



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

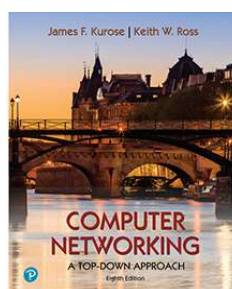
Δίκτυα Επικοινωνιών Ι

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^η 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

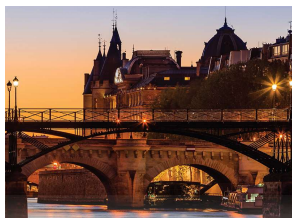
Διδάσκων: Καθ. Ιωάννης Σταυρακάκης

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



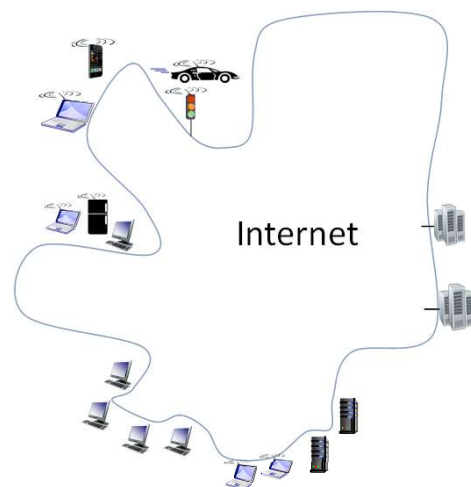
Εισαγωγή : 1-5

Τα κύρια συστατικά του Διαδίκτυου



Δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένες υπολογιστικές **συσκευές**:

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



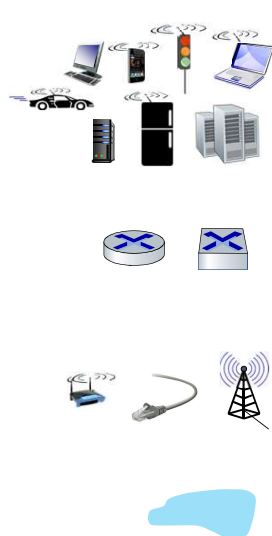
Εισαγωγή : 1-6

Διαδικτυακές διασυνδεδεμένες συσκευές



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)

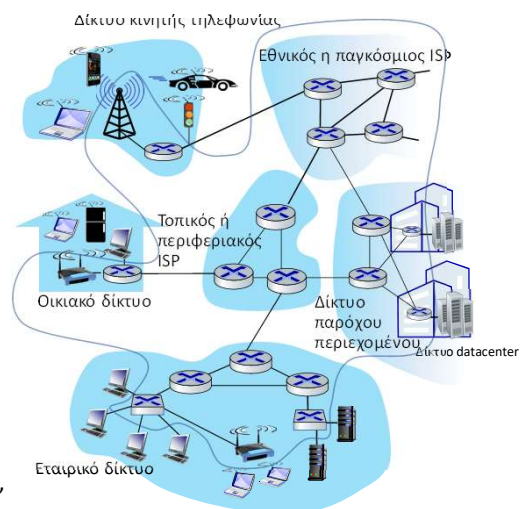
- **routers, switches**

Επικοινωνιακές ζεύξεις

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

Δίκτυα

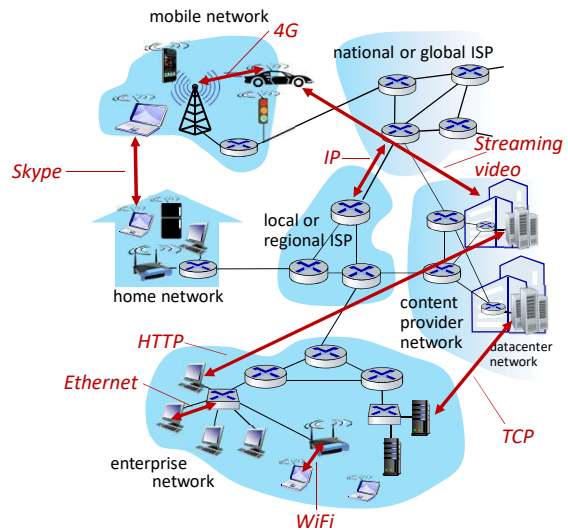
- Συλλογή από συσκευές, δρομολογητές, ζεύξεις: διαχειριζόμενα από κάποιο οργανισμό



Εισαγωγή : 1-8

Τα κύρια συστατικά του Διαδίκτυου

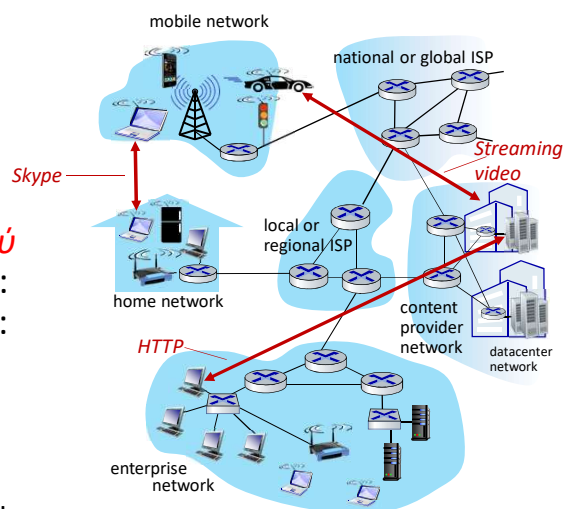
- **Διαδίκτυο: “δίκτυο δικτύων”**
 - Διασυνδεδεμένοι ISPs
- **Πρωτόκολλα είναι παντού**
 - ελέγχουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων
 - e.g., HTTP (Web), streaming video, Skype, TCP, IP, WiFi, 4G, Ethernet
- **Πρότυπα Διαδικτύου (Internet standards)**
 - RFC: Request for Comments
 - IETF: Internet Engineering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



Εισαγωγή : 1-9

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



Εισαγωγή : 1-10

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:

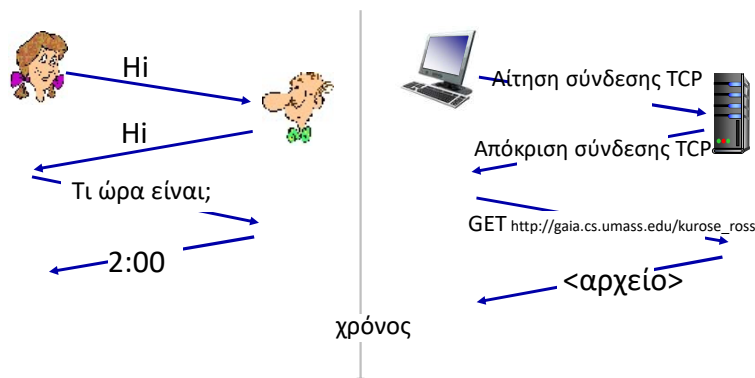
- Μηχανές (συσκευές) αντί για άνθρωποι
- Όλες οι δραστηριότητες επικοινωνίας στο Διαδίκτυο διέπονται από πρωτόκολλα

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

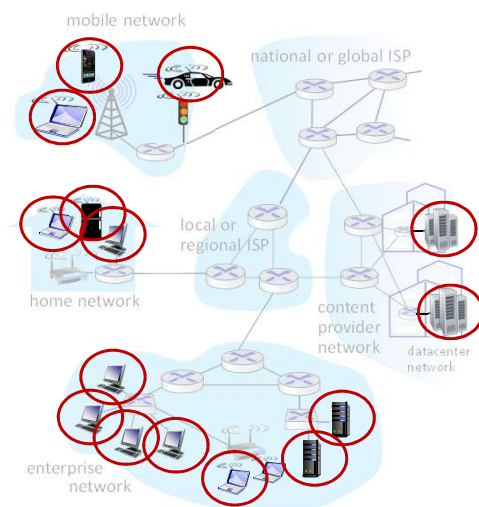


Εισαγωγή : 1-13

Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

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



Εισαγωγή : 1-14

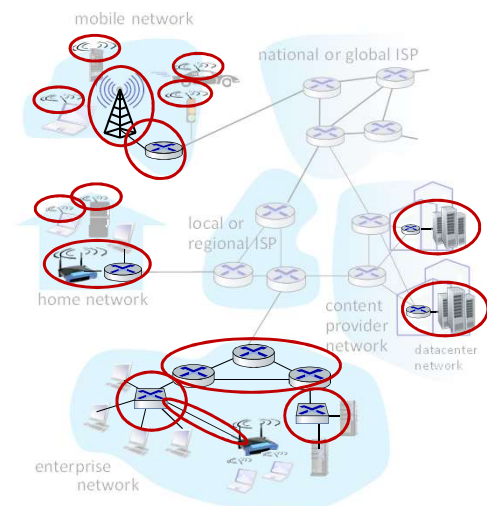
Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

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

Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις



Εισαγωγή : 1-15

Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του Διαδικτύου

Περιφέρεια δικτύου:

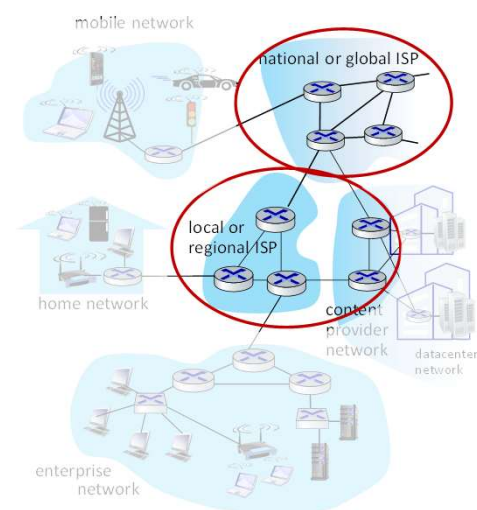
- hosts: πελάτες και εξυπηρετές
- εξυπηρετές συχνά σε κέντρα δεδομένων

Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα:

- ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις

Πυρήνας δικτύου:

- διασυνδεδεμένοι δρομολογητές
- δίκτυο δικτύων



Εισαγωγή : 1-16

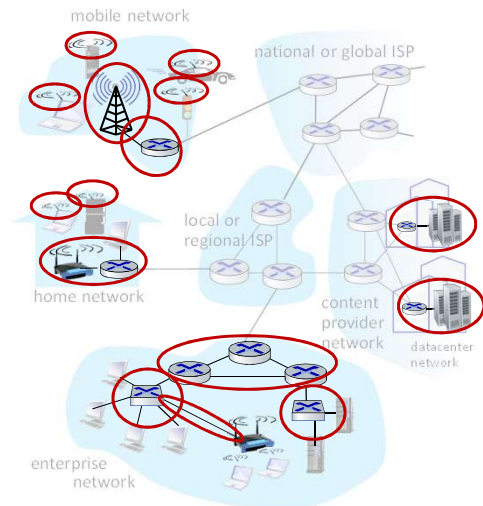
Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα

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

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

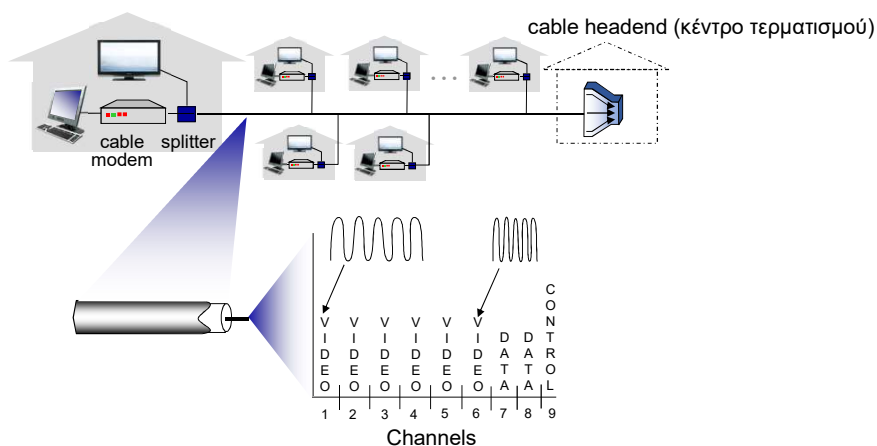
Προσοχή στα παρακάτω:

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



Εισαγωγή : 1-17

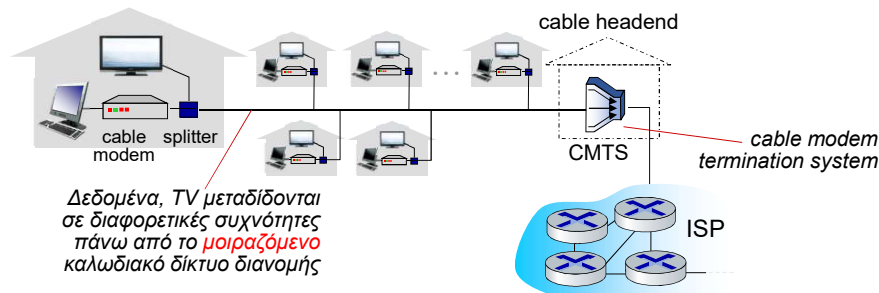
Δίκτυα πρόσβασης: μέσω καλωδιακού δικτύου



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

Εισαγωγή : 1-18

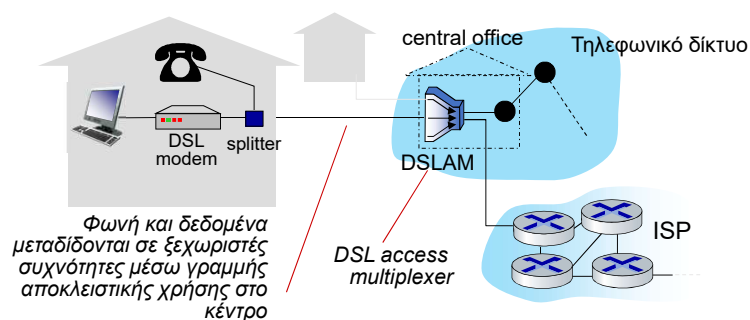
Δίκτυα πρόσβασης: μέσω καλωδιακού δικτύου



- 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

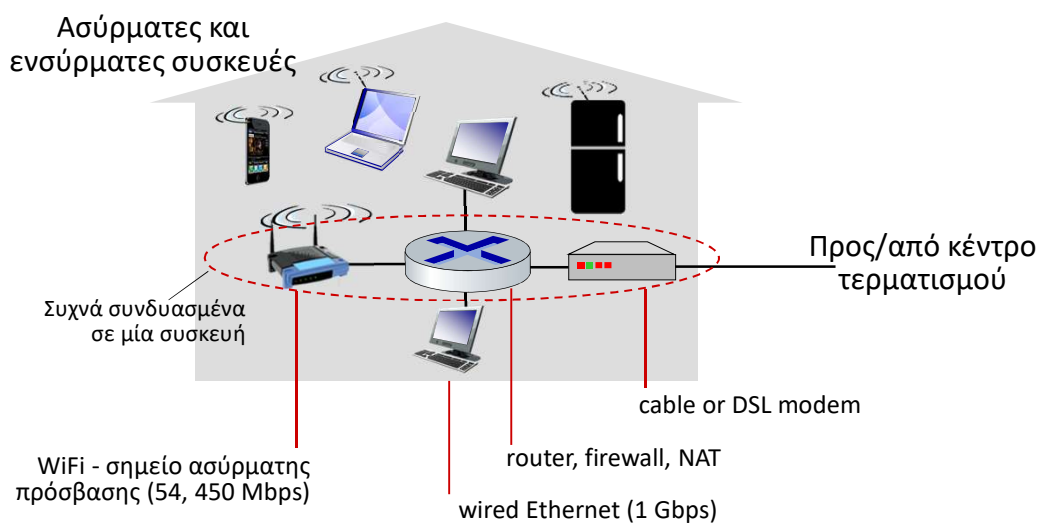
Εισαγωγή : 1-20

Δίκτυα πρόσβασης: μέσω Optical Fiber

- Κυρίαρχη υποδομή για τα επόμενα χρόνια - Απαιτεί μεγάλη επένδυση υποδομής
- Μη διαμοιραζόμενο μέσο
- Ταχύτητες από 300 – 1000+ Mbps αποκλειστικής μετάδοσης downstream / upstream

Εισαγωγή : 1-21

Δίκτυα πρόσβασης: οικιακά δίκτυα



Εισαγωγή : 1-22

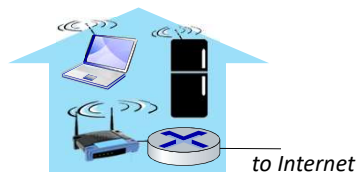
Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

Διαμοιραζόμενο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης συνδέει τερματικά συστήματα με δρομολογητή

- Μέσω σταθμού βάσης («σημείου πρόσβασης») **Κυψελωτά δίκτυα πρόσβασης ευρείας περιοχής**

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLANs)

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



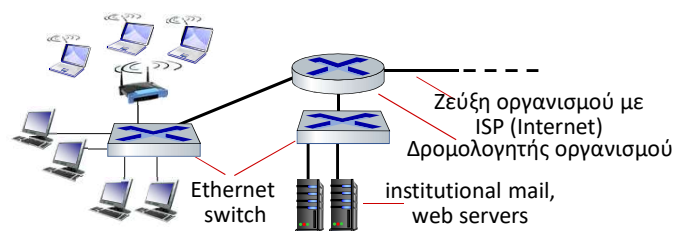
Κυψελωτά δίκτυα πρόσβασης ευρείας περιοχής

- Από παρόχους κινητών, κυψελωτών δικτύων (10's km)
- 10's Mbps
- 4G κυψελωτά δίκτυα
- 5G σε ανάπτυξη – 100's Mbps / μικρότερες αποστάσεις – αυστηρότερη ποιότητα υπηρεσίας;



Εισαγωγή : 1-23

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

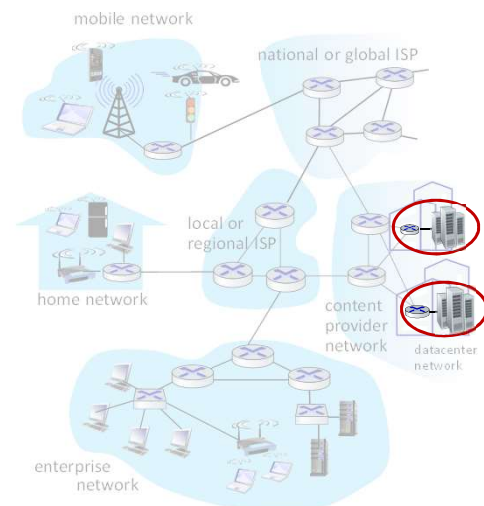
Εισαγωγή : 1-24

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)

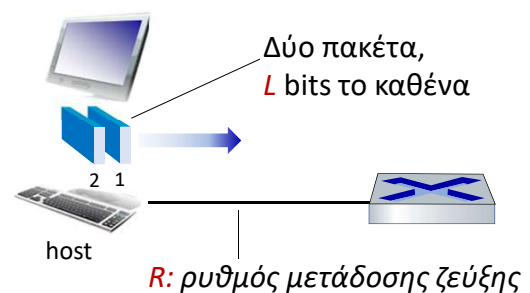


Εισαγωγή : 1-25

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**



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

Εισαγωγή : 1-26

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 : 1-27

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 : 1-28

Ζεύξεις: Φυσικά μέσα

Ασύρματα ραδιοκανάλια

- Χωρίς «σύρμα»
- Σήμα μεταφέρεται σε διάφορες περιοχές του Η/Μ φάσματος
- 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 ταχυτητες
- **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 : 1-29

Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

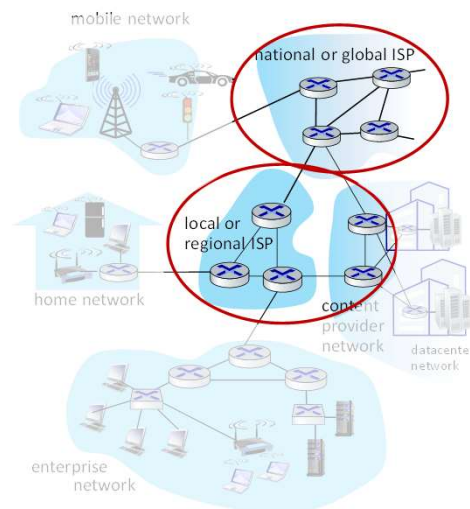
- τι είναι το Διαδίκτυο;
- τι είναι ένα πρωτόκολλο;
- η περιφέρεια του δικτύου: τερματικά, δίκτυο πρόσβασης, φυσικά μέσα
- **ο πυρήνας του δικτύου**: μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή Διαδικτύου
- απόδοση: απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση (throughput)
- επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων,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



Εισαγωγή : 1-30

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 : 1-31

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.

routing algorithm		
local forwarding table		
header value	output link	
0100	3	
0101	2	
0111	2	
1001	1	

Διεύθυνση προορισμού στην κεφαλίδα του εισερχόμενου πακέτου

(2) Routing:

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

Εισαγωγή : 1-32

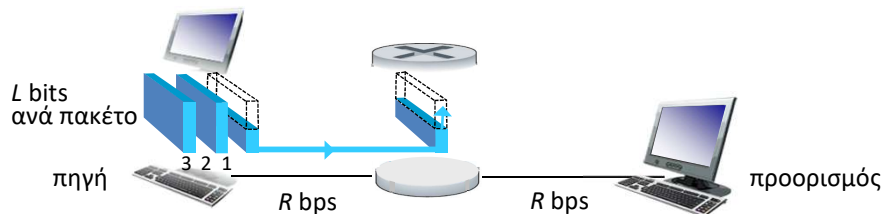


Εισαγωγή : 1-33



Εισαγωγή : 1-34

Μεταγωγή πακέτου: αποθήκευση και προώθηση



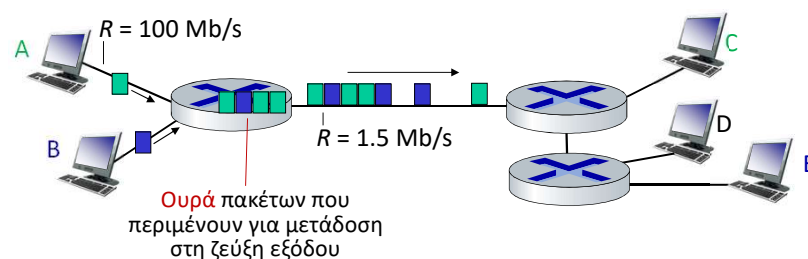
- **Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου:** Παίρνει L/R seconds να μεταδώσει (βγάλει) το L -bit πακέτο πάνω στην γραμμή ρυθμού R bps
- **Αποθήκευση και προώθηση:** ολόκληρο το πακέτο πρέπει να φτάσει στον δρομολογητή πριν το προωθήσει στην επόμενη ζεύξη

Παράδειγμα με ένα άλμα:

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

Εισαγωγή : 1-35

Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)

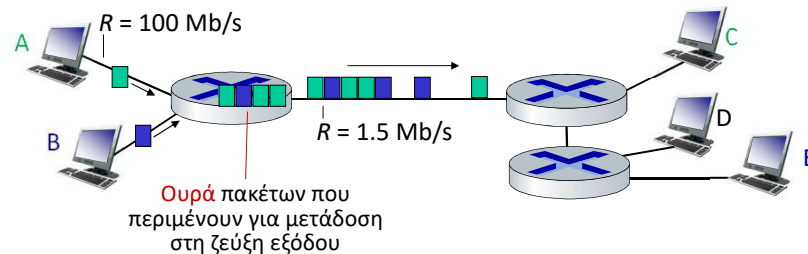


Φαινόμενα **αναμονής** συμβαίνουν όταν το φορτίο φθάνει γρηγορότερα από ότι μπορεί να εξυπηρετηθεί:



Εισαγωγή : 1-36

Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)

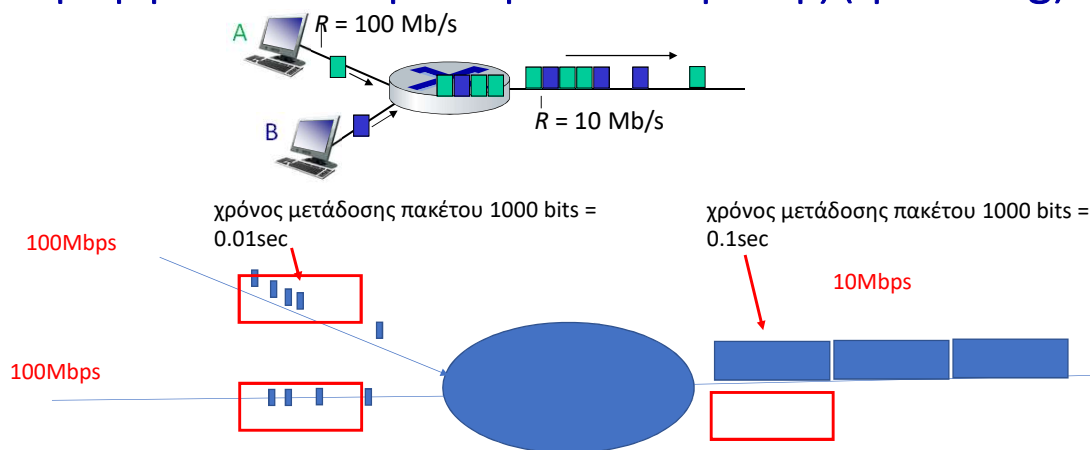


Αναμονή στην ουρά και απώλειες: Εάν ο ρυθμός άφιξης (bps) ξεπερνάει τον ρυθμό μετάδοσης (bps) της ζεύξης για κάποια χρονική περίοδο:

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

Εισαγωγή : 1-37

Μεταγωγή πακέτου: φαινόμενα αναμονής (queueing)-πρόσθετο



Φαινόμενα Αναμονής στην έξοδο (θύρα εξόδου) :

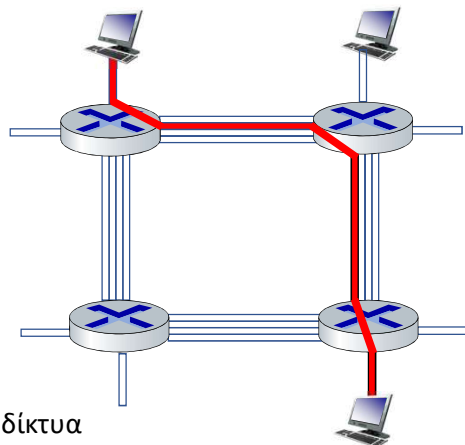
- Όταν πολλαπλά πακέτα μπορεί να αφιχθούν σε χρονικό ορίζοντα μετάδοσης ενός πακέτου στην έξοδο
- Συμβαίνει όταν : (Α) ζεύξη εισόδου (άφιξης)) μεγαλύτερη εξόδου ή/και (Β) πολλαπλές ζεύξεις εισόδου

Εισαγωγή : 1-38

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 κυκλώματα.
 - 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 κλασσικά τηλεφωνικά δίκτυα

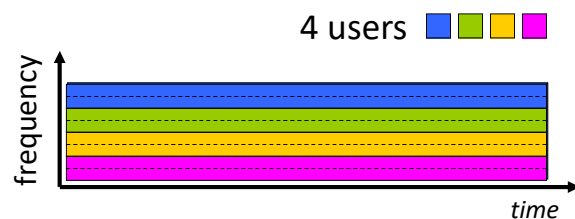


Εισαγωγή : 1-39

Μεταγωγή κυκλώματος: FDM έναντι TDM

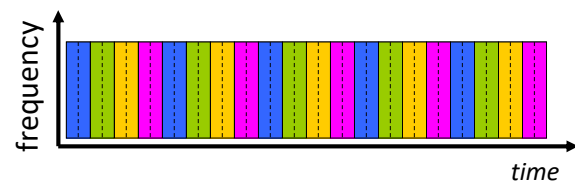
Frequency Division Multiplexing (FDM)

- 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.



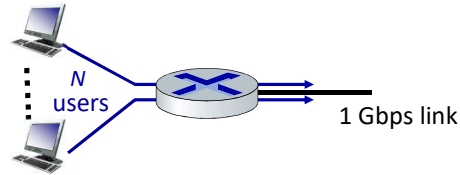
4X ρυθμό, στο ¼ του χρόνου

Εισαγωγή : 1-40

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 $\{ > 10 \text{ ενεργοί χρήστες ταυτόχρονα (οπότε έχουμε bps στην είσοδο > bps στην έξοδο) \}$ είναι μικρότερη από 0.0004

(35 προς 10 : κέρδος στατιστικής πολυπλεξίας)

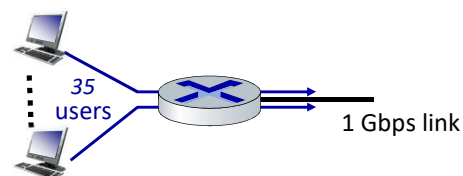
E: πώς προκύπτει το 0.0004?

A: απαιτεί βασική γνώση θεωρίας πιθανοτήτων και παραδοχές – προσεγγίσεις μοντελοποίησης κίνησης ροής

Εισαγωγή : 1-41

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

E: πώς προκύπτει το 0.0004?



Πιθανότητα > 10 ενεργοί χρήστες από τους 35 =

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

$k = 11 \dots 35$

(Παραδοχές για την κίνηση: ανεξάρτητες ροές μεταξύ τους, σταθερή πιθανότητα μετάδοσης ροής σε κάθε time slot)

$\{ \dots \} \rightarrow$ 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 : 1-42

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Είναι πάντα καλύτερη η μεταγωγή πακέτου;

- Ιδανική για δεδομένα που χαρακτηρίζονται από εκρηκτικότητα (bursty data)
 - Κοινή χρήση πόρων / πρόσβαση σε όλους τους διαθέσιμους πόρους
 - απλούστερη, δεν απαιτεί εγκαθίδρυση κλήσης
- **Υπερβολική συμφόρηση πιθανή:** καθυστέρηση και απώλειες πακέτων (λόγω υπερπλήρωσης μνήμης)
 - 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 : 1-43

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

Κίνηση με εκρηκτικότητα - Bursty traffic (ένα παράδειγμα)



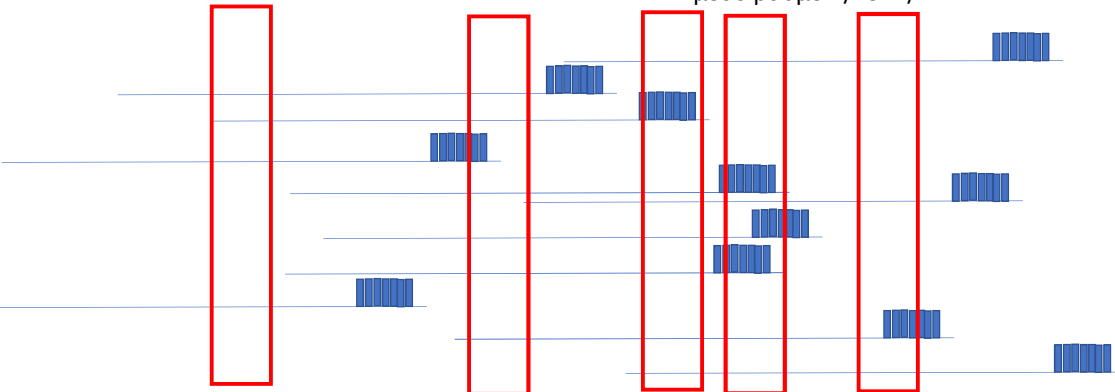
Κίνηση χωρίς εκρηκτικότητα (ακραία περίπτωση: περιοδική κίνηση)



Εισαγωγή : 1-44

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος- πρόσθετο

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



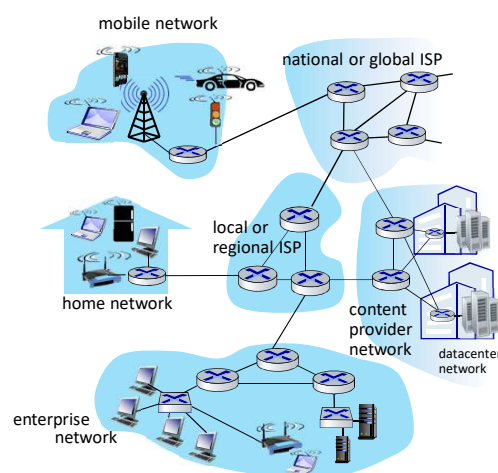
Κίνηση χωρίς εκρηκτικότητα (ακραίο παράδειγμα: περιοδική κίνηση) Περίοδος $T=7$



Εισαγωγή : 1-45

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

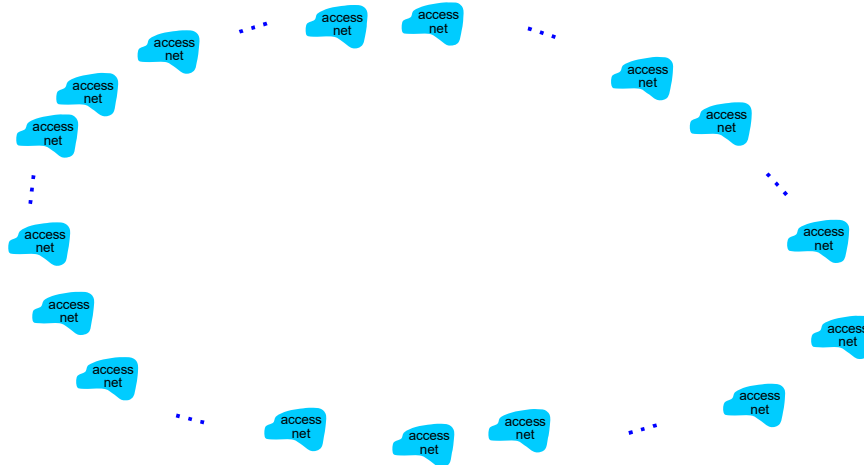


Ας περιγράψουμε την τωρινή δομή του Διαδικτύου ακολουθώντας μια προσέγγιση βήμα-βήμα.

Εισαγωγή : 1-46

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

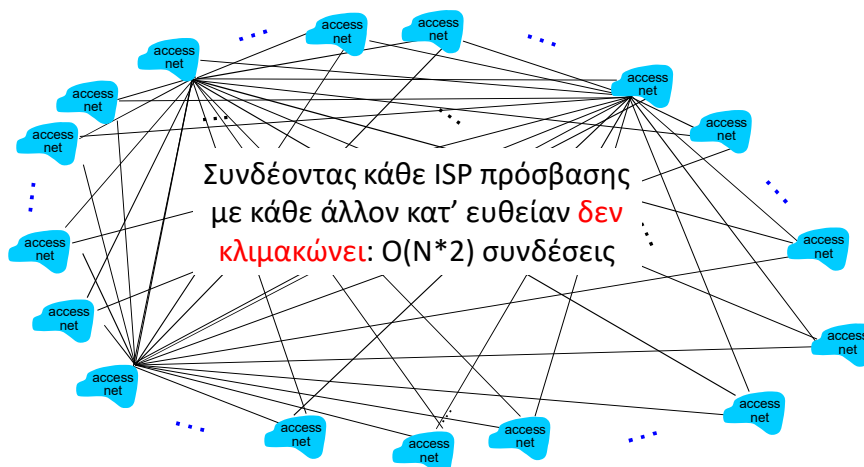
Ερώτηση: Δεδομένου ότι έχουμε εκατομμύρια ISPs πρόσβασης, πώς τους διασυνδέουμε;



Εισαγωγή : 1-47

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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

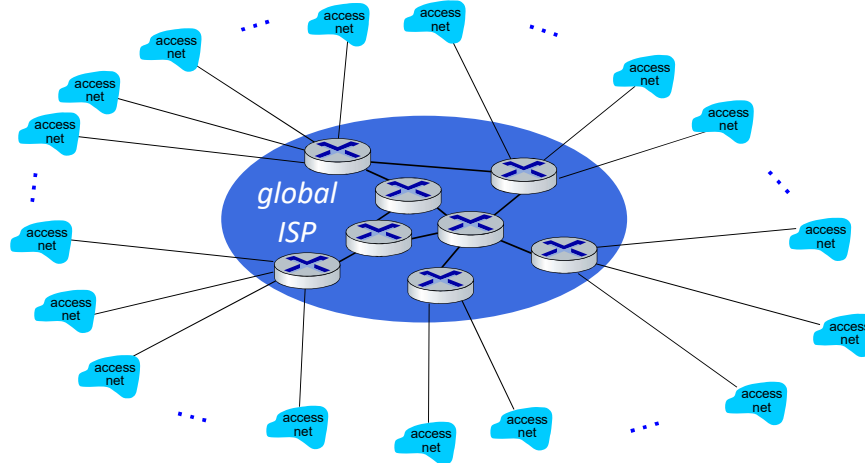


Εισαγωγή : 1-48

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

Επιλογή: σύνδεσε κάθε ISP πρόσβασης με ένα παγκόσμιο ISP μεταφοράς;

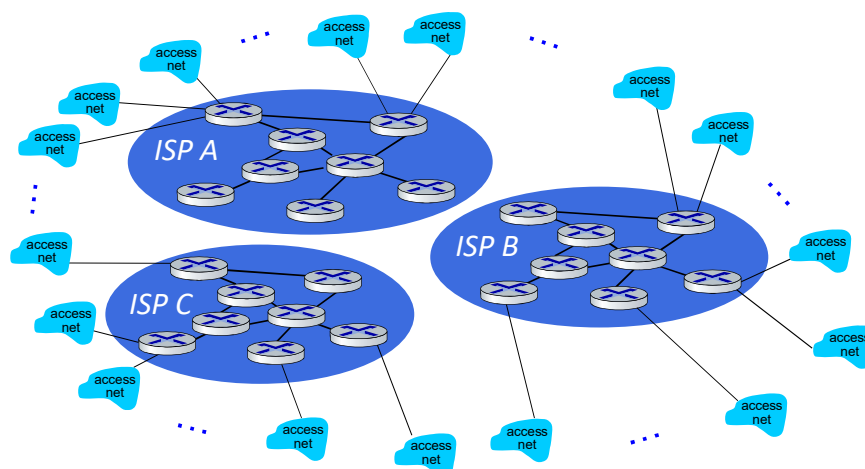
Πελάτης ISP και πάροχος παγκόσμιος ISPs έχουν οικονομική συμφωνία



Εισαγωγή : 1-49

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

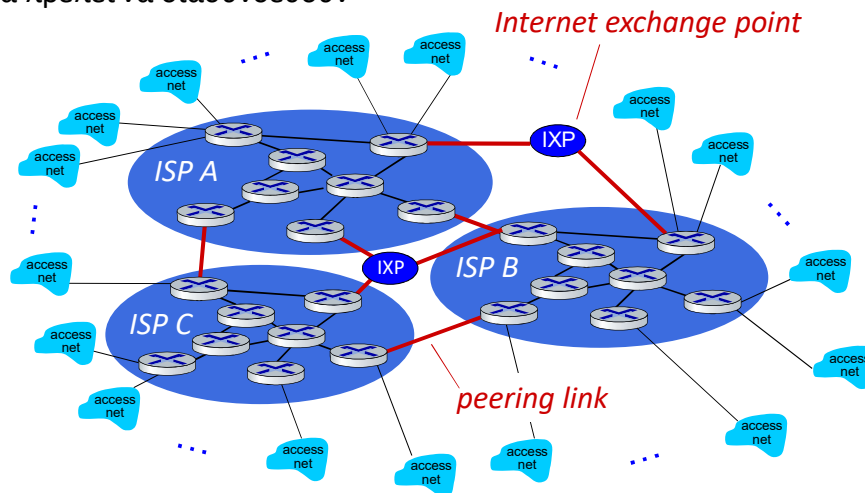
Αλλά αν ένας παγκόσμιος ISP είναι βιώσιμη επιχείρηση, θα υπάρξουν ανταγωνιστές ...



Εισαγωγή : 1-50

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

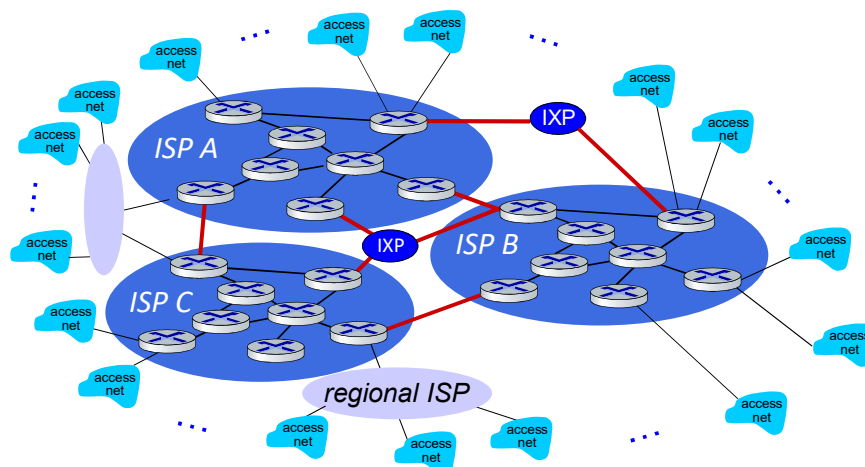
Αλλά αν ένας παγκόσμιος ISP είναι βιώσιμη επιχείρηση, θα υπάρξουν ανταγωνιστές ... οι οποίοι θα πρέπει να διασυνδεθούν



Εισαγωγή : 1-51

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

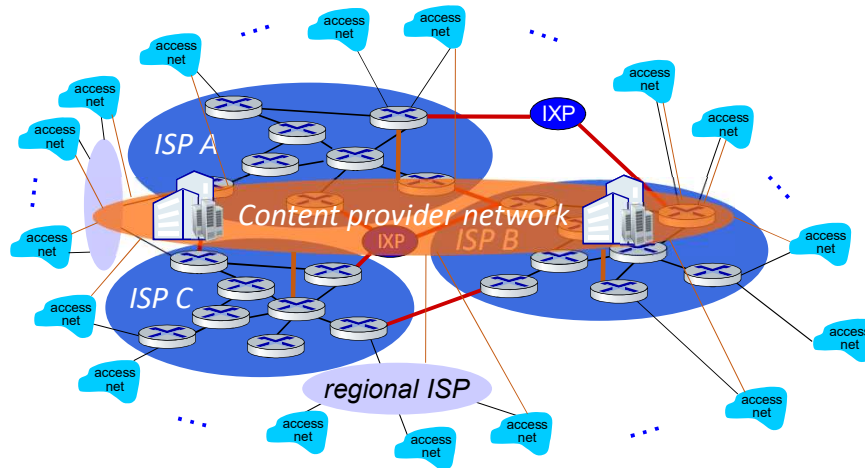
... και περιφερειακά δίκτυα μπορεί να αναδυθούν για την διασύνδεση των δικτύων πρόσβασης στους ISPs



Εισαγωγή : 1-52

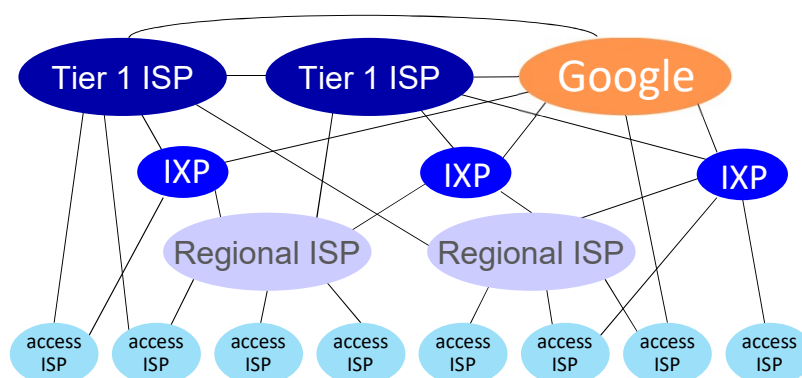
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

... 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 : 1-53

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 : 1-54

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

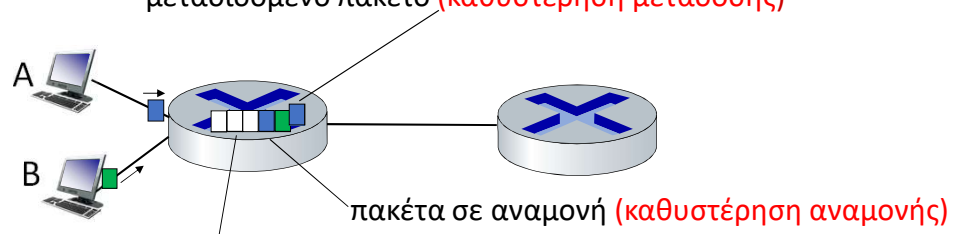


Εισαγωγή : 1-55

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

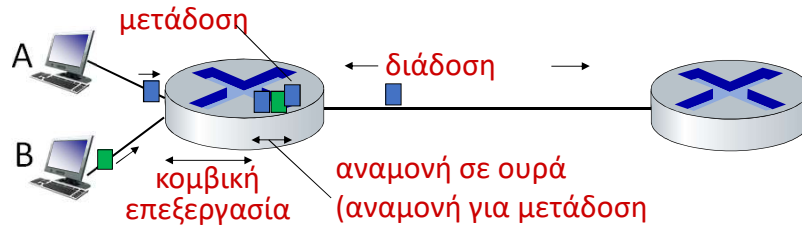
- **Απώλεια** πακέτων συμβαίνει όταν η μνήμη αποθήκευσης είναι γεμάτη
μεταδιδόμενο πακέτο (**καθυστέρηση μετάδοσης**)



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

Εισαγωγή : 1-56

Καθυστέρηση πακέτου: Τέσσερις συνιστώσες



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

d_{proc} : καθυστέρηση κομβικής επεξεργασίας

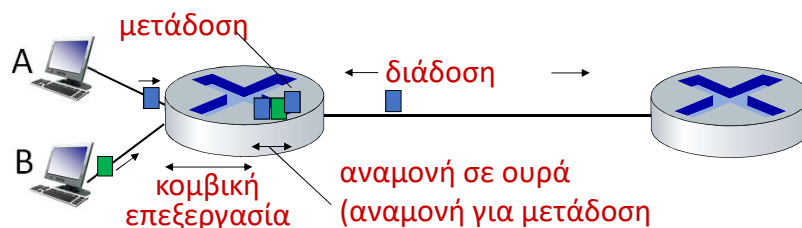
- έλεγχος σφαλμάτων επιπέδου bit
- καθορισμός ζεύξης εξόδου
- Συνήθως < microseconds

d_{queue} : καθυστέρηση αναμονής

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

Εισαγωγή : 1-57

Καθυστέρηση πακέτου: Τέσσερις συνιστώσες



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

d_{trans} : καθυστέρηση μετάδοσης:

- L =μήκος πακέτου (bits)
- R =εύρος ζώνης ζεύξης (bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$

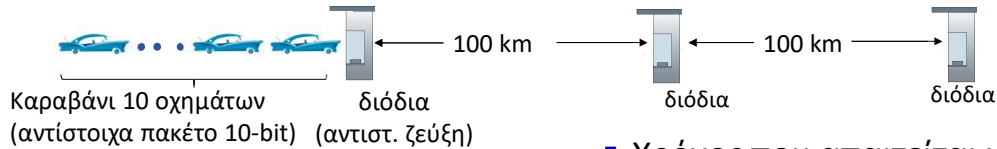
d_{prop} : καθυστέρηση διάδοσης:

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

d_{trans} και d_{prop}
Εντελώς διαφορετικά!

Εισαγωγή : 1-58

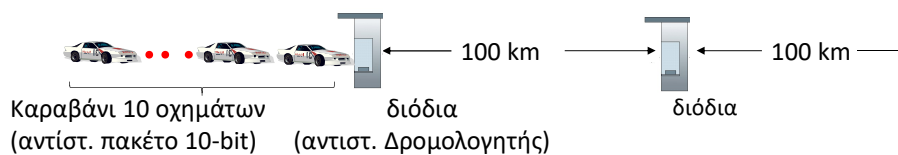
Καραβάνι οχημάτων: αντίστοιχες καθυστερήσεις



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

Εισαγωγή : 1-59

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^α διόδια πριν εξυπηρετηθούν όλα τα οχήματα στα 1^α διόδια?

Χρόνος διάδοσης Χρόνος μετάδοσης

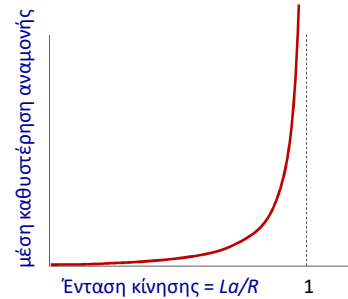
A: Ναι! Μετά από $6+1=7$ λεπτά, το πρώτο όχημα εμφανίζεται στα 2^α διόδια, ενώ 3 ($=10-7$) ακόμη οχήματα βρίσκονται ακόμη στα 1^α διόδια.

Εισαγωγή : 1-60

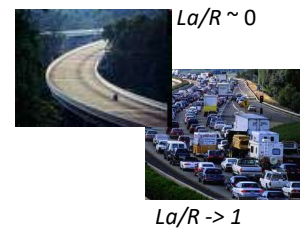
Καθυστέρηση αναμονής

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

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



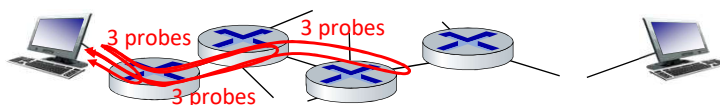
- $La/R \sim 0$: μικρή μέση καθυστέρηση αναμονής
- $La/R \rightarrow 1$: μεγάλη μέση καθυστέρηση αναμονής
- $La/R > 1$: εμφανίζεται περισσότερη «δουλειά» από όση μπορεί να εξυπηρετηθεί – μέση καθυστέρηση άπειρη!



Εισαγωγή : 1-61

«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 : 1-62

«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 απάντηση (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

Εισαγωγή : 1-63

«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:

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

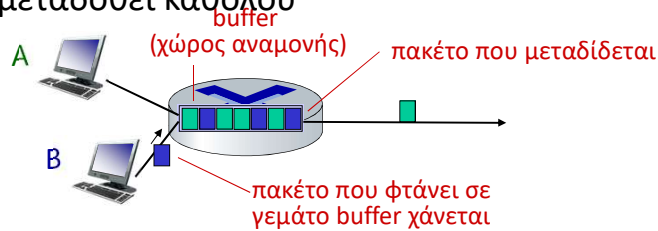
Trace complete.

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

Εισαγωγή : 1-64

Απώλεια πακέτων

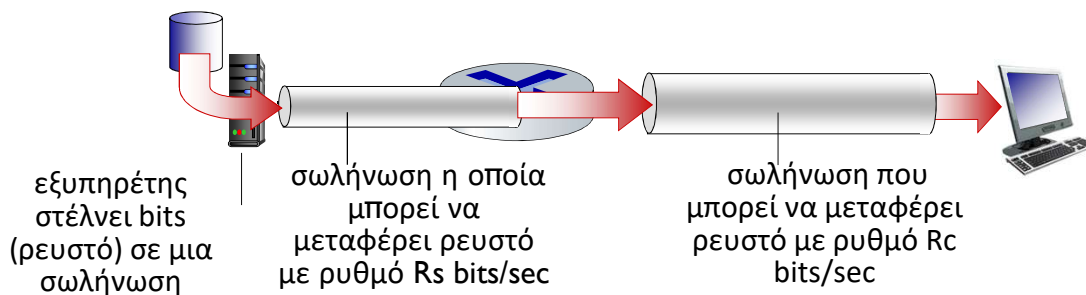
- η ουρά (buffer) που προηγείται της ζεύξης έχει πεπερασμένη χωρητικότητα
- όταν ένα πακέτο φτάνει σε μια γεμάτη ουρά, απορρίπτεται (δηλαδή χάνεται)
- ένα πακέτο που χάνεται μπορεί να επαναμεταδοθεί από τον προηγούμενο κόμβο, από την πηγή του τερματικού συστήματος, ή να μην επαναμεταδοθεί καθόλου



Εισαγωγή : 1-65

Ρυθμαπόδοση (Throughput)

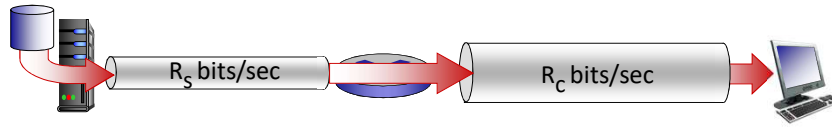
- **ρυθμαπόδοση:** ρυθμός (bits/μονάδα χρόνου) με τον οποίο τα bits μεταφέρονται μεταξύ αποστολέα/παραλήπτη
 - **στιγμιαία:** ρυθμός σε δοσμένη χρονική στιγμή
 - **μέση:** ρυθμός σε μια μεγάλη περίοδο χρόνου



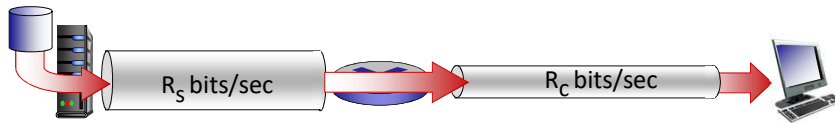
Εισαγωγή : 1-66

Ρυθμαπόδοση

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



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

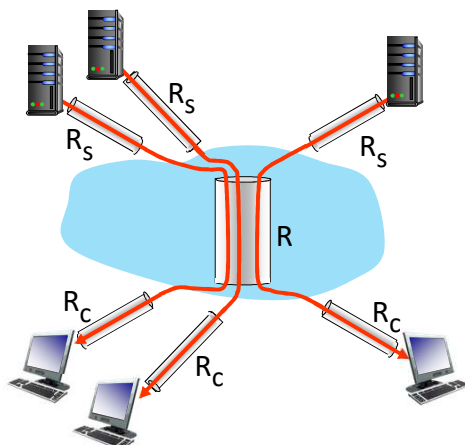


ζεύξη συμφόρησης

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

Εισαγωγή : 1-67

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

Εισαγωγή : 1-68

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 : 1-69

“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;

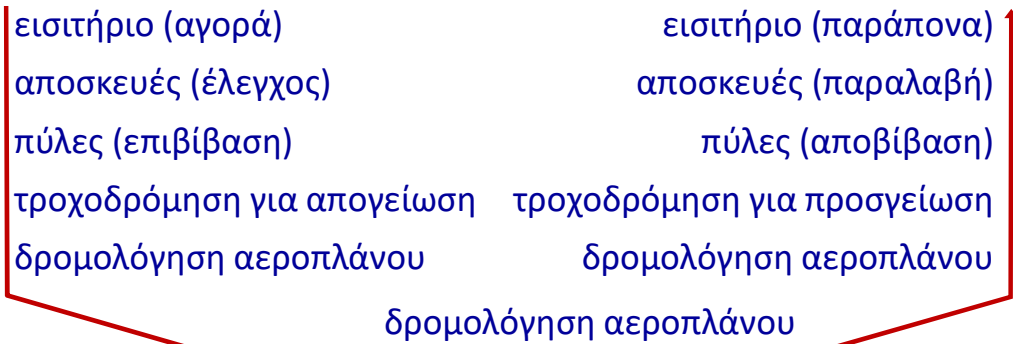
- και/ή της συζήτησης για τα δίκτυα;

Εισαγωγή : 1-70

Παράδειγμα: Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού



μεταφορά προσώπου και αποσκευών από άκρη σε άκρη



Χαρακτηρισμός / περιγραφή αεροπορικού ταξιδιού:

- Σειρά βημάτων, εμπλέκοντας πολλές υπηρεσίες

Εισαγωγή : 1-71

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
- βασιζόμενο στις υπηρεσίες που παρέχονται από το κατώτερο επίπεδο

Εισαγωγή : 1-72

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 : 1-73

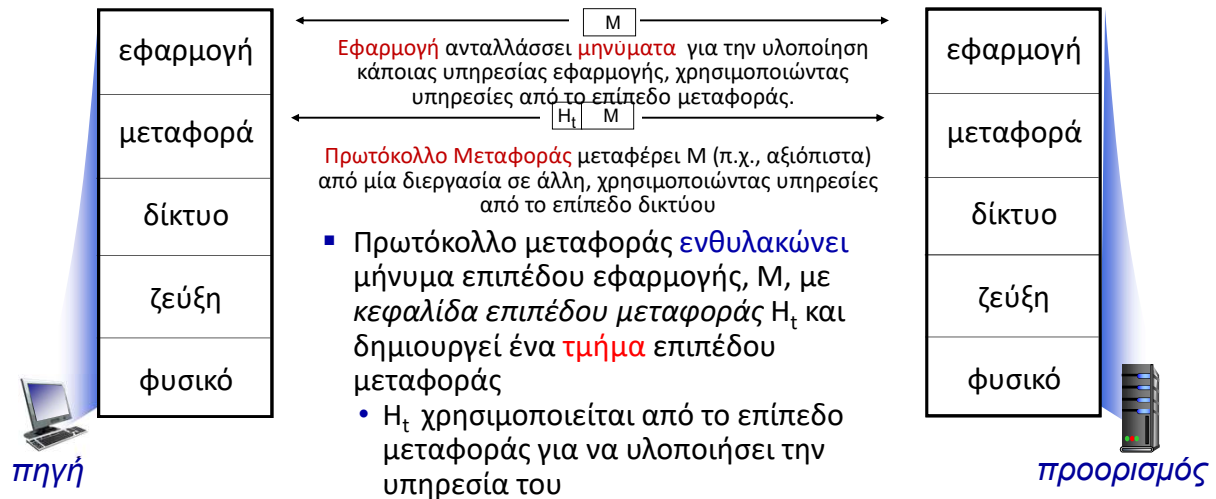
Πολύ-επίπεδη στοίβα πρωτοκόλλου Διαδικτύου

- **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”



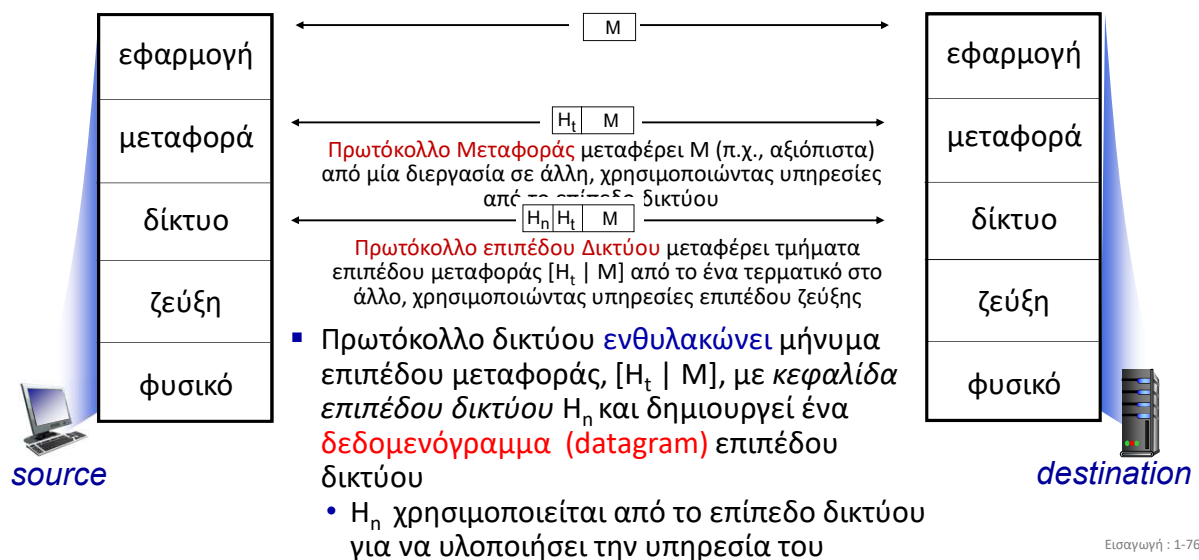
Εισαγωγή : 1-74

Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση



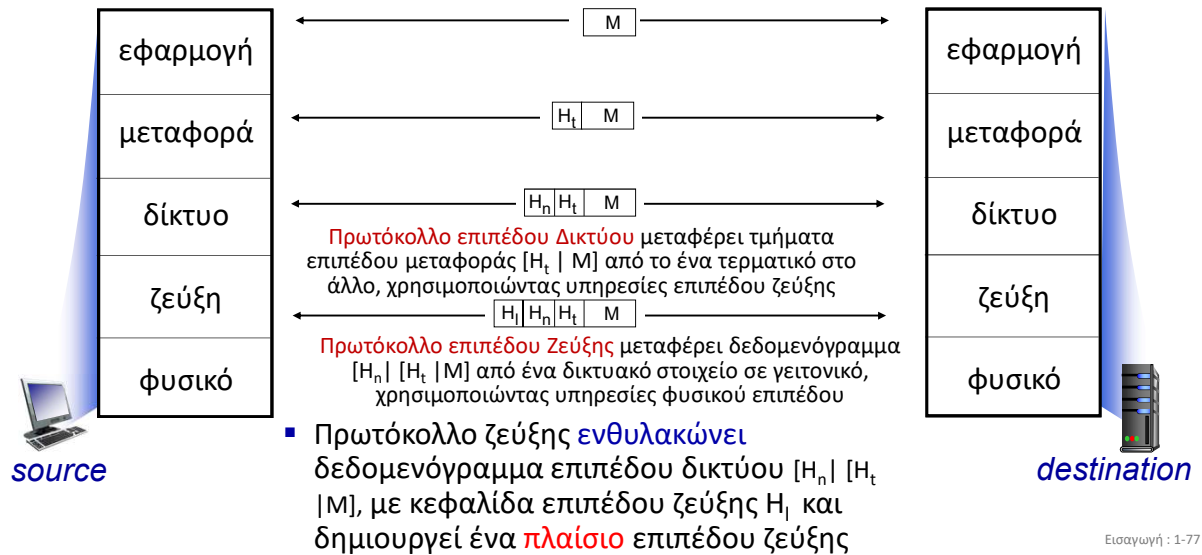
Εισαγωγή : 1-75

Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση

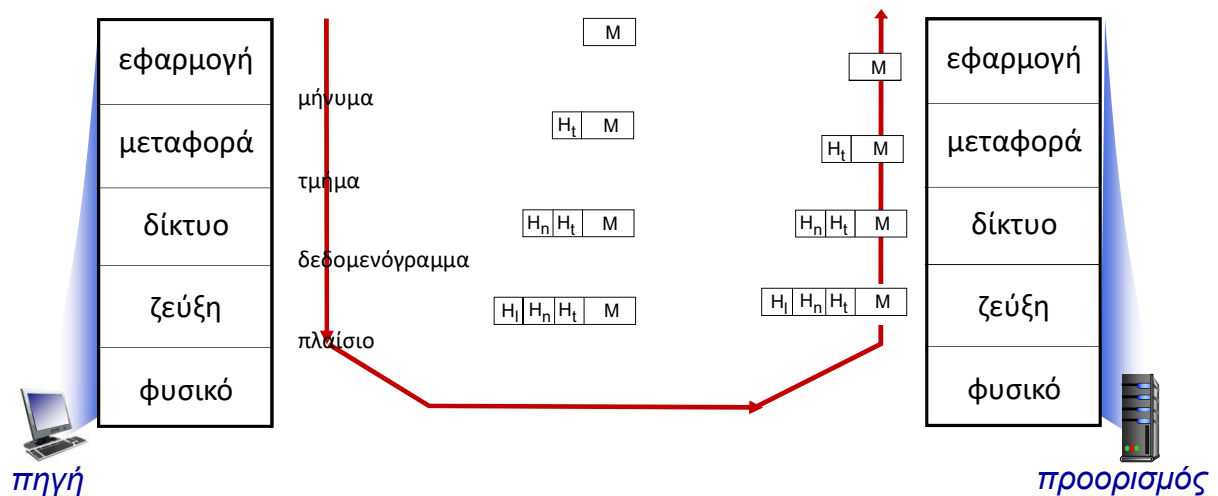


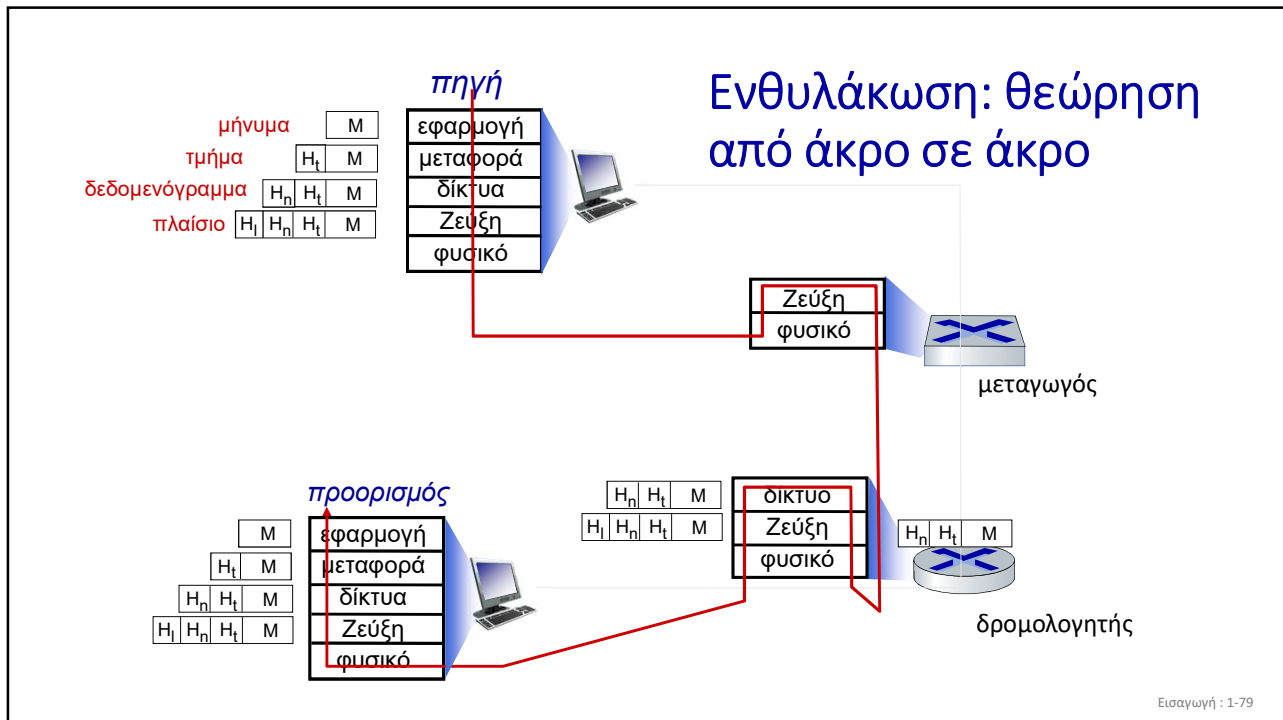
Εισαγωγή : 1-76

Υπηρεσίες, στοίβα πρωτοκόλλου και Ενθυλάκωση



Services, Layering and Encapsulation





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 : 1-80

Ασφάλεια Δικτύου

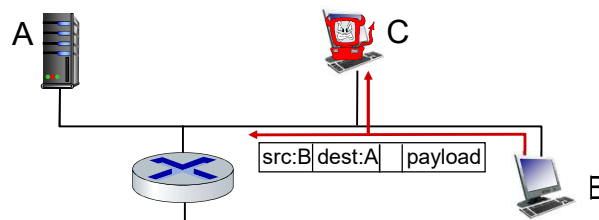
- Το Διαδίκτυο δεν σχεδιάστηκε αρχικά με γνώμονα την ασφάλειά του
 - αρχικό όραμα: «μια ομάδα χρηστών με αμοιβαία εμπιστοσύνη σε ένα διαφανές δίκτυο» ☺
 - σχεδιαστές πρωτοκόλλων του Διαδικτύου προσπαθούν να καλύπτουν τα κενά ασφαλείας που εμφανίζονται
 - ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα!
- Θα πρέπει να εξετάσουμε:
 - 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 : 1-81

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

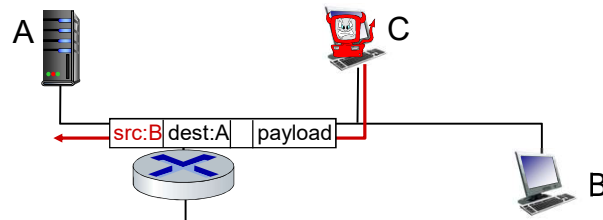


το λογισμικό wireshark , το οποίο χρησιμοποιείται από τις ασκήσεις εργαστηρίου στο συνιστώμενο βιβλίο του μαθήματος, είναι ένα (ελεύθερο) λαγωνικό πακέτων

Εισαγωγή : 1-82

Οι «κακοί» χρησιμοποιήσουν ψεύτικες διευθύνσεις

IP spoofing: στέλνει πακέτο με ψεύτικη διεύθυνση πηγής

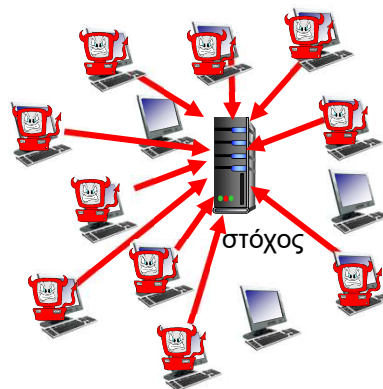


Εισαγωγή : 1-83

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 : 1-84

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 αποστολών, παραληπτών, εφαρμογών
 - Ανίχνευση / αντίδραση σε DOS attacks

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

Εισαγωγή : 1-85

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

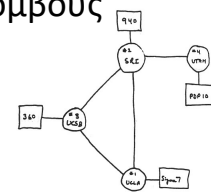


Εισαγωγή : 1-86

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



ΤΗΕ ΑΡΡΑ ΝΕΤΥΟΡΚ

Εισαγωγή : 1-87

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

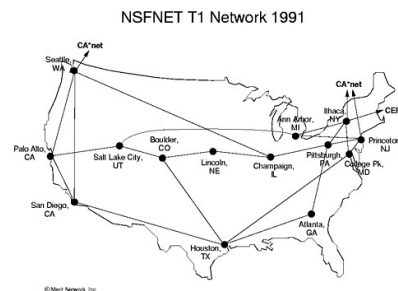
ορίζουν την παρούσα αρχιτεκτονική του Διαδικτύου

Εισαγωγή : 1-88

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 : 1-89

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 : 1-90

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 : 1-91

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, ρυθμ απόδοση (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 : 1-92