



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

## Δίκτυα Επικοινωνιών Ι (Κ16)

### Διδάσκοντες

- Καθ. Ιωάννης Σταυρακάκης
- Δρ. Νάσος Βάιος
  
- <https://eclass.uoa.gr/courses/DI410/>

Εισαγωγή : 1-1

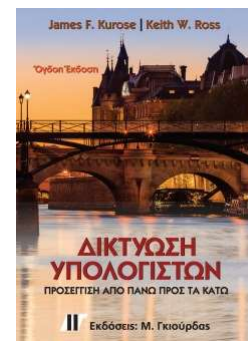
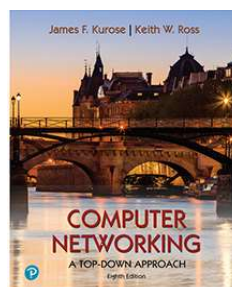
## Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

### Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

- ❑ **ΘΕ1: Εισαγωγή**  
(Κεφ. 1 του βιβλίου)
- ❑ **ΘΕ2: Επίπεδο Εφαρμογής**  
(Κεφ. 2 του βιβλίου)
- ❑ **ΘΕ3: Επίπεδο Μεταφοράς**  
(Κεφ. 3 του βιβλίου)
- ❑ **ΘΕ4: Επίπεδο Δικτύου**  
Επίπεδο Δεδομένων (Κεφ. 4 του βιβλίου)  
Επίπεδο Ελέγχου (Κεφ. 5 του βιβλίου)
- ❑ **ΘΕ5: Επίπεδο Ζεύξης και Τοπικά Δίκτυα**  
(Κεφ. 3 του βιβλίου – μέρος ενότητας)

Συνιστώμενο Βιβλίο:  
**Computer Networking: A Top-Down Approach**, by Kurose & Ross,  
Addison-Wesley, 8<sup>η</sup> Έκδοση

Ελληνική Μετάφραση:  
Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας



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

All material copyright 1996-2021  
J.F. Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved  
Προσαρμογή και επιμέλεια της απόδοσης των πρωτότυπων διαφανειών στα ελληνικά:  
Ιωάννης Σταυρακάκης

Εισαγωγή : 1-2



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

## Δίκτυα Επικοινωνιών I

### Ενότητα 1: Εισαγωγή

Διδάσκων: Καθ. Ιωάννης Σταυρακάκης

Εισαγωγή : 1-3

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

### Στόχος κεφαλαίου:

- να δούμε το δάσος («αίσθηση» και ορολογία)
  - Εμβάθυνση, περισσότερες λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια



### Επισκόπηση:

- τι είναι το Διαδίκτυο; τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή

Εισαγωγή : 1-4

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

- τι είναι το Διαδίκτυο; τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή



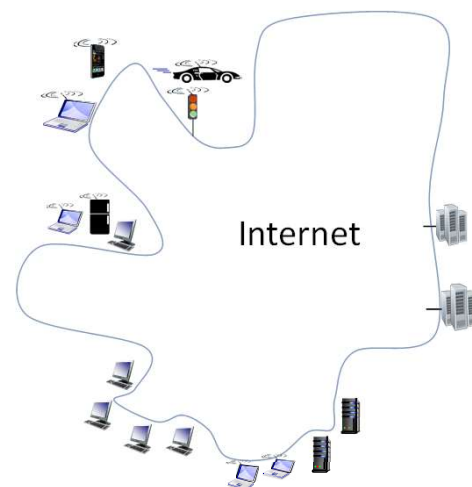
Εισαγωγή : 1-5

## Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου



Δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες υπολογιστικές **συσκευές**:

- **hosts** = τερματικά συστήματα
- Τρέχουν δικτυακές **εφαρμογές** στην περιφέρεια του Διαδικτύου



Εισαγωγή : 1-6

## Διαδικτυακές διασυνδεδεμένες συσκευές

Amazon Echo

Διαδικτυακό ψυγείο

IP picture frame

Pacemaker & Monitor

Tweet-a-watt: Μετρητής ενεργειακής κατανάλωσης

bikes

Web-enabled toaster + weather forecaster

cars

Security Camera

Slingbox: remote control cable TV

AR devices

scooters

Internet phones

Gaming devices

sensorized, bed mattress

Fitbit

**άλλες?**

Εισαγωγή : 1-7

## Τα κύρια συστατικά του Διαδίκτυου



Δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες υπολογιστικές **συσκευές**:

- **hosts** = **τερματικά συστήματα**
- Τρέχουν δικτυακές **εφαρμογές** στην περιφέρεια του Διαδικτύου



**Μεταγωγείς πακέτων (Packet switches)**: προωθούν πακέτα (τμήματα δεδομένων)

- **routers, switches**



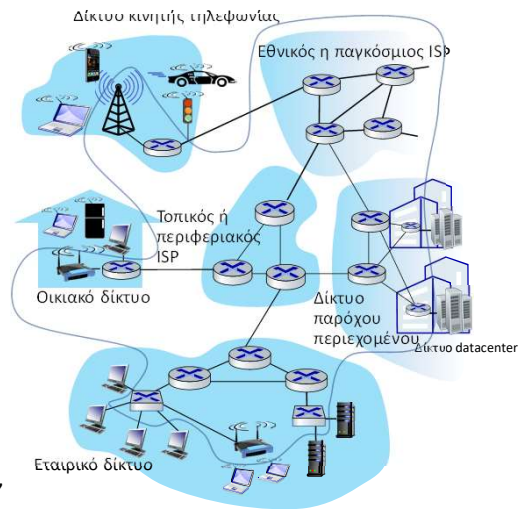
**Επικοινωνιακές ζεύξεις**

- Οπτική ίνα, χαλκός, ραδιοζεύξη, δορυφόρος
- Ταχύτητα μετάδοσης: εύρος ζώνης (bandwidth)



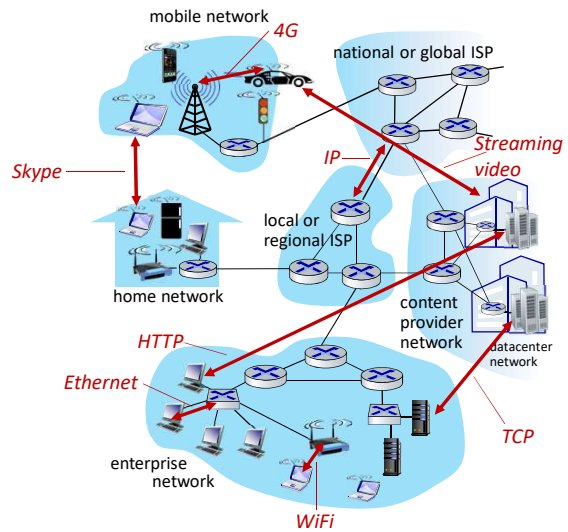
**Δίκτυα**

- Συλλογή από συσκευές, δρομολογητές, ζεύξεις: διαχειριζόμενα από κάποιο οργανισμό



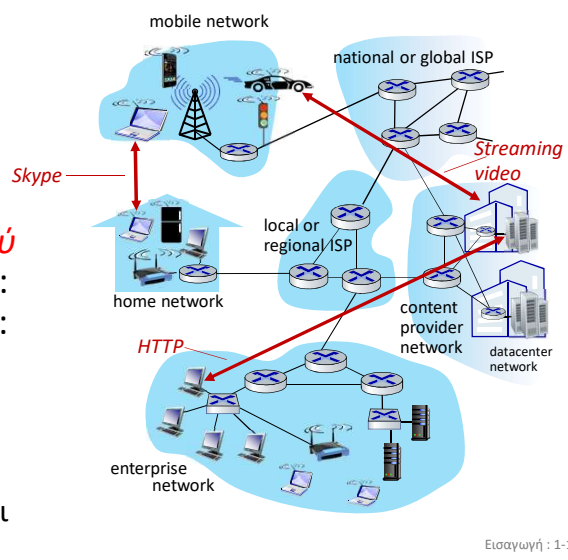
## Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

- **Διαδίκτυο: “δίκτυο δικτύων”**
  - Διασυνδεδεμένοι ISPs
- **Πρωτόκολλα είναι παντού**
  - ελέγχουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων
  - e.g., HTTP (Web), streaming video, Skype, TCP, IP, WiFi, 4G, Ethernet
- **Πρότυπα Διαδικτύου (Internet standards)**
  - RFC: Request for Comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



## Τι είναι το Διαδίκτυο: από την οπτική των εφαρμογών

- **Υποδομή που παρέχει υπηρεσίες σε εφαρμογές:**
  - Web, streaming video, multimedia teleconferencing, email, games, e-commerce, social media, inter-connected appliances, ...
- Παρέχει **διεπαφή προγραμματισμού** σε κατανεμημένες εφαρμογές (API: application programming interface):
  - επιτρέπει σε εφαρμογές αποστολέα/δέκτη να συνδέονται, να χρησιμοποιούν την υπηρεσία μεταφοράς
  - παρέχει επιλογές υπηρεσιών, όπως και τα Ταχυδρομεία



## Τι είναι πρωτόκολλο;

### Ανθρώπινα πρωτόκολλα:

- “Τι ώρα είναι;”
- “Έχω μια ερώτηση”
- συστάσεις

Κανόνες για:

... αποστολή συγκεκριμένων **μηνυμάτων**

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

### Δικτυακά πρωτόκολλα:

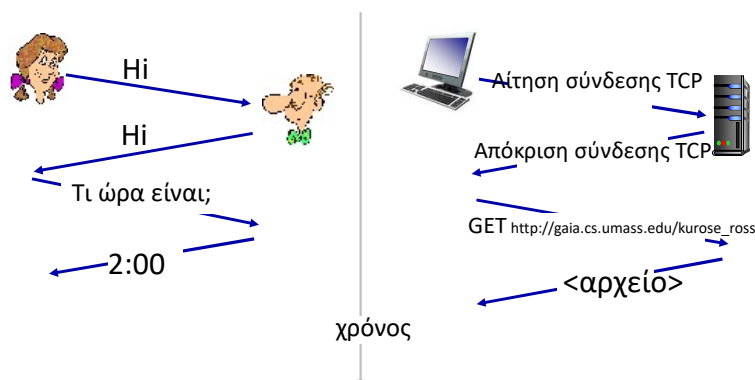
- Μηχανές (συσκευές) αντί για άνθρωποι
- Όλες οι δραστηριότητες επικοινωνίας στο Διαδίκτυο διέπονται από πρωτόκολλα

Τα **πρωτόκολλα** καθορίζουν τη **μορφή**, τη **σειρά των μηνυμάτων που στέλνονται και λαμβάνονται** μεταξύ δικτυακών οντοτήτων, καθώς και τις **ενέργειες** που γίνονται κατά τη λήψη και αποστολή μηνυμάτων

Εισαγωγή : 1-11

## Τι είναι πρωτόκολλο;

Ένα ανθρώπινο πρωτόκολλο και ένα πρωτόκολλο δικτύου υπολογιστών:



**E:** Άλλα ανθρώπινα πρωτόκολλα?

Εισαγωγή : 1-12

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

- τι είναι το Διαδίκτυο; τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή

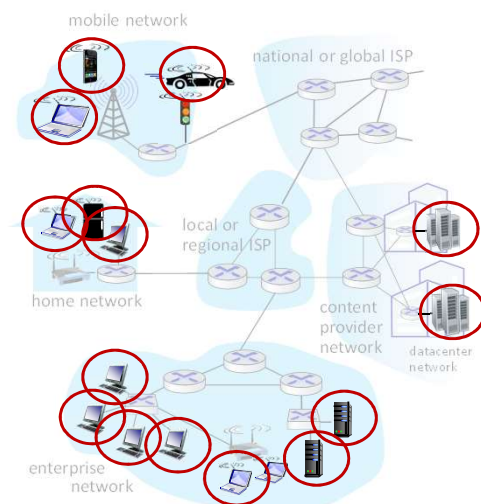


Εισαγωγή : 1-13

## Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

### Περιφέρεια δικτύου:

- hosts: πελάτες και εξυπηρέτες
- εξυπηρέτες συχνά σε κέντρα δεδομένων



Εισαγωγή : 1-14



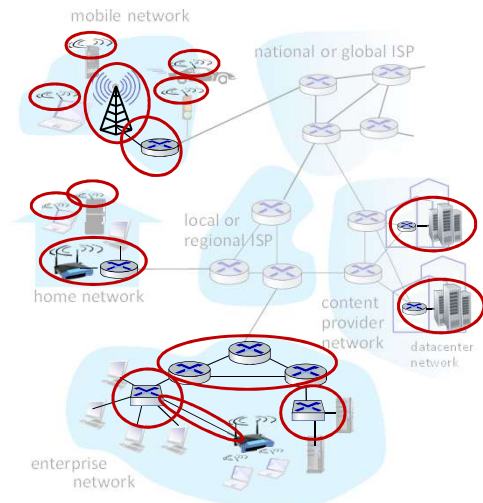
## Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

### Περιφέρεια δικτύου:

- hosts: πελάτες και εξυπηρέτες
- εξυπηρέτες συχνά σε κέντρα δεδομένων

### Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις



Εισαγωγή : 1-15

## Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

### Περιφέρεια δικτύου:

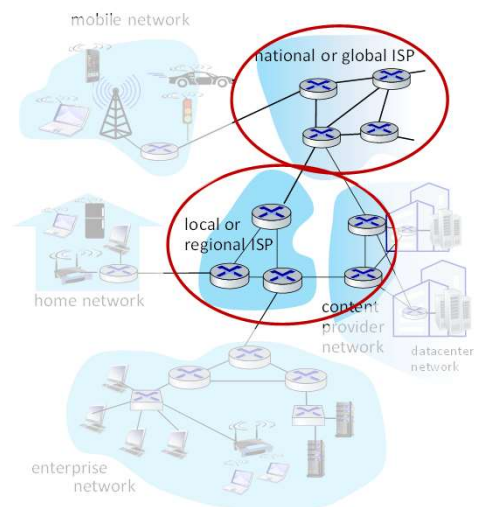
- hosts: πελάτες και εξυπηρέτες
- εξυπηρέτες συχνά σε κέντρα δεδομένων

### Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις

### Πυρήνας δικτύου:

- διασυνδεδεμένοι δρομολογητές
- δίκτυο δικτύων



Εισαγωγή : 1-16



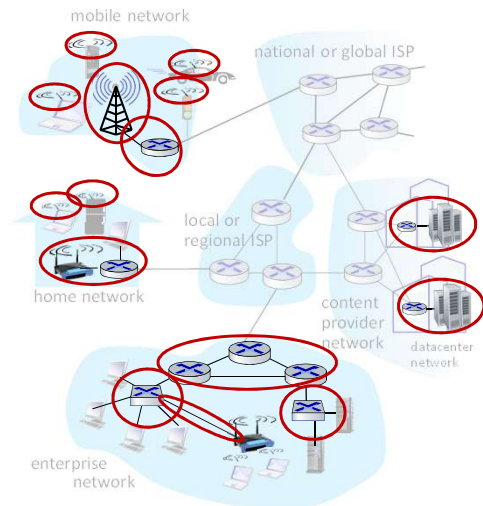
## Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα

**E: Πώς μπορεί να συνδεθεί ένα τερματικό σύστημα με περιφερειακό δρομολογητή;**

- δίκτυα οικιακής πρόσβασης
- δίκτυα πρόσβασης οργανισμών (εταιρείες, σχολεία)
- δίκτυα πρόσβασης κινητών (WiFi, 4G/5G)

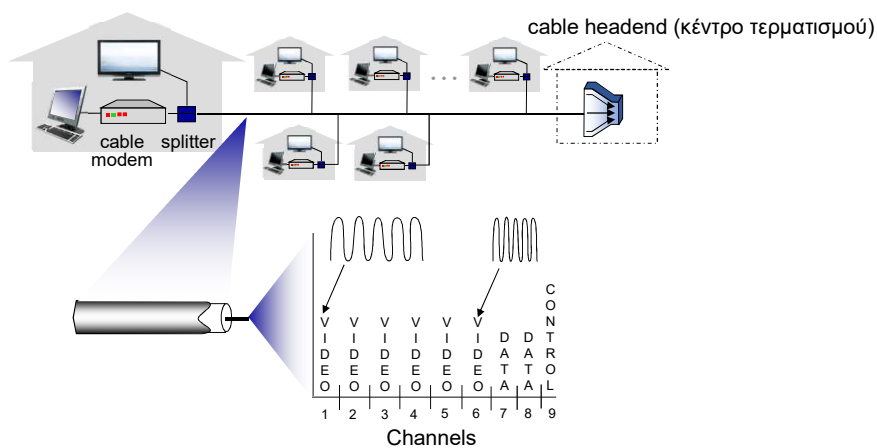
**Προσοχή στα παρακάτω:**

- Ρυθμός μετάδοσης (bits per second) του δικτύου πρόσβασης
- Διαμοιραζόμενη ή αποκλειστική πρόσβαση χρηστών?



Εισαγωγή : 1-17

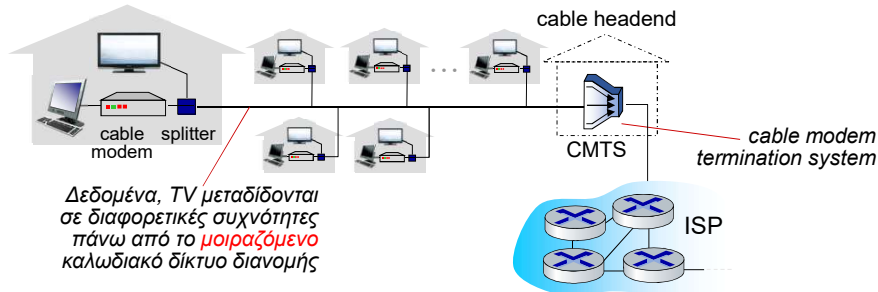
## Δίκτυα πρόσβασης: μέσω καλωδιακού δικτύου



**frequency division multiplexing (FDM):** διαφορετικά κανάλια μεταδίδονται σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων

Εισαγωγή : 1-18

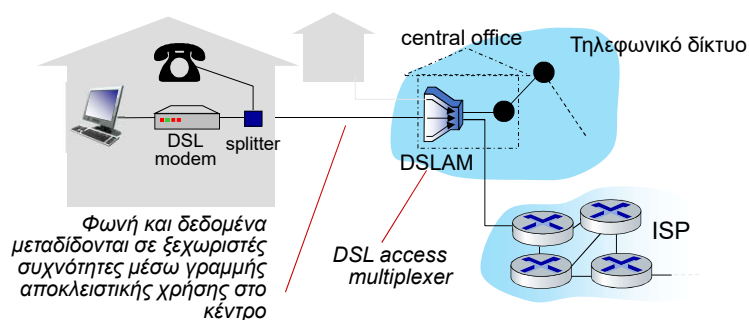
## Δίκτυα πρόσβασης: μέσω καλωδιακού δικτύου



- HFC: hybrid fiber coax (δίκτυο από καλώδιο και οπτική ίνα)
  - ασύμμετρο: ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 40Mbps - 1.2Gbps downstream, 30-100 Mbps upstream
- δίκτυο από καλώδιο και οπτική ίνα συνδέει τα σπίτια με τον δρομολογητή του ISP
  - Τα σπίτια **μοιράζονται το δίκτυο πρόσβασης** μέχρι το καλωδιακό κέντρο τερματισμού

Εισαγωγή : 1-19

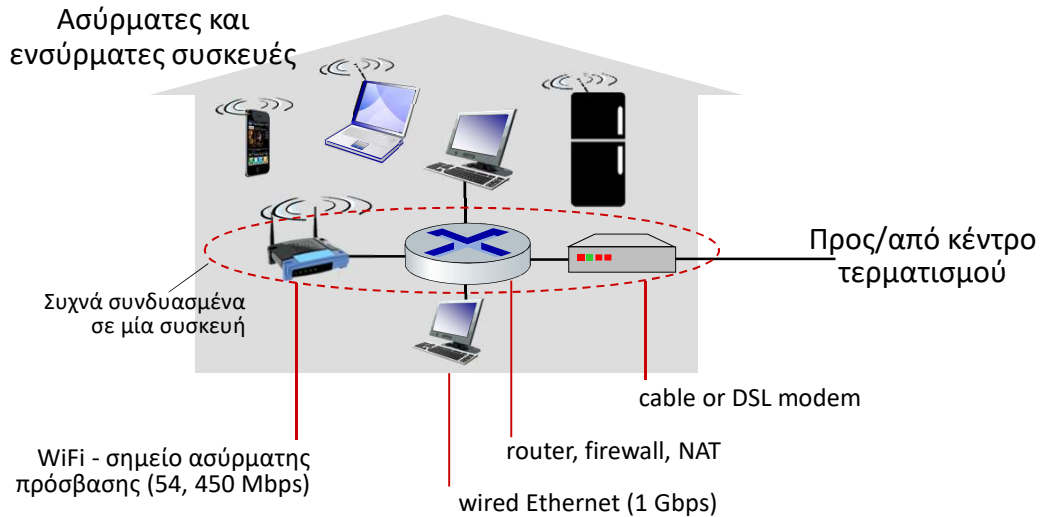
## Δίκτυα πρόσβασης: μέσω digital subscriber line (DSL)



- Χρήση **υπάρχουσας** τηλεφωνικής γραμμής προς το DSLAM του κέντρου
  - τα δεδομένα πάνω από την γραμμή DSL πάνε στο Διαδίκτυο
  - η φωνή πάνω από την γραμμή DSL πάει στο τηλεφωνικό δίκτυο
- Μη διαμοιραζόμενο μέσο
- 24-52 Mbps αποκλειστική ταχύτητα μετάδοσης downstream
- 3.5-16 Mbps αποκλειστική ταχύτητα μετάδοσης upstream

Εισαγωγή : 1-20

## Δίκτυα πρόσβασης: οικιακά δίκτυα



Εισαγωγή : 1-21

## Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

Διαμοιραζόμενο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης συνδέει τερματικά συστήματα με δρομολογητή

- Μέσω σταθμού βάσης («σημείου πρόσβασης»)

### Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLANs)

- Συνήθως εντός ή γύρω από κτήρια (~30μ)
- 802.11b/g/n (WiFi): 11, 54, 450 Mbps ταχύτητα μετάδοσης



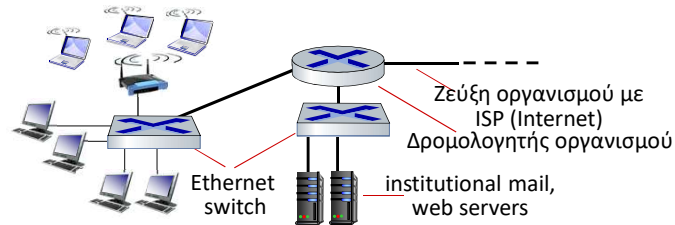
### Κυψελωτά δίκτυα πρόσβασης ευρείας περιοχής

- Από παρόχους κινητών, κυψελωτών δικτύων (10's km)
- 10's Mbps
- 4G κυψελωτά δίκτυα (5G coming)



Εισαγωγή : 1-22

## Δίκτυα πρόσβασης: δίκτυα επιχειρήσεων



- Τυπική χρήση σε εταιρείες, πανεπιστήμια, κλπ
- Συνδυασμός τεχνολογιών ασύρματων και ενσύρματων ζεύξεων, συνδέοντας μεταγωγούς και δρομολογητές
  - Ethernet: ενσύρματη πρόσβαση στα 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
  - WiFi: ασύρματο σημείο πρόσβασης στα 11, 54, 450 Mbps

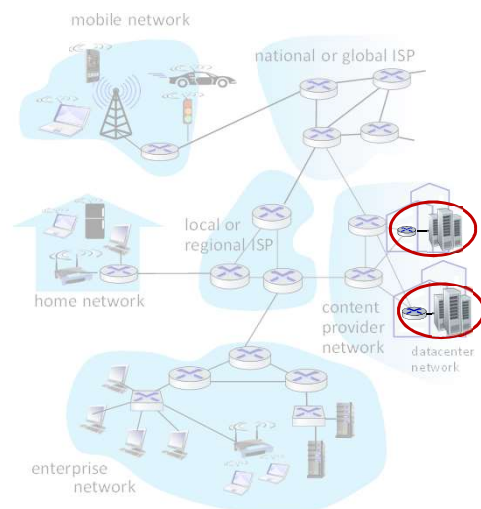
Εισαγωγή : 1-23

## Δίκτυα πρόσβασης: δίκτυα κέντρων δεδομένων

- Ζεύξεις υψηλής χωρητικότητας (10s - 100s Gbps) συνδέουν 100s – 1000s εξυπηρετές μεταξύ τους και με το Διαδίκτυο



Courtesy: Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)

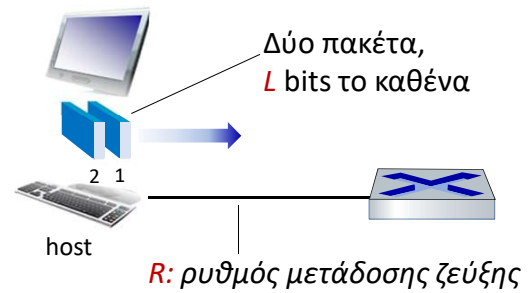


Εισαγωγή : 1-24

## Τερματικό: στέλνει πακέτα δεδομένων

Λειτουργία αποστολής πακέτων τερματικού:

- παίρνει μήνυμα εφαρμογής
- το σπάει σε μικρότερα κομμάτια, γνωστά ως **πακέτα**, μήκους  $L$  bits
- μεταδίδει το πακέτο στο δίκτυο πρόσβασης με **ρυθμό μετάδοσης  $R$** 
  - Ρυθμός μετάδοσης ζεύξης, ή **χωρητικότητα** ζεύξης, ή **εύρος ζώνης**



$$\text{καθυστέρηση} \begin{matrix} \text{μετάδοσης} \\ \text{πακέτου} \end{matrix} = \text{Χρόνος μετάδοσης} \begin{matrix} \text{πακέτου (L-bits)} \\ \text{στη ζεύξη} \end{matrix} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

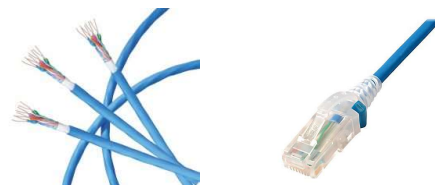
Εισαγωγή : 1-25

## Ζεύξεις: Φυσικά μέσα

- **bit**: διαδίδεται μεταξύ ζεύγους πομπού/δέκτη
- **Φυσική ζεύξη**: ότι βρίσκεται μεταξύ πομπού και δέκτη
- **Οδηγούμενα μέσα (guided media)**:
  - σήματα διαδίδονται σε κυματοδηγούς: χαλκός, οπτική ίνα, ομοαξονικό καλώδιο
- **Μη οδηγούμενα μέσα (unguided media)**:
  - σήματα διαδίδονται ελεύθερα, π.χ., ραδιο-κύματα

### Συνεστραμμένο ζεύγος (Twisted Pair (TP))

- δύο μονωμένα σύρματα χαλκού
  - Category 5: 100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
  - Category 6: 10Gbps Ethernet



Εισαγωγή : 1-26

## Ζεύξεις: Φυσικά μέσα

### Ομοαξονικό καλώδιο:

- Δύο ομόκεντροι χάλκινοι αγωγοί
- Διπλής κατεύθυνσης
- Ευρείας ζώνης (broadband):
  - πολλαπλά κανάλια (συχνοτήτων) στο καλώδιο
  - 100's Mbps ανά κανάλι



### Καλώδιο οπτικής ίνας:

- Ίνα από γυαλί που μεταφέρει παλμούς φωτός, κάθε παλμός ένα bit
- Λειτουργία υψηλής ταχύτητας:
  - Υψηλή ταχύτητα μετάδοσης από άκρο σε άκρο (10's-100's Gbps)
- Χαμηλός ρυθμός σφαλμάτων:
  - μεγάλη απόσταση μεταξύ αναμεταδοτών
  - απρόσβλητο από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο



Εισαγωγή: 1-27

## Ζεύξεις: Φυσικά μέσα

### Ασύρματα ραδιοκανάλια

- Σήμα μεταφέρεται σε διάφορες περιοχές του Η/Μ φάσματος
- Χωρίς «σύρμα»
- Ευρυ-εκπομπή, ημι-αμφίδρομη μετάδοση (half-duplex) (πομπό προς δέκτη)
- Επιδράσεις περιβάλλοντος μετάδοσης:
  - ανάκλαση
  - παρεμπόδιση από αντικείμενα
  - Παρεμβολές / θόρυβος

### Τύποι ράδιο-ζεύξεων:

- **Ασύρματα LAN (WiFi)**
  - 10-100's Mbps; 10's μέτρα
- **ευρείας περιοχής** (π.χ., 4G κυψελωτό)
  - 10's Mbps σε περιοχή ~10 Km
- **Bluetooth:** αντικατάσταση καλωδίων
  - Μικρές αποστάσεις, περιορισμένες ταχύτητες
- **επίγεια μικροκύματα**
  - Σημείο-προς-σημείο – κανάλια 45 Mbps
- **δορυφορικές ζεύξεις**
  - κανάλια μέχρι 45 Mbps
  - 270 msec καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο (end-to-end delay)

Εισαγωγή: 1-28



## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

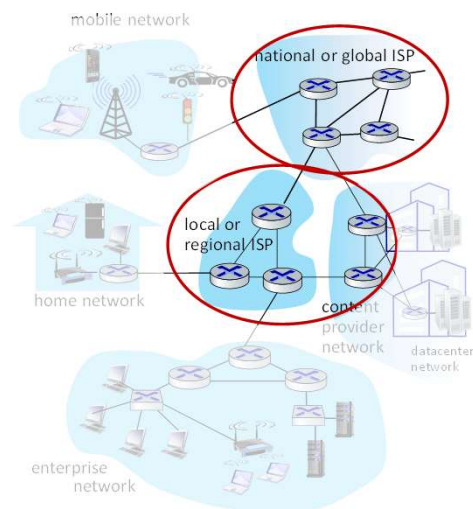
- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή



Εισαγωγή : 1-29

## Ο πυρήνας του δικτύου

- Πλέγμα διασυνδεδεμένων δρομολογητών
- **Μεταγωγή πακέτου:** τερματικό σπάει τα μηνύματα της εφαρμογής σε **πακέτα**
  - το δίκτυο **προωθεί** πακέτα από δρομολογητή σε δρομολογητή μέσω των ζεύξεων στο μονοπάτι από **πηγή** σε προορισμό

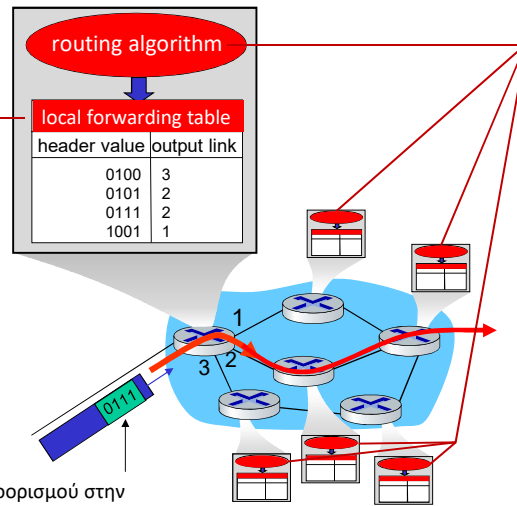


Εισαγωγή : 1-30

## Δύο βασικές λειτουργίες του δικτύου-πυρήνα

### (1) Προώθηση:

- Αλλιώς, «μεταγωγή»
- Λειτουργία **τοπικής** εμβέλειας / σημασίας: μεταφέρει εισερχόμενα πακέτα από τη ζεύξη εισόδου στην κατάλληλη ζεύξη εξόδου του δρομολογητή.



### (2) Routing:

- Λειτουργία **παγκόσμιας** εμβέλειας / σημασίας: καθορίζει το μονοπάτι μεταξύ πηγής και προορισμού που θα ακολουθήσουν τα πακέτα
- Αλγόριθμοι δρομολόγησης

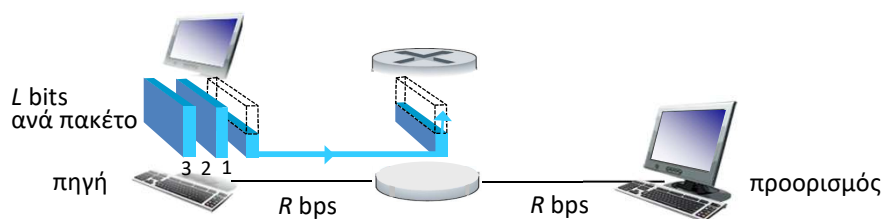
Εισαγωγή : 1-31



Εισαγωγή : 1-32



## Μεταγωγή πακέτου: αποθήκευση και προώθηση



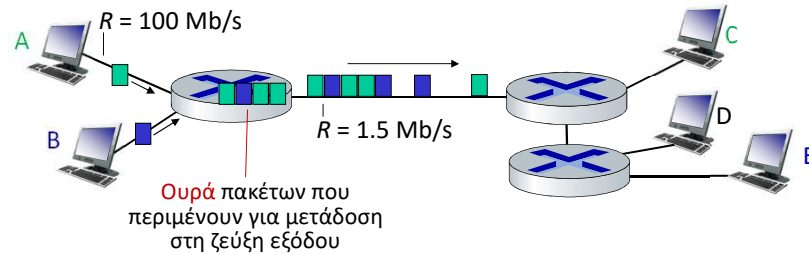
- **Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου:** Παίρνει  $L/R$  seconds να μεταδώσει (βγάλει) το  $L$ -bit πακέτο πάνω στην γραμμή ρυθμού  $R$  bps
- **Αποθήκευση και προώθηση:** ολόκληρο το πακέτο πρέπει να φτάσει στον δρομολογητή πριν το προωθήσει στην επόμενη ζεύξη

*Παράδειγμα με ένα άλμα:*

- $L = 10$  Kbits
- $R = 100$  Mbps
- Καθυστέρηση μετάδοσης ενός άλματος = 0.1 msec

Εισαγωγή : 1-34

## Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)

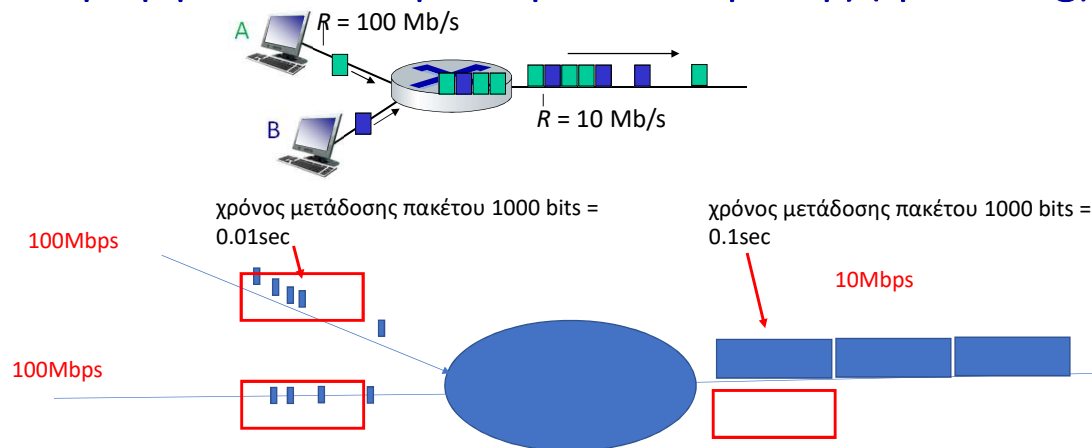


Φαινόμενα **αναμονής** συμβαίνουν όταν το φορτίο φθάνει γρηγορότερα από ότι μπορεί να εξυπηρετηθεί:



Εισαγωγή : 1-35

## Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)

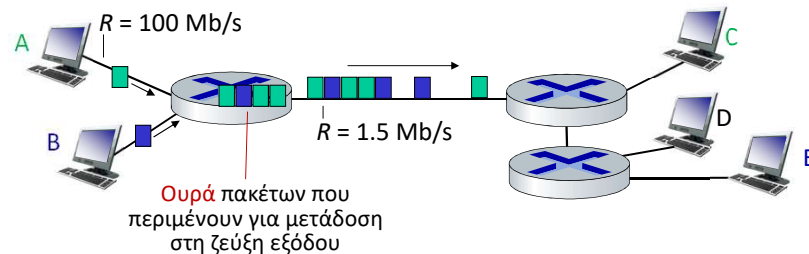


Φαινόμενα Αναμονής στην έξοδο (θύρα εξόδου) :

- ❑ Όταν πολλαπλά πακέτα μπορεί να αφιχθούν σε χρονικό ορίζοντα μετάδοσης ενός πακέτου στην έξοδο
- ❑ Συμβαίνει όταν : (A) ζεύξη εισόδου (άφιξης) μεγαλύτερη εξόδου ή/και (B) πολλαπλές ζεύξεις εισόδου

Εισαγωγή : 1-36

## Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)



**Αναμονή στην ουρά και απώλειες:** Εάν ο ρυθμός άφιξης (bps) ξεπερνάει τον ρυθμό μετάδοσης (bps) της ζεύξης για κάποια χρονική περίοδο:

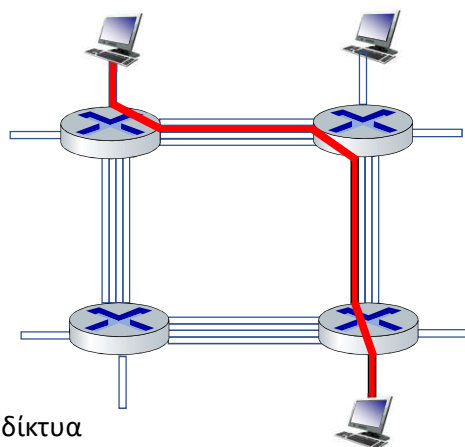
- πακέτα θα κάνουν ουρά περιμένοντας να μεταδοθούν (**καθυστέρηση**)
- πακέτα μπορεί να απορριφθούν εάν η μνήμη (buffer) γεμίσει (**απώλειες**)

Εισαγωγή : 1-37

## Εναλλακτική της μεταγωγής πακέτου: μεταγωγή κυκλώματος

Πόροι από άκρο-σε-άκρο δεσμεύονται και αποδίδονται για «κλήση» μεταξύ πηγής και προορισμού:

- στο σχήμα, κάθε ζεύξη έχει 4 κύκλωμα.
  - Η κλήση παίρνει το 2ο κύκλωμα στην πάνω ζεύξη και το 1ο κύκλωμα στην δεξιά ζεύξη
- αποκλειστικοί πόροι: όχι μοίρασμα
  - **εγγυημένη απόδοση**
- **Κύκλωμα αδρανές** εάν δεν χρησιμοποιείται από την κλήση (no sharing)
- Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε κλασικά τηλεφωνικά δίκτυα

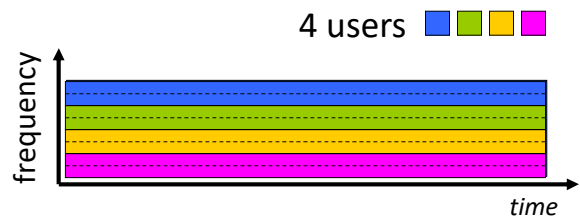


Εισαγωγή : 1-38

## Μεταγωγή κυκλώματος: FDM έναντι TDM

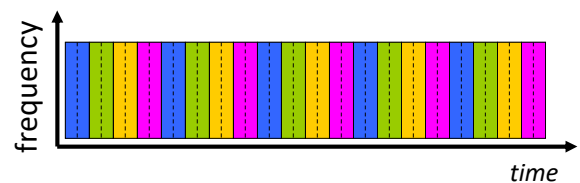
### Frequency Division Multiplexing (FDM)

- Οπτικές, ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες διαιρούνται σε (στενές) ζώνες συχνοτήτων
- Σε κάθε κλήση αποδίδεται η δική της ζώνη και μπορεί να μεταδώσει με το μέγιστο ρυθμό αυτής της ζώνης.



### Time Division Multiplexing (TDM)

- Ο χρόνος διαιρείται σε χρονοθυρίδες
- Σε κάθε κλήση αποδίδονται περιοδικές χρονοθυρίδες (slots), μπορεί να μεταδώσει με το μέγιστο ρυθμό που επιτρέπει η (μεγαλύτερη) ζώνη συχνοτήτων αλλά μόνο κατά τη διάρκεια των δικών της slots.

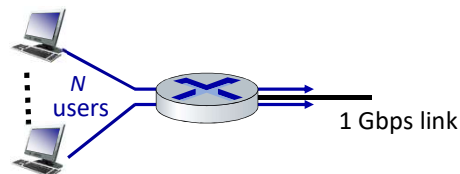


Εισαγωγή : 1-39

## Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

example:

- Ζεύξη 1 Gb/s
- Κάθε χρήστης:
  - 100 Mb/s όταν «ενεργός»
  - ενεργός 10% του χρόνου



**E:** πόσοι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο με μεταγωγή πακέτου και πόσοι με μεταγωγή κυκλώματος?

▪ **μεταγωγή κυκλώματος:** 10 users

▪ **μεταγωγή πακέτου:** με 35 χρήστες, πιθανότητα > 10 ενεργοί χρήστες ταυτόχρονα (οπότε έχουμε *bps* στην είσοδο > *bps* στην έξοδο) είναι μικρότερη από 0.0004

**E:** πώς προκύπτει το 0.0004?

**A:** απαιτεί βασική γνώση θεωρίας πιθανοτήτων

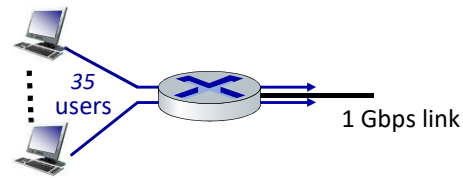
(35 προς 10 : κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας)

Εισαγωγή : 1-40



## Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

**E:** πώς προκύπτει το 0.0004?



Πιθανότητα > 10 ενεργοί χρήστες από τους 35 =

$$\sum_{k=11 \dots 35} \left\{ k \text{ επιτυχίες σε } n=35 \text{ ανεξάρτητες απόπειρες με πιθανότητα επιτυχίας κάθε απόπειρας ίσης με } p=0.1 \right\}$$

{...} → Διωνυμική κατανομή

$$f(k, n, p) = \Pr(k; n, p) = \Pr(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

for  $k = 0, 1, 2, \dots, n$ , where

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Εισαγωγή : 1-41

## Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Είναι πάντα καλύτερη η μεταγωγή πακέτου;

- Ιδανική για δεδομένα που χαρακτηρίζονται από εκρηκτικότητα (bursty data)
  - διαμοιρασμός πόρων
  - απλούστερη, δεν απαιτεί εγκαθίδρυση κλήσης
- **Υπερβολική συμφόρηση πιθανή:** καθυστέρηση και απώλειες (λόγω υπερπλήρωσης μνήμης) πακέτων
  - απαιτούνται πρωτόκολλα για την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, έλεγχο συμφόρησης
- **Q: Υπάρχει τρόπος να συμπεριφερθεί όπως η μεταγωγή κυκλώματος;**
  - “Είναι πολύπλοκο. Θα μελετήσουμε διάφορες τεχνικές που προσπαθούν να κάνουν τη μεταγωγή πακέτου να συμπεριφέρεται όσο το δυνατόν σαν μεταγωγή κυκλώματος.

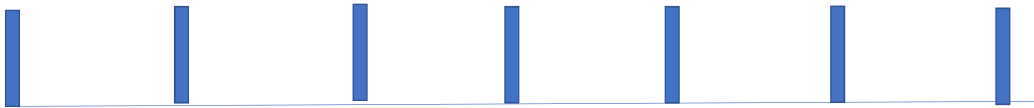
Εισαγωγή : 1-42

## Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

Κίνηση με εκρηκτικότητα - Bursty traffic



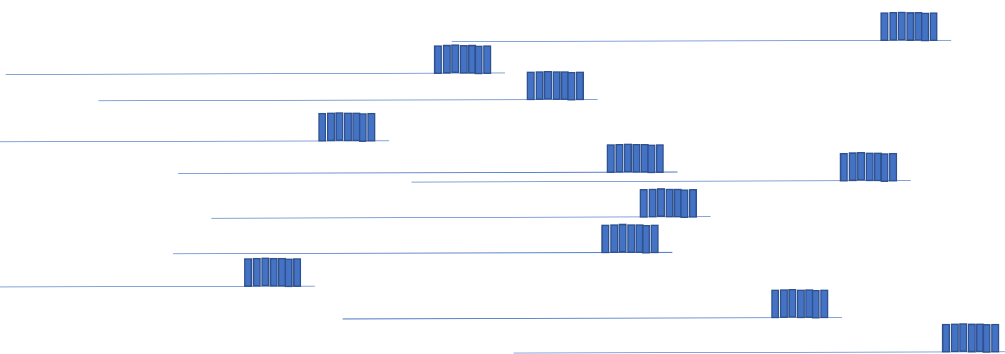
Κίνηση χωρίς εκρηκτικότητα (ακραίο παράδειγμα: περιοδική κίνηση)



Εισαγωγή : 1-43

## Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

Κίνηση με εκρηκτικότητα - Bursty traffic: 7 πακέτα κάθε 49 slots κατά μέσο όρο  
=> μέσο ρυθμό  $7/49=1/7$



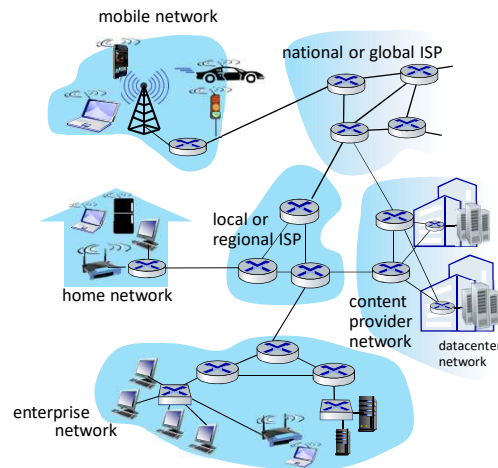
Κίνηση χωρίς εκρηκτικότητα (ακραίο παράδειγμα: περιοδική κίνηση)



Εισαγωγή : 1-44

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

- τερματικά συνδέονται στο Διαδίκτυο μέσω των ISPs (Internet Service Providers) πρόσβασης
- Οι ISPs πρόσβασης με την σειρά τους πρέπει να διασυνδεθούν
  - έτσι ώστε οποιαδήποτε δύο τερματικά συστήματα να μπορούν να στέλνουν πακέτα το ένα στο άλλο
- Το δίκτυο των δικτύων που προκύπτει είναι πολύ πολύπλοκο
  - η εξέλιξη οδηγείται από την οικονομία και τις εθνικές πολιτικές

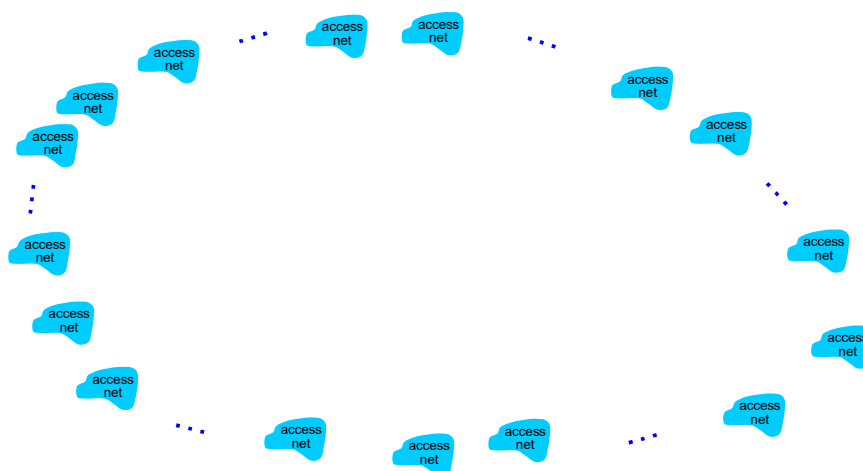


Ας περιγράψουμε την τωρινή δομή του Διαδικτύου ακολουθώντας μια προσέγγιση βήμα-βήμα.

Εισαγωγή : 1-45

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

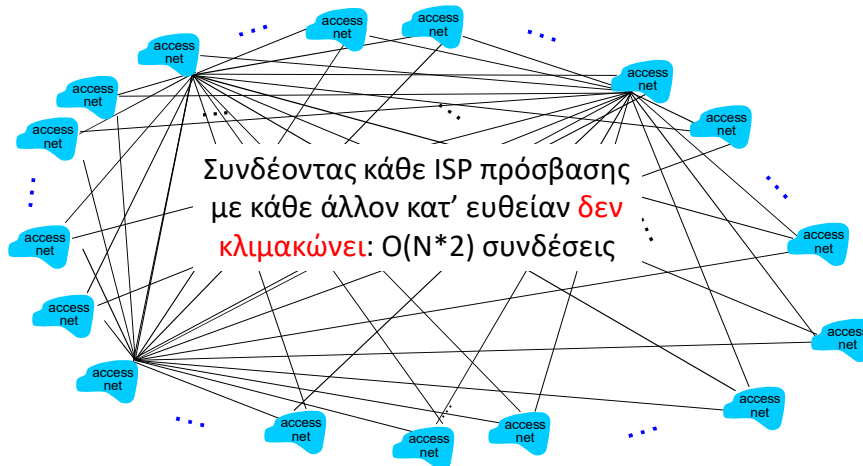
**Ερώτηση:** Δεδομένου ότι έχουμε εκατομμύρια ISPs πρόσβασης, πώς τους διασυνδέουμε;



Εισαγωγή : 1-46

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

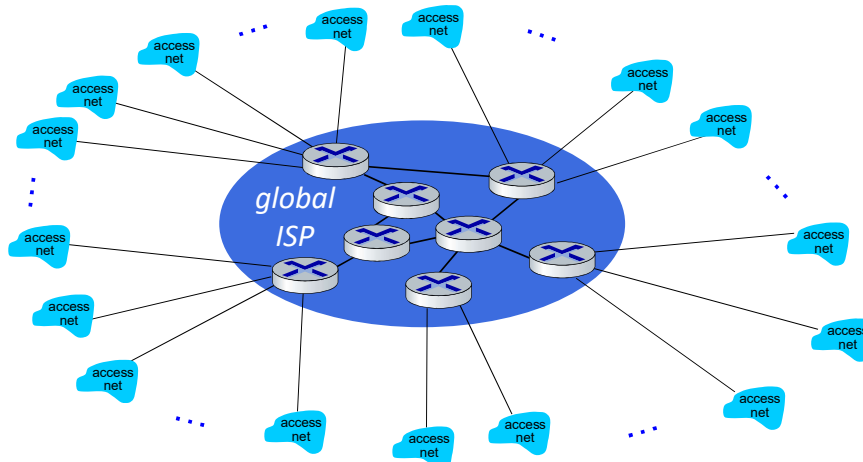
**Ερώτηση:** Δεδομένου ότι έχουμε εκατομμύρια ISPs πρόσβασης, πώς τους διασυνδέουμε;



Εισαγωγή : 1-47

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

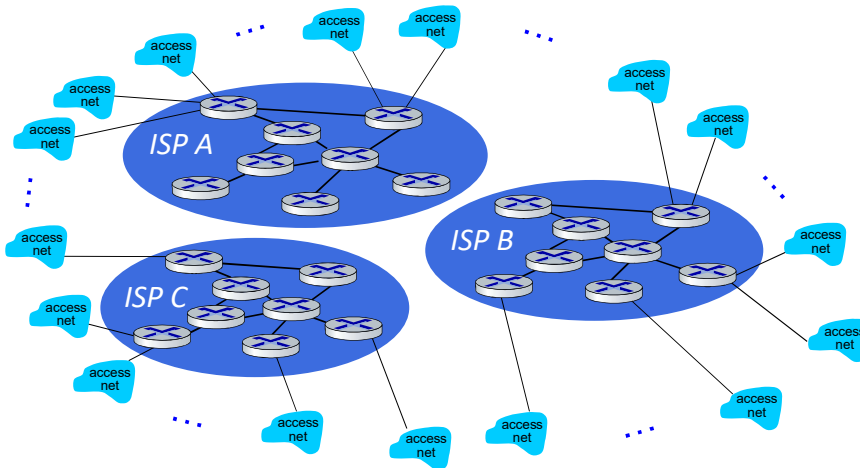
**Επιλογή:** σύνδεσε κάθε ISP πρόσβασης με ένα παγκόσμιο ISP μεταφοράς;  
**Πελάτης ISP και πάροχος παγκόσμιος ISPs** έχουν οικονομική συμφωνία



Εισαγωγή : 1-48

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

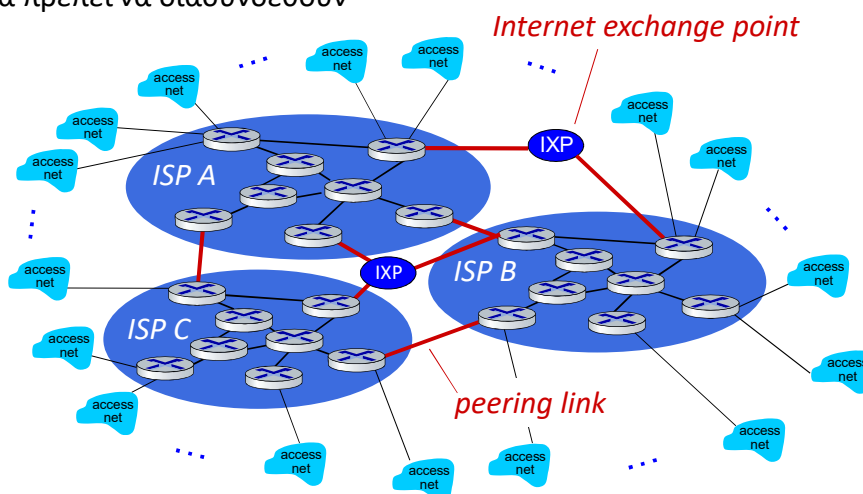
Αλλά αν ένας παγκόσμιος ISP είναι βιώσιμη επιχείρηση, θα υπάρξουν ανταγωνιστές ...



Εισαγωγή : 1-49

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

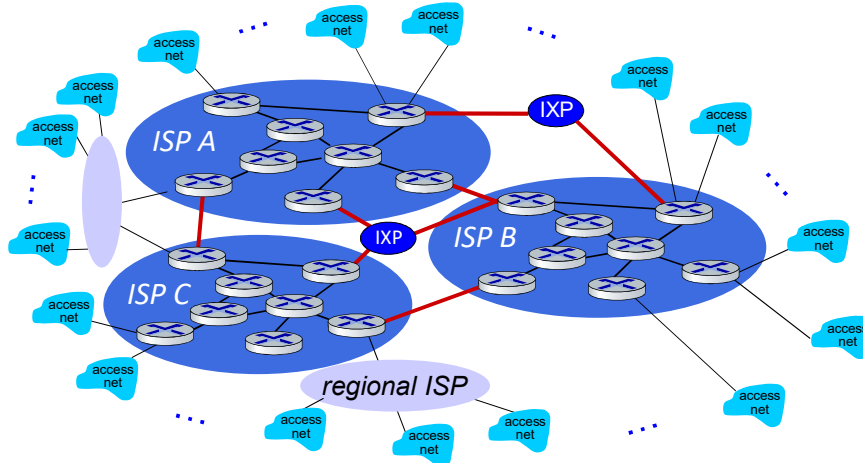
Αλλά αν ένας παγκόσμιος ISP είναι βιώσιμη επιχείρηση, θα υπάρξουν ανταγωνιστές ... οι οποίοι θα πρέπει να διασυνδεθούν



Εισαγωγή : 1-50

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

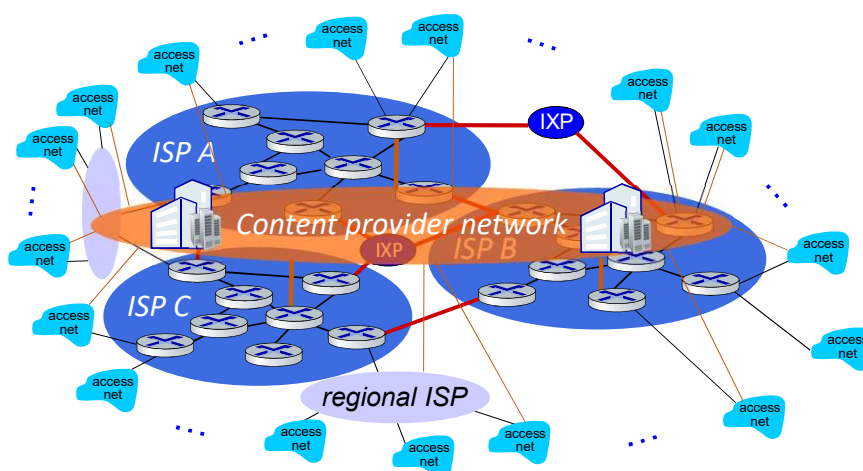
... και περιφερειακά δίκτυα μπορεί να αναδυθούν για την διασύνδεση των δικτύων πρόσβασης στους ISPs



Εισαγωγή : 1-51

## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

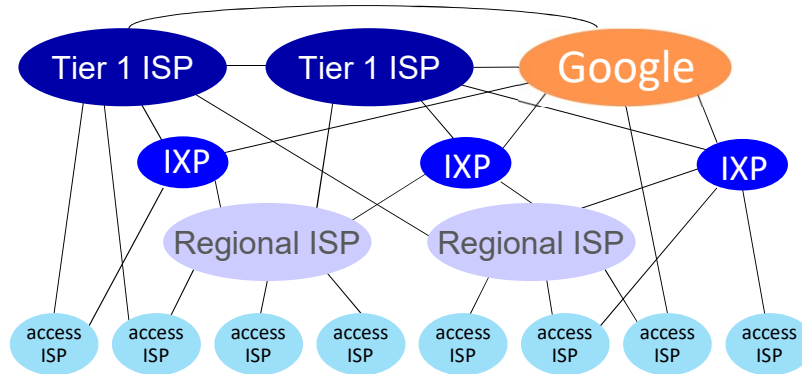
... και πάροχοι περιεχομένου (πχ, Google, Microsoft, Akamai ) μπορεί να λειτουργήσουν τα δικά τους δίκτυα, για να φέρουν υπηρεσίες και περιεχόμενο πλησιέστερα στους τελικούς χρήστες



Εισαγωγή : 1-52



## Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων



Στο κέντρο: μικρός αριθμός καλο-διασυνδεδεμένων μεγάλων δικτύων

- **“tier-1” εμπορικοί ISPs** (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), εθνική και διεθνής κάλυψη
- **δίκτυα παρόχων περιεχομένου** (πχ, Google, Facebook): ιδιωτικό δίκτυο που συνδέει τα κέντρα δεδομένων του στο Διαδίκτυο, συχνά παρακάμπτοντας tier-1, περιφερειακούς ISPs

Εισαγωγή : 1-53

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

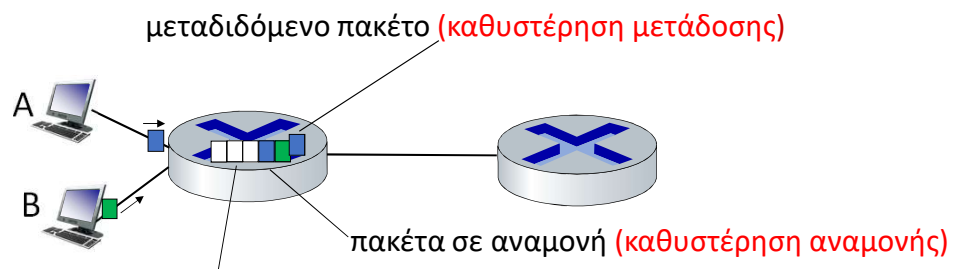
- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- **απόδοση**: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή



Εισαγωγή : 1-54

## Πως συμβαίνουν καθυστερήσεις και απώλειες πακέτων;

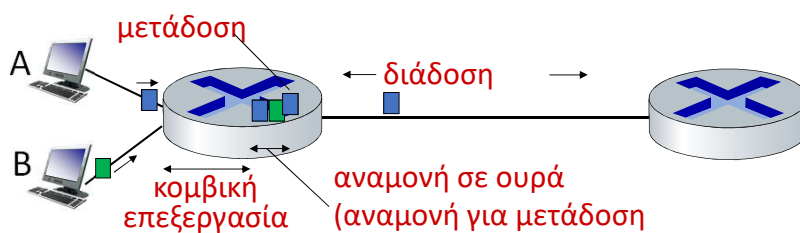
- Τα πακέτα μπαίνουν σε μια **ουρά αναμονής** στους ενταμιευτές (buffers) των δρομολογητών, περιμένοντας τη σειρά τους να μεταδοθούν
  - Το μήκος της ουράς αυξάνεται όταν ο ρυθμός άφιξης πακέτων στη ζεύξη υπερβαίνει τη χωρητικότητα της ζεύξης εξόδου
- Απώλεια** πακέτων συμβαίνει όταν η μνήμη αποθήκευσης είναι γεμάτη



ελεύθερες (διαθέσιμες) θέσεις στο buffer: πακέτα απορρίπτονται (απώλειες) εάν δεν υπάρχει ελεύθερος χώρος στο buffer κατά την άφιξή τους

Εισαγωγή : 1-55

## Καθυστέρηση πακέτου: Τέσσερις συνιστώσες



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

$d_{\text{proc}}$ : καθυστέρηση κομβικής επεξεργασίας

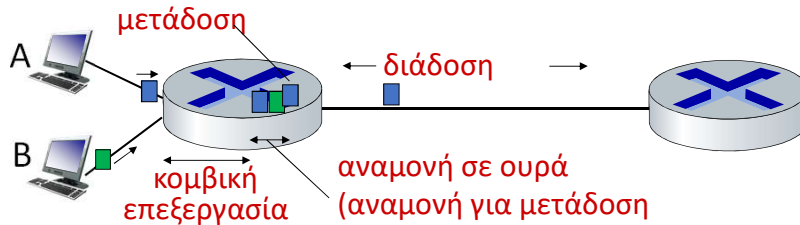
- έλεγχος σφαλμάτων επιπέδου bit
- καθορισμός ζεύξης εξόδου
- Συνήθως < microseconds

$d_{\text{queue}}$ : καθυστέρηση αναμονής

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

Εισαγωγή : 1-56

## Καθυστέρηση πακέτου: Τέσσερις συνιστώσες



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

$d_{\text{trans}}$ : καθυστέρηση μετάδοσης:

- $L$  = μήκος πακέτου (bits)
- $R$  = εύρος ζώνης ζεύξης (bps)

$$d_{\text{trans}} = L/R$$

$d_{\text{trans}}$  και  $d_{\text{prop}}$   
Εντελώς διαφορετικά!

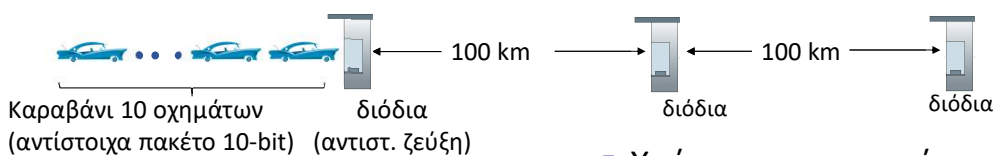
$d_{\text{prop}}$ : καθυστέρηση διάδοσης:

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

$$d_{\text{prop}} = d/s$$

Εισαγωγή: 1-57

## Καραβάνι οχημάτων: αντίστοιχες καθυστερήσεις

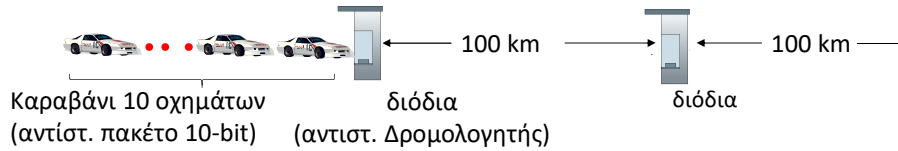


- όχημα  $\sim$  bit / καραβάνι  $\sim$  πακέτο υπηρεσία διοδίων  $\sim$  μετάδοση ζεύξης
- Χρόνος εξυπηρέτησης οχήματος στα διόδια 12 sec (χρόνος μετάδοσης bit)
- οχήματα “διαδίδονται” με 100 km/hr
- $E$ : χρόνος μέχρι να εμφανιστεί το καραβάνι (τελευταίο όχημα) στα 2<sup>α</sup> διόδια?

- Χρόνος που απαιτείται για να περάσει ολόκληρο το καραβάνι τα 1<sup>α</sup> διόδια και να εμφανιστεί στην Εθνική Οδό =  $12 \times 10 = 120$  sec
- Χρόνος που απαιτείται ώστε το τελευταίο όχημα να ταξιδέψει («διαδοθεί» από τα 1<sup>α</sup> στα 2<sup>α</sup> διόδια:  $100\text{km}/(100\text{km/hr}) = 1$  hr
- $A$ : 62 λεπτά

Εισαγωγή: 1-58

## Καραβάνι οχημάτων : αντίστοιχες καθυστερήσεις



- Υποθέστε ότι τα οχήματα τώρα «διαδίδονται» με 1000 km/hr
- και υποθέστε ότι ο χρόνος εξυπηρέτησης σε κάθε διόδια είναι τώρα 1 λεπτό
- **E:** Θα εμφανιστούν οχήματα στα 2<sup>α</sup> διόδια πριν εξυπηρετηθούν όλα τα οχήματα στα 1<sup>α</sup> διόδια?

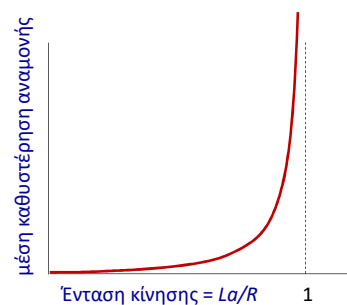
**A: Ναι!** Μετά από  $6+1=7$  λεπτά, το πρώτο όχημα εμφανίζεται στα 2<sup>α</sup> διόδια, ενώ 3 ( $=10-7$ ) ακόμη οχήματα βρίσκονται ακόμη στα 1<sup>α</sup> διόδια.

Εισαγωγή : 1-59

## Καθυστέρηση αναμονής

- $a$ : μέσος ρυθμός άφιξης πακέτων (πακέτα/sec)
- $L$ : μήκος πακέτου (bits / πακέτο)
- $R$ : χωρητικότητα ζεύξης / ρυθμός μετάδοσης bit (bits/sec)

$$\frac{L \cdot a}{R} : \frac{\text{ρυθμός άφιξης bits}}{\text{ρυθμός εξυπηρέτησης bits}} \quad \text{“ένταση κίνησης”}$$



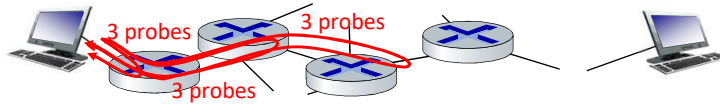
- $La/R \sim 0$ : μικρή μέση καθυστέρηση αναμονής
- $La/R \rightarrow 1$ : μεγάλη μέση καθυστέρηση αναμονής
- $La/R > 1$ : εμφανίζεται περισσότερη «δουλειά» από όση μπορεί να εξυπηρετηθεί – μέση καθυστέρηση άπειρη!



Εισαγωγή : 1-60

## «Πραγματικές» καθυστερήσεις και διαδρομές στο Διαδίκτυο

- Πως είναι οι «πραγματικές καθυστερήσεις και απώλειες στο Διαδίκτυο»
- **Πρόγραμμα Traceroute:** παρέχει μέτρηση καθυστερήσεων από την πηγή μέχρι κάθε δρομολογητή κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό.
- Στέλνει ακολουθία 3 πακέτων προς τον προορισμό με τιμή  $i$  στο πεδίο time-to-live. Αρχικά  $i=1$  και αυξάνεται κατά 1 με κάθε επακόλουθη αποστολή ακολουθίας 3 πακέτων.
- **Κάθε δρομολογητής  $i$  κατά μήκος της διαδρομής :**
  - Εντοπίζει τα 3 πακέτα που θα φτάσουν με τιμή  $i$  στο πεδίο time-to-live.
  - Επιστρέφει τα πακέτα στον αποστολέα και δεν τα προωθεί αφού λήγουν.
  - Η πηγή καταγράφει το χρονικό διάστημα μεταξύ μετάδοσης πακέτου και λήψης της επιστροφής κάθε πακέτου. Αυτή είναι η καθυστέρηση από πηγή στον δρομολογητή  $i$ .



Εισαγωγή : 1-61

## «Πραγματικές» καθυστερήσεις και διαδρομές στο Διαδίκτυο

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 μετρήσεις καθυστέρησης από  
gaia.cs.umass.edu to cs-gw.cs.umass.edu

3 μετρήσεις καθυστέρησης  
στον border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu

Υπο-Ατλαντική ζεύξη

Φαίνεται να μειώνονται  
οι καθυστερήσεις. Γιατί?

\* Υποδηλώνει μη απόκριση (χάθηκε το πακέτο, μη απάντηση δρομολογητή)

```

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

```

\* Δοκιμάστε traceroutes στο [www.traceroute.org](http://www.traceroute.org)

Εισαγωγή : 1-62

## «Πραγματικές» καθυστερήσεις και διαδρομές στο Διαδίκτυο προσθετο

```

C:\Users\ioannis>tracert gaia.cs.umass.edu

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

  1  1 ms    1 ms    1 ms  88.197.12.1
  2  1 ms    2 ms    1 ms  uoa-ilisia-1-gw.kolettir.access-link.grnet.gr [62.217.96.172]
  3  3 ms    2 ms    2 ms  grnet-bckp.mx1.ath2.gr.geant.net [62.40.124.141]
  4  2 ms    2 ms    4 ms  ae0.mx2.ath.gr.geant.net [62.40.98.140]
  5  28 ms   26 ms   26 ms  ae2.mx1.mil2.it.geant.net [62.40.98.150]
  6  31 ms   31 ms   32 ms  ae6.mx1.gen.ch.geant.net [62.40.98.80]
  7  41 ms   41 ms   41 ms  ae6.mx1.par.fr.geant.net [62.40.98.183]
  8  115 ms  113 ms  114 ms  hundredge-0-0-22.102.core1.newy32aoo.net.internet2.edu [198.71.45.236]
  9  116 ms  114 ms  115 ms  fourhundredge-0-0-20.4079.core2.newy32aoo.net.internet2.edu [163.253.1.43]
 10  117 ms  117 ms  117 ms  nox300gw1-i2-re.nox.org [192.5.89.221]
 11  121 ms  121 ms  121 ms  192.5.89.58
 12  122 ms  120 ms  121 ms  nox-mghpcc-gw1-umassnet-re2.nox.org [18.2.8.90]
 13  121 ms  121 ms  120 ms  69.16.1.0
 14  121 ms  123 ms  121 ms  core1-rt-et-8-3-0.gw.umass.edu [192.80.83.109]
 15  122 ms  122 ms  121 ms  n5-rt-1-1-et-0-0-0.gw.umass.edu [128.119.0.8]
 16  119 ms  119 ms  119 ms  c1cs-rt-xe-0-0-0.gw.umass.edu [128.119.3.32]
 17  123 ms  123 ms  126 ms  nscs1bbs1.cs.umass.edu [128.119.240.253]
 18  120 ms  119 ms  119 ms  gaia.cs.umass.edu [128.119.245.12]

Trace complete.

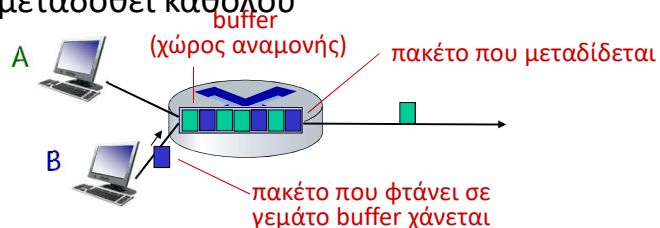
C:\Users\ioannis>gaia.cs.umass.edu_

```

Εισαγωγή : 1-63

## Απώλεια πακέτων

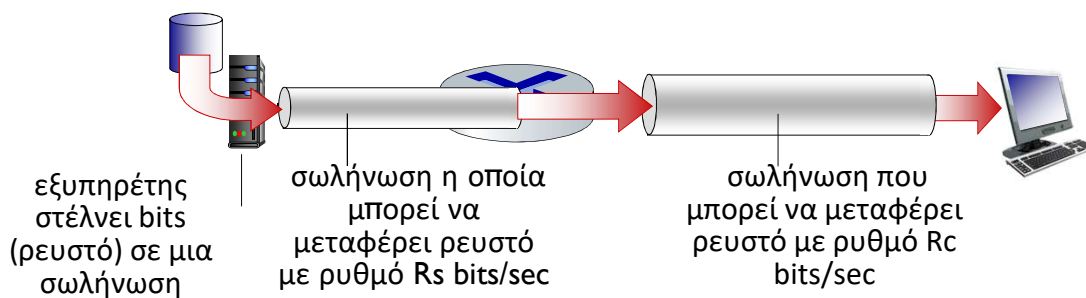
- η ουρά (buffer) που προηγείται της ζεύξης έχει πεπερασμένη χωρητικότητα
- όταν ένα πακέτο φτάνει σε μια γεμάτη ουρά, απορρίπτεται (δηλαδή χάνεται)
- ένα πακέτο που χάνεται μπορεί να επαναμεταδοθεί από τον προηγούμενο κόμβο, από την πηγή του τερματικού συστήματος, ή να μην επαναμεταδοθεί καθόλου



Εισαγωγή : 1-64

## Ρυθμαπόδοση (Throughput)

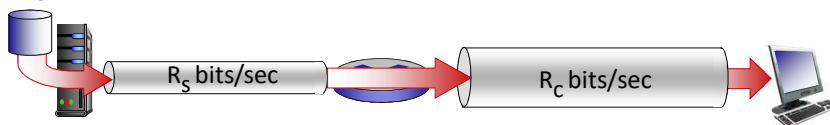
- **ρυθμαπόδοση:** ρυθμός (bits/μονάδα χρόνου) με τον οποίο τα bits μεταφέρονται μεταξύ αποστολέα/παραλήπτη
  - **στιγμιαία:** ρυθμός σε δοσμένη χρονική στιγμή
  - **μέση:** ρυθμός σε μια μεγάλη περίοδο χρόνου



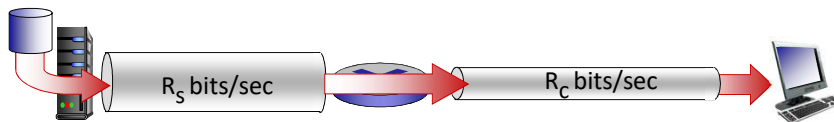
Εισαγωγή : 1-65

## Ρυθμαπόδοση

$R_s < R_c$  : μέση ρυθμαπόδοση από άκρο σε άκρο;



$R_s > R_c$  : μέση ρυθμαπόδοση από άκρο σε άκρο;

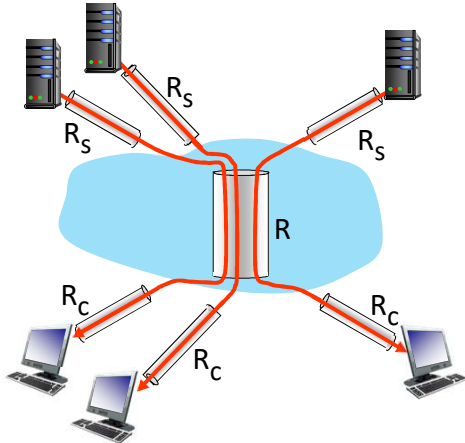


**ζεύξη συμφόρησης**

ζεύξη σε ένα από άκρο σε άκρο μονοπάτι, η οποία περιορίζει την από άκρο σε άκρο ρυθμαπόδοση

Εισαγωγή : 1-66

## Ρυθμαπόδοση: σενάριο δικτύου



10 συνδέσεις (δίκαια) μοιράζονται τη ζεύξη συμφόρησης του δικτύου κορμού, που είναι ρυθμού  $R$  bits/sec

- ανά σύνδεση η από άκρο σε άκρο ρυθμαπόδοση είναι:  $\min(R_s, R_c, R/10)$
- στην πράξη: συχνά  $R_c$  ή  $R_s$  μικρότερα του  $N/10$ 
  - η ζεύξη συμφόρησης είναι στο δίκτυο πρόσβασης

Εισαγωγή : 1-67

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή



Εισαγωγή : 1-68



## “Επίπεδα” Πρωτοκόλλου και μοντέλο αναφοράς

Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα με πολλά «κομμάτια»:

- Τερματικά συστήματα (hosts)
- δρομολογητές (routers)
- ζεύξεις διαφόρων φυσικών μέσων
- εφαρμογές
- πρωτόκολλα
- υλικό (hardware), λογισμικό (software)

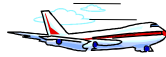
**Ερώτημα:**

Υπάρχει ελπίδα οργάνωσης της δομής του δικτύου;

- και/ή της συζήτησης για τα δίκτυα;

Εισαγωγή : 1-69

## Παράδειγμα: Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού



μεταφορά προσώπου και αποσκευών από άκρη σε άκρη

εισιτήριο (αγορά)	εισιτήριο (παράπονα)
αποσκευές (έλεγχος)	αποσκευές (παραλαβή)
πύλες (επιβίβαση)	πύλες (αποβίβαση)
τροχοδρόμηση για απογείωση	τροχοδρόμηση για προσγείωση
δρομολόγηση αεροπλάνου	δρομολόγηση αεροπλάνου
δρομολόγηση αεροπλάνου	

Χαρακτηρισμός / περιγραφή αεροπορικού ταξιδιού:

- Σειρά βημάτων, εμπλέκοντας πολλές υπηρεσίες

Εισαγωγή : 1-70

## Παράδειγμα: Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού

ticket (purchase)	<i>ticketing service</i>	ticket (complain)
baggage (check)	<i>baggage service</i>	baggage (claim)
gates (load)	<i>gate service</i>	gates (unload)
runway takeoff	<i>runway service</i>	runway landing
airplane routing	<i>routing service</i>	airplane routing

**Επίπεδα:** κάθε επίπεδο υλοποιεί μια υπηρεσία

- με δικές του ενέργειες στο εσωτερικό του
- βασισμένο στις υπηρεσίες που παρέχονται από το κατώτερο επίπεδο

Εισαγωγή : 1-71

## Οργάνωση σε επίπεδα – γιατί;

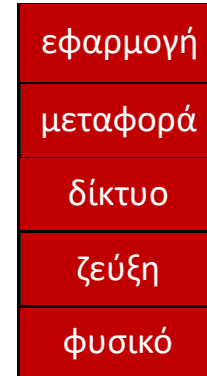
Προσέγγιση για σχεδιασμό / περιγραφή πολύπλοκων συστημάτων:

- Η πλήρως καθορισμένη δομή επιτρέπει την αναγνώριση των διακριτών τμημάτων του συστήματος και την καλύτερη κατανόηση των συσχετίσεων μεταξύ τους
  - **μοντέλο αναφοράς** επιπέδων για συζήτηση
- Η τμηματοποίηση διευκολύνει τη συντήρηση και αναβάθμιση του συστήματος
  - αλλαγή της υλοποίησης μιας υπηρεσίας ενός επιπέδου χωρίς αυτό να είναι ορατό στο υπόλοιπο σύστημα
  - π.χ., μια αλλαγή στη διαδικασία της πύλης δεν επηρεάζει το υπόλοιπο σύστημα

Εισαγωγή : 1-72

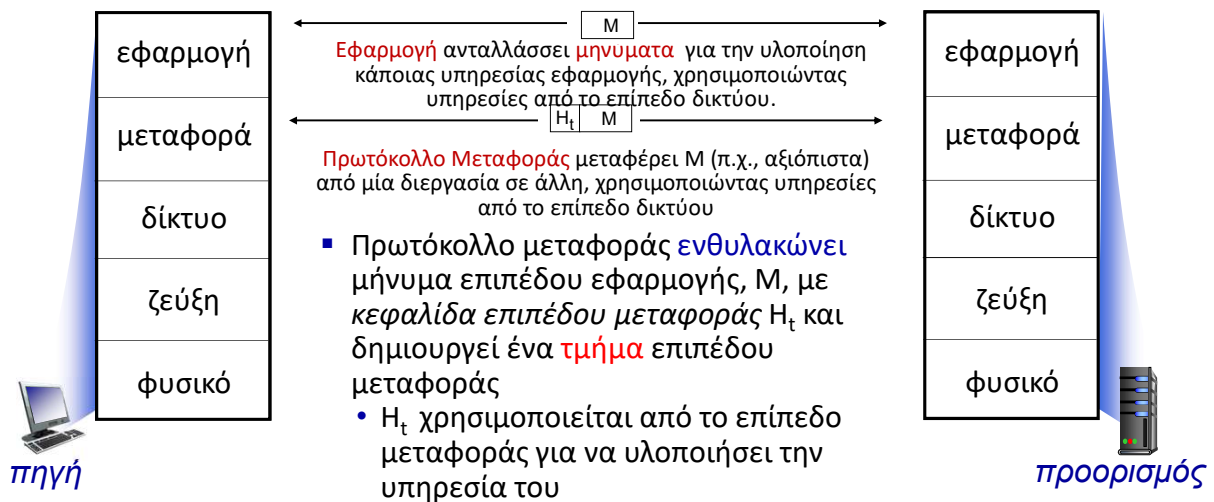
## Πολύ-επίπεδη στοίβα πρωτοκόλλου Διαδικτύου

- **εφαρμογή (application):** υποστήριξη δικτυακών εφαρμογών
  - HTTP, IMAP, SMTP, DNS
- **μεταφορά (transport):** μεταφορά δεδομένων από διεργασία σε διεργασία
  - TCP, UDP
- **δίκτυο (network):** δρομολόγηση δεδομενογραμμάτων (datagrams) από πηγή σε προορισμό
  - IP, πρωτόκολλα δρομολόγησης
- **ζεύξη (link):** μεταφορά δεδομένων μεταξύ γειτονικών στοιχείων δικτύου
  - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- **φυσικό (physical):** bits “πάνω στη γραμμή”



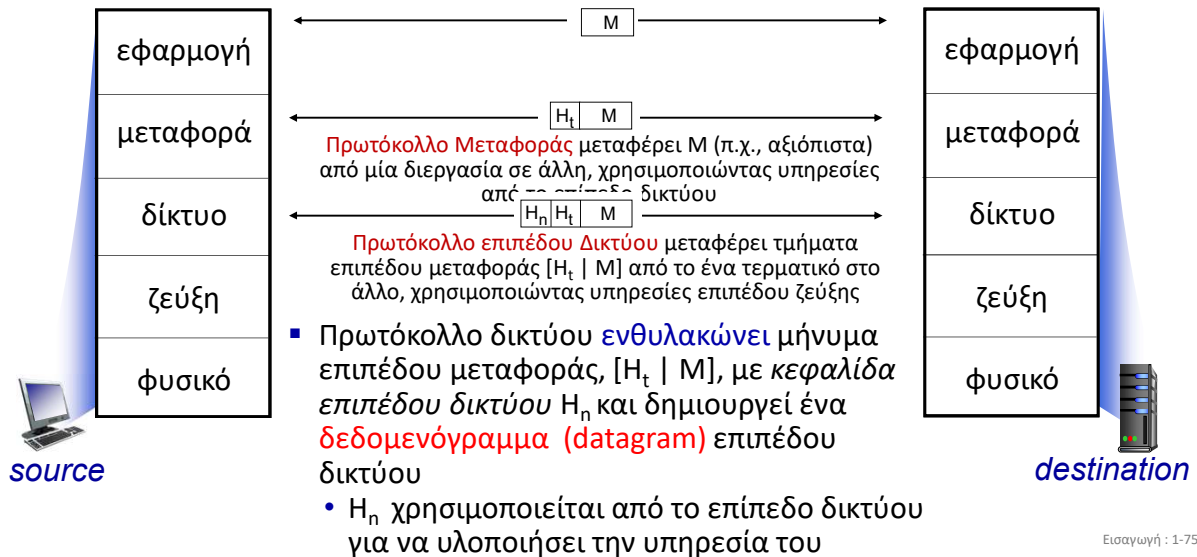
Εισαγωγή : 1-73

## Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση

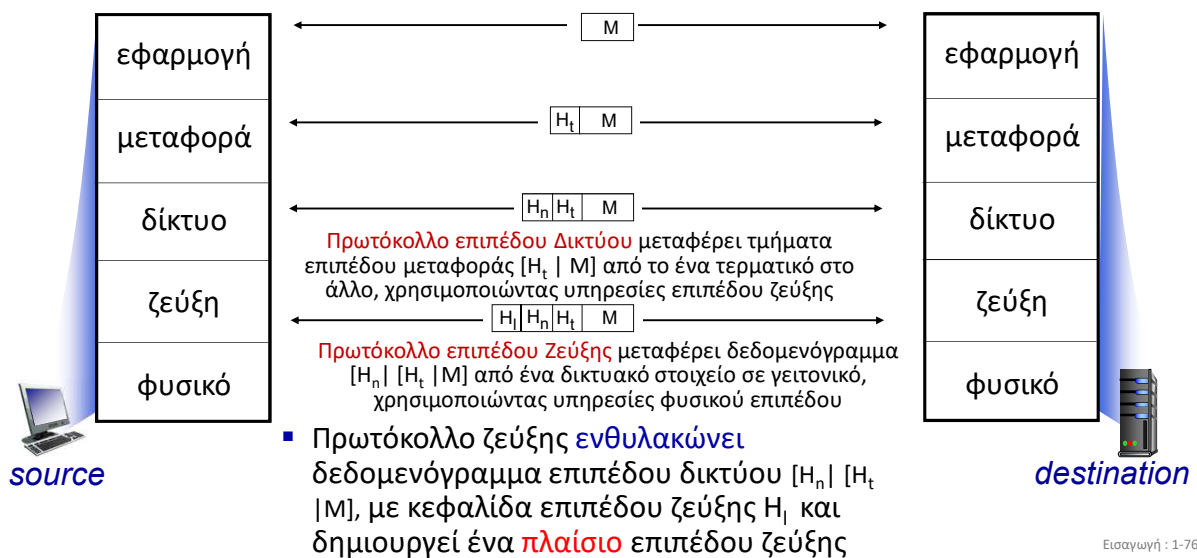


Εισαγωγή : 1-74

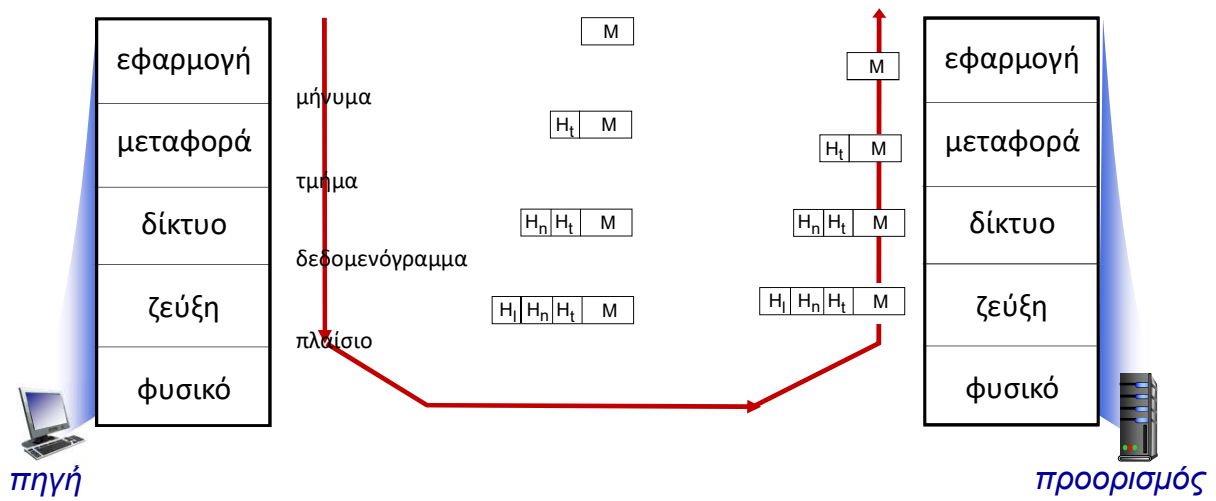
## Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση



## Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση

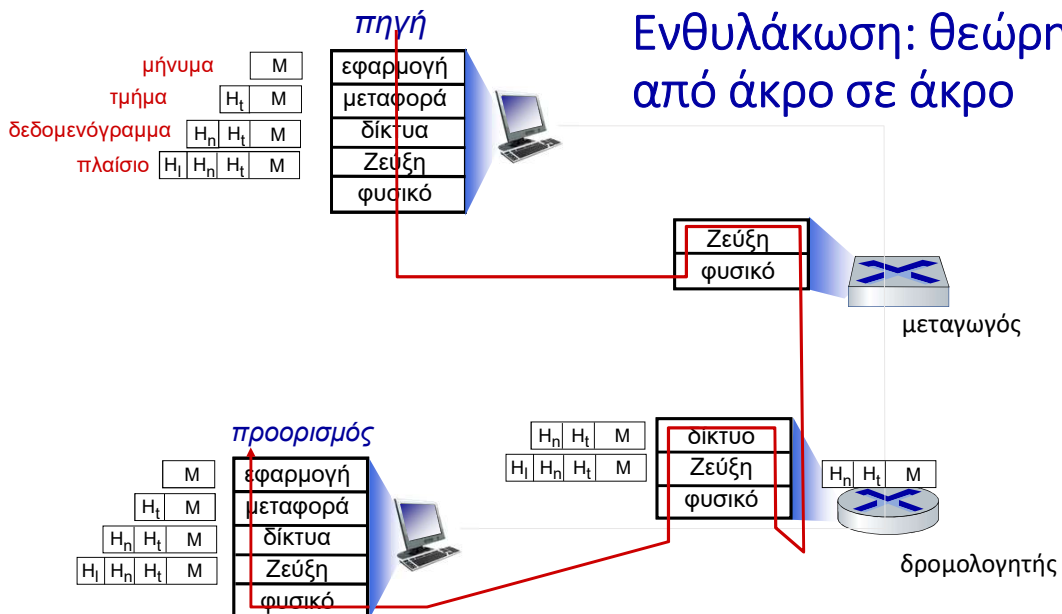


# Services, Layering and Encapsulation



Εισαγωγή : 1-77

## Ενθυλάκωση: θεώρηση από άκρο σε άκρο



Εισαγωγή : 1-78

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή



Εισαγωγή : 1-79

## Ασφάλεια Δικτύου

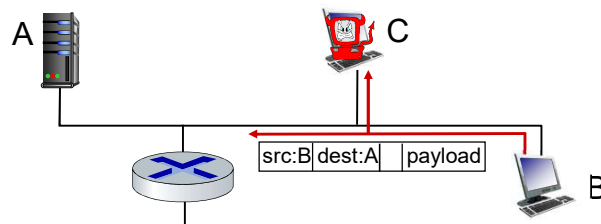
- **Το Διαδίκτυο δεν σχεδιάστηκε αρχικά με γνώμονα την ασφάλειά του**
  - αρχικό όραμα: «μια ομάδα χρηστών με αμοιβαία εμπιστοσύνη σε ένα διαφανές δίκτυο» ☺
  - σχεδιαστές πρωτοκόλλων του Διαδικτύου προσπαθούν να καλύπτουν τα κενά ασφάλειας που εμφανίζονται
  - ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα!
- **Θα πρέπει να εξετάσουμε:**
  - Πώς οι «κακοί» μπορούν να επιτεθούν σε δίκτυα υπολογιστών;
  - Πώς μπορούμε να προστατεύσουμε τα δίκτυα έναντι επιθέσεων;
  - Πώς να σχεδιάσουμε αρχιτεκτονικές που είναι απρόσβλητες από επιθέσεις;

Εισαγωγή : 1-80

## Οι «κακοί» κάνουν αδιάκριτη καταγραφή πακέτων

### *packet "sniffing":*

- broadcast μέσο (διαμοιραζόμενο Ethernet, ασύρματο)
- «αδιάκριτη» δικτυακή διεπαφή διαβάζει/καταγράφει όλα τα πακέτα (π.χ. και κωδικούς) που περνούν από αυτήν

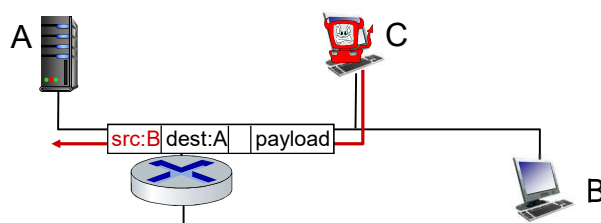


το λογισμικό wireshark , το οποίο χρησιμοποιείται από τις ασκήσεις εργαστηρίου στο συνιστώμενο βιβλίο του μαθήματος, είναι ένα (ελεύθερο) λαγωνικό πακέτων

Εισαγωγή : 1-81

## Οι «κακοί» χρησιμοποιήσουν ψεύτικες διευθύνσεις

*IP spoofing:* στέλνει πακέτο με ψεύτικη διεύθυνση πηγής



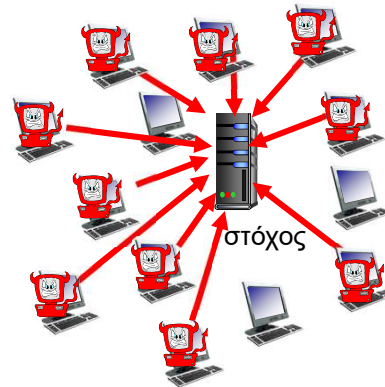
Εισαγωγή : 1-82



## Οι «κακοί» κάνουν επίθεση άρνησης παροχής υπηρεσίας

**Denial of Service (DoS):** Οι επιτιθέμενοι κάνουν τους πόρους (εξυπηρετητές, εύρος ζώνης) μη διαθέσιμους για την κανονική κίνηση υπερφορτώνοντας τον πόρο με εικονική κίνηση

1. επιλογή στόχου (target)
2. Επίθεση-παραβίαση υπολογιστών στο δίκτυο (βλέπε κακόβουλο λογισμικό)
3. αποστολή πακέτων προς το στόχο από παραβιασμένους υπολογιστές



Εισαγωγή : 1-83

## Γραμμές άμυνας:

- **Αυθεντικοποίηση :** αποδείχνοντας ότι είσαι αυτός που λες ότι είσαι
  - Κυψελωτά δίκτυα παρέχουν έλεγχο ταυτότητας μέσω κάρτας SIM. Δεν υπάρχει αντίστοιχο υλικό ελέγχου στο παραδοσιακό Διαδίκτυο
- **εμπιστευτικότητα:** μέσω κρυπτογράφησης
- **Έλεγχοι ακεραιότητας:** ψηφιακές υπογραφές εμποδίζουν / ανιχνεύουν παραποίηση
- **Περιορισμοί πρόσβασης:** VPNs με κωδικό πρόσβασης
- **Τείχη προστασίας (firewalls):** specialized “middleboxes” στα δίκτυα πρόσβασης και πυρήνα:
  - off-by-default: φιλτράρισμα πακέτων για περιορισμό αποστολέων, παραληπτών, εφαρμογών
  - Ανίχνευση / αντίδραση σε DOS attacks

... πολύ περισσότερα για την ασφάλεια στο Κεφ. 8

Εισαγωγή : 1-84

## Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή

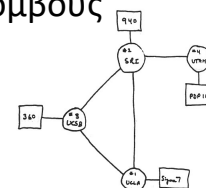


Εισαγωγή : 1-85

## Ιστορία του Διαδικτύου

### *1961-1972: αρχές μεταγωγής πακέτου – αρχική περίοδος*

- **1961:** Kleinrock - θεωρία ουρών αναμονής αποδεικνύει αποτελεσματικότητα μεταγωγής πακέτων
- **1964:** Baran - μεταγωγή πακέτων σε στρατιωτικά δίκτυα
- **1967:** συλλαμβάνεται η ιδέα του ARPANet από 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



THE ARPA NETWORK

Εισαγωγή : 1-86

## Ιστορία του Διαδικτύου

### 1972-1980: διαδικτύωση και ιδιοταγή δίκτυα

- 1970: ALOHAnet δορυφορικό δίκτυο στη Χαβάη
- 1974: Cerf and Kahn - αρχιτεκτονική για διασύνδεση δικτύων
- 1976: Ethernet στο Xerox PARC
- **τέλη δεκαετίας 1970:** ιδιοταγείς αρχιτεκτονικές: DECnet, SNA, XNA
- 1979: Το ARPAnet έχει 200 κόμβους

#### Αρχές διαδικτύωσης των Cerf and Kahn:

- μινιμαλισμός, αυτονομία – δεν απαιτούνται εσωτερικές αλλαγές για τη διασύνδεση δικτύων
- μοντέλο υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας (best effort)
- δρομολογητές χωρίς μνήμη κατάστασης (stateless routers)
- αποκεντρωμένος (decentralized) έλεγχος

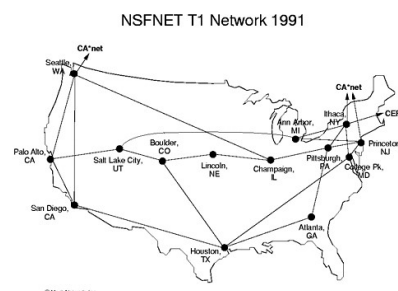
ορίζουν την παρούσα αρχιτεκτονική του Διαδικτύου

Εισαγωγή : 1-87

## Ιστορία του Διαδικτύου

### 1980-1990: νέα πρωτόκολλα, εξάπλωση δικτύων

- 1983: ανάπτυξη TCP/IP
  - 1982: ορισμός του πρωτοκόλλου smtp για e-mail
  - 1983: ορισμός του DNS για τη μετάφραση ονομάτων σε διευθύνσεις IP
  - 1985: ορισμός πρωτοκόλλου ftp
  - 1988: έλεγχος συμμόρφωσης στο TCP
- νέα εθνικά δίκτυα: Cset, BITnet, NSFnet, Minitel
  - 100,000 hosts συνδεδεμένοι σε συνομοσπονδία δικτύων



Εισαγωγή : 1-88

## Ιστορία του Διαδικτύου

### 1990, 2000s: εμπορευματοποίηση, το Web, νέες εφαρμογές

- Αρχές δεκαετίας 1990: το ARPAnet παροπλίζεται
  - 1991: Η NSF αίρει τους περιορισμούς σχετικά με τη χρήση του NSFnet για εμπορικούς σκοπούς (παροπλίζεται το 1995)
  - Αρχές δεκαετίας 1990: Web
    - Υπερκείμενο (hypertext) [Bush 1945, Nelson 1960's]
    - HTML, HTTP: Berners-Lee
    - 1994: Mosaic, αργότερα Netscape
    - Τέλη δεκαετίας 1990: εμπορευματοποίηση του Web
- Τέλη δεκαετίας 1990s – 2000s:
- περισσότερες καθοριστικές εφαρμογές: instant messaging, P2P file sharing
  - ασφάλεια δικτύου στο προσκήνιο
  - Περίπου 50 εκατομμύρια hosts, περισσότεροι από 100 εκατομμύρια χρήστες
  - οι ζεύξεις του πυρήνα του Διαδικτύου μεταδίδουν με ρυθμούς της τάξης των Gbps

Εισαγωγή : 1-89

## Ιστορία του Διαδικτύου

### 2005-σήμερα: κλιμάκωση, SDN, κινητικότητα, νέφος (cloud)

- επιθετική εξάπλωση ευρυζωνικής πρόσβασης (10-100's Mbps)
- 2008: software-defined networking (SDN)
- αυξανόμενη παρουσία ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης: 4G/5G, WiFi
- παροχείς υπηρεσιών (Google, Microsoft) δημιουργούν τα δικά τους δίκτυα
  - παρακάμπτουν το Διαδίκτυο για να συνδεθούν «κοντά» στον τελικό χρήστη, παρέχοντας άμεση/γρήγορη πρόσβαση στα κοινωνικά δίκτυα, αναζήτηση, 'περιεχόμενο βίντεο, κλπ.
- εταιρείες υλοποιούν τις υπηρεσίες τους στο «νέφος» (π.χ., Amazon Web Services, Microsoft Azure)
- Ανάδειξη και εξάπλωση των έξυπνων κινητών: περισσότερες κινητές από σταθερές συσκευές στο Διαδίκτυο (2017)
- ~18δισ συσκευές στο Διαδίκτυο (2017)

Εισαγωγή : 1-90

## Κεφάλαιο 1: περίληψη

### *Καλύψαμε πολύ ύλη!*

- τι είναι το Διαδίκτυο; τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- ο πυρήνας του δικτύου: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- Τμηματοποίηση λειτουργιών (layering), μοντέλα υπηρεσιών, ενθυλάκωση
- ασφάλεια
- ιστορική αναδρομή

### *Αποκτήσατε μια εικόνα του περιβάλλοντος, ορολογία, και αίσθηση για την δικτύωση*

- Περισσότερο βάθος, λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια!

Εισαγωγή : 1-91