



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Δίκτυα Κορμού και Δίκτυα Πρόσβασης

ΔΤΜΣ Οικονομική και Διοίκηση των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων

Ενότητα 1: Εισαγωγή

Νίκος Πασσάς

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Δίκτυα Κορμού και Δίκτυα Πρόσβασης

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Εθνικό & Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος:

ΘΕ1: Εισαγωγή

(Κεφ. 1 του βιβλίου)

ΘΕ2: Συστήματα Αναμονής (M/M/1 και παραλλαγές, M/G/1, συστήματα με προτεραιότητες, δίκτυα ουρών)

ΘΕ3: Επίπεδο Δικτύου

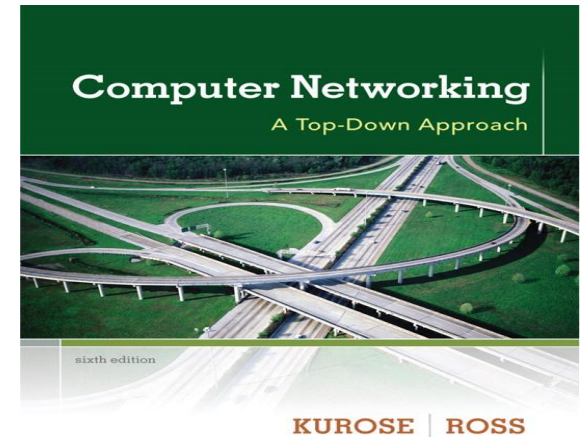
(Κεφ. 4 του βιβλίου)

ΘΕ4: Επίπεδο Ζεύξης: Ζεύξεις, Δίκτυα Πρόσβασης, Δίκτυα Τοπικής Περιοχής

(Κεφ. 5 του βιβλίου)

Συνιστώμενο Βιβλίο:
Computer Networking: A Top-Down Approach, by Kurose & Ross, Addison-Wesley

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, 6/E, Addison-Wesley.

All material copyright 1996-2012
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Προσαρμογή και επιμέλεια της απόδοσης των πρωτότυπων διαφανειών στα ελληνικά :
Λάζαρος Μεράκος

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στόχος:

- ❖ να δούμε το δάσος («αίσθηση» και ορολογία)
- ❖ προσέγγιση:
 - χρήση του Διαδικτύου (Internet) ως παραδείγματος

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)
- ❖ ασφάλεια
- ❖ επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών
- ❖ ιστορία

Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, γραμμές end systems, access networks, links

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.6 ασφάλεια

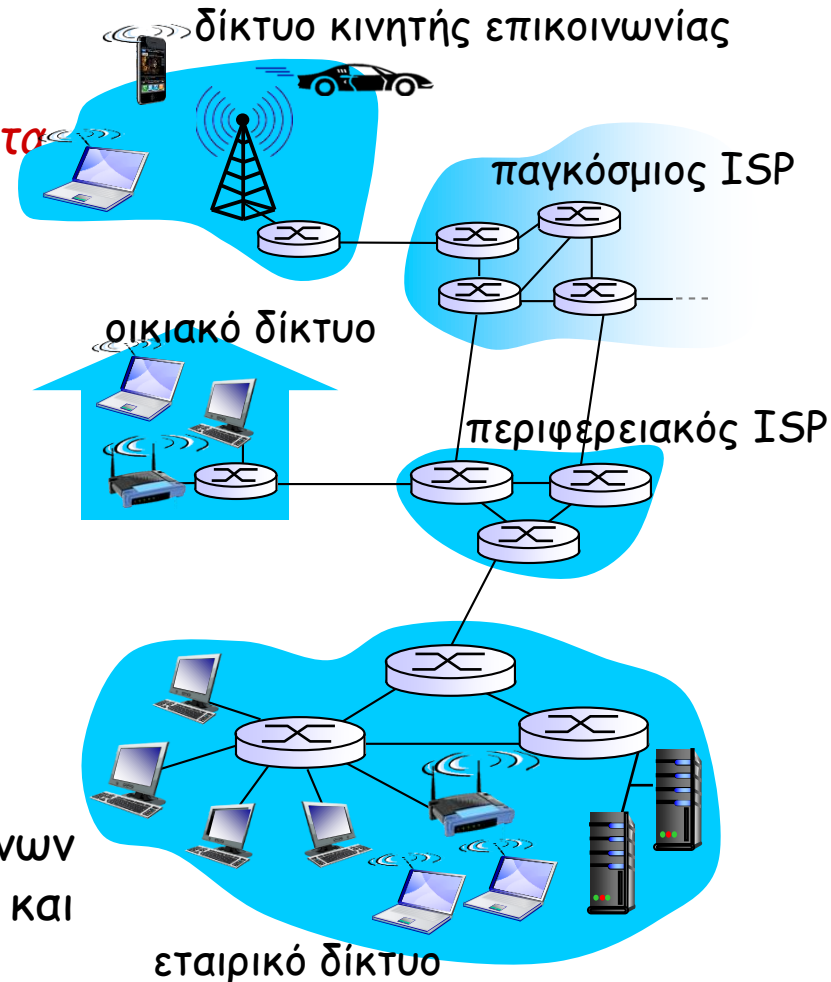
1.7 ιστορική αναδρομή

Τα κύρια συστατικά του Διαδίκτυου



❖ Εκατομμύρια διασυνδεδεμένοι υπολογιστές:

- *hosts* = **τερματικά συστήματα**
- τρέχουν **δικτυακές εφαρμογές**



❖ **Επικοινωνιακές ζεύξεις**

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



❖ **Πρωθητές πακέτων** δεδομένων

- **δρομολογητές (routers)** και **μεταγωγείς (switches)**

Διαδικτυακές έξυπνες συσκευές: Internet of Things (IoT)



IP κορνίζα
<http://www.ceiva.com/>



Web τοστιέρα +
πρόβλεψη καιρού



Tweet-a-watt:
Μετρητής κατανάλωσης



Διαδικτυακό
ψυγείο



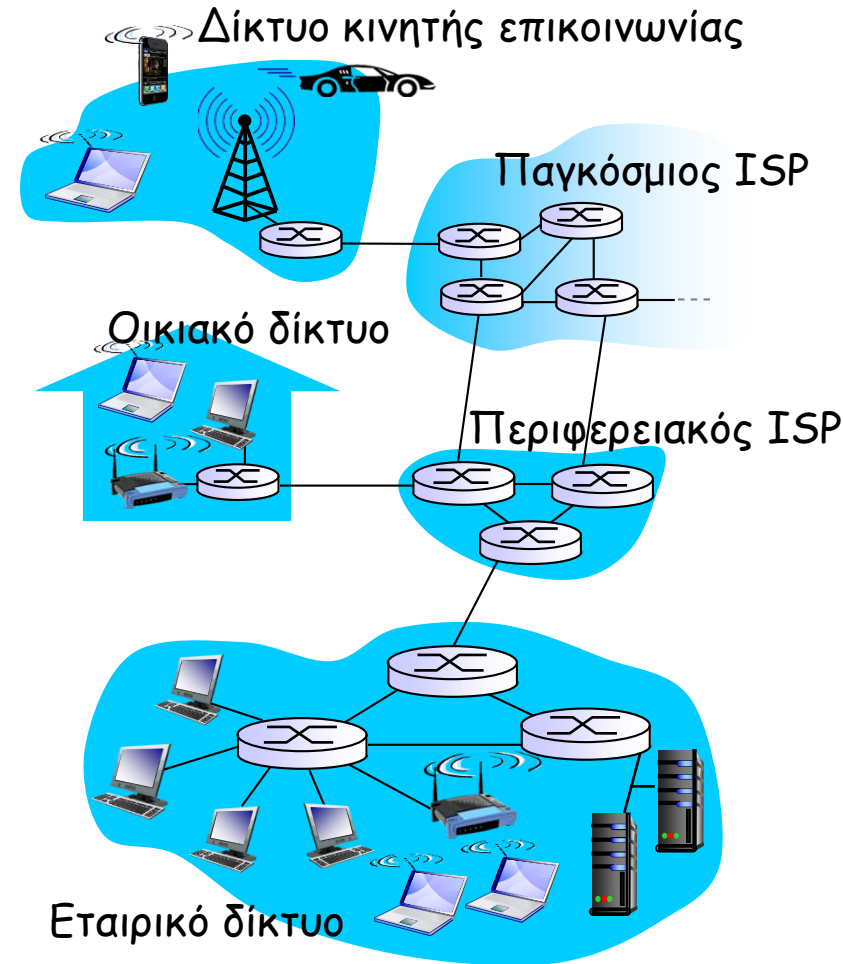
Slingbox: βλέπεις, ελέγχεις
την τηλεόρασή σου
από οπουδήποτε



Διαδικτυακά τηλέφωνα

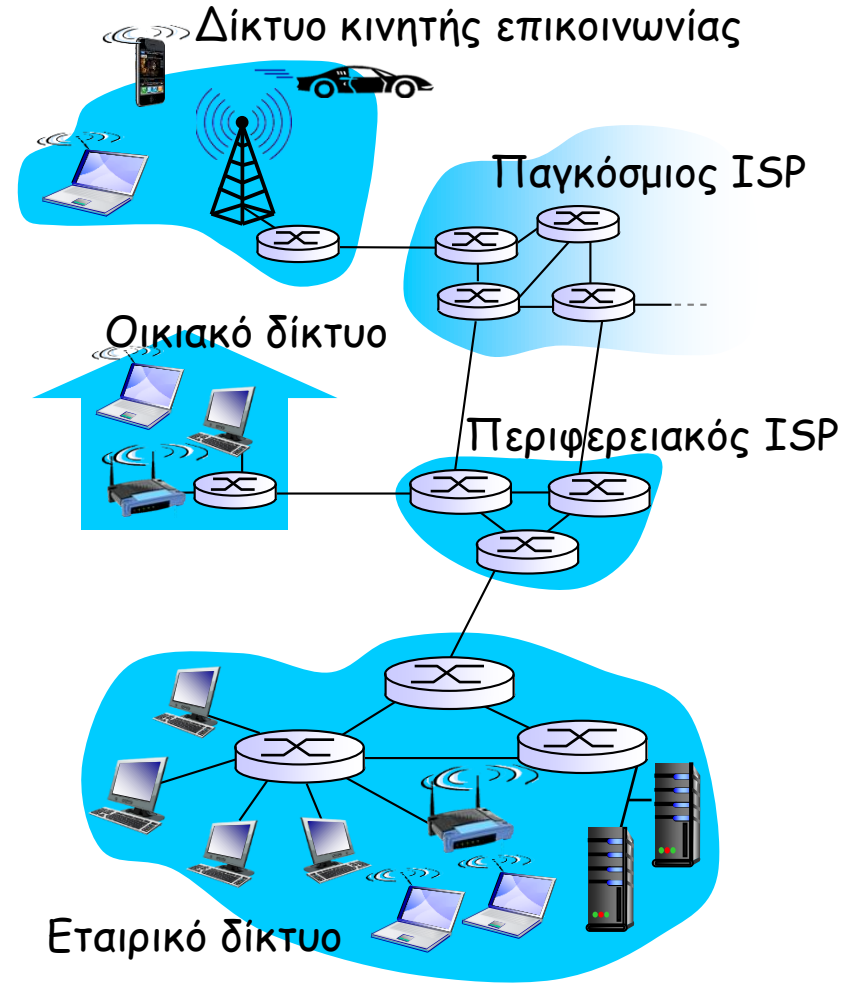
Τα κύρια συστατικά του Διαδικτύου

- ❖ **Διαδίκτυο: "δίκτυο δικτύων"**
 - Διασυνδεδεμένοι ISPs
- ❖ **Πρωτόκολλα** ελέγχουν την αποστολή, παραλαβή μηνυμάτων
 - πχ, TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11
- ❖ **Πρότυπα Διαδικτύου (Internet standards)**
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



Τι είναι το Διαδίκτυο: παρεχόμενες υπηρεσίες

- ❖ *Υποδομή που παρέχει υπηρεσίες σε κατανεμημένες εφαρμογές:*
 - Web, VoIP, email, παιχνίδια, ηλεκτρ. εμπόριο, κοινωνικά δίκτυα, ...
- ❖ *Παρέχει διεπαφή προγραμματισμού σε εφαρμογές (API: application programming interface)*
 - επιτρέπει σε προγράμματα εφαρμογών να επικοινωνούν μέσω Διαδικτύου
 - παρέχει επιλογές υπηρεσιών, όπως και τα Ταχυδρομεία (απλό, express, συστημένο, ...)



Τι είναι πρωτόκολλο;

Ανθρώπινα πρωτόκολλα:

- ❖ "Τι ώρα είναι;"
- ❖ "Να κάνω μια ερώτηση;"
- ❖ Συστάσεις

... αποστολή συγκεκριμένων μηνυμάτων

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

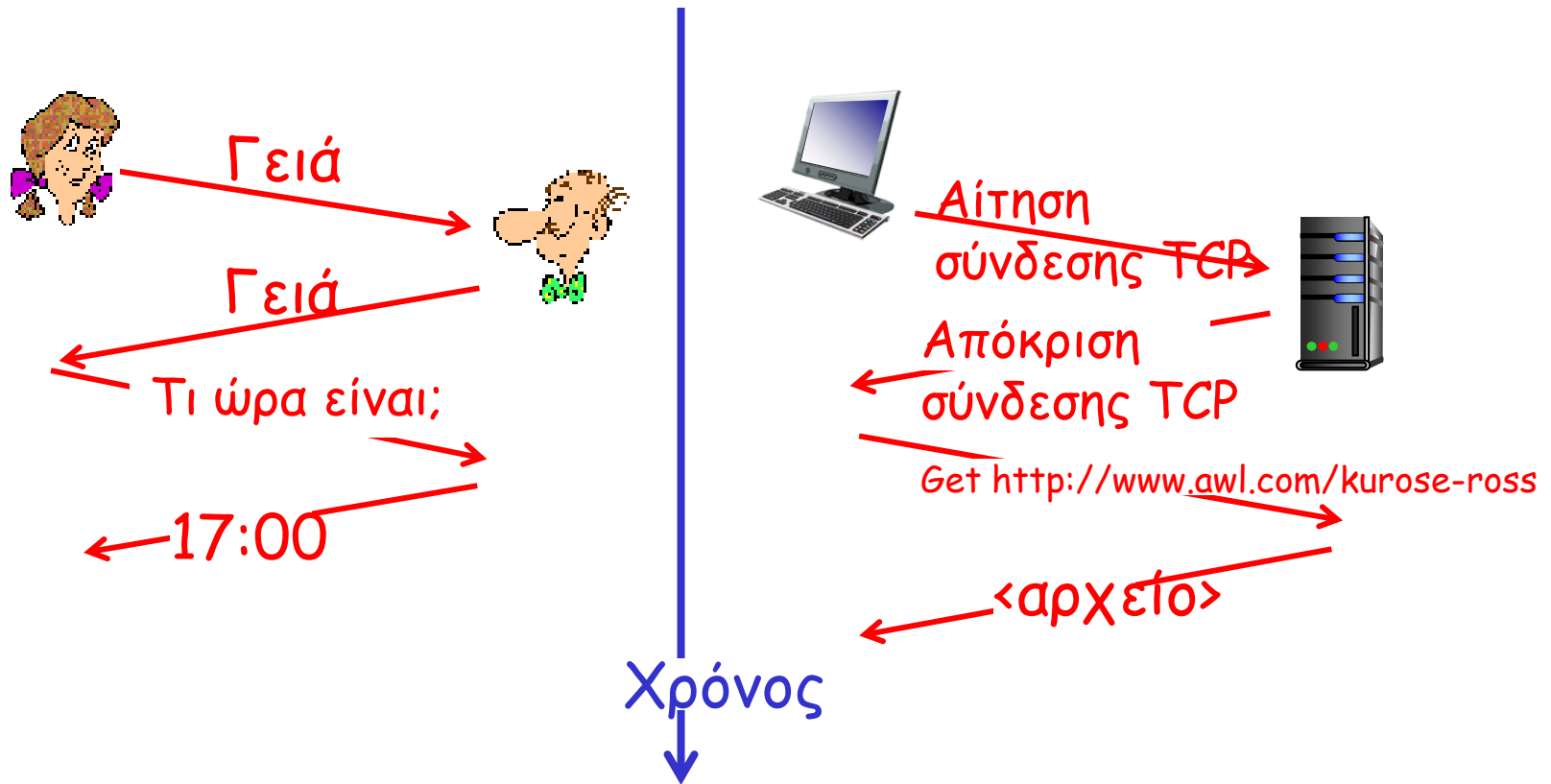
Δικτυακά πρωτόκολλα

- ❖ Μηχανές κι όχι 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

Τι είναι πρωτόκολλο;

Ένα ανθρώπινο πρωτόκολλο και ένα πρωτόκολλο δικτύου υπολογιστών:



Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, ζεύξεις

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

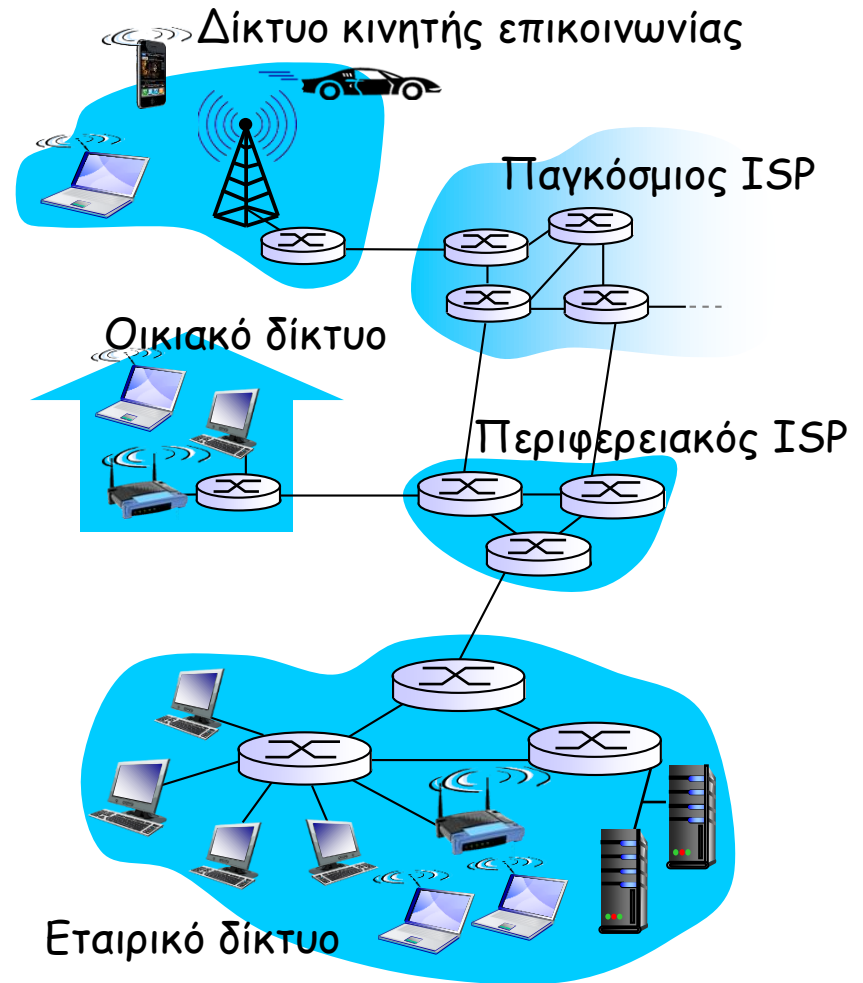
1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.6 ασφάλεια

1.7 ιστορική αναδρομή

Μια πιο κοντινή ματιά στη δομή του δικτύου

- ❖ **Περιφέρεια δικτύου:**
 - hosts: πελάτες και εξυπηρέτες
 - εξυπηρέτες συχνά σε κέντρα δεδομένων
- ❖ **Δίκτυα πρόσβασης, φυσικά μέσα:** ενσύρματες, ασύρματες ζεύξεις
- ❖ **Πυρήνας δικτύου:**
 - διασυνδεδεμένοι δρομολογητές
 - δίκτυο δικτύων



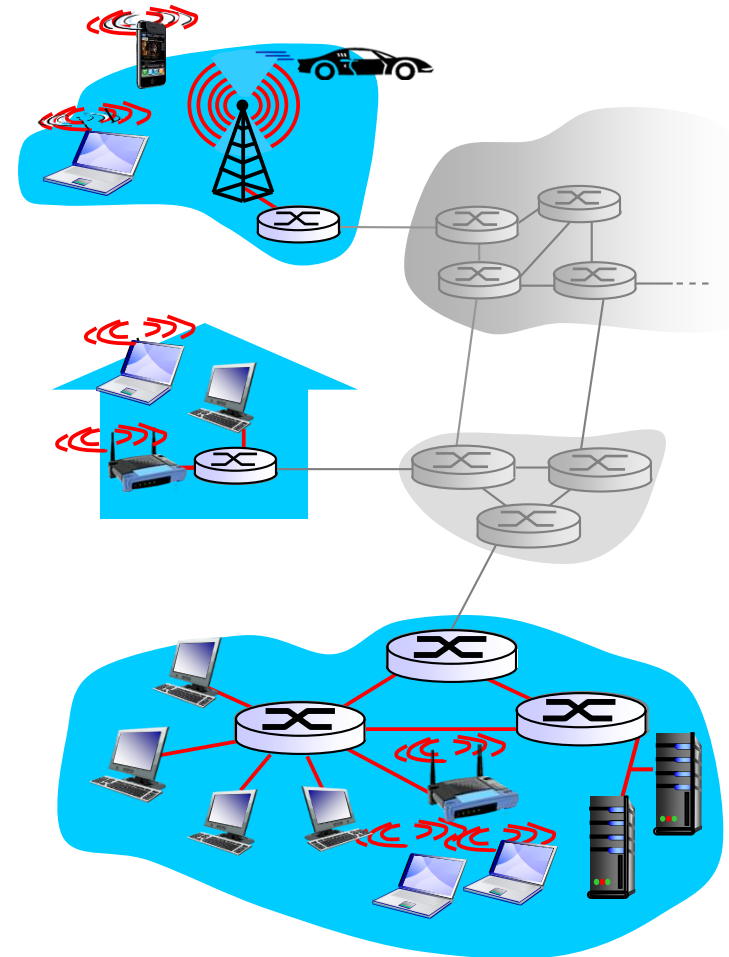
Δίκτυα πρόσβασης και φυσικά μέσα

Ερώτηση: Πώς μπορεί να συνδεθεί ένα τερματικό σύστημα με τον περιφερειακό δρομολογητή του;

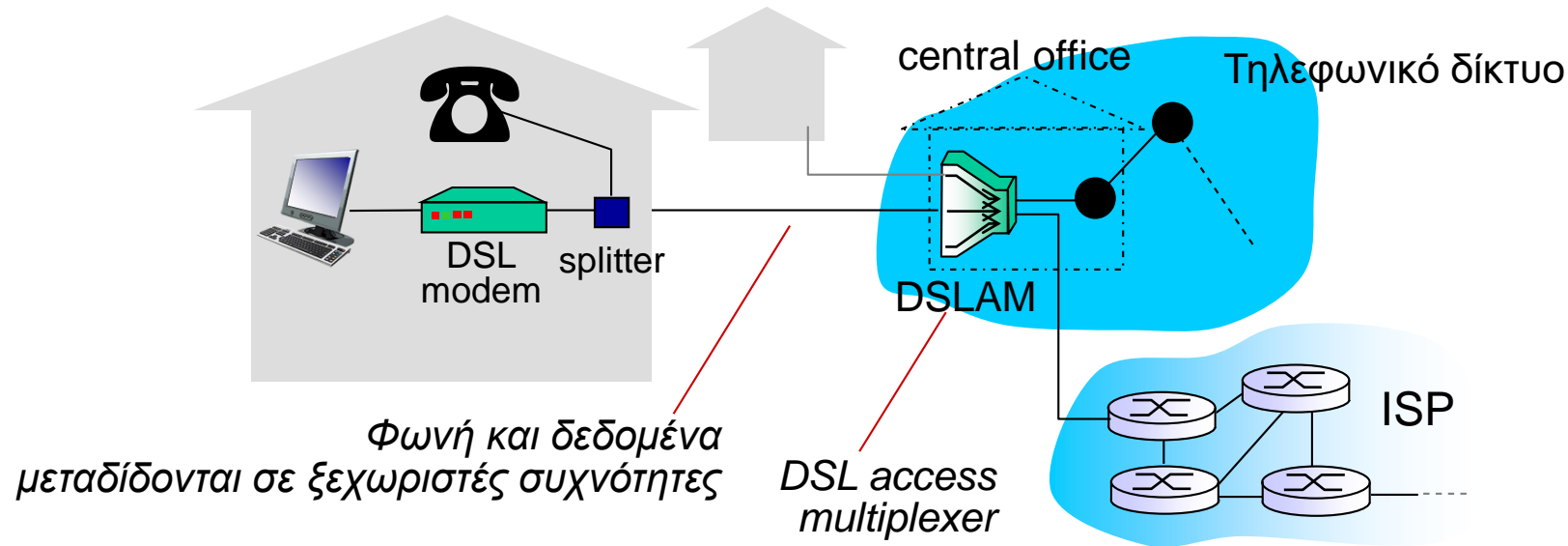
- ❖ δίκτυα οικιακής πρόσβασης
- ❖ δίκτυα εταιρικής πρόσβασης (εταιρείες, σχολεία)
- ❖ δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

Σημείωση:

- ❖ εύρος ζώνης (bits per second) δικτύου πρόσβασης;
- ❖ διαμοιραζόμενο ή αποκλειστικής χρήσης;

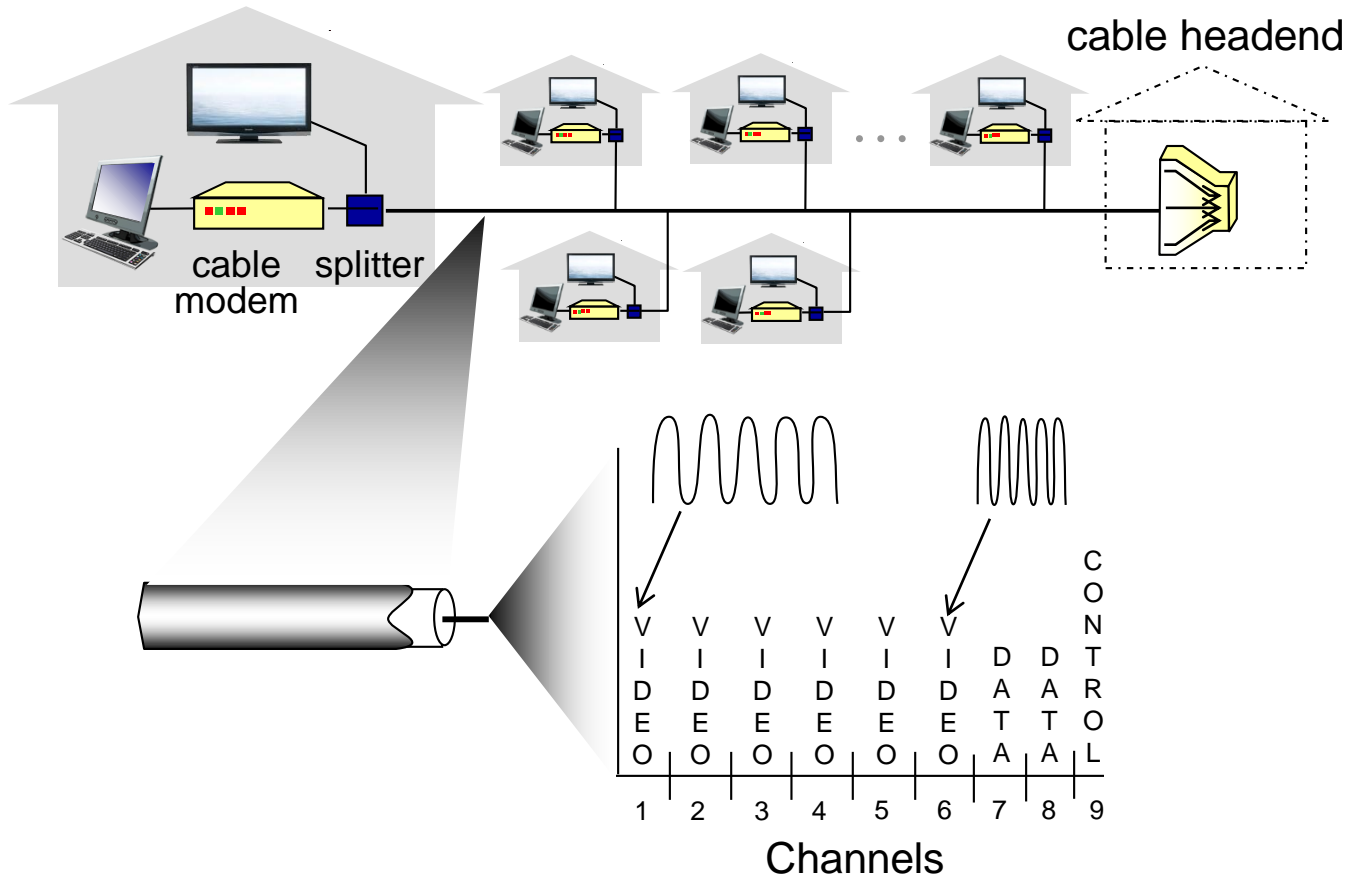


Πρόσβαση: digital subscriber line (DSL)



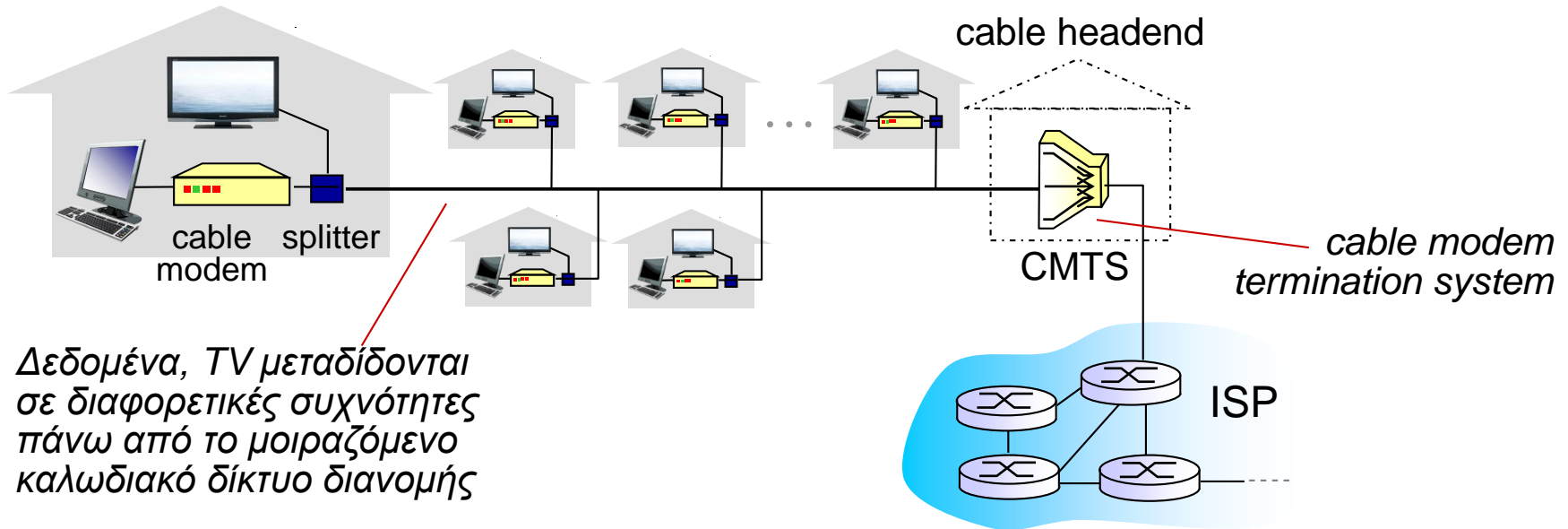
- ❖ Χρήση υπάρχουσας τηλεφωνικής γραμμής προς το DSLAM του κέντρου
 - τα δεδομένα πάνω από την γραμμή DSL πάνε στο Διαδίκτυο
 - η φωνή πάνω από την γραμμή DSL πάει στο τηλεφωνικό δίκτυο
- ❖ upstream ταχύτητα μετάδοσης < 2.5 Mbps (τυπικά < 1 Mbps)
- ❖ downstream ταχύτητα μετάδοσης < 24 Mbps (τυπικά < 10 Mbps)

Πρόσβαση: καλωδιακό δίκτυο



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

Πρόσβαση: καλωδιακό δίκτυο



Δεδομένα, TV μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες πάνω από το μοιραζόμενο καλωδιακό δίκτυο διανομής

❖ HFC: hybrid fiber coax

- **ασύμμετρο**: ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 30Mbps downstream, 2 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
 - Αντίθετα το DSL προσφέρει αποκλειστική πρόσβαση

Πρόσβαση: οικιακό δίκτυο

Ασύρματες συσκευές



Προς/από ISP

Συχνά συνδυασμένα
σε μία συσκευή

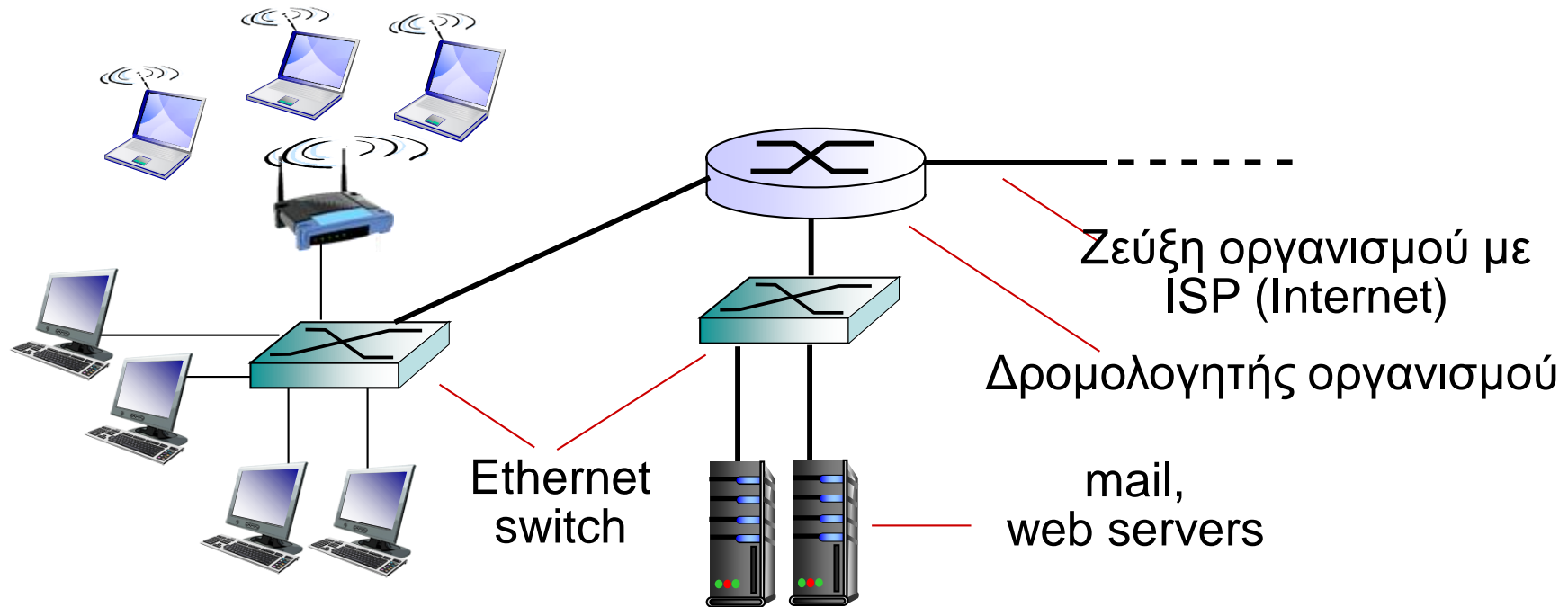
cable or DSL modem

Ασύρματο σημείο
πρόσβασης (54
Mbps)

router, firewall, NAT

Ethernet (100 Mbps)

Δίκτυα πρόσβασης επιχειρήσεων (Ethernet)



- ❖ Τυπική χρήση σε εταιρείες, πανεπιστήμια, κλπ
- ❖ Ταχύτητες μετάδοσης 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
- ❖ Σήμερα, τα τερματικά συστήματα συνδέονται σε μεταγωγείς Ethernet

Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

- ❖ Διαμοιραζόμενο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης συνδέει τερματικά συστήματα με δρομολογητή
 - Μέσω σταθμού βάσης («σημείου πρόσβασης»)

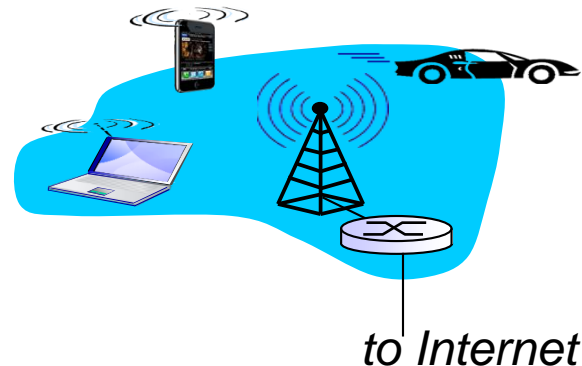
Ασύρματα LANs:

- Εντός κτηρίων (30 m)
- 802.11b/g (WiFi): 11, 54 Mbps



Ασύρματη πρόσβαση ευρείας περιοχής

- Παροχείς κυψελωτών συστημάτων, 10's km
- μεταξύ 1 and 10 Mbps
- 3G, 4G: LTE

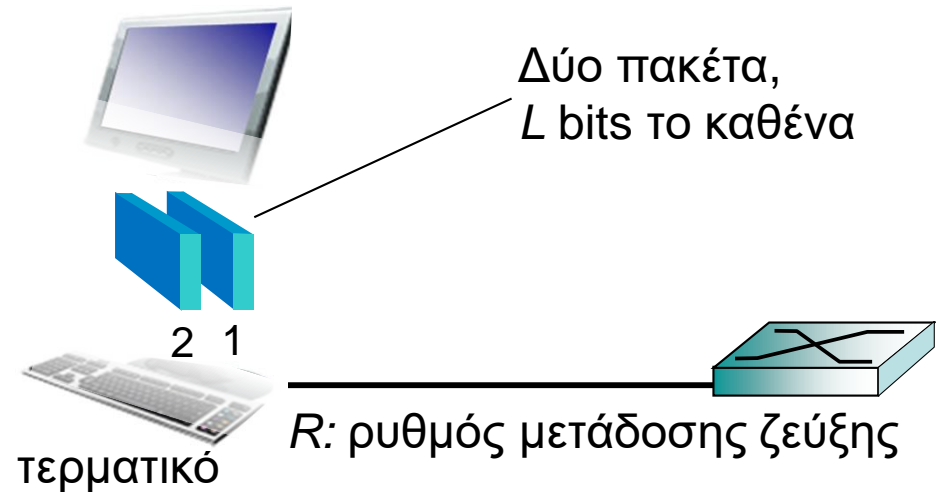


Τερματικό σύστημα: στέλνει πακέτα δεδομένων

Λειτουργία αποστολής:

- ❖ παίρνει μήνυμα εφαρμογής
- ❖ το σπάει σε μικρότερα κομμάτια, γνωστά ως **πακέτα**, μήκους L bits
- ❖ μεταδίδει το πακέτο στο δίκτυο πρόσβασης με ρυθμό μετάδοσης R bits/sec

ρυθμός μετάδοσης ζεύξης (γραμμής)
= εύρος ζώνης = χωρητικότητα



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

Φυσικά μέσα

- ❖ **Bit:** διαδίδεται μεταξύ ζεύγους πομπού/δέκτη
- ❖ **Φυσική ζεύξη:** 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))

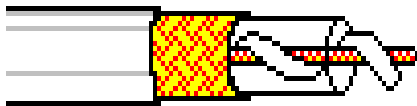
- ❖ Δύο μονωμένα σύρματα χαλκού
 - Category 5: 100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
 - Category 6: 10 Gbps



Φυσικά μέσα: ομοαξονικό καλώδιο, οπτική ίνα

Ομοαξονικό καλώδιο:

- Δύο ομόκεντροι χάλκινοι αγωγοί
- Διπλής κατεύθυνσης
- Ευρείας ζώνης (broadband):
 - πολλαπλά κανάλια στο καλώδιο
 - HFC



Καλώδιο οπτικής ίνας:

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



Φυσικά μέσα: ράδιο-ζεύξεις

- ❖ Σήμα μεταφέρεται στο Η/Μ φάσμα
- ❖ Χωρίς φυσικό «σύρμα»
- ❖ Διπλής κατεύθυνσης
- ❖ Επιδράσεις περιβάλλοντος μετάδοσης:
 - ανάκλαση
 - παρεμπόδιση από αντικείμενα
 - παρεμβολές

Τύποι ράδιο-ζεύξεων:

- ❑ **επίγεια μικροκύματα**
 - ❖ π.χ. κανάλια έως 45 Mbps
- ❑ **LAN** (π.χ., Wifi)
 - ❖ 11Mbps, 54 Mbps
- ❑ **ευρείας περιοχής** (π.χ., κυψελωτά δίκτυα)
 - ❖ 3G cellular: ~ λίγα Mbps
- ❑ **δορυφορικές ζεύξεις**
 - ❖ κανάλι έως 45Mbps (ή πολλαπλά μικρότερα κανάλια)
 - ❖ 270 msec καθυστέρηση από άκρο σε άκρο
 - ❖ γεωστατικοί δορυφόροι έναντι δορυφόρων χαμηλής τροχιάς

Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, γραμμές end systems, access networks, links

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

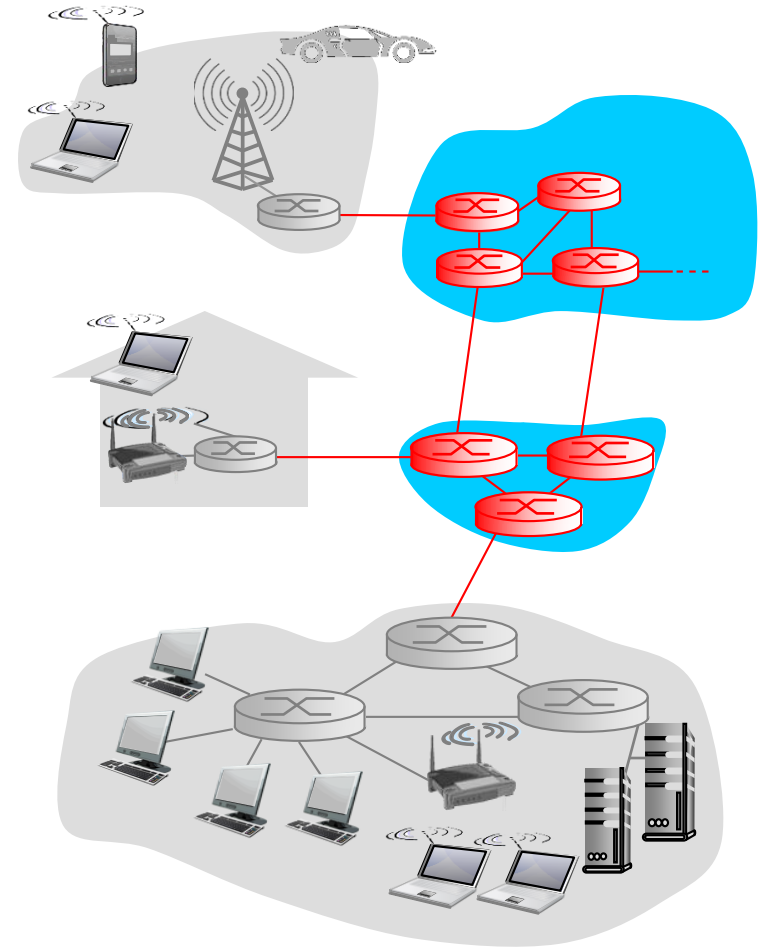
1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.6 ασφάλεια

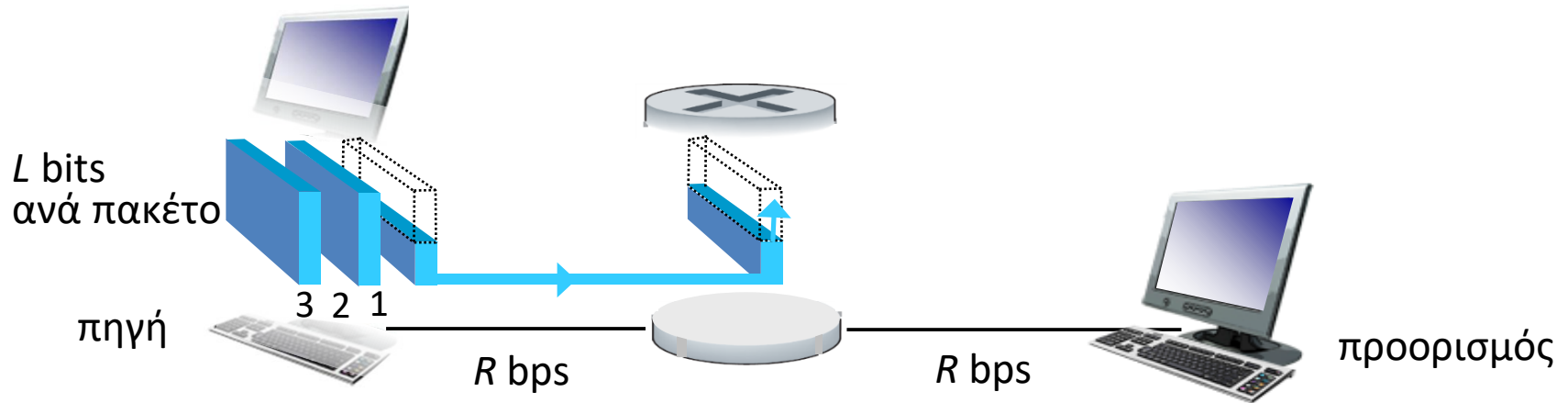
1.7 ιστορική αναδρομή

Ο πυρήνας του δικτύου

- ❖ Πλέγμα διασυνδεδεμένων δρομολογητών
- ❖ **Μεταγωγή πακέτου:** τερματικό σπάει τα μηνύματα της εφαρμογής σε πακέτα
 - Πρωθεί πακέτα από δρομολογητή σε δρομολογητή μέσω των ζεύξεων στο μονοπάτι από πηγή σε προορισμό
 - Κάθε πακέτο μεταδίδεται με την πλήρη ταχύτητα της γραμμής



Μεταγωγή πακέτου: αποθήκευση και προώθηση



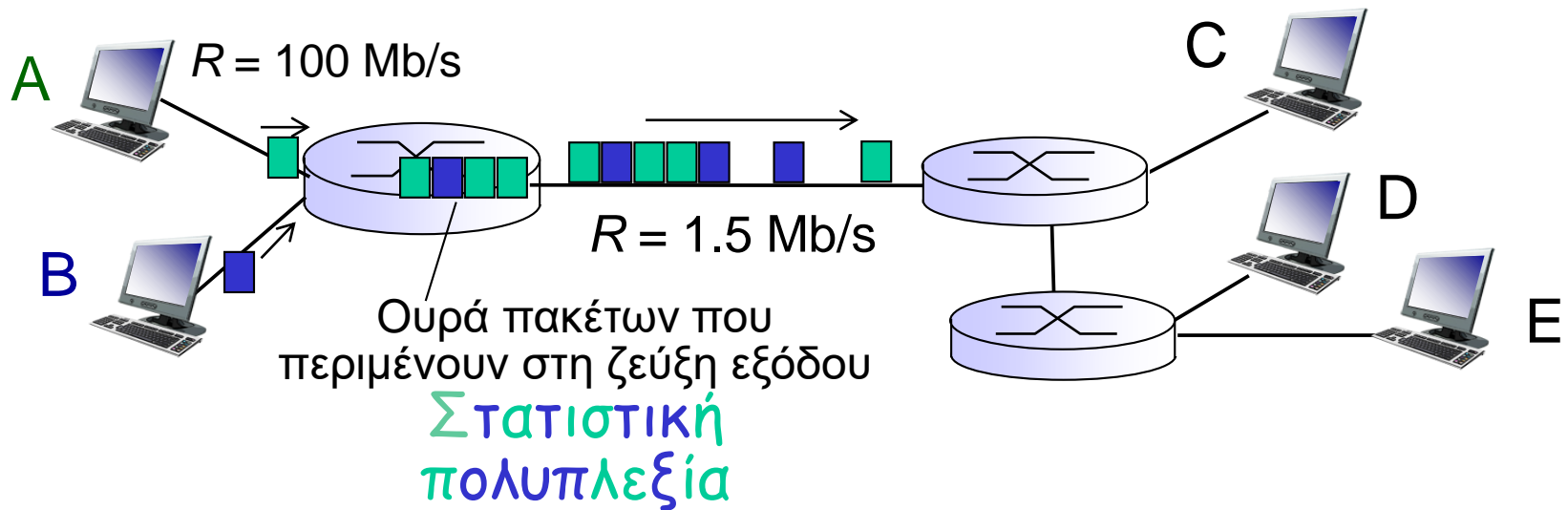
- ❖ Παίρνει L/R seconds να μεταδώσει (βάλει) το L -bit πακέτο στην γραμμή ρυθμού R bps
- ❖ **Αποθήκευση και προώθηση:** ολόκληρο το πακέτο πρέπει να φτάσει στον δρομολογητή πριν το προωθήσει στον επόμενο
- ❖ Καθυστέρηση από άκρο-σε-άκρο = $2L/R$ (υποθέτοντας μηδενική καθυστέρηση διάδοσης)

Παράδειγμα με ένα άλμα:

- $L = 7.5$ Mbits
- $R = 1.5$ Mbps
- Καθυστέρηση μετάδοσης ενός άλματος = 5 sec

} Περισσότερα σε λίγο...

Μεταγωγή πακέτου: καθυστέρηση αναμονής, απώλειες



Αναμονή στην ουρά και απώλειες :

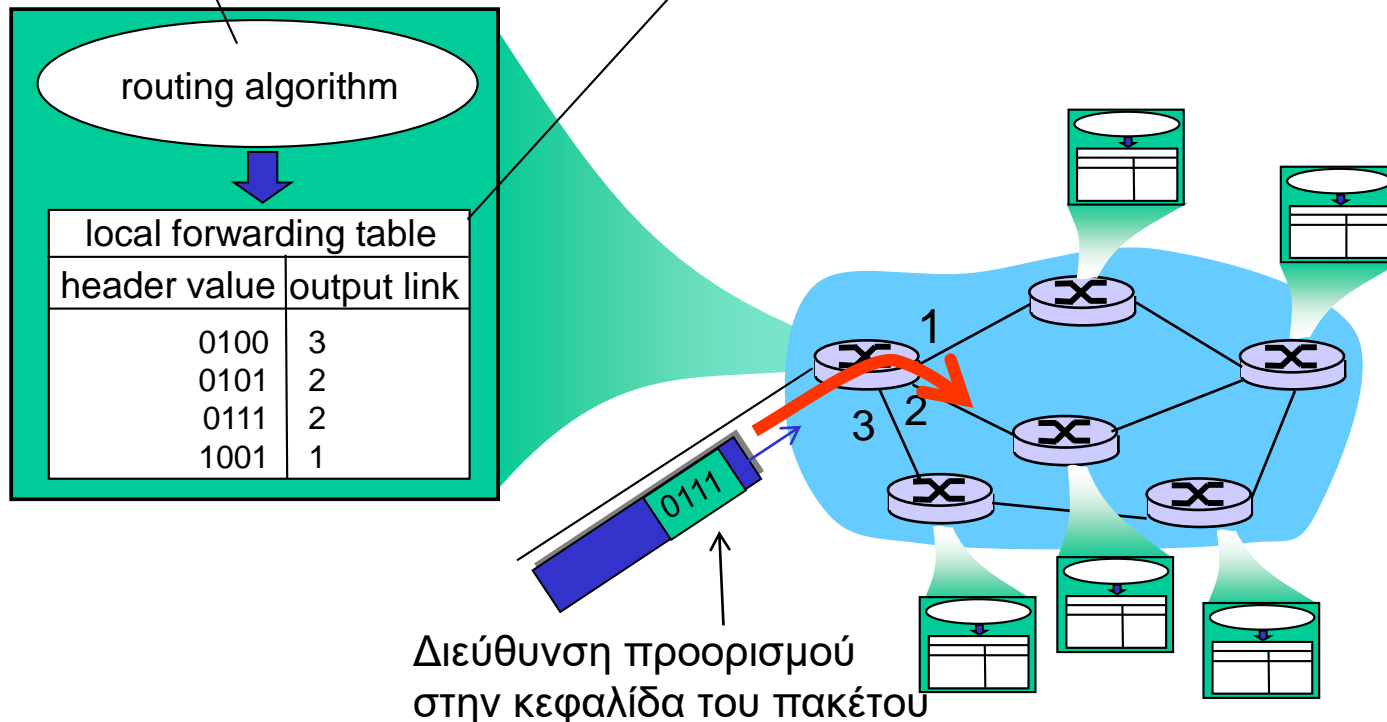
- ❖ Εάν ο ρυθμός άφιξης ξεπερνάει τον ρυθμό μετάδοσης της ζεύξης για κάποια χρονική περίοδο:
 - πακέτα θα κάνουν ουρά περιμένοντας να μεταδοθούν
 - πακέτα μπορεί να πεταχτούν (απωλεσθούν) εάν η μνήμη (buffer) γεμίσει

Δύο βασικές λειτουργίες του δικτύου-πυρήνα

Δρομολόγηση: προσδιορίζει τον δρόμο που παίρνουν τα πακέτα από πηγή σε προορισμό

Πρώθηση: μετακινεί πακέτα από την είσοδο του δρομολογητή στην κατάλληλη έξοδο

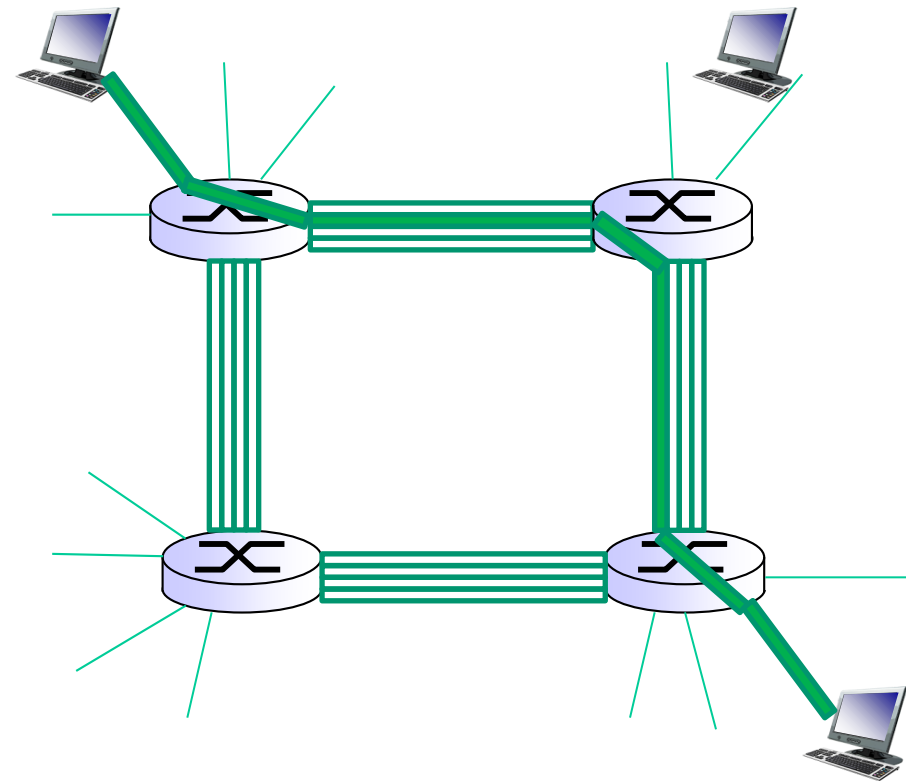
- Αλγόριθμοι δρομολόγησης



Εναλλακτικός πυρήνας: μεταγωγή κυκλώματος

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

- ❖ Στο σχήμα κάθε ζεύξη έχει 4 κυκλώματα
 - Η κλήση παίρνει το 2^ο κύκλωμα στην πάνω ζεύξη και το 1^ο κύκλωμα στην δεξιά ζεύξη
- ❖ Αποκλειστικοί πόροι: όχι μοίρασμα
 - εγγυημένη απόδοση
- ❖ Κύκλωμα αδρανές εάν δεν χρησιμοποιείται από την κλήση (*no sharing*)
- ❖ Η συνηθισμένη προσέγγιση στα παραδοσιακά τηλεφωνικά δίκτυα

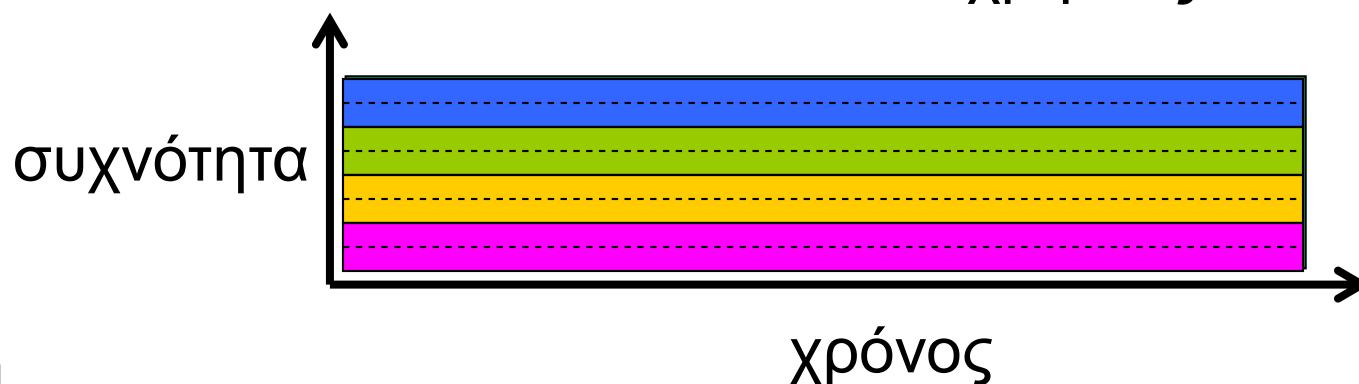


Μεταγωγή κυκλώματος: FDM έναντι TDM

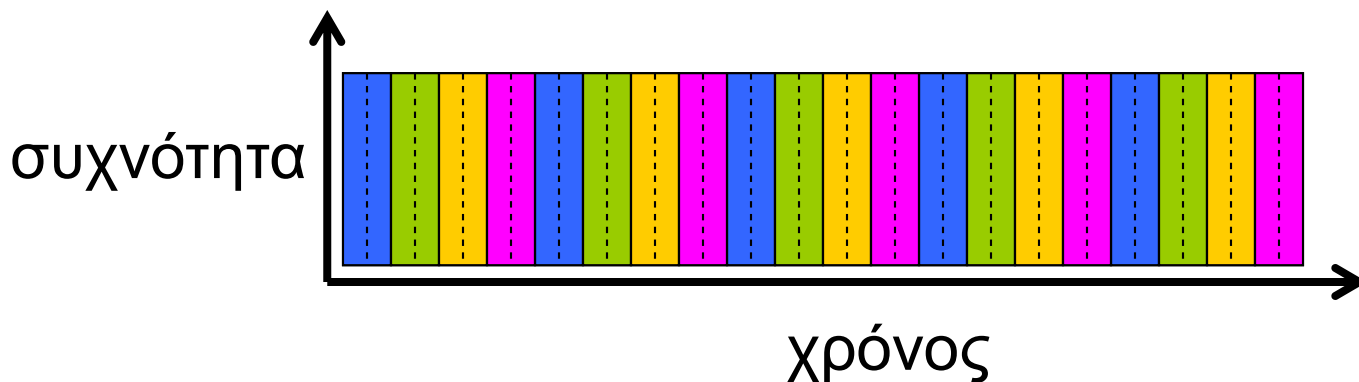
FDM

Παράδειγμα:

4 χρήστες ■ ■ ■ ■



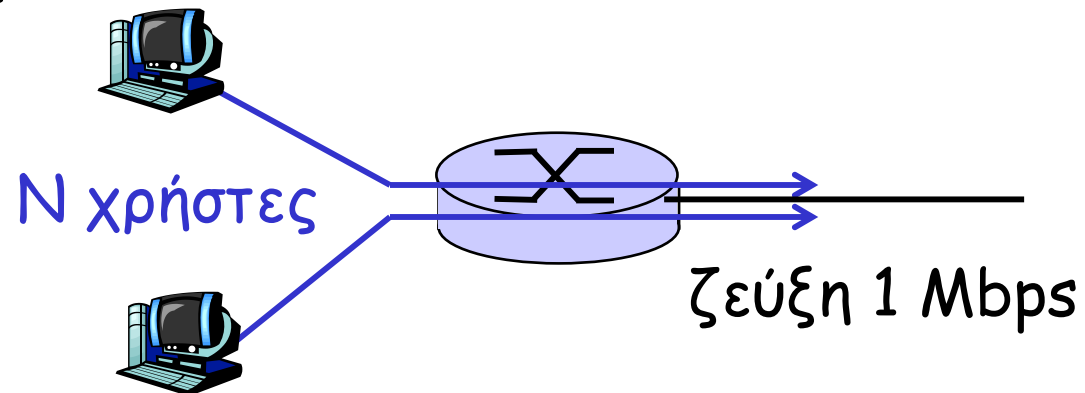
TDM



Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Η μεταγωγή πακέτου επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να χρησιμοποιούν το δίκτυο!

- ❖ Ζεύξη 1 Mb/s
- ❖ κάθε χρήστης:
 - 100 kb/s όταν «ενεργός»
 - ενεργός 10% του χρόνου
- ❖ **μεταγωγή κυκλώματος:**
 - 10 χρήστες
- ❖ **μεταγωγή πακέτου:**
 - με 35 χρήστες, πιθανότητα > 10 ενεργοί χρήστες ταυτόχρονα είναι μικρότερη από 0.0004



E: πώς προκύπτει το 0.0004;

E: τί συμβαίνει εάν > 35 χρήστες;

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

Είναι πάντα καλύτερη η μεταγωγή πακέτου;

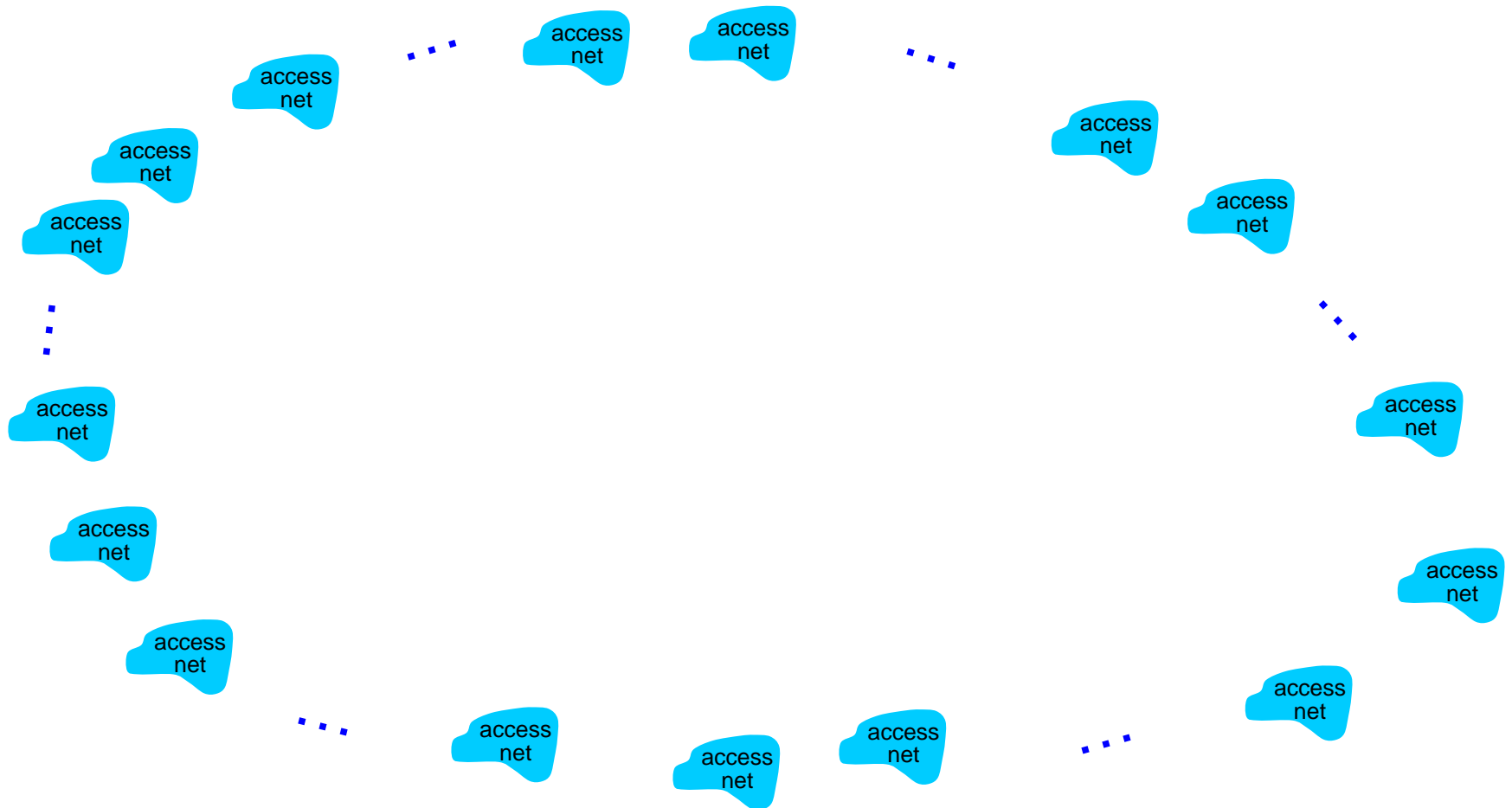
- ❖ Ιδανική για δεδομένα που χαρακτηρίζονται από σποραδικότητα (bursty data)
 - διαμοιρασμός πόρων
 - απλούστερη, δεν απαιτεί εγκαθίδρυση κλήσης
- ❖ **Υπερβολική συμφόρηση:** καθυστέρηση και απώλειες πακέτων
 - απαιτούνται πρωτόκολλα για την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, έλεγχο συμφόρησης
- ❖ **Υπάρχει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

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

- ❖ Τα τερματικά συστήματα συνδέονται στο Διαδίκτυο μέσω των **ISPs** (Internet Service Providers) **πρόσβασης**
 - οικιακοί, εταιρικοί και πανεπιστημιακοί ISPs
- ❖ 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 αποτέλεσμα είναι ένα πολύ πολύπλοκο δίκτυο δικτύων
 - η εξέλιξη οδηγείται από την **οικονομία** και τις **εθνικές πολιτικές**

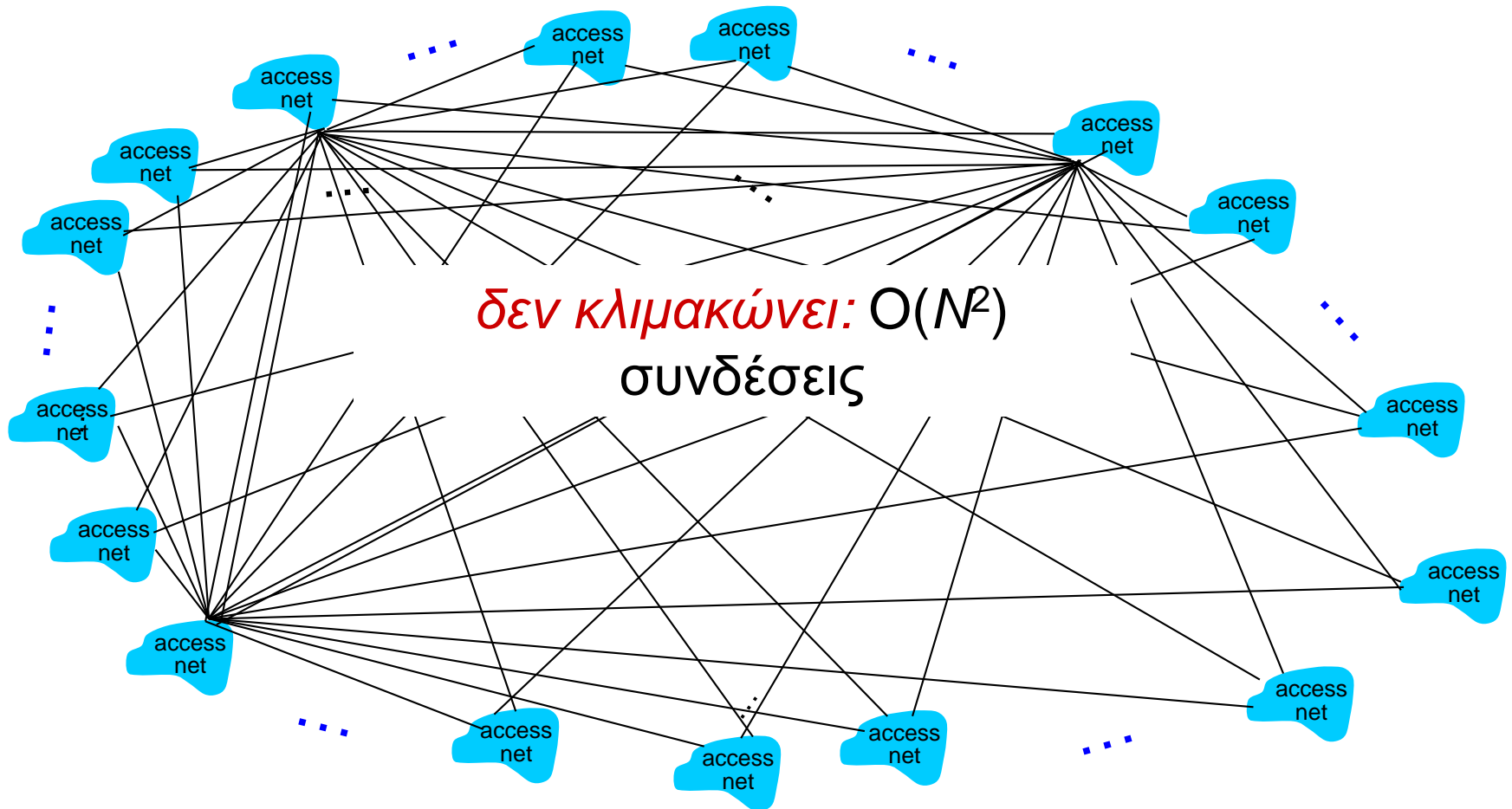
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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



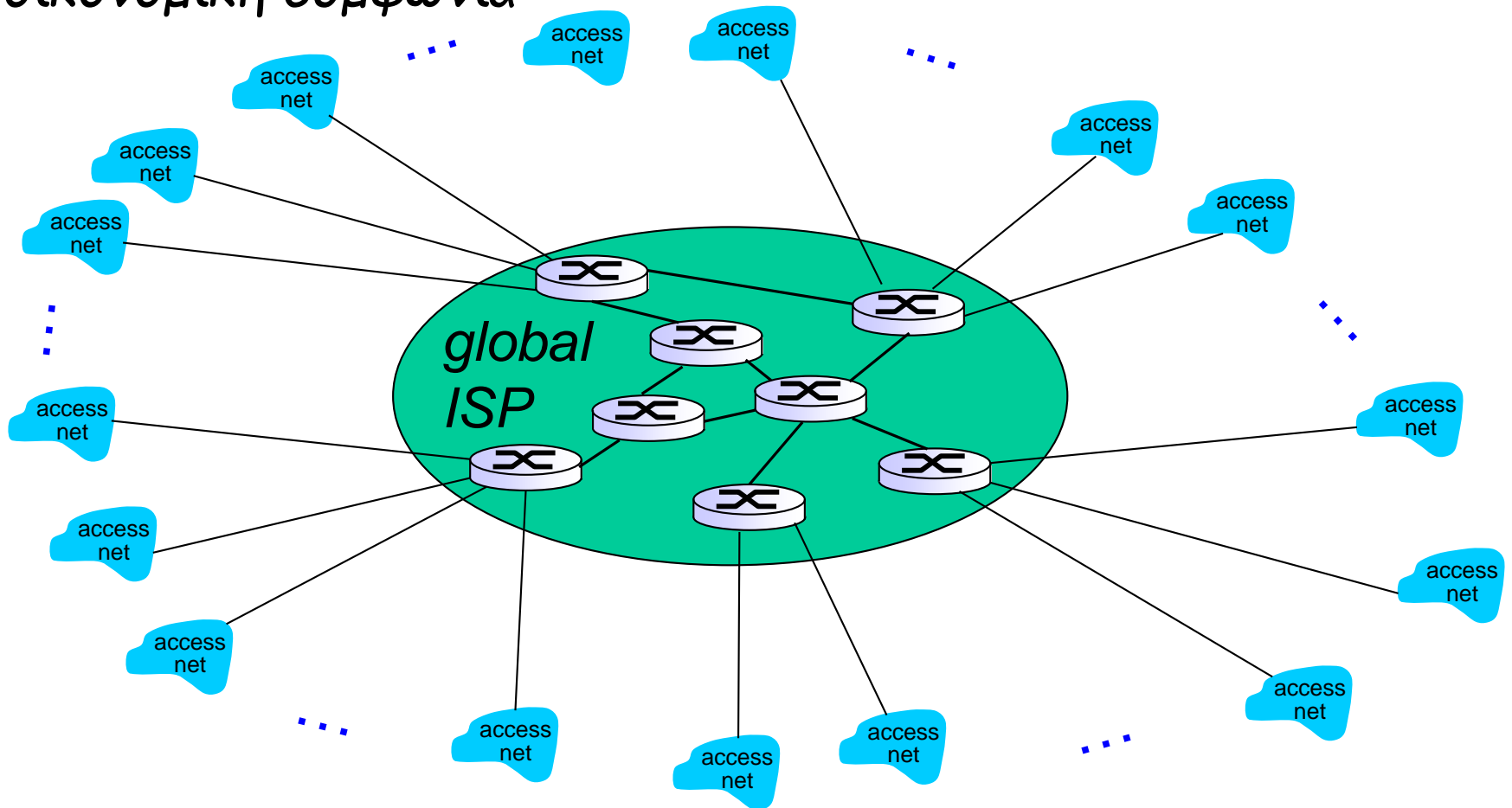
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

Επιλογή: σύνδεσε κάθε ISP πρόσβασης με όλους τους άλλους



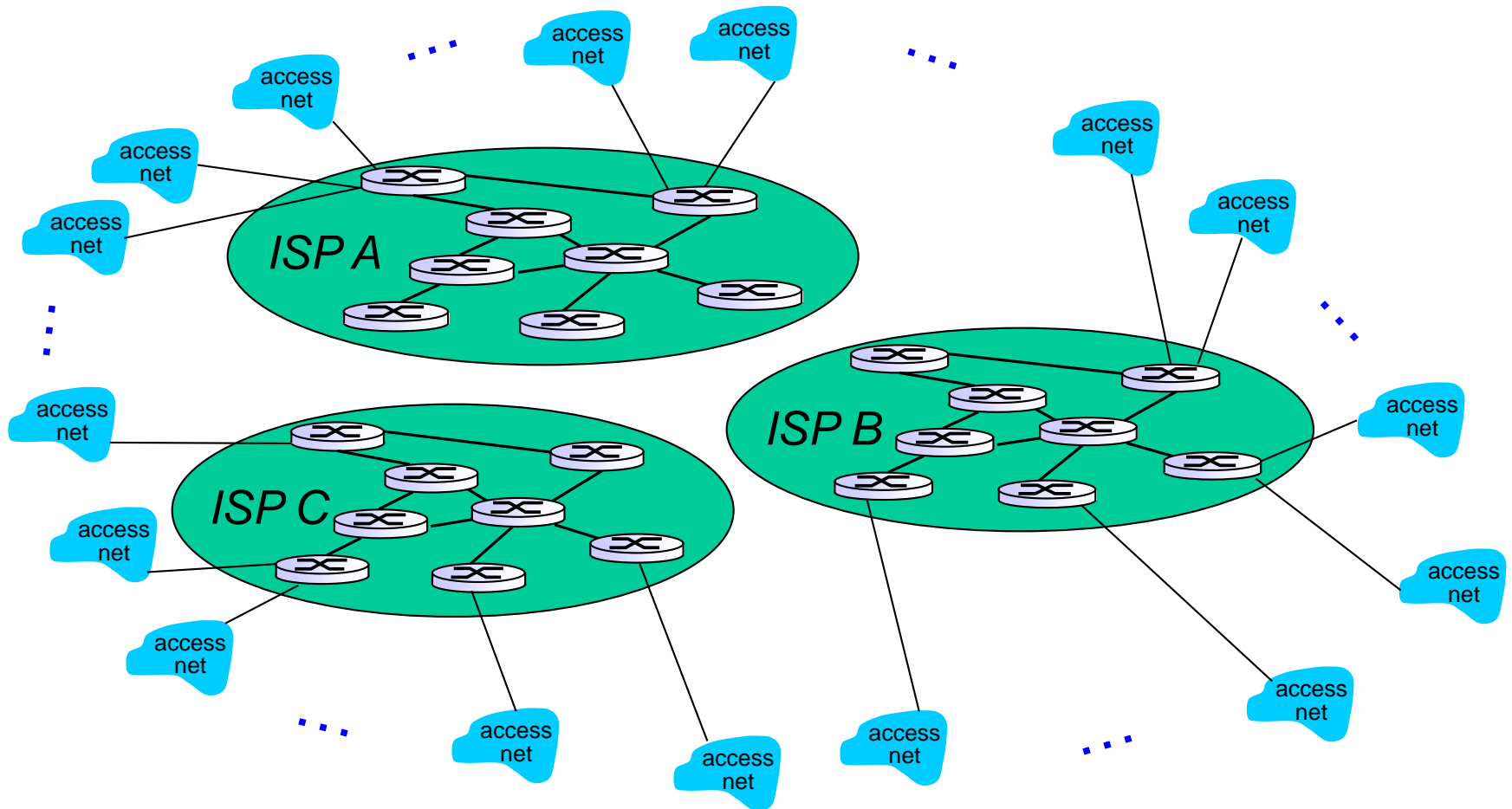
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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



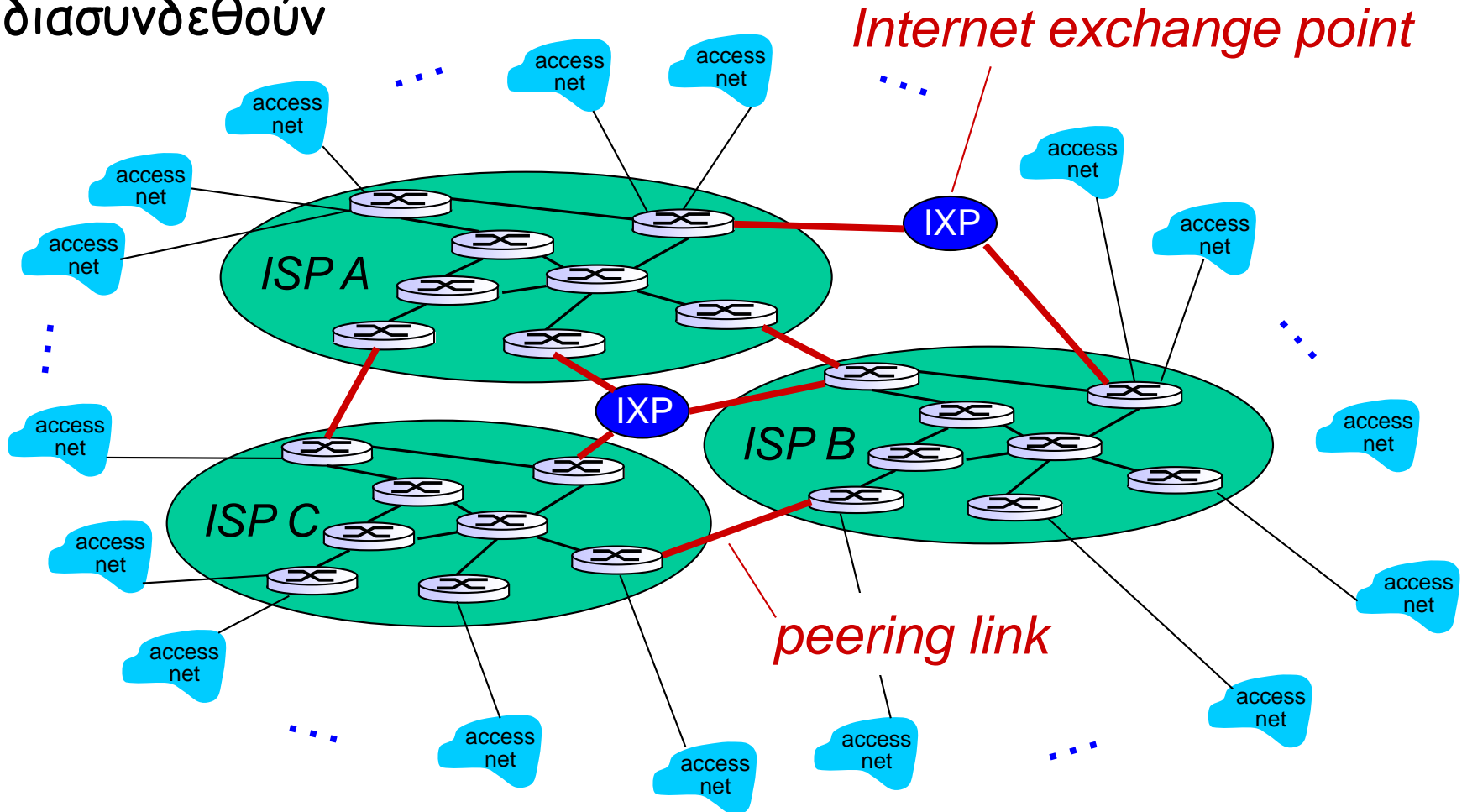
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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



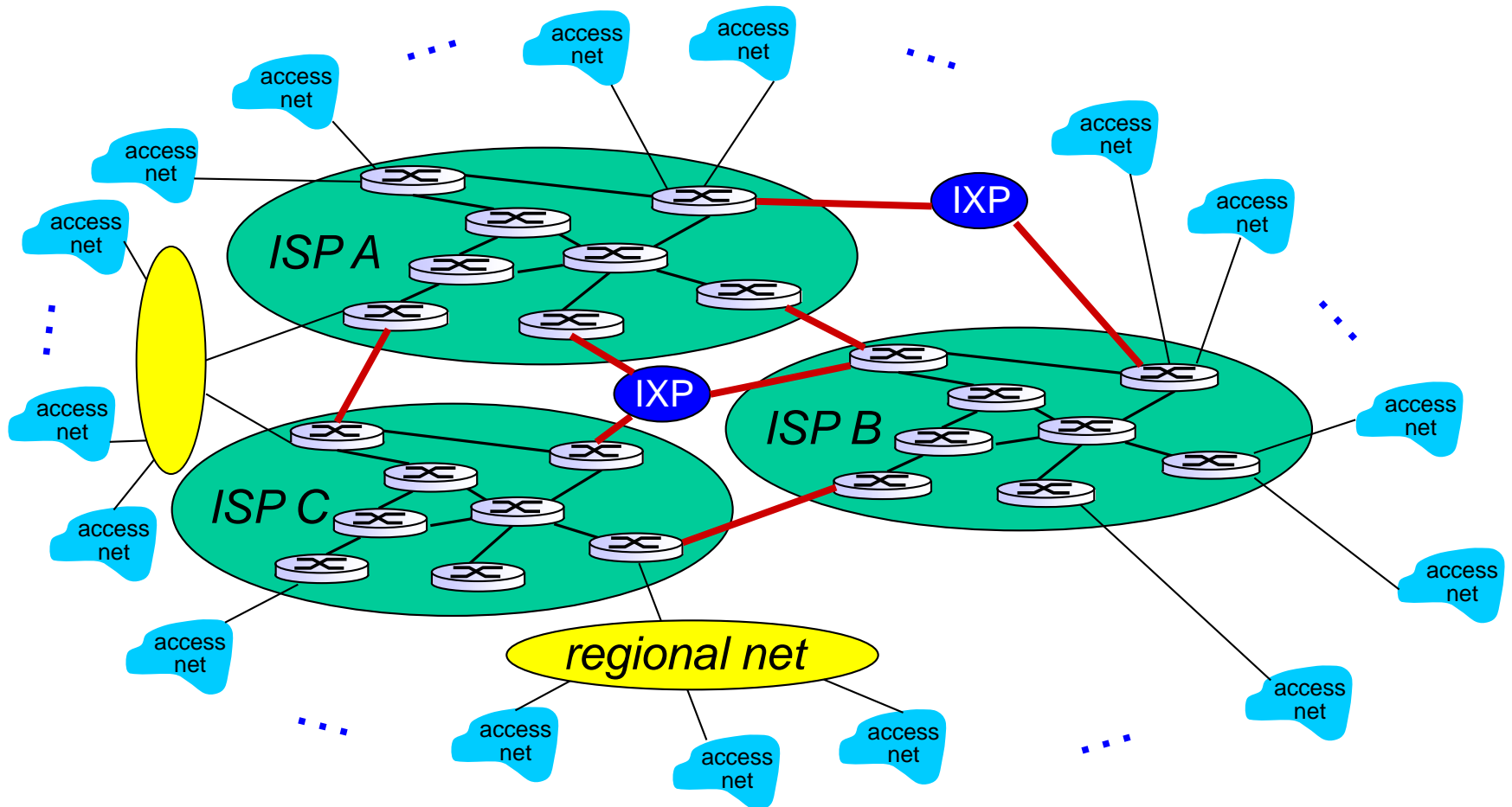
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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



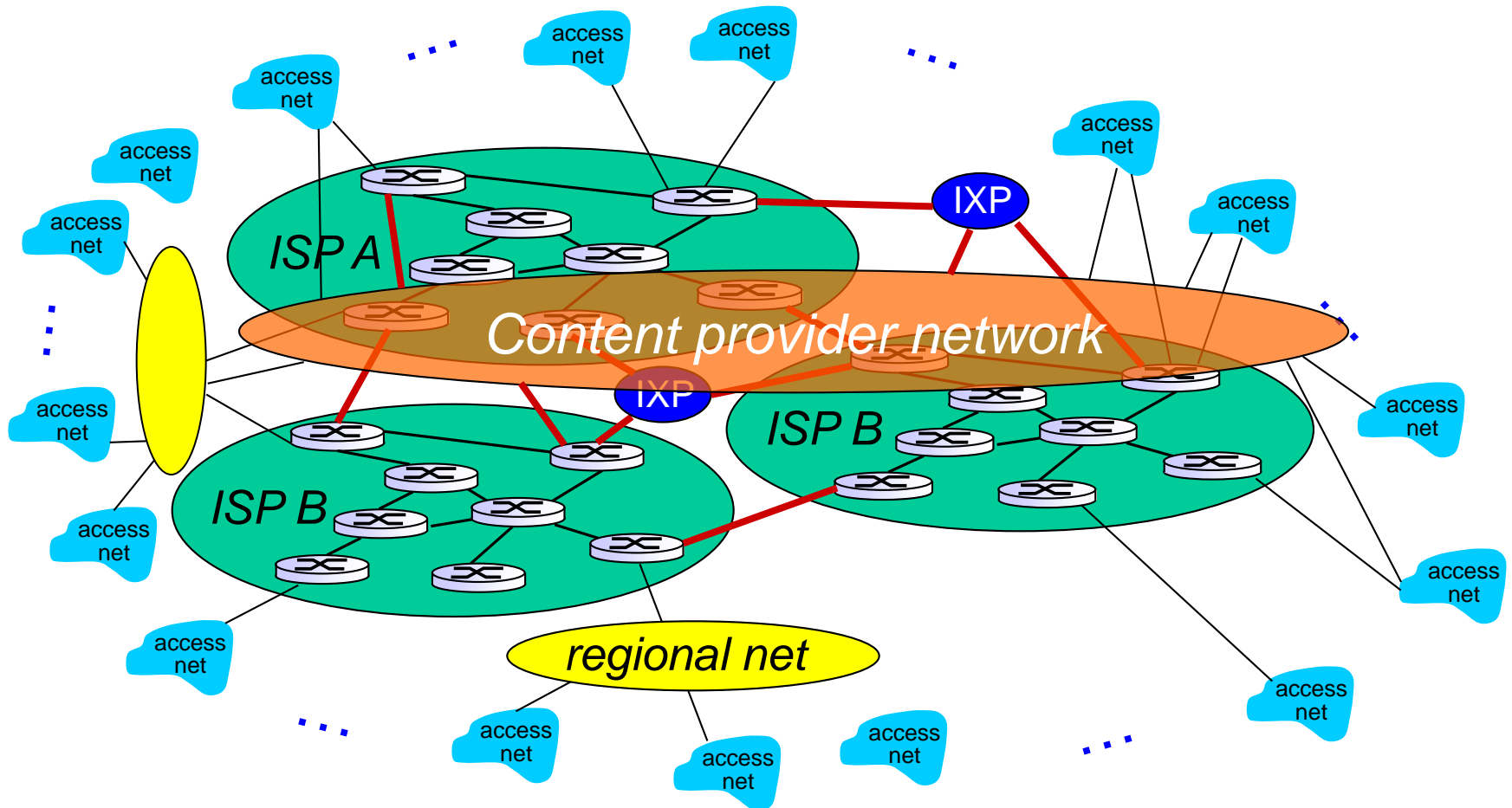
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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

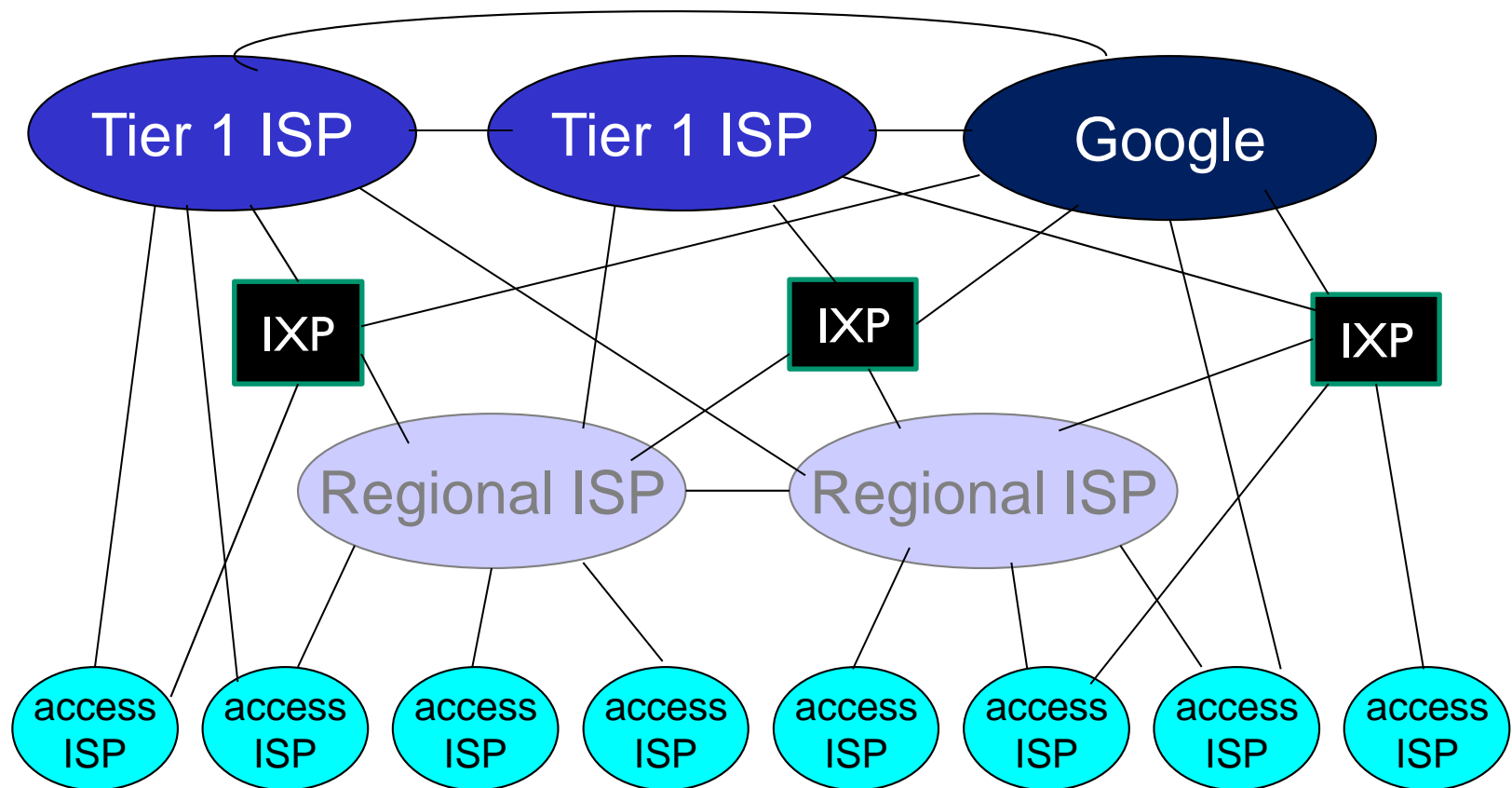


Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

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



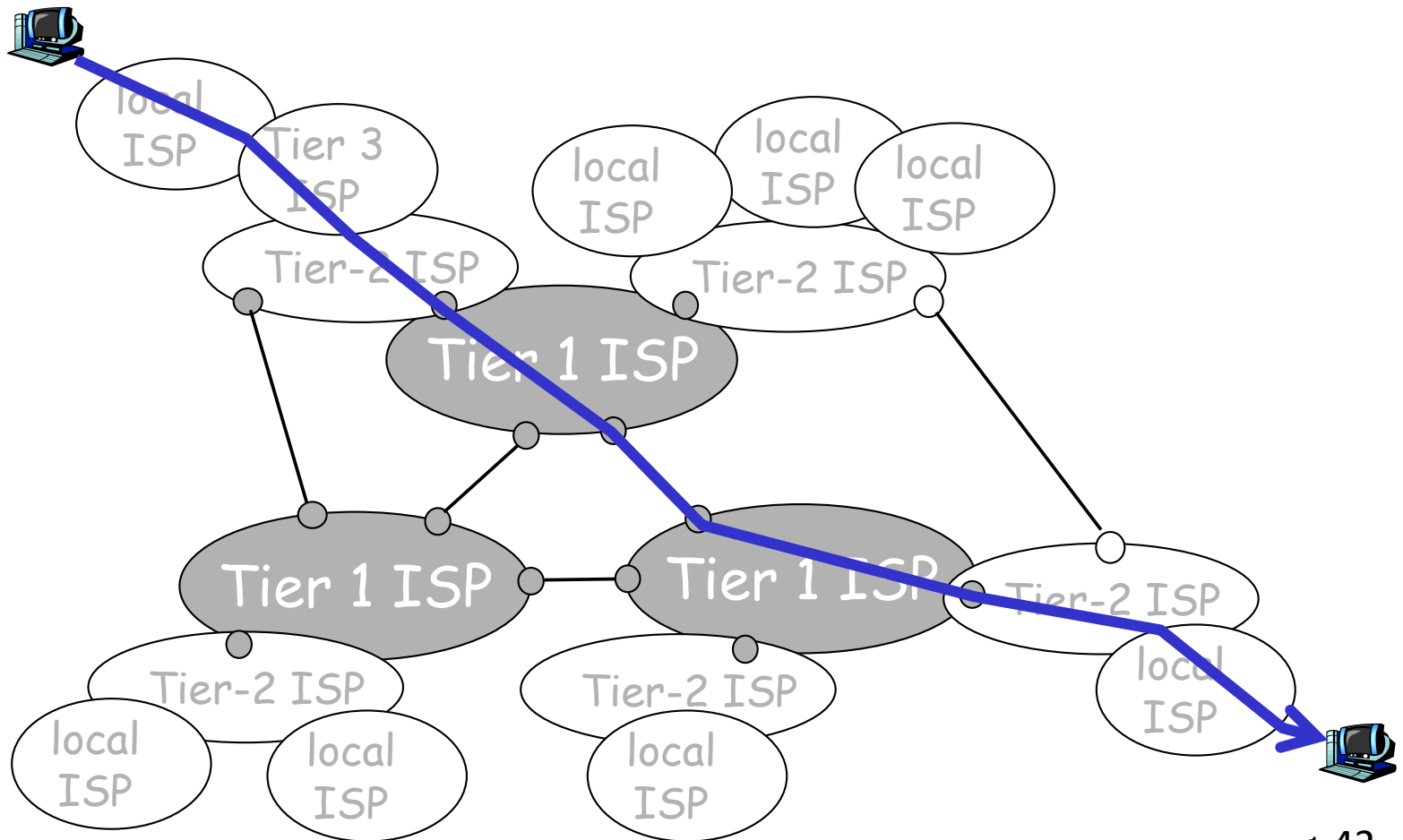
Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων



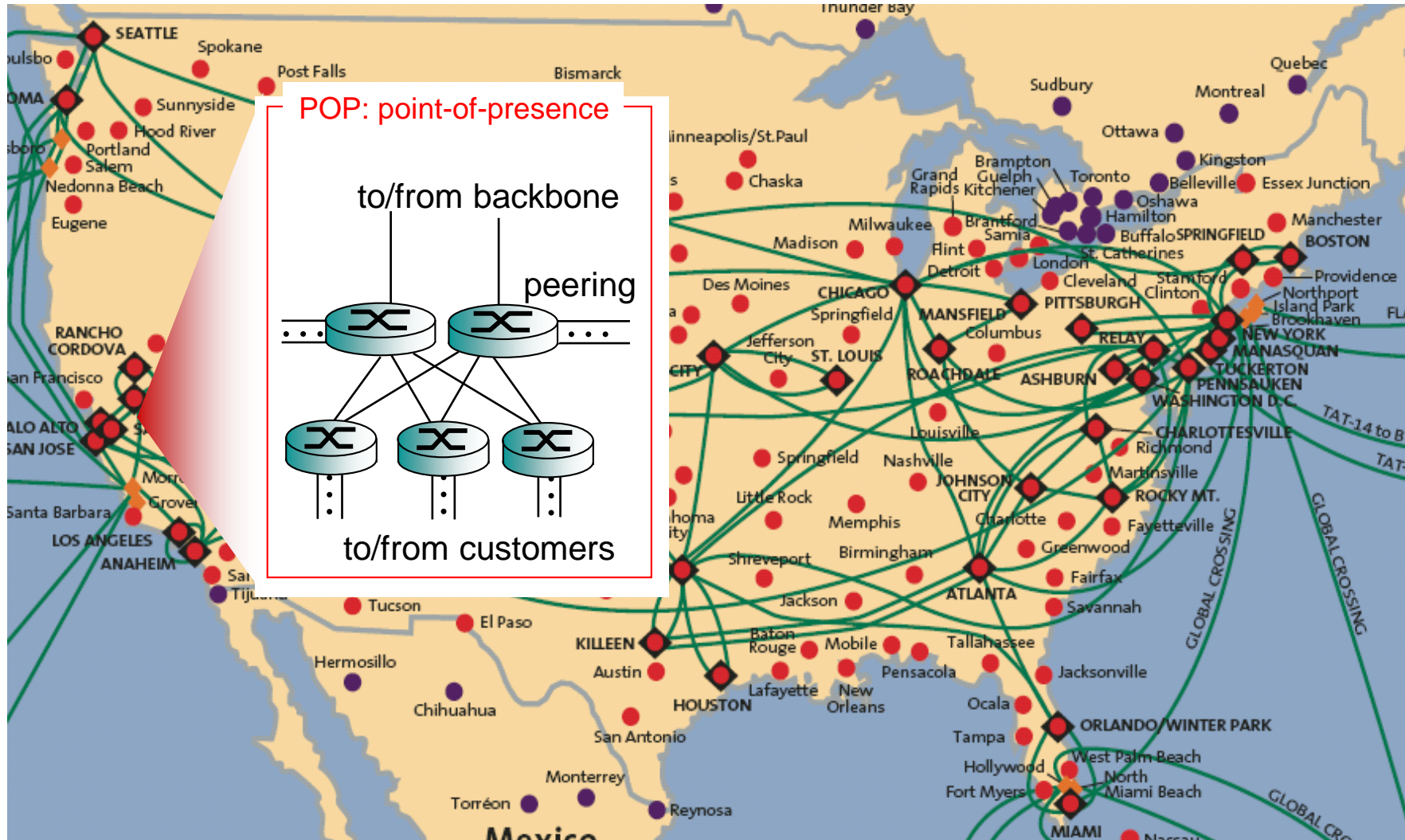
- ❖ Στο κέντρο: μικρός αριθμός καλο-διασυνδεδεμένων μεγάλων δικτύων
 - **"tier-1" εμπορικοί ISPs** (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), εθνική και διεθνής κάλυψη
 - **δίκτυο παροχέα περιεχομένου** (πχ, Google): ιδιωτικό δίκτυο που συνδέει τα κέντρα δεδομένων του στο Διαδίκτυο, συχνά παρακάμπτοντας tier-1, περιφερειακούς ISPs

Δομή του Διαδικτύου: δίκτυο δικτύων

- ❖ ένα πακέτο περνάει μέσα από πολλά δίκτυα!



Tier-I ISP: πχ, Sprint



Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, ζεύξεις

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

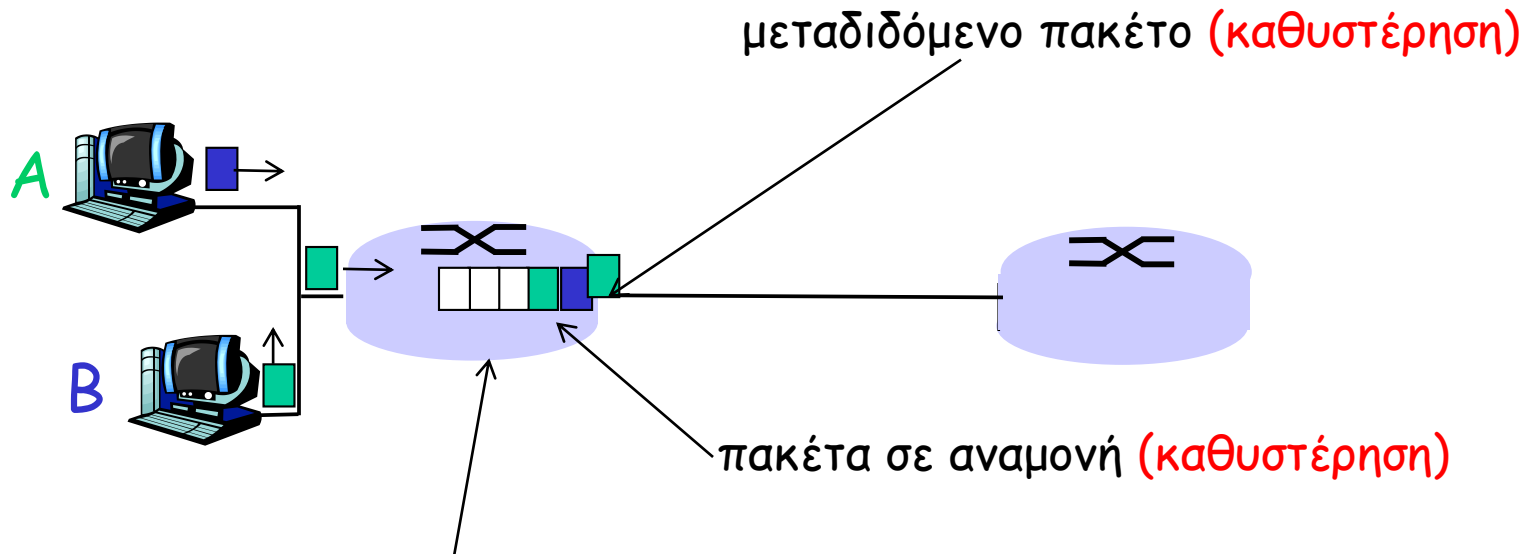
1.6 ασφάλεια

1.7 ιστορική αναδρομή

Απώλειες και καθυστερήσεις: πού οφείλονται;

Τα πακέτα μπαίνουν σε μια ουρά αναμονής στους ενταμιευτές (buffers) των δρομολογητών

- ❖ ο ρυθμός άφιξης πακέτων στη ζεύξη υπερβαίνει τη χωρητικότητα της ζεύξης εξόδου
- ❖ ουρά πακέτων, περιμένοντας τη σειρά να μεταδοθούν



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

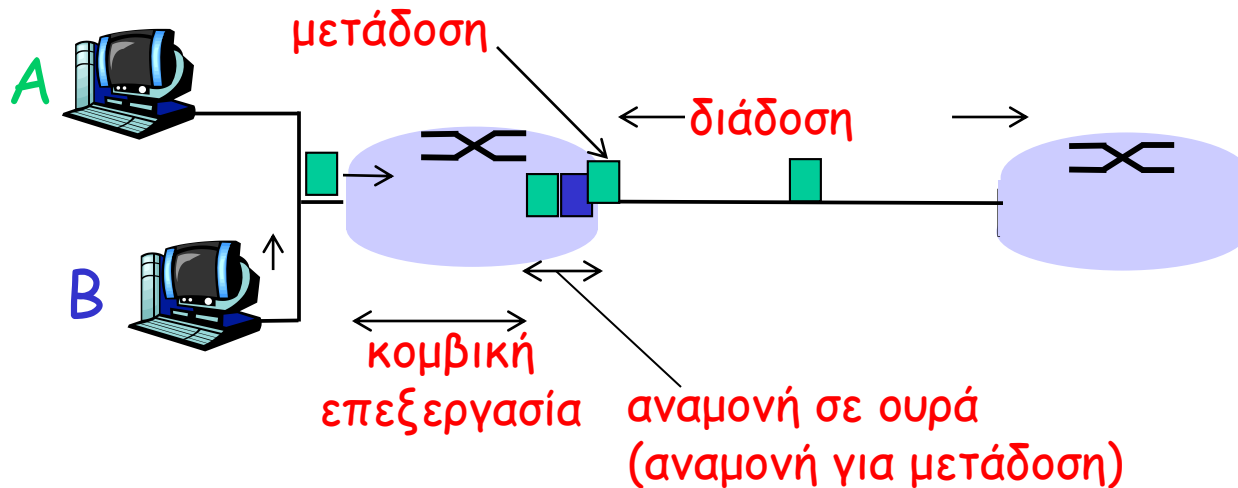
Τέσσερις συνιστώσες καθυστέρησης πακέτου

1. καθυστέρηση κομβικής επεξεργασίας

- έλεγχος σφαλμάτων επιπέδου bit
- καθορισμός ζεύξης εξόδου

2. καθυστέρηση αναμονής

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



Καθυστέρηση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου

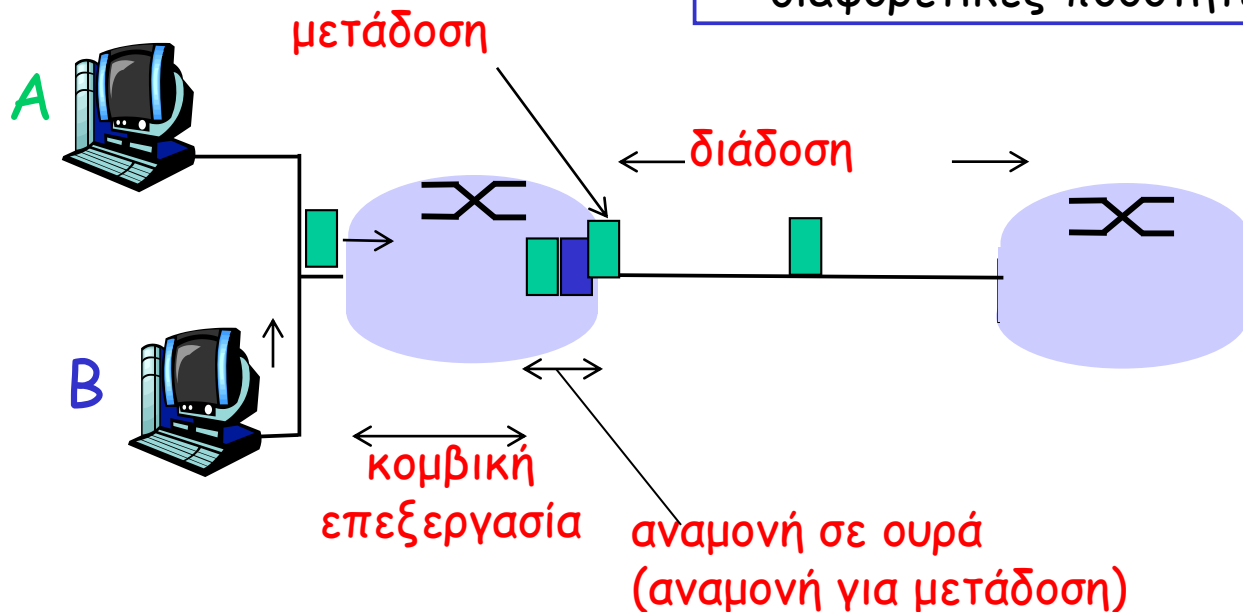
3. καθυστέρηση μετάδοσης:

- ❖ R = εύρος ζώνης ζεύξης (bps)
- ❖ L = μήκος πακέτου (bits)
- ❖ χρόνος αποστολής bits στη ζεύξη = L/R

4. καθυστέρηση διάδοσης:

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

Σημείωση: Τα s και R είναι εντελώς διαφορετικές ποσότητες!



Συνολική κομβική καθυστέρηση

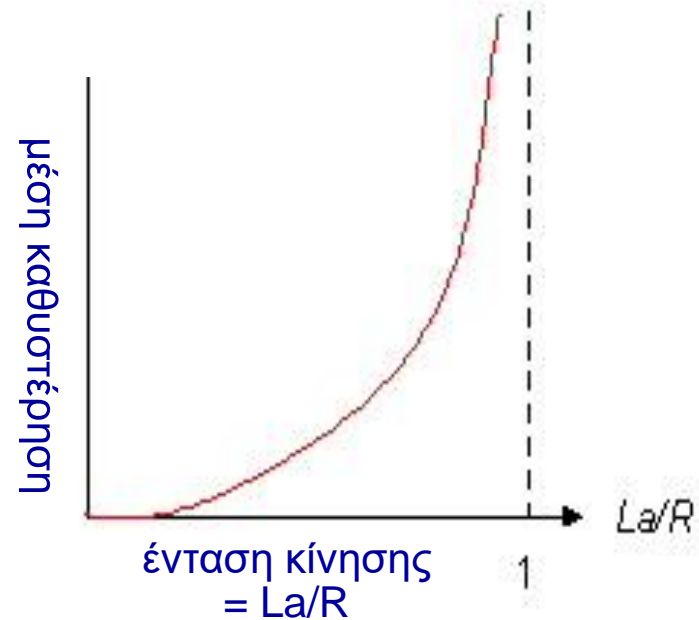
$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

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

Καθυστέρηση αναμονής

- Εύρος ζώνης ζεύξης (bps)
- L =μήκος πακέτου (bits)
- a =μέσος ρυθμός άφιξης πακέτων

average
queueing delay



- $La/R \sim 0$: μέση καθυστέρηση αναμονής μικρή
- $La/R \rightarrow 1$: καθυστερήσεις μεγαλώνουν
- $La/R > 1$: περισσότερη "κίνηση" φτάνει από όση μπορεί να εξυπηρετηθεί, μέση καθυστέρηση άπειρη!



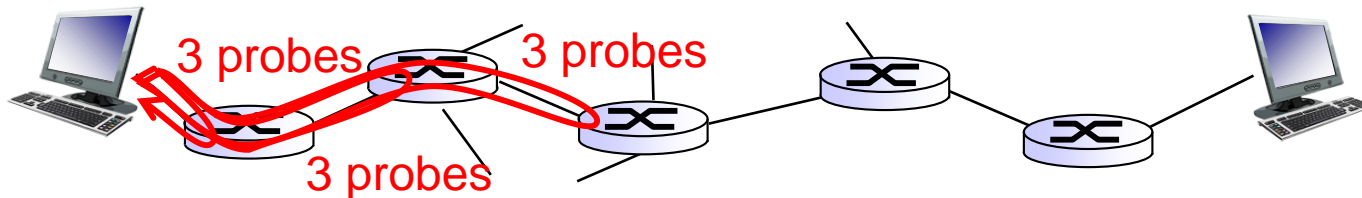
$La/R \sim 0$



$La/R \rightarrow 1$

Καθυστερήσεις και δρόμοι στο Διαδίκτυο


- ❑ **Πρόγραμμα Traceroute:** παρέχει μέτρηση καθυστερήσεων από την πηγή μέχρι κάθε δρομολογητή κατά μήκος της πλήρους διαδρομής στο Διαδίκτυο προς τον προορισμό.
- ❑ Για κάθε δρομολογητή i :
 - ❖ Η πηγή στέλνει τρία πακέτα που θα φτάσουν στον δρομολογητή i στη διαδρομή προς τον προορισμό
 - ❖ ο δρομολογητής i θα επιστρέψει πακέτα αναφοράς (ICMP) στον αποστολέα
 - ❖ ο πηγή καταγράφει το χρονικό διάστημα μεταξύ μετάδοσης και απόκρισης



Πραγματικές καθυστερήσεις 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



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 * * * * (απώλεια πακέτου, δρομολογητής δεν αποκρίνεται,...)
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms

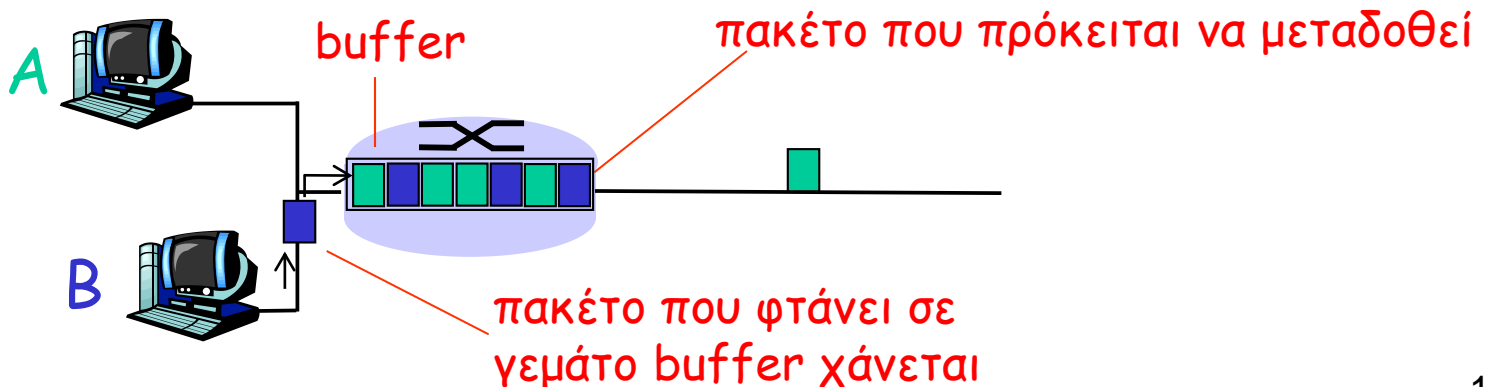
Υπο-Ατλαντική ζεύξη



* Δοκιμάστε το www.traceroute.org

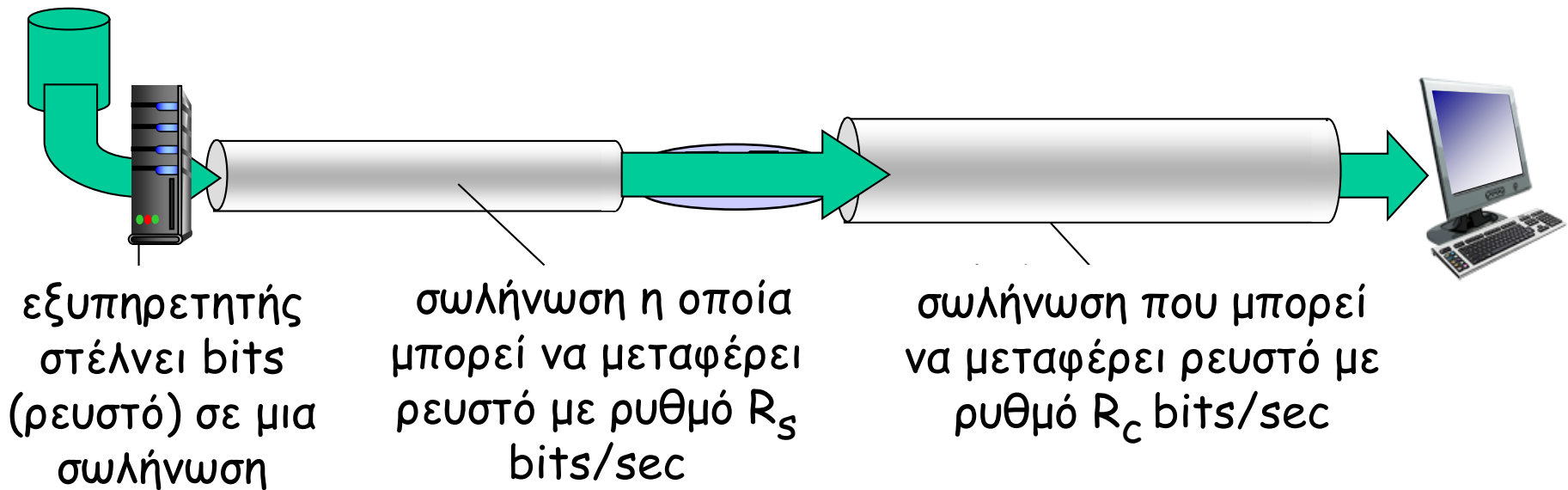
Απώλεια Πακέτων

- ❖ 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 μη επαναμεταδοθεί καθόλου



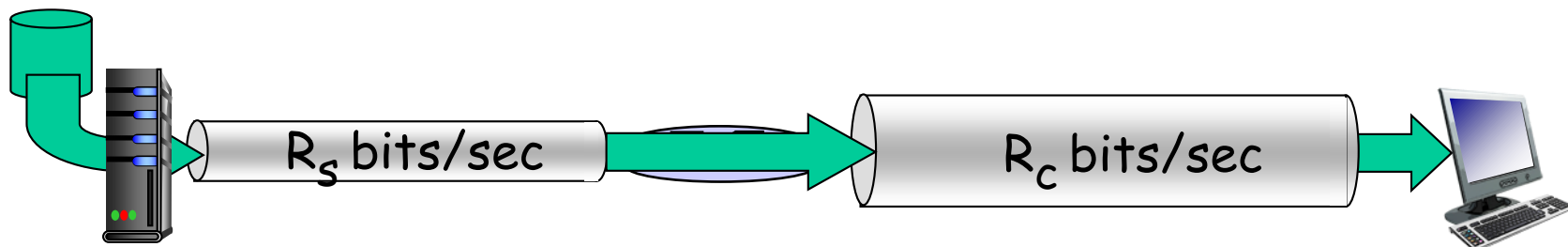
Ρυθμαπόδοση (Throughput)

- ❖ **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

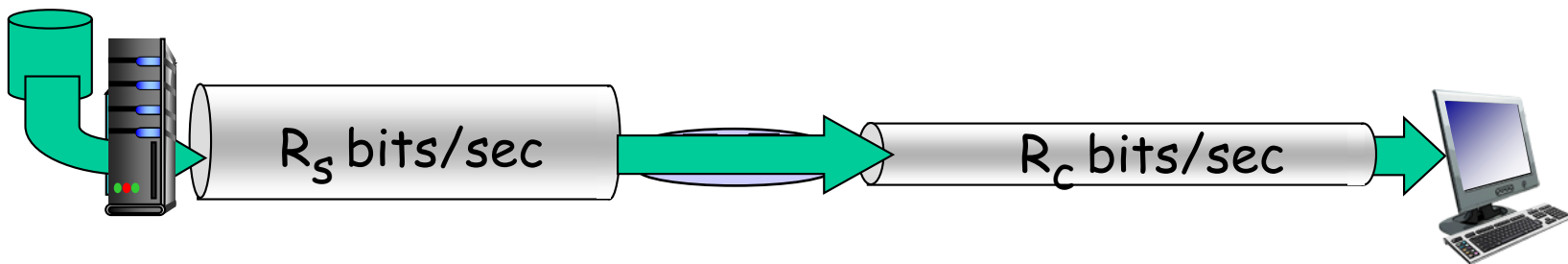


Ρυθμαπόδοση

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



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

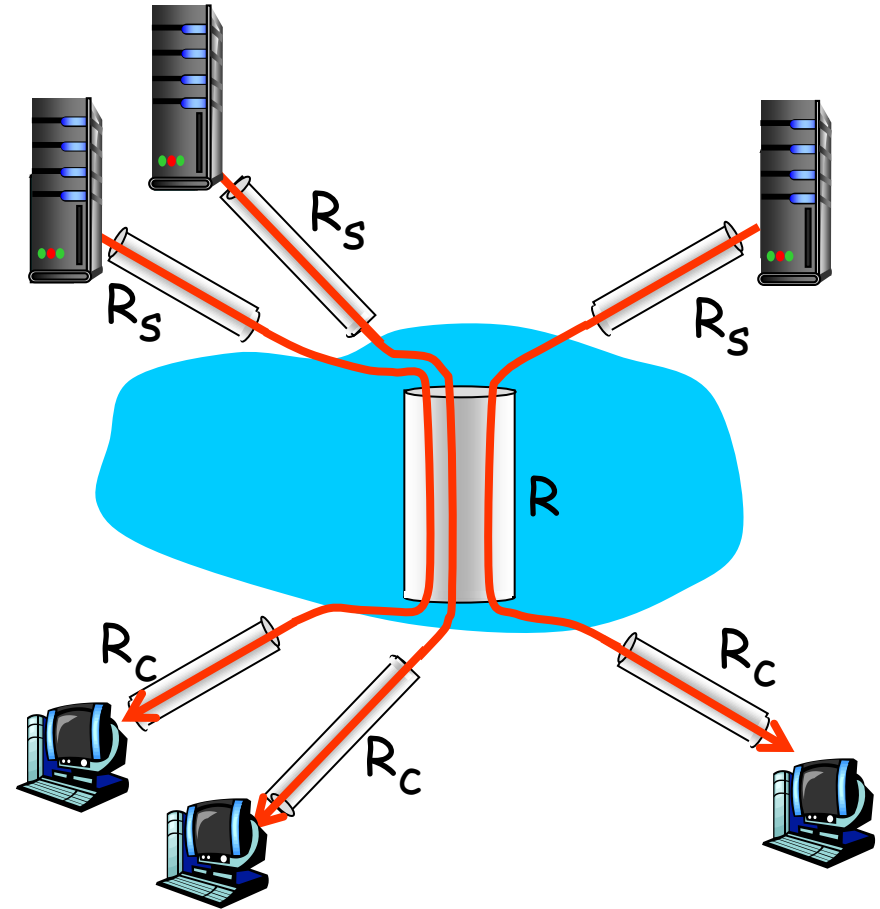


Ζεύξη συμφόρησης

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

Ρυθμαπόδοση: σενάριο Διαδικτύου

- ❖ ανά σύνδεση η από άκρο σε άκρο ρυθμαπόδοση είναι: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ❖ στην πράξη: συχνά η συμφόρηση οφείλεται στο R_c ή R_s



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

Κεφάλαιο I: Περιεχόμενα

I.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

I.2 Περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, γραμμές

I.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

I.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

I.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

I.6 ασφάλεια

I.7 ιστορική αναδρομή

“Επίπεδα” Πρωτοκόλλων

Τα δίκτυα είναι πολύπλοκα!

- ❖ 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;

ή τουλάχιστον της συζήτησής μας για τη δομή του δικτύου;

Οργάνωση αεροπορικού ταξιδιού

εισιτήριο (αγορά)

εισιτήριο (παράπονα)

αποσκευές (έλεγχος)

αποσκευές (παραλαβή)

πύλες (επιβίβαση)

πύλες (αποβίβαση)

τροχοδρόμηση για απογείωση

τροχοδρόμηση για προσγείωση

δρομολόγηση αεροπλάνου

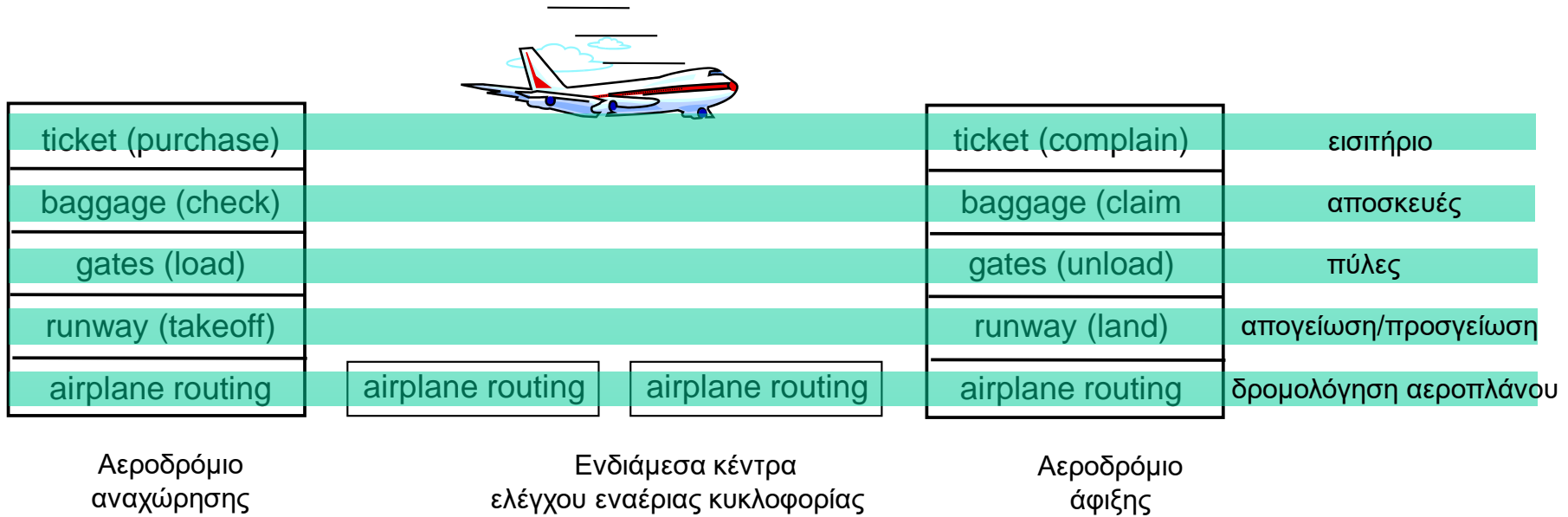
δρομολόγηση αεροπλάνου

δρομολόγηση αεροπλάνου



❖ μια σειρά βημάτων

Οργάνωση σε διαδοχικά επίπεδα λειτουργικότητας αεροπορικής εταιρείας



Επίπεδα: κάθε επίπεδο υλοποιεί μια υπηρεσία

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

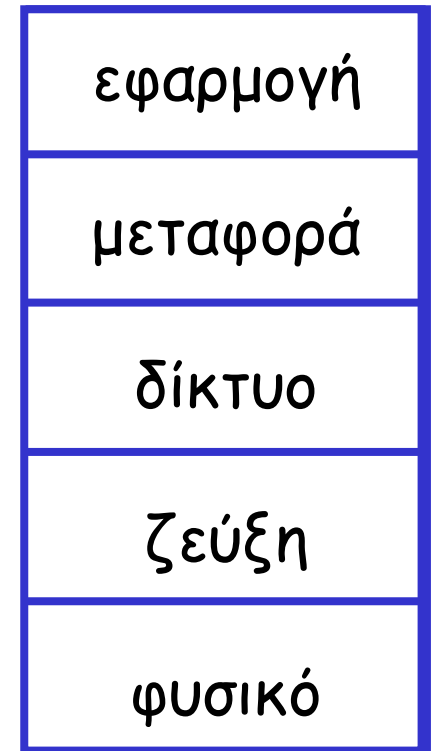
Οργάνωση σε επίπεδα – γιατί;

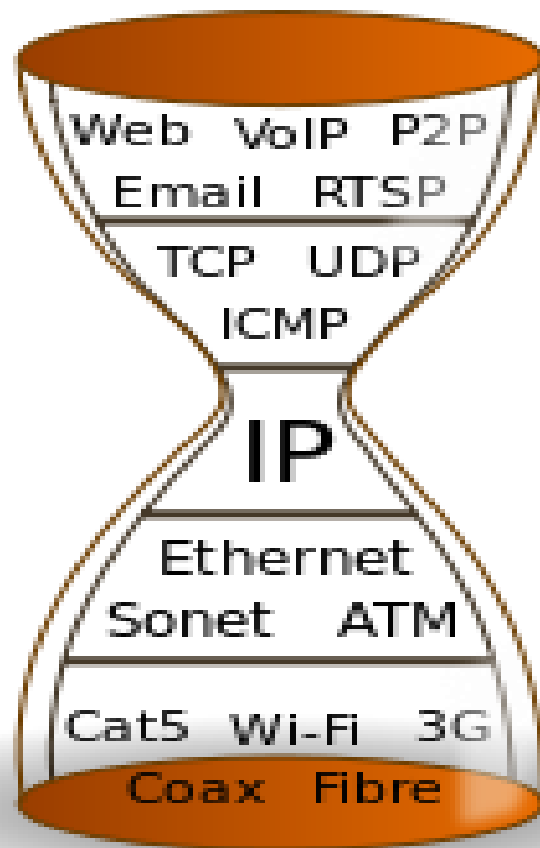
Διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων:

- ❖ 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
- ❖ Η οργάνωση σε επίπεδα έχει και μειονεκτήματα;

Στοίβα Πρωτοκόλλων Διαδικτύου

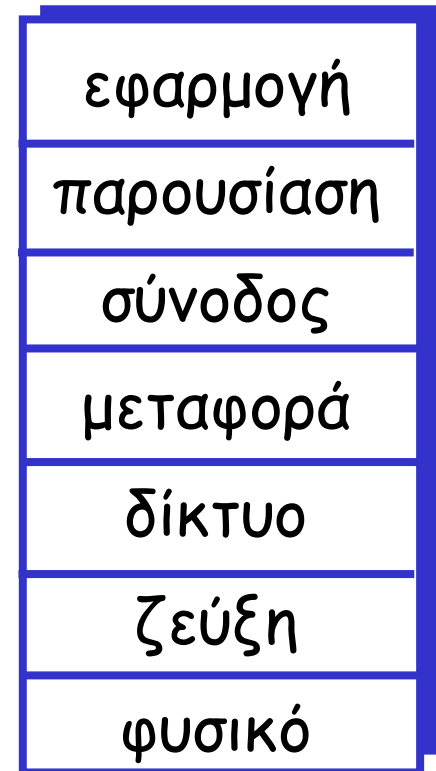
- ❖ **εφαρμογή (application)**: υποστήριξη δικτυακών εφαρμογών
 - **FTP, SMTP, HTTP**
- ❖ **μεταφορά (transport)**: μεταφορά μηνυμάτων επιπέδου εφαρμογής από άκρο-σε-άκρο της εφαρμογής
 - **TCP, UDP**
- ❖ **δίκτυο (network)**: δρομολόγηση δεδομενογραμμάτων (datagrams) από πηγή σε προορισμό
 - **IP, πρωτόκολλα δρομολόγησης**
- ❖ **ζεύξη (link)**: μεταφορά δεδομένων (πλαισίων) μεταξύ γειτονικών στοιχείων δικτύου
 - **PPP, Ethernet, 802.11 (WiFi)**
- ❖ **φυσικό (physical)**: bits “πάνω στη γραμμή”, μετάδοση bits μεταξύ γειτονικών κόμβων





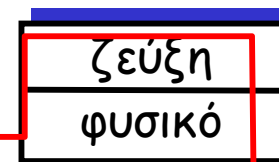
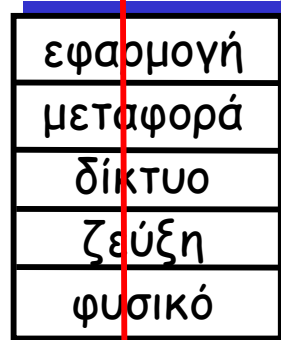
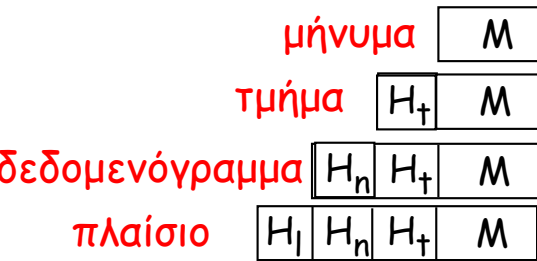
Μοντέλο αναφοράς ISO/OSI

- ❖ **Παρουσίαση (presentation):** επιτρέπει σε επικοινωνούσες εφαρμογές να ερμηνεύουν τη σημασία των δεδομένων που ανταλλάσσονται, π.χ., κρυπτογράφηση δεδομένων, συμπίεση δεδομένων, περιγραφή δεδομένων
- ❖ **σύνοδος (session):** παρέχει οριοθέτηση και συγχρονισμό της ανταλλαγής δεδομένων, υπηρεσίες που περιλαμβάνουν ένα σχήμα ελέγχου και ανάκτησης.
- ❖ Το Διαδίκτυο δεν έχει αυτά τα δύο επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI
 - αυτές οι υπηρεσίες, αν είναι απαραίτητες, πρέπει να υλοποιηθούν στην εφαρμογή
 - είναι απαραίτητες;



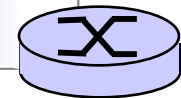
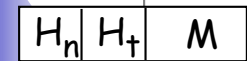
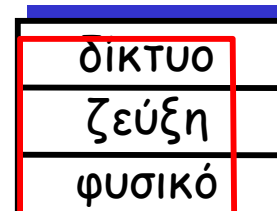
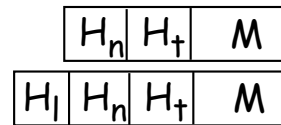
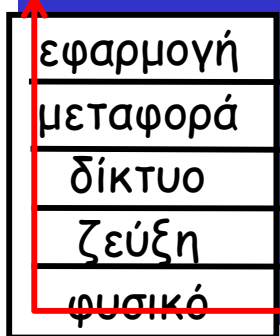
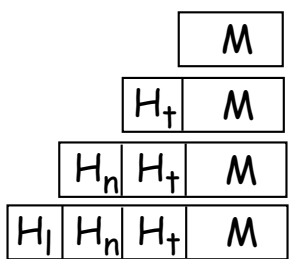
Ενθυλάκωση

προέλευση



μεταγωγέας

προορισμός



δρομολογητής

Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, γραμμές

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

1.6 **ασφάλεια**

1.7 ιστορική αναδρομή

Ασφάλεια Δικτύου

❖ Πεδίο ασφάλειας δικτύου

- Πώς οι «κακοί» μπορούν να επιτεθούν σε δίκτυα υπολογιστών;
- Πώς μπορούμε να υπερασπίσουμε τα δίκτυα έναντι επιθέσεων;
- Πώς να σχεδιάσουμε αρχιτεκτονικές που είναι απρόσβλητες από επιθέσεις;

❖ Το Διαδίκτυο δεν σχεδιάστηκε αρχικά με γνώμονα την ασφάλειά του

- αρχικός σχεδιασμός: με βάση "μια ομάδα χρηστών με αμοιβαία εμπιστοσύνη σε ένα διαφανές δίκτυο" 😊
- σχεδιαστές πρωτοκόλλων του Διαδικτύου έπρεπε να «καλύψουν το κενό»
- ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα!

Ασφάλεια Δικτύου

επιθέσεις στην υποδομή του Διαδικτύου

- μόλυνση/επίθεση στους τερματικούς υπολογιστές :
κακόβουλο λογισμικό (malware), λογισμικό κατασκοπείας (spyware), σκουλήκια (worms), μη πιστοποιημένη πρόσβαση (υποκλοπή δεδομένων, λογαριασμοί χρηστών)
- άρνηση παροχής υπηρεσίας (denial of service): άρνηση πρόσβασης στους πόρους (εξυπηρετητές, εύρος ζώνης ζεύξης)

Οι κακοί: βάζουν κακόβουλο λογισμικό στους υπολογιστές του Διαδικτύου

❖ Αιτίες μόλυνσης:

- **Ιός** : αυτο-αναπαραγόμενη μόλυνση με την λήψη/εκτέλεση αντικειμένου (πχ, e-mail attachment)
- **Σκουλήκι**: αυτο-αναπαραγόμενη μόλυνση με την παθητική λήψη αντικειμένου που εκτελείται από μόνο του

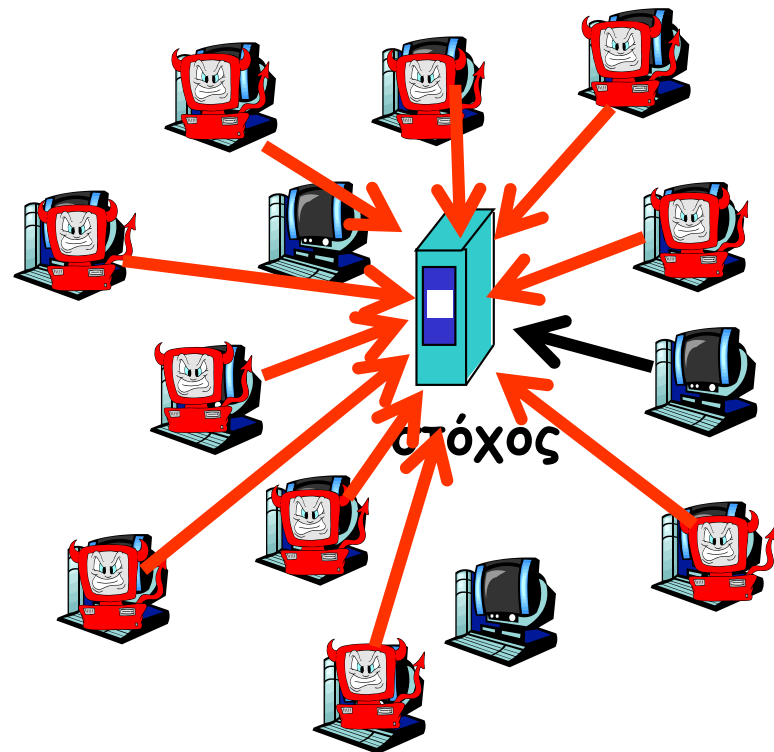
❖ Λογισμικό κατασκοπείας

- συλλέγει προσωπικές πληροφορίες, όπως πληκτρολογήσεις, επισκεφθείσες ιστοσελίδες, κωδικούς, συνθηματικά
- ❖ Ο μολυσμένος υπολογιστής συμμετέχει σε spam και επιθέσεις άρνησης υπηρεσίας (DoS attacks)

Επιθέσεις άρνησης παροχής υπηρεσίας (Denial of service attacks)

- ❖ Οι επιτιθέμενοι κάνουν τους πόρους (εξυπηρετητές, εύρος ζώνης) μη διαθέσιμους για την κανονική κίνηση υπερφορτώνοντας τον πόρο με εικονική κίνηση

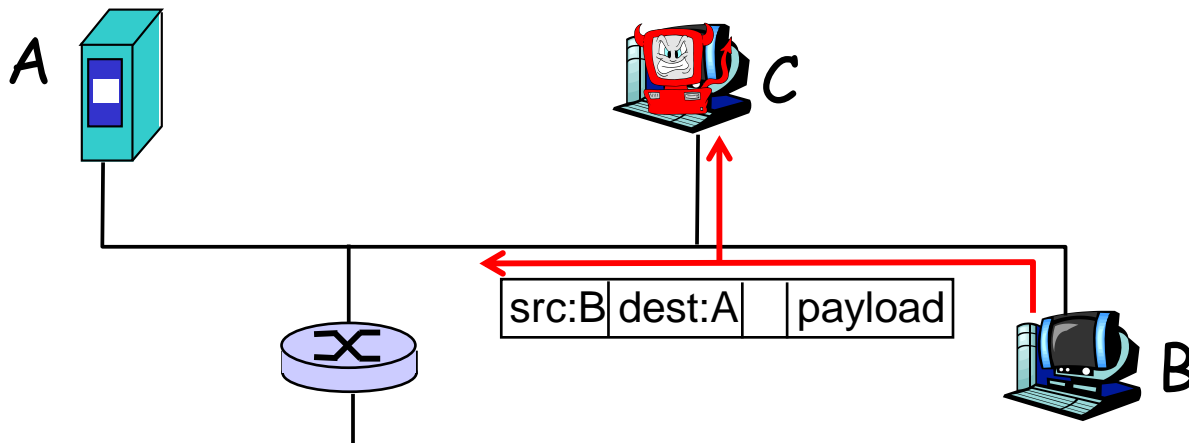
1. επιλογή στόχου (target)
2. επίθεση στους υπολογιστές υπηρεσίας του δικτύου (βλέπε κακόβουλο λογισμικό)
3. αποστολή πακέτων προς το στόχο από παραβιασμένους υπολογιστές υπηρεσίας



Αδιάκριτη καταγραφή πακέτων

Packet sniffing

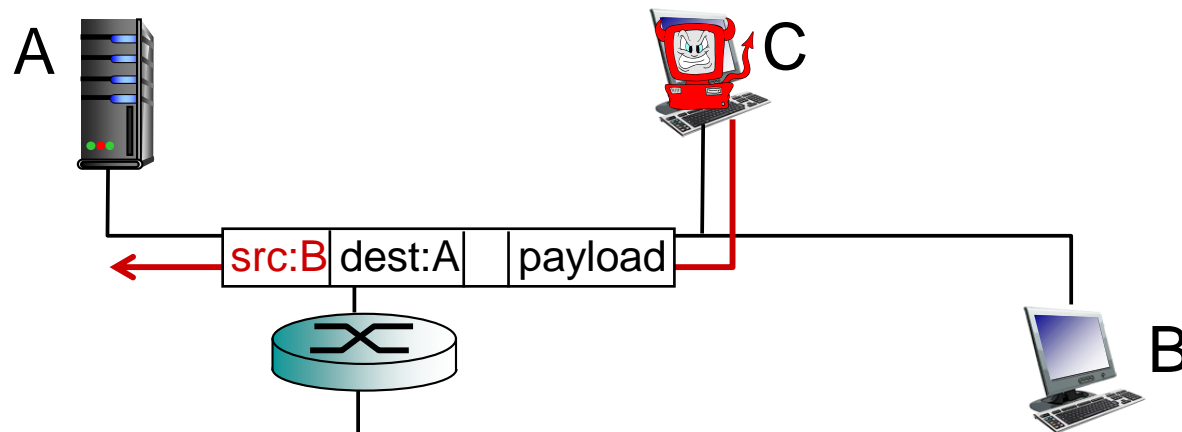
- broadcast media (διαμοιραζόμενο Ethernet, ασύρματο)
- «αδιάκριτη» δικτυακή διεπαφή διαβάζει/καταγράφει όλα τα πακέτα που περνούν από αυτήν (κλέβει συνηθματικά!)



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

Οι κακοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν ψεύτικες διευθύνσεις

IP spoofing: στέλνει πακέτο με ψεύτικη διεύθυνση πηγής



... περισσότερα στο κεφάλαιο 8 του βιβλίου

Κεφάλαιο 1: περιεχόμενα

1.1 τι είναι το Διαδίκτυο;

1.2 περιφέρεια δικτύου

- τερματικά συστήματα, δίκτυα πρόσβασης, γραμμές

1.3 πυρήνας δικτύου

- μεταγωγή πακέτου/κυκλώματος (packet/circuit switching), δομή δικτύου

1.4 απώλειες, καθυστέρηση, ρυθμαπόδοση δικτύου

1.5 επίπεδα (layers) πρωτοκόλλων, μοντέλα υπηρεσιών

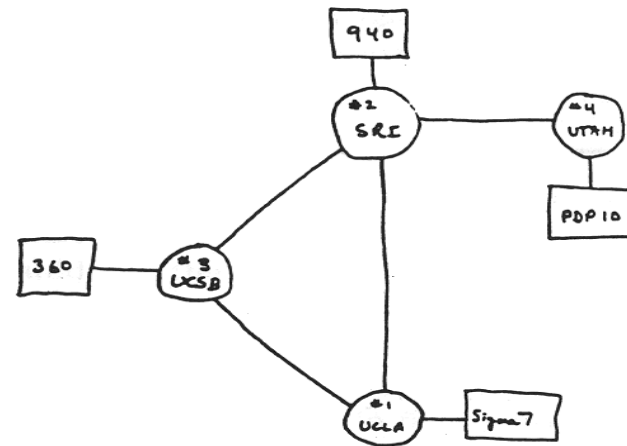
1.6 ασφάλεια

1.7 ιστορική αναδρομή

Ιστορία Διαδικτύου

1961-1972: Πρώιμες αρχές μεταγωγής πακέτου

- ❖ **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

Ιστορία 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 του 70's:** ιδιοταγείς αρχιτεκτονικές: DECnet, SNA, XNA
- ❖ **τέλη δεκαετίας του 70's:** μεταγωγή πακέτων σταθερού μήκους (πρόδρομος του ATM)
- ❖ **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

Ιστορία 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 συμφόρησης στο TCP
- ❖ νέα εθνικά δίκτυα: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❖ 100,000 hosts συνδεδεμένοι σε συνομοσπονδία δικτύων

Ιστορία Διαδικτύου

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

- ❖ Αρχή δεκαετίας 1990: παύει να υπάρχει το ARPAnet
- ❖ 1991: Η NSF άρει τους περιορισμούς σχετικά με τη χρήση του NSFnet για εμπορικούς σκοπούς (παύση 1995)
- ❖ Αρχές δεκαετίας 1990: Web
 - υπερκείμενο (hypertext) [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, έπειτα Netscape
 - τέλη δεκαετίας 1990: εμπορευματοποίηση του Web
- ❖ Τέλη δεκαετίας 1990 – αρχές 2000:
 - ❖ περισσότερες εφαρμογές: instant messaging, P2P file sharing
 - ❖ ασφάλεια δικτύου στο προσκήνιο
 - ❖ 50 εκατομμύρια hosts, περισσότεροι από 100 εκατομμύρια χρηστές
 - ❖ οι ζεύξεις του κορμού του Διαδικτύου μεταδίδουν με ρυθμούς της τάξης των Gbps

Ιστορία του Διαδικτύου

2005-σήμερα

- ❖ δισεκατομμύρια τερματικά
 - Smartphones και tablets
- ❖ Επιθετική εξάπλωση της ευρυζωνικής πρόσβασης
- ❖ Αυξανόμενη παρουσία ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης
- ❖ Ανάδειξη των κοινωνικών δικτύων:
 - Facebook: σύντομα ένα δισεκατομμύριο χρήστες
- ❖ Παροχείς υπηρεσιών (Google, Microsoft) δημιουργούν τα δικά τους δίκτυα
 - παρακάμπτουν το Διαδίκτυο, παρέχοντας άμεση πρόσβαση σε αναζήτηση, email, κλπ.
- ❖ e-commerce, πανεπιστήμια, επιχειρήσεις τρέχουν τις υπηρεσίες τους στο "σύννεφο"

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδεια Χρήσης

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,
Μεράκος Λάζαρος 2015. «Δίκτυα Επικοινωνιών Ι. Ενότητα 1:
Εισαγωγή». Έκδοση: 1.01. Αθήνα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI19>

Χρηματοδότηση

- ❖ Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- ❖ Το έργο «**Ανοικτά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- ❖ Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ