οντότητες, και τις ενέργειες που εκτελούνται με κάθε αποστολή και λήψη

Τι είναι ένα πρωτόκολλο

Αναλογία ανθρώπινου πρωτοκόλλου και πρωτοκόλλου υπολογιστών



Μια καλύτερη εξέταση της δικτυακής υποδομής

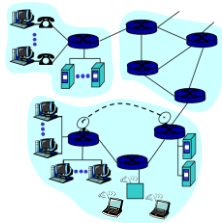
Στην άκρη του δικτύου:

εφαρμογές και τερματικές συσκευές

Στο κέντρο του δικτύου:

δρομολογητές δίκτυα δικτύων

Δίκτυα πρόσβασης, Φυσικά μέσα: γραμμές επικοινωνίας



Στην άκρη του δικτύου

Τερματικές συσκευές:

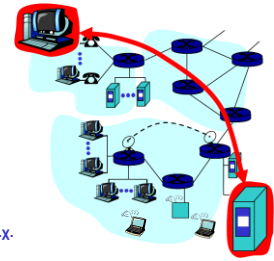
Εκτελούν εφαρμογές (π.χ. WWW, email, ...)

Μοντέλο πελάτη εξυπηρετητή (client-server)

Ο πελάτης αιτείται και λαμβάνει μια υπηρεσία από τον εξυπηρετητή π.χ., WWW client (browser)/ server; email client/server

Μοντέλο ομότιμων κόμβων

Συμμετρική αλληλεπίδραση κόμβων π.χ. τηλεδιάσκεψη



Στην άκρη του δικτύου: υπηρεσία με σύνδεση

Στόχος: μεταφορά δεδομένων μεταξύ τερματικών συσκευών.

- **χειραψία (handshaking):** προετοιμασία για τη μεταφορά δεδομένων

Γεια – γεια σου σε ανθρώπινο πρωτόκολλο

Δημιουργία κατάστασης (setup state) σε δύο επικοινωνούντες κόμβους

- **TCP - Transmission Control Protocol**

Η υπηρεσία με σύνδεση του Internet

TCP service [RFC 793]

- **Αξιοπιστη και σε σειρά μεταφορά ροών από bytes** απώλειες; επιβεβαιώσεις και επαναμεταδόσεις
- **Έλεγχος ροής:** Διασφάλιση ότι ο αποστολέας δε στέλνει πιο γρήγορα από ότι μπορεί να δεχτεί ο παραλήπτης
- **Έλεγχος συμφόρησης:** Οι αποστολές μειώνουν το ρυθμό μετάδοσης όταν διαπιστώσουν συμφόρηση στο δίκτυο

Στην άκρη του δικτύου: υπηρεσία χωρίς σύνδεση

Στόχος: μεταφορά δεδομένων μεταξύ τερματικών συσκευών.

Ο ίδιος όπως και πριν!

UDP - User Datagram Protocol [RFC 768]: Η υπηρεσία χωρίς σύνδεση του Internet

Μη αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων
Χωρίς έλεγχο ροής
Χωρίς έλεγχο συμφόρησης

Εφαρμογές που

χρησιμοποιούν το TCP: HTTP (WWW), FTP (file transfer), Telnet (remote login), SMTP (email)

Εφαρμογές που

χρησιμοποιούν το UDP: streaming media, teleconferencing, Internet telephony

Στο εσωτερικό του δικτύου

Πλέγμα διασυνδεδεμένων δρομολογητών

Η βασική ερώτηση: πώς περνούν τα δεδομένα μέσα από το δίκτυο;

Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching): αφιερωμένο κύκλωμα σε κάθε κλήση; όπως στο τηλεφωνικό δίκτυο

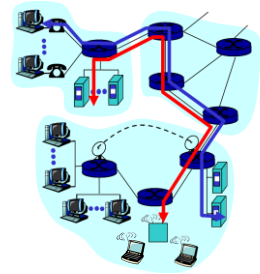
Μεταγωγή πακέτων (packet switching): τα δεδομένα στέλνονται σαν ξεχωριστά αυτοδύναμα κομμάτια



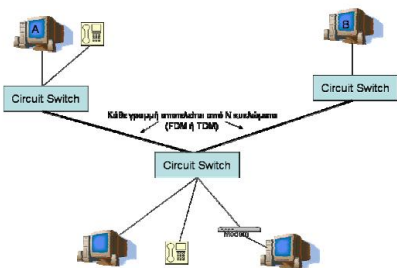
Στο εσωτερικό του δικτύου: μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)

Δεσμεύονται πόροι από άκρη σε άκρη για την κλήση

- Εύρος ζώνης της γραμμής, δυνατότητα μεταγωγής
- Αποκλειστικοί πόροι: δεν μοιράζονται
- Εγγυημένη απόδοση
- Απαιτείται διαδικασία εγκατάστασης κλήσης



Ένα απλό δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων



Κάθε γραμμή αποτελείται από N κυκλώματα (FDM ή TDM)

Στο εσωτερικό του δικτύου: μεταγωγή κυκλώματος circuit switching

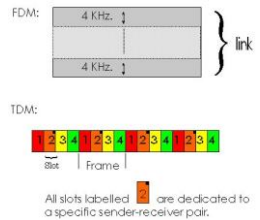
Δικτυακοί πόροι (π.χ., εύρος ζώνης) χωρίζεται σε διαφορετικά μέρη

Το κάθε μέρος κατανέμεται σε μια κλήση

Οι πόροι παραμένουν αδρανείς όσο δεν χρησιμοποιούνται από τους συμμετέχοντες στην κλήση (δεν τους μοιράζονται)

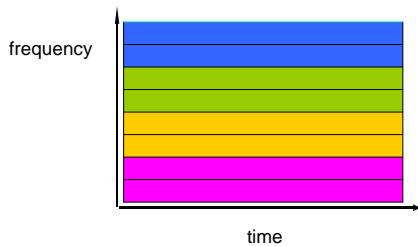
Πώς χωρίζεται το εύρος ζώνης μιας γραμμής σε διαφορετικά μέρη

- Διάρθρωση συχνότητας
- Διάρθρωση χρόνου (ρυθμός μετάδοσης: 8.000 πλαίσια/δευτ. of 8 bits/χρονοθυρίδα
- 64Kbps)



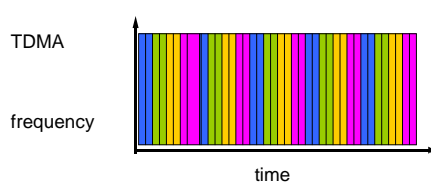
Μεταγωγή κυκλώματος : FDMA
Circuit switching : Frequency Division multiplexing

Example : 4 users



Μεταγωγή κυκλώματος : TDMA
Circuit switching : Time Division multiplexing

Example : 4 users



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Στο εσωτερικό του δικτύου: μεταγωγή κυκλώματος παράδειγμα

- Μεταγωγή κυκλώματος
- Αρχείο 640 Kbits
- TDM γραμμή των 24 slots (χρονοθυρίδων)
- Ρυθμός μετάδοσης της γραμμής = 1.536Mbps
- Εγκατάσταση κυκλώματος: 500 msec

Καθυστερήση στη μετάδοση?

$1.536 \times 10^6 / 24 = 64\text{Kbps}$ για κάθε κύκλωμα
 Καθυστερήση στη μετάδοση = $640\text{Kbits} / 64\text{Kbps} = 10 \text{ sec}$

Συνολικός χρόνος = 10,5 sec

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Στο εσωτερικό του δικτύου: μεταγωγή πακέτων packet switching

Κάθε ροή πακέτων από άκρη σε άκρη χωρίζεται σε πακέτα

Τα πακέτα των διαφόρων χρηστών μοιράζονται τους πόρους του δικτύου
 Κάθε πακέτο χρησιμοποιεί όλο το εύρος ζώνης της γραμμής
 Οι πόροι χρησιμοποιούνται MONO όταν χρειάζεται

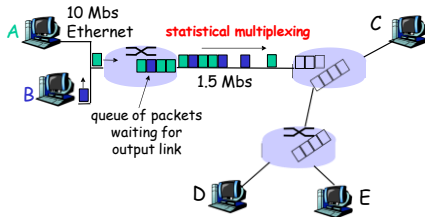
Ανταγωνισμός για τους πόρους:

- > Οι αιτήσεις σε συναθροισμένους πόρους μπορούν να ξεπεράσουν τον αριθμό των διαθέσιμων
- > **Συμφόρηση:** τα πακέτα μπαίνουν σε ουρές και περιμένουν να κάνουν χρήση της γραμμής
- > **Αποθήκευση και προώθηση (store and forward):** τα πακέτα μετακινούνται ένα βήμα τη φορά
- > Μετάδοση πάνω από μια γραμμή
- > Περιμένουν τη σειρά τους στην επόμενη γραμμή

Το εύρος ζώνης χωρίζεται σε κομμάτια
 Αποκλειστική διανομή πόρων Δέσμευση πόρων



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Μεταγωγή πακέτων: Στατιστική πολυπλεξία Packet switching: Statistical multiplexing



Η ακολουθία των πακέτων A & B δεν έχει σταθερή μορφή -> **statistical multiplexing.**

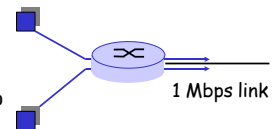
Στο TDM κάθε πηγή έχει την ίδια slot στο TDM πλαίσιο

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Σύγκριση μεταγωγής κυκλώματος & μεταγωγής πακέτων Comparison circuit switching vs packet switching

Η μεταγωγή πακέτων επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο
 Έστω 1 Mbit γραμμή

Κάθε χρήστης:
 > 100Kbps όταν είναι ενεργός
 > Ενεργός το 10% του χρόνου

Μεταγωγή κυκλώματος:
 10 χρήστες
 Μεταγωγή πακέτων:
 με 36 χρήστες πιθανότητα >10 ενεργοί μικρότερη του 0,004



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Σύγκριση μεταγωγής κυκλώματος & μεταγωγής πακέτων Comparison circuit switching vs packet switching

Είναι λοιπόν καλύτερη η μεταγωγή πακέτων από τη μεταγωγή κυκλωμάτων;

Ιδανική για δεδομένα που μεταδίδονται σε ριπές

Μοιράζονται οι πόροι
 Δεν απαιτείται εγκατάσταση κλήσης

Συμφόρηση: τα πακέτα καθυστερούν ή και χάνονται
 Χρειάζονται πρωτόκολλα για την ασφαλή μεταφορά δεδομένων και τον έλεγχο συμφόρησης

Ερώτηση: Πώς μπορεί να παρασχεθεί συμπεριφορά όμοια με αυτή της μεταγωγής κυκλώματος όταν χρειάζεται;

Εγγυήσεις στο εύρος ζώνης χρειάζεται για εφαρμογές ήχου και video
 Παραμένει ακόμα ένα άλυτο πρόβλημα

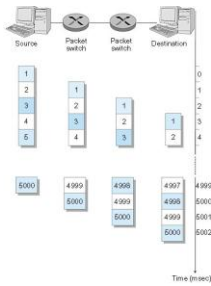
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Μεταγωγή πακέτων: αποθήκευση & προώθηση Packet switching: store and forward



- D Takes L/R seconds to transmit (push out) packet of L bits on to link of R bps
- D Entire packet must arrive at router before it can be transmitted on next link: **store and forward**
- D delay = 3L/R

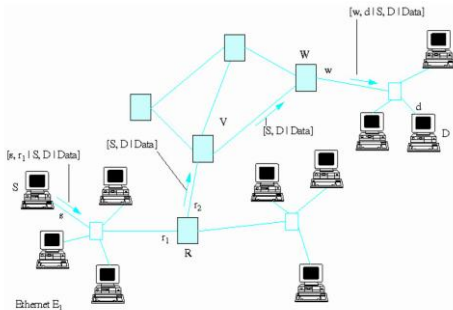
Example:

- D L = 7.5 Mbits
- D R = 1.5 Mbps
- D delay = 15 sec

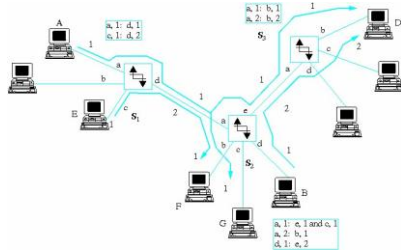


- Now break up the message into 5000 packets
- D Each packet 1,500 bits
 - D 1 msec to transmit packet on one link
 - D pipelining: each link works in parallel
 - D Delay reduced from 15 sec to 5.002 sec

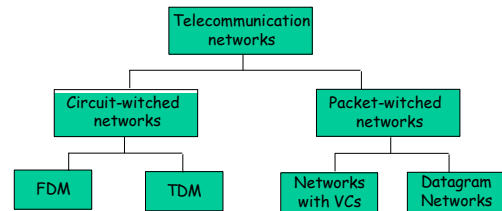
- Στόχος:** να μεταφέρουμε τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό περνώντας από διάφορους δρομολογητές
- Έχουμε δυο βασικούς αλγόριθμους επιλογής μονοπατιών
- datagram δίκτυα (αυτοδύναμα πακέτα):**
- γ Η διεύθυνση προορισμού καθορίζει και το ποιος είναι ο επόμενος κόμβος
 - γ Τα μονοπάτια μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας
 - γ Αναλογία: οδηγώντας και ρητώντας συνεχώς για κατευθύνσεις
- virtual circuit δίκτυα (VCs, εικονικά κυκλώματα):**
- γ Κάθε πακέτο μεταφέρει μια ετικέτα (virtual circuit ID), που καθορίζει και το επόμενο βήμα
 - γ Το μονοπάτι είναι σταθερό κατά τη διάρκεια της κλήσης και καθορίζεται στη φάση εγκατάστασης της κλήσης
 - γ Οι δρομολογητές διατηρούν πληροφορία για την κατάσταση της κάθε κλήσης



- Πακέτα των 53 bytes (cells)
- Επιλογή του νοητού κυκλώματος με βάση τους διαθέσιμους πόρους πριν την μετάδοση
- Δέσμευση πόρων και ενημέρωση των μεταγωγών/πηγής
- Απόρριψη σύνδεσης, δυνατή λόγω έλλειψης πόρων
- Απελευθέρωση πόρων στο τέλος της σύνδεσης
- Η επικεφαλίδα των cells φέρει κάποιον αριθμό σύνδεσης βάσει του οποίου γίνεται η δρομολόγηση
- ATM σχεδιασμένο για υποστήριξη επιθυμητής ποιότητας ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών



- γ Τρία VC : A → D,G, E → F, B → D
- γ Αριθμηση VCs με τον μικρότερο διαθέσιμο αριθμό
- γ (ξεύση εισόδου, VC#) → (ξεύση εξόδου, VC#)
- γ Virtual Paths (εικονικά μονοπάτια) για περιγραφή VCs τα οποία έχουν κοινή δρομολόγηση - εξοικονόμηση μνήμης και αύξηση ταχύτητας



- Datagram network is not either connection-oriented or connectionless.
- Internet provides both connection-oriented (TCP) and connectionless services (UDP) to applications.

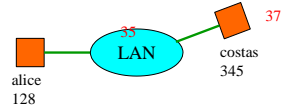
Παραδείγματα δικτυακών τεχνολογιών

- **Ethernet**
- **Internet**
- **ATM**

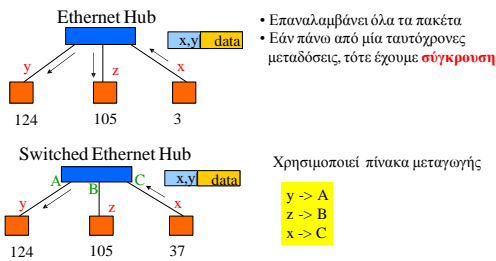
Τοπικά δίκτυα (LANs)

Δ Τα πιο απλά δίκτυα

- Δ Κάθε υπολογιστής έχει
 - όνομα
 - διεύθυνση δικτύου (Internet)
 - διεύθυνση τοπικού δικτύου (Ethernet)

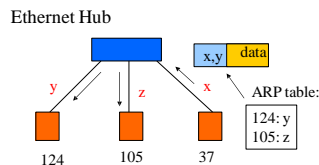


Ethernet

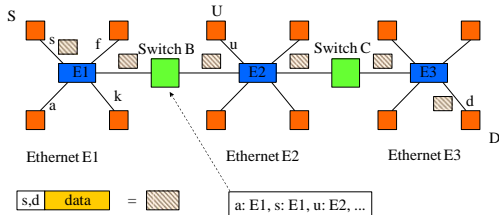


Ανακάλυψη διευθύνσεων

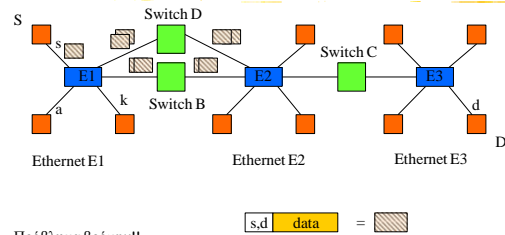
- Για αποστολή πακέτων: δικτυακή διεύθυνση
 - όνομα ---> δικτυακή διεύθυνση ---> τοπική διεύθυνση
 - πως βρίσκουμε την τοπική διεύθυνση;
- ARP (address resolution protocol)



Διασύνδεση με μεταγωγή



Διασύνδεση με μεταγωγή (συν.)



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Διασύνδεση με δρομολόγηση

Routing table: D, H: E3, ...
S: E1, ...

ARP table for E3: D: d, H: h, ...

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 49

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Internet

Routing table: D, H: W:E2, ...
S: E1, ...

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 50

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Internet: δρομολόγηση

- Δρομολόγηση: βασικότερη διαδικασία
 - NA προορισμού -> επόμενος δρομολογητής - τοπικό δίκτυο
- Μεθοδολογίες:
 - με το χέρι (κεντρική απόφαση για όλους)
 - χρησιμοποιώντας κοινό χάρτη
 - ιεραρχική δρομολόγηση
- Βασικό πρόβλημα: πολυπλοκότητα

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 51

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Δρομολόγηση

Αυτόνομο σύστημα (ΑΣ)

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 52

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Δρομολόγηση: επίπεδα

Αυτόνομο σύστημα (ΑΣ)

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 53

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Δρομολόγηση: ιεραρχική

Προτιμώμενη διαδρομή προς το A: [Y,X,Z,A], καθυστέρηση: 15

Προτιμώμενη διαδρομή προς το A: [Z,A], καθυστέρηση: 17

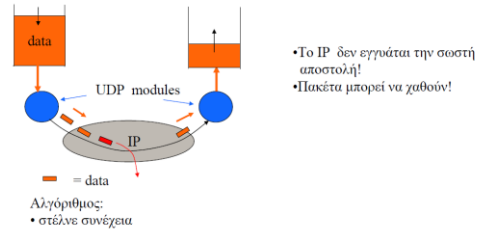
ΑΣ: Αυτόνομο σύστημα

Κ. Χαλζάτος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών - 54

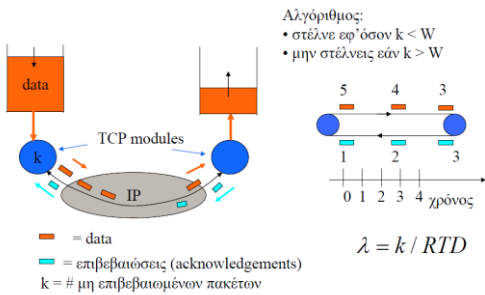
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Μετάδοση πληροφορίας

- Βασικό πρωτόκολλο IP: μεταφορά πακέτων
- Πρόβλημα: συμφόρηση, βλάβες, ...
- Λύση: πρωτόκολλο TCP
 - ανιχνεύει συμφόρηση
 - ξαναστέλνει χαμένα πακέτα
 - τα βάζει στην σωστή σειρά

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Μετάδοση πληροφορίας: UDP

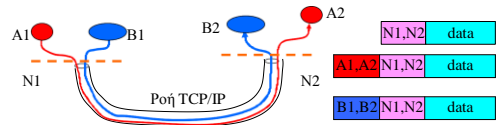


Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Μετάδοση πληροφορίας: TCP

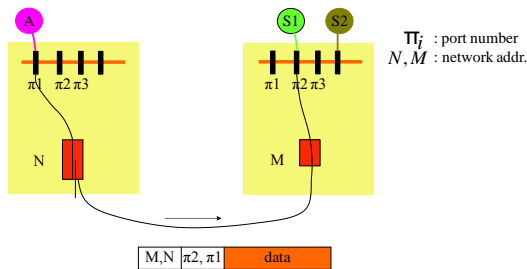


Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Σύνδεση με εφαρμογές

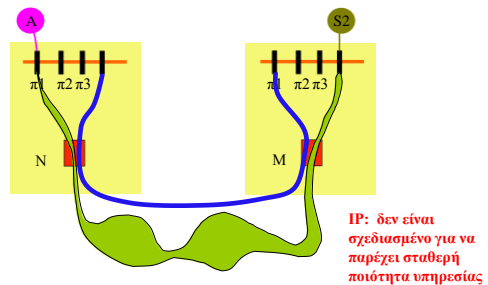
- UDP, TCP πάνω από IP: ροή πακέτων μεταξύ δικτυακών διευθύνσεων
- Εφαρμογές: «μικρο-ροές»
 - χρειάζεται να τις ξεχωρίζουμε



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Σύνδεση εφαρμογών (συν.)



Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Σύνδεση εφαρμογών (συν.)



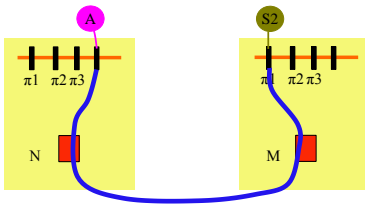
Μερικά συμπεράσματα

- Το IP δεν είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίξει «σταθερές» ροές
- Λογική εξειδικευμένη σε επίπεδο πακέτου
- Πως υποστηρίζουμε σταθερές ροές;
 - προσθέτουμε νέους μηχανισμούς στο IP
 - σχεδιάζουμε από την αρχή διαφορετικούς μηχανισμούς ελέγχου => **τεχνολογία ATM!**

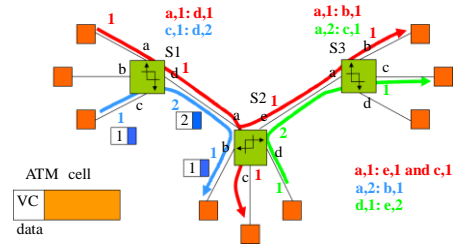
Η τεχνολογία ATM

- Μεταγωγή πολύ μικρών πακέτων σταθερού μεγέθους (ATM cells) 53 bytes
- Οι ροές περνούν μέσα από συνδέσεις που πρέπει να κατασκευαστούν (τα **ιδεατά κυκλώματα, virtual circuits**) μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη
- Οι συνδέσεις παρέχουν **ποιότητα υπηρεσίας** στις ροές

Η τεχνολογία ATM (συν.)



Ιδεατά κυκλώματα

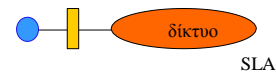


Ποιότητα υπηρεσίας

- Η δικτυακή υπηρεσία περιγράφεται από συμβόλαιο (**Service Level Agreement, SLA**)
- Το συμβόλαιο περιέχει
 - ✓ τις υποχρεώσεις του δικτύου
 - ✓ μέγιστη καθυστέρηση, ποσοστό απωλειών, jitter, ...
- υποχρεώσεις του χρήστη
 - ✓ μέγιστη ροή, εκμεταλλεύσιμότητα (availability), ...



Ποιότητα υπηρεσίας (συν.)

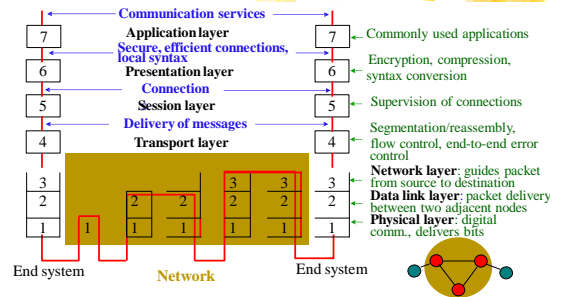


- Για να υλοποιηθεί ένα συμβόλαιο:
 - μηχανισμοί αστυνόμευσης του χρήστη
 - μηχανισμοί πολυπλεξίας των ροών
- Χρέωση:
 - ελαστική αστυνόμευση
 - κίνητρα καλής χρήσης

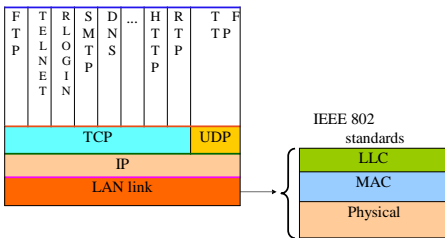
Βασικές έννοιες

Αρχιτεκτονικά πρότυπα

Μοντέλο OSI

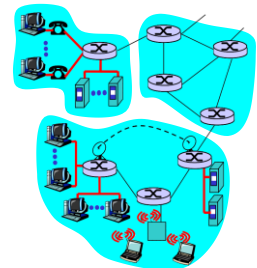


Internet



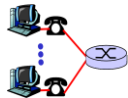
Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα Access networks and physical means

- Q: How to connect end systems to edge router?**
- D residential access nets
 - D institutional access networks (school, company)
 - D mobile access networks
- Keep in mind:**
- D bandwidth (bits per second) of access network?
 - D shared or dedicated?



Dialup via modem

- o up to 56Kbps direct access to router (often less)
- o Can't surf and phone at same time: can't be "always on"



D ADSL: asymmetric digital subscriber line (& VDSL)

- o up to 1 Mbps upstream (VDSL 10 Mbps)
- o up to 20 Mbps downstream (VDSL 50 Mbps)
- o FDM: 50 kHz - 1 MHz for downstream
4 kHz - 50 kHz for upstream
0 kHz - 4 kHz for ordinary telephone

D HFC: hybrid fiber coax

- o asymmetric: up to 10Mbps upstream, 1 Mbps downstream
- D network of cable and fiber attaches homes to ISP router
- o shared access to router among homes
- o Issues: congestion, dimensioning
- D deployment: available via cable companies

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Οικιακή πρόσβαση: καλωδιακά modems

Diagram: <http://www.cabledatamag.com/cm/cdiagram.html> Εισαγωγή 1-73
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Αρχιτεκτονική καλωδιακών δικτύων

Typically 500 to 5,000 homes

Εισαγωγή 1-74
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Αρχιτεκτονική καλωδιακών δικτύων

Εισαγωγή 1-75
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Αρχιτεκτονική καλωδιακών δικτύων

Εισαγωγή 1-76
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Αρχιτεκτονική καλωδιακών δικτύων

Εισαγωγή 1-77
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Τοπικά δίκτυα: local area networks

- company/univ **local area network** (LAN) connects end system to edge router
- Ethernet:**
 - shared or dedicated link connects end system and router
 - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet
- deployment:** institutions, home LANs happening now

Εισαγωγή 1-78
Κ. Χαλάτσος, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης Wireless access networks

- shared wireless access network connects end system to router
- Via base station aka "access point"
- wireless LANs:** 802.11b (WiFi): 11 Mbps
- wider-area wireless access**
- Provided by telco operator
- 36~ 384 kbps
 - Will it happen??
- WAP/GPRS in Europe

router
base station
mobile hosts

Εισαγωγή 1-79
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Οικιακά δίκτυα Home networks

Typical home network components:

- ADSL or cable modem
- router/firewall/NAT
- Ethernet
- wireless access point

to/from cable headend
cable modem
router/firewall
Ethernet (switched)
wireless access point
wireless laptops

Εισαγωγή 1-80
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Φυσικά μέσα μετάδοσης Physical transmission means

- Bit:** propagates between transmitter/rcvr pairs
- physical link:** what lies between transmitter & receiver
- guided media:**
 - propagate in solid media: copper, fiber, coax
- unguided media:**
 - propagate freely, e.g., radio
- two insulated copper wires
 - Category 3: traditional phone wires, 10 Mbps Ethernet
 - Category 5 TP: 100Mbps Ethernet

Εισαγωγή 1-81
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Φυσικά μέσα: ομοαξονικά καλώδια, οπτικές ίνες Physical means: Coaxial cables, fiber optic cable

Coaxial cable:

- two concentric copper conductors
- bidirectional
- baseband:
 - Single channel on cable
- broadband:
 - Multiple channel on cable
- HFC

Fiber optic cable:

- glass fiber carrying light pulses, each pulse a bit
- high-speed operation:
 - High-speed point-to-point transmission (e.g., 5 Gps)
- low error rate: repeaters spaced far apart ; immune to electromagnetic noise

Εισαγωγή 1-82
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Ραδιο-ζεύξεις Radio-link types:

- signal carried in electromagnetic spectrum
- no physical "wire"
- bidirectional
- propagation environment effects:
 - reflection
 - obstruction by objects
 - interference
- terrestrial microwave (επίγειες)**
 - up to 45 Mbps channels
 - LAN** (e.g., WaveLAN)
 - 2Mbps, 11Mbps
 - wide-area** (e.g., cellular)
 - 3G: hundreds of kbps
- satellite**
 - Up to 50Mbps channel (or multiple smaller channels)
 - 270 msec end-end delay
 - versus Low Earth Orbit Systems

Εισαγωγή 1-83
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Internet : ένα δίκτυο δικτύων

- roughly hierarchical
- at center: "tier-1" ISPs (e.g., UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T), national/international coverage
- treat each other as equals

Tier-1 providers also interconnect

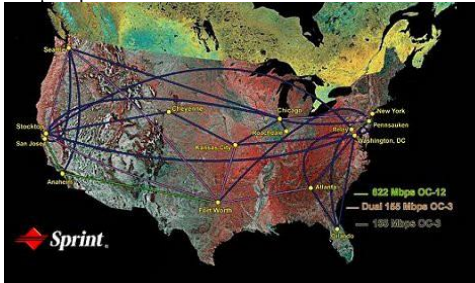
Tier-1 providers interconnect (peer) privately

at public network access points (NAPs)

Εισαγωγή 1-84
Κ. Χαλδάνης, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Tier-1 ISP: e.g., Sprint

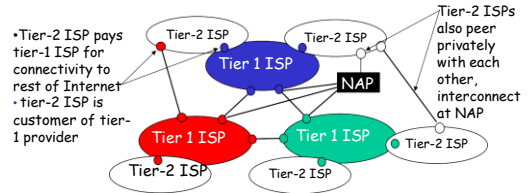
Sprint US backbone



Εισαγωγή 1-85

Internet structure: network of networks

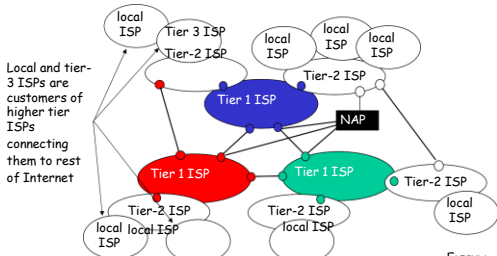
- D "Tier-2" ISPs: smaller (often regional) ISPs
 - o to one or more tier-1 ISPs, possibly other tier-2 ISPs



Εισαγωγή 1-86

Internet structure: network of networks

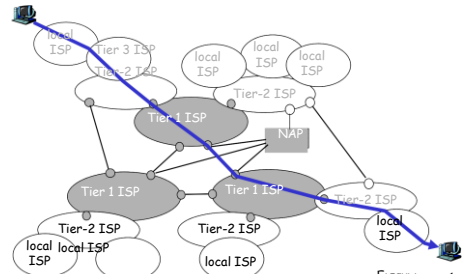
- D "Tier-3" ISPs and local ISPs
 - o hop ("access") network (closest to end systems)



Εισαγωγή 1-87

Internet structure: network of networks

- D a packet passes through many networks!



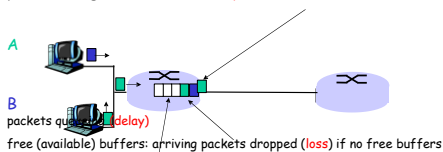
Εισαγωγή 1-88

Απώλειες πακέτων, καθυστέρηση

packets queue in router buffers

- D packet arrival rate to link exceeds output link capacity
- D packets queue, wait for turn

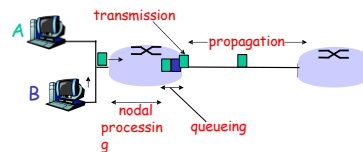
packet being transmitted (delay)



Εισαγωγή 1-89

Οι 4 συνιστώσες της καθυστέρησης πακέτων

- D 1. nodal processing (επεξεργασία)
 - o Check bit errors
 - o determine output link
- D 2. queuing (αναμονή)
 - o waiting at output link for transmission
 - o on congestion level of router



Εισαγωγή 1-90

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Καθυστέρηση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων

3. Transmission delay (μετάδοση):

- D R=link bandwidth (bps)
- D L=packet length (bits)
- D time to send bits into link = L/R

4. Propagation delay (διάδοση):

- D d = length of physical link
- D s = propagation speed in medium ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- D propagation delay = d/s

Note: s and R are very different quantities!

Εισαγωγή 1-47

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Καθυστέρηση κόμβου

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

- D d_{proc} = processing delay
 - Typically a few microseconds or less
- D d_{queue} = queuing delay
 - Depends on congestion
- D d_{trans} = transmission delay
 - = L/R , significant for low-speed links
- D d_{prop} = propagation delay
 - A few microseconds to hundreds of msec

Εισαγωγή 1-92

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Καθυστέρηση αναμονής

- D R=link bandwidth (bps)
- D L=packet length (bits)
- D a=average packet arrival rate

traffic intensity = La/R

- D $La/R \sim 0$: average queueing delay small
- D $La/R \rightarrow 1$: delays become large
- D $La/R > 1$: more "work" arriving than can be serviced, average delay infinite!

Εισαγωγή 1-93

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

"Πραγματικές" καθυστερήσεις στο Internet

- D What do "real" Internet delay & loss look like?
- D **Traceroute program**: provides delay measurement from source to router along end-end Internet path towards destination. For all i:
 - Sends three packets that will reach router i on path towards destination
 - Router i will return packets to sender
 - Sender times interval between transmission and reply.

Εισαγωγή 1-94

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

"Πραγματικές" καθυστερήσεις στο Internet

tracert: gaia.cs.umass.edu to www.eurocom.fr

> Three delay measurements from gaia.cs.umass.edu to cs-gw.cs.umass.edu

```

1  cs-gw (128.119.240.254)  1 μs  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-atl-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 r32-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)  126 ms  126 ms  124 ms
15 eurocom-valbonne.r32.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.eurocom.fr (193.55.113.142)  132 ms  128 ms  136 ms
    
```

Εισαγωγή 1-95

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Απώλεια πακέτων

- D queue (aka buffer) preceding link in buffer has finite capacity
- D when packet arrives to full queue, packet is dropped (aka lost)
- D lost packet may be retransmitted by previous node, by source end system, or not retransmitted at all

Εισαγωγή 1-96

«Επίπεδα» πρωτοκόλλων

Networks are complex!

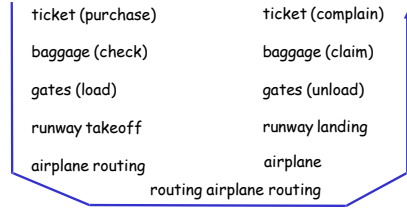
- many "pieces":
 - hosts
 - routers
 - Links of various media
 - applications
 - protocols
 - Hardware, software

Question:

Is there any hope of organizing structure of network?

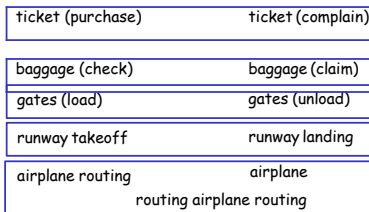
Or at least our discussion of networks?

Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού



▷ a series of steps

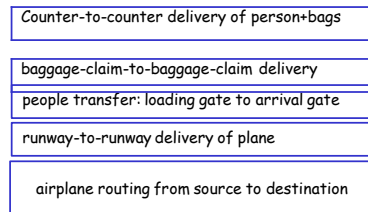
Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού



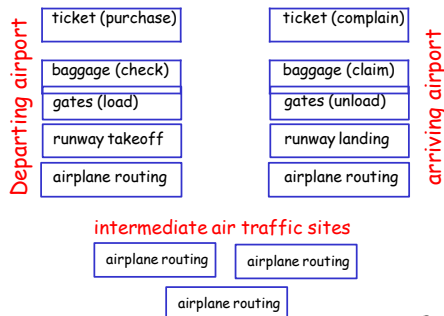
Layers: each layer implements a service

- Via its own internal-layer actions
- Relying on services provided by layer below

Υπηρεσίες



Κατανεμημένη υλοποίηση λειτουργικότητας επιπέδων



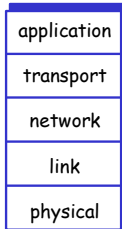
Ιεραρχική αρχιτεκτονική

Dealing with complex systems:

- explicit structure allows identification, relationship of complex system's pieces
- layered **reference model** for discussion
- modularization eases maintenance, updating of system
- change of implementation of layer's service transparent to rest of system
- E.g., change in gate procedure doesn't affect rest of system

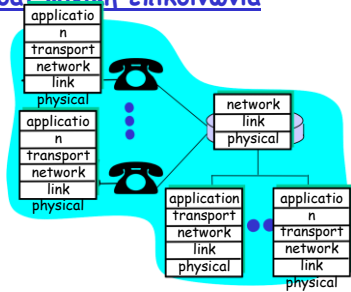
Στοιβά πρωτοκόλλων Internet

- D **application**: supporting network applications
 - o SMTP, STTP
- D **transport**: host-host data transfer
 - o TCP, UDP
- D **network**: routing of datagrams from source to destination
 - o IP, routing protocols
- D **link**: data transfer between neighboring network elements
 - o PPP, Ethernet
- D **physical**: bits "on the wire"



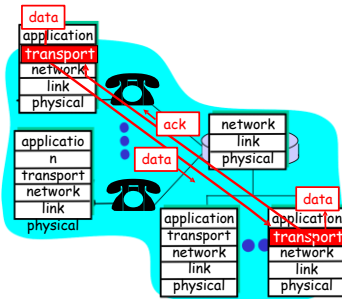
Επίπεδα: Λογική επικοινωνία

- Each layer:
- > distributed
 - > "entities" implement layer functions at each node
 - > entities perform actions, exchange messages with peers

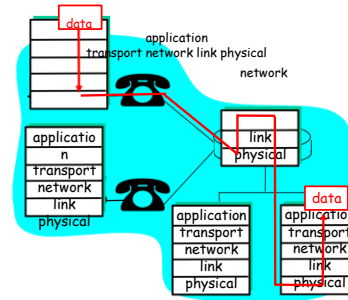


Επίπεδα: Λογική επικοινωνία

- E.g.: transport
- D take data from app
 - D add addressing, reliability check info to form "datagram"
 - D send datagram to peer
 - D wait for peer to ack receipt
 - D analogy: post office

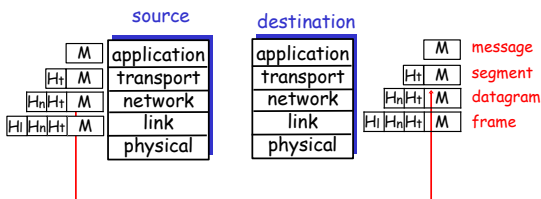


Επίπεδα: φυσική επικοινωνία



Επίπεδα πρωτοκόλλων και δεδομένα

- Each layer takes data from above
- D adds header information to create new data unit
 - D passes new data unit to layer below



Η ιστορία του Internet

1961-1972: Early packet-switching principles

- D 1961: Kleinrock - queuing theory shows effectiveness of packet-switching
- D 1964: Baran - packet-switching in military nets
- D 1967: ARPANet conceived by Advanced Research Projects Agency
- D 1969: first ARPANet node operational
- D 1972:
 - o ARPANet demonstrated publicly
 - o NCP (Network Control Protocol) first host-host protocol
 - o First e-mail program
 - o ARPANet has 15 nodes

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Η ιστορία του Internet

1972-1980: Internetworking, new and proprietary nets

- D 1970: ALOHAnet satellite network in Hawaii
- D 1973: Metcalfe's PhD thesis proposes Ethernet
- D 1974: Cerf and Kahn - architecture for interconnecting networks
- D late70's: proprietary architectures: DECnet, SNA, XNA
- D late 70's: switching fixed length packets (ATM precursor)
- D 1979: ARPAnet has 200 nodes

Cerf and Kahn's internetworking principles:

- o Minimalism, autonomy - no internal changes required to interconnect networks
 - o Best effort service model
 - o Stateless routers
 - o Decentralized control
- define today's Internet architecture

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Η ιστορία του Internet

1980-1990: new protocols, a proliferation of networks

- D 1983: deployment of TCP/IP
- D 1982: SMTP e-mail protocol defined
- D 1983: DNS defined for name-to-IP- address translation
- D 1985: FTP protocol defined
- D 1988: TCP congestion control
- D new national networks: Cset, BITnet, NSFnet, Minitel
- D 100,000 hosts connected to confederation of networks

Κ. Χαλδής, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή 1-109

Κ. Χαλδής, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή 1-110

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Η ιστορία του Internet

1990, 2000's: commercialization, the Web, new apps

- D Early 1990's: ARPAnet decommissioned
- D 1991: NSF lifts restrictions on commercial use of NSFnet (decommissioned, 1995)
- D early 1990's: Web
 - o Hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - o HTML, HTTP: Berners-Lee
 - o 1994: Mosaic, later Netscape
 - o Late 1990's: commercialization of the Web
- Late 1990's - 2000's:
 - D more killer apps: instant messaging, peer2peer file sharing (e.g., Napster)
 - D network security to forefront
 - D est. 50 million host, 100 million+ users
 - D backbone links running at Gbps

Κ. Χαλδής, Εισαγωγή στην Επιστήμη της Πληροφορικής και των Τηλεπικοινωνιών

Εισαγωγή 1-111