

Εισαγωγή – Βασικές Έννοιες Δικτύων Δεδομένων

Τμήμα Πληροφορικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,
Παν/μιο Θεσσαλίας

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

I. Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet, Jim Kurose, Keith Ross, 6th edition, Addison-Wesley (οι διαφάνειες του μαθήματος βασίζονται κυρίως σε αυτό το βιβλίο)

II. Δίκτυα Υπολογιστών, μια προσέγγιση από την πλευρά των συστημάτων, L. Peterson, B.S. Davie, Κλειδάριθμος.

Στόχοι της Ενότητας

- Η παρουσίαση βασικών εννοιών των επικοινωνιών δεδομένων
- Η παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του Internet και των τεχνικών σύνδεσης σε αυτό
- Η επισκόπηση των εννοιών της μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής πακέτου
- Η εισαγωγή στις έννοιες της καθυστέρησης και των απωλειών στα δίκτυα δεδομένων

Ορισμός

- Λέγοντας **δίκτυο υπολογιστών** εννοούμε μια διασυνδεδεμένη συλλογή από αυτόνομους υπολογιστές
- Δύο υπολογιστές καλούνται διασυνδεδεμένοι, αν είναι σε θέση να ανταλλάξουν πληροφορίες. Η σύνδεση μπορεί να επιτυγχάνεται με μια ποικιλία μέσων μετάδοσης
- Σε αντίθεση με ένα δίκτυο υπολογιστών, ένα **κατανεμημένο σύστημα** (distributed system) αποτελείται από διασυνδεδεμένους υπολογιστές οι οποίοι, διαφανώς προς το χρήστη, αναλαμβάνουν τη βέλτιστη διεκπεραίωση των διεργασιών του στους κατάλληλους υπολογιστές του κατανεμημένου συστήματος

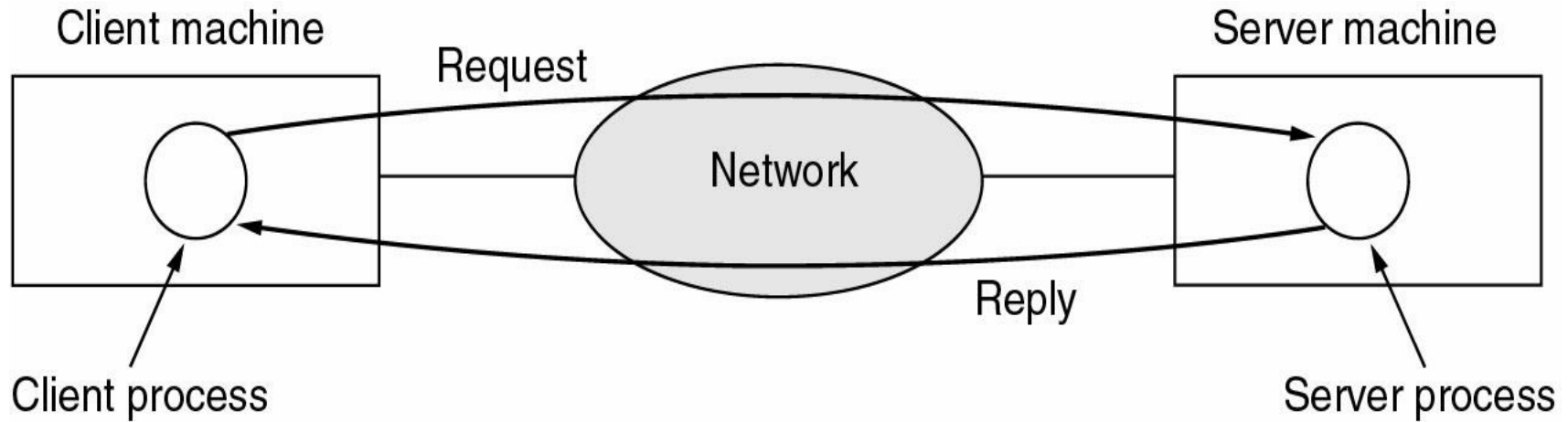
Χρήσεις των Δικτύων Υπολογιστών

- Τα δίκτυα υπολογιστών χρησιμοποιούνται τόσο στο επιχειρηματικό όσο και στο κοινωνικό πεδίο δραστηριοτήτων των ανθρώπων
- Τα δίκτυα στις επιχειρήσεις παρέχουν συνεργασία, καταμερισμό πόρων (resource sharing), υψηλή αξιοπιστία (high availability) και εξοικονόμηση χρημάτων
- Τα δίκτυα στο κοινωνικό πεδίο προσφέρουν δυνατότητες επικοινωνίας, πρόσβασης σε απομακρυσμένες πληροφορίες, ηλεκτρονικές συναλλαγές, διασκέδαση

Εφαρμογές Ηλεκτρονικού Εμπορίου

Tag	Full name	Example
B2C	Business-to-consumer	Ordering books on-line
B2B	Business-to-business	Car manufacturer ordering tires from supplier
G2C	Government-to-consumer	Government distributing tax forms electronically
C2C	Consumer-to-consumer	Auctioning second-hand products on-line
P2P	Peer-to-peer	File sharing

Αρχιτεκτονική Εφαρμογών σε Δίκτυα Υπολογιστών



Το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server model) είναι ένα διαδομένο μοντέλο ανάπτυξης και χρήσης δικτυακών εφαρμογών

Πως θα μπορούσε να περιγράψει κανείς το Internet;



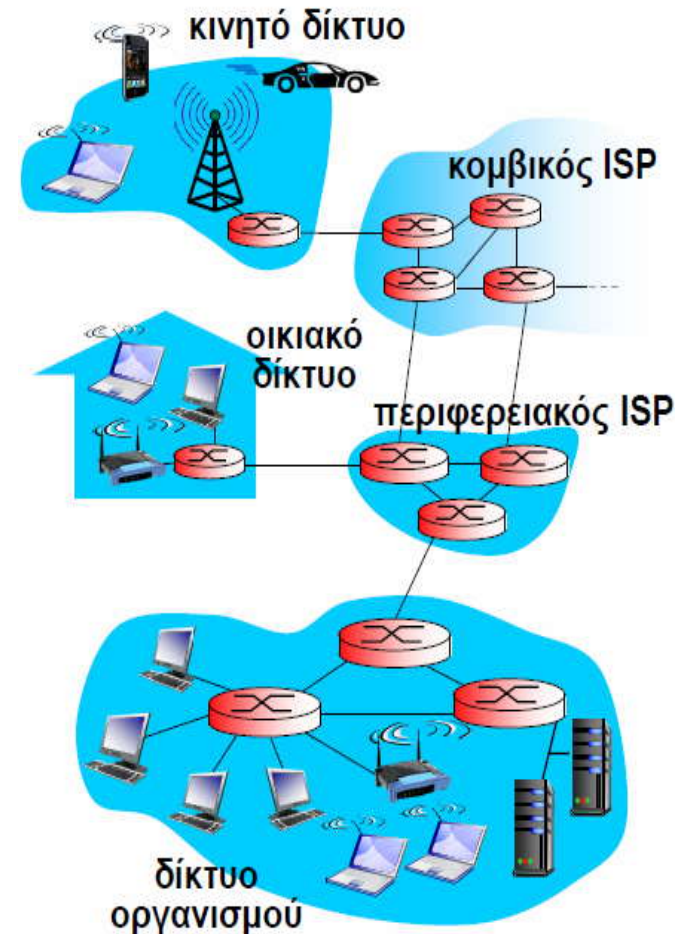
Εκατομμύρια συνδεδεμένες υπολογιστικές συσκευές:

-κόμβοι = τελικά συστήματα εκτελούν δικτυακές εφαρμογές

Τηλεπικοινωνιακά κυκλώματα

-οπτική ίνα, χαλκός, μικροκυμματικά, δορυφορικά
-Ρυθμός μετάδοσης: εύρος ζώνης (bandwidth)

Δρομολογητές (routers) και μεταγωγείς (switches): προωθούν δεδομένα (σε μορφή πακέτων)



Πως θα μπορούσε να περιγράψει κανείς το Internet;

Internet: “**ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**”

— Διασυνδεδεμένοι
ISPs

— Πρωτόκολλα
(protocols), ελέγχουν
την αποστολή και λήψη
δεδομένων

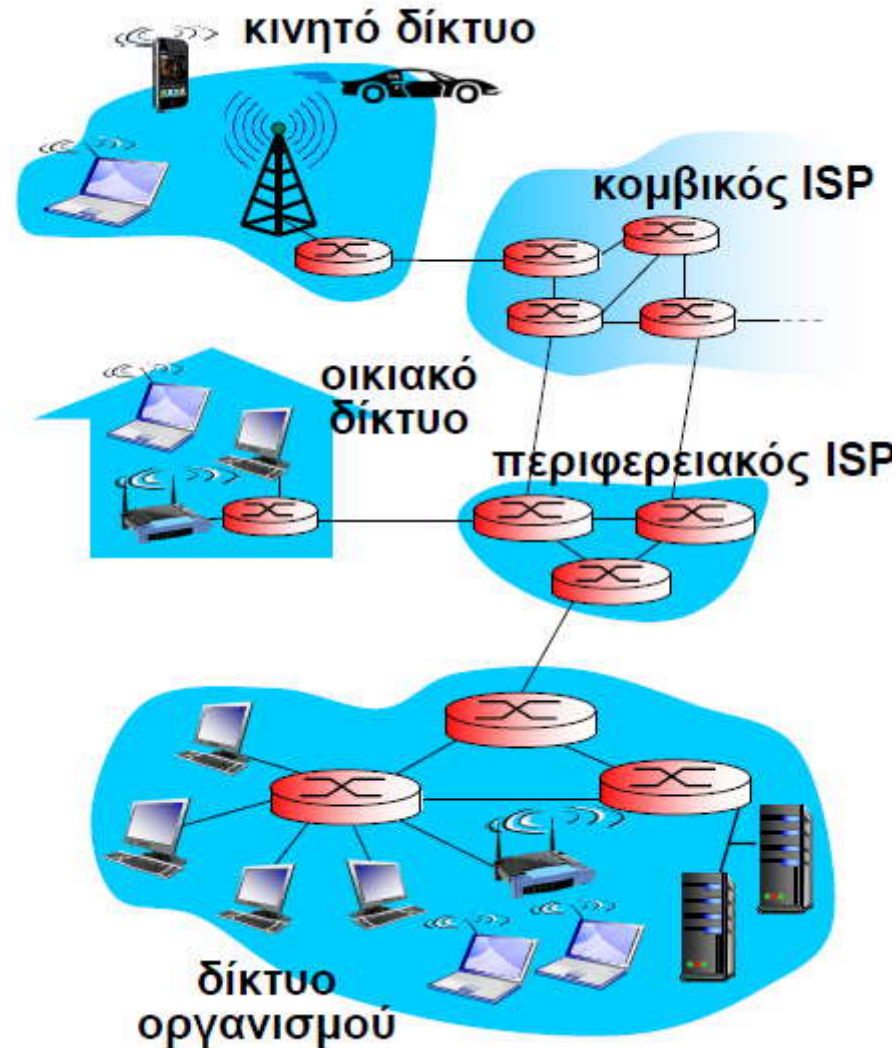
π.χ., TCP, IP, HTTP,
Skype, 802.11

— Τυποποιήσεις στο

Διαδίκτυο:

RFC: Request for
comments

IETF: Internet
Engineering Task
Force



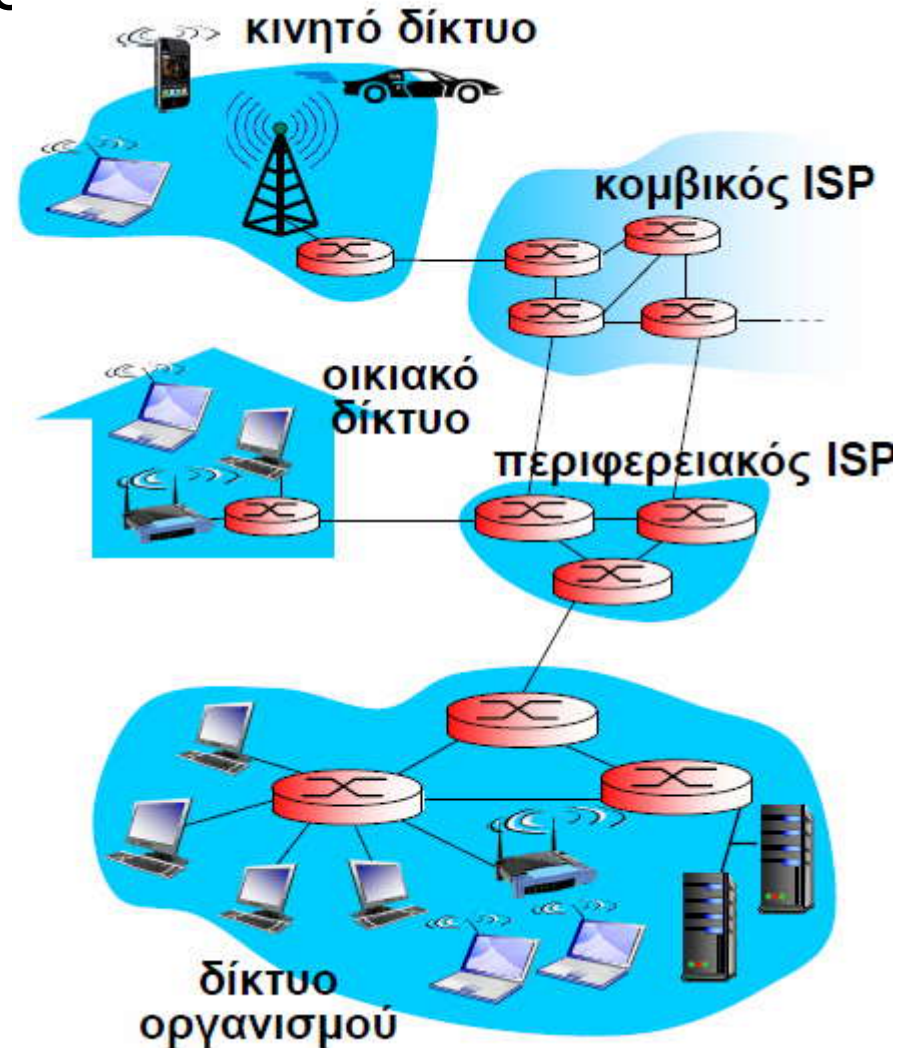
Το Internet από την άποψη των υπηρεσιών

Υποδομή που παρέχει υπηρεσίες στις εφαρμογές: Web, VoIP, e-mail, games, e-commerce, κοινωνικά δίκτυα..

—Παρέχει **προγραμματιστική διεπαφή** στις εφαρμογές

*επιτρέπει στα προγράμματα που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα να «συνδέονται» στο Internet

*οι εφαρμογές μπορούν να διαλέξουν το είδος της υπηρεσίας που θα χρησιμοποιήσουν



Πως συνδεόμαστε στο Internet;

— Ως **οικιακοί χρήστες**: με συνδέσεις σημείο-προς-σημείο (**point-to-point**) τύπου xDSL

— Ως **δίκτυα οργανισμών/εταιρειών**: με χρήση **τεχνολογιών τοπικών δικτύων** (ενσύρματων και ασύρματων), δρομολογητών (**routers**) και τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων ευρείας περιοχής (**wide area communication links**) σε περιφερειακούς παροχείς υπηρεσιών Internet (**Internet Service Providers - ISPs**) μέσω αυτών και των συνδέσεων τους με κεντρικούς ISPs με όλους τους χρήστες του Internet

Ιστορική Αναδρομή για το Διαδίκτυο

- 1962: προτείνεται η **μεταγωγή πακέτων** (Paul Baran – Rand Corporation)
- 1969: συνδέονται οι τέσσερις πρώτοι κόμβοι του **ARPANET**
- 1974: δημοσιεύονται οι βασικοί μηχανισμοί του **TCP** (Vint Cerf και Bob Kahn)
- 1982: ορίζεται το σύνολο πρωτοκόλλων TCP/IP (**TCP/IP protocol suite**) για το ARPANET
- 1984: εισάγεται το σύστημα ονομάτων περιοχών (**Domain Name System - DNS**)

Ιστορική Αναδρομή για το Διαδίκτυο

—1986: δημιουργείται το **NFSNET** (στα 56 Kbps)

—1992: δημοσιοποιείται ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web – **WWW**), (Tim Berners-Lee, CERN)

—2005: GENI (Global Environment for Network Innovations) ξεκινά μεγάλης κλίμακας προσπάθεια «εξέλιξης» του Internet με ανοικτή την προοπτική ανάπτυξης ενός νέου διαδικτύου

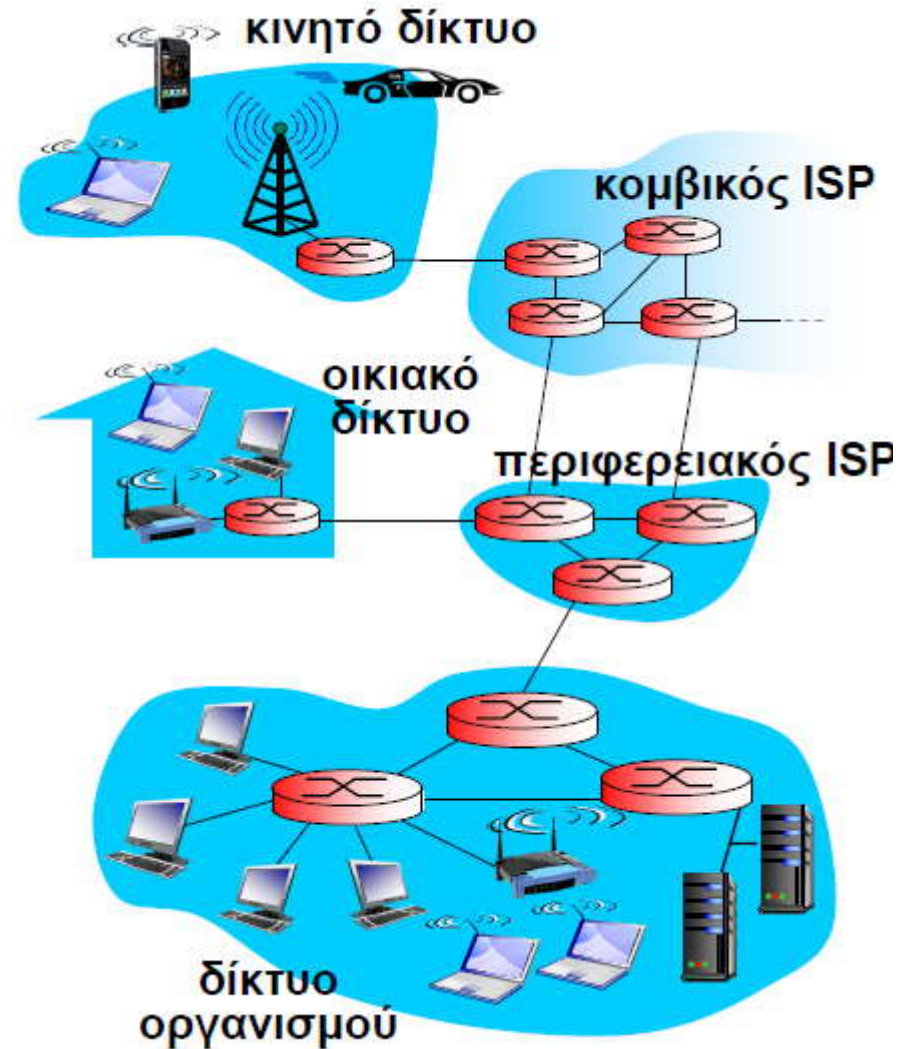
Μια πιο προσεκτική ματιά στη δομή του δικτύου

— Στην **άκρη** του δικτύου:
Κόμβοι (**hosts**): πελάτες και
εξυπηρετητές (**clients and
servers**)

Οι εξυπηρετητές βρίσκονται
συνήθως σε κέντρα
δεδομένων (**data centers**)

—**Δίκτυα πρόσβασης**,
φυσικά μέσα: ενσύρματα,
ασύρματα κυκλώματα
επικοινωνίας

—**Πυρήνας** του δικτύου:
Διασυνδεδεμένοι
δρομολογητές
Δίκτυο των δικτύων!



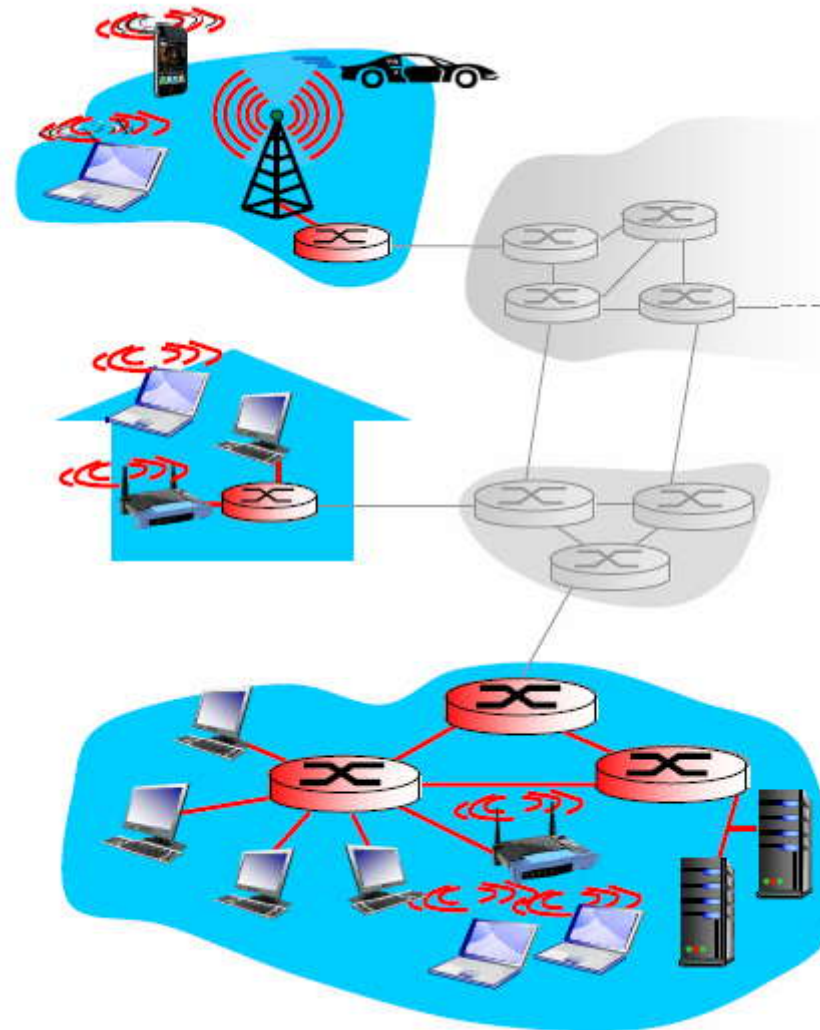
Δίκτυα Πρόσβασης και Φυσικά Μέσα

Πως συνδέονται τα τελικά συστήματα στους **δρομολογητές πρόσβασης** (edge router) :

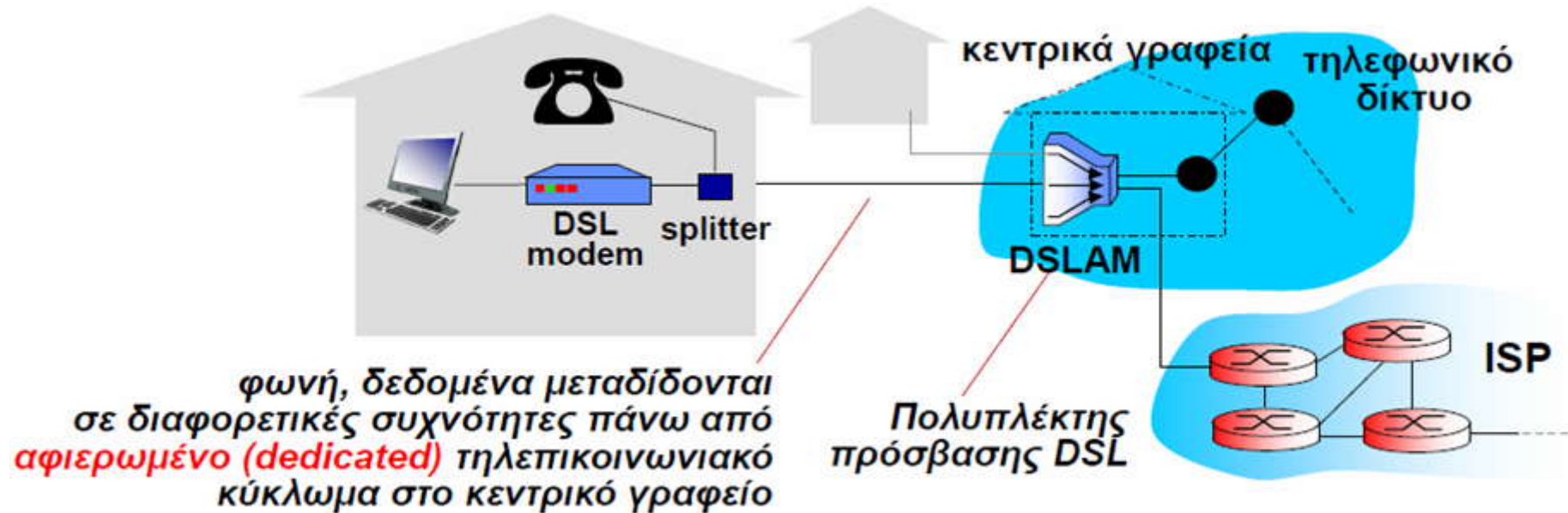
- δίκτυα οικιακής πρόσβασης
- δίκτυα πρόσβασης μέσω οργανισμών (σχολείο, εταιρεία)
- κινητά δίκτυα πρόσβασης

Προσοχή:

- bandwidth** (bits per second) του δικτύου πρόσβασης;
- διαμοιραζόμενο (**shared**) ή αφιερωμένο (**dedicated**);



Δίκτυο πρόσβασης: Digital Subscriber Line (DSL)

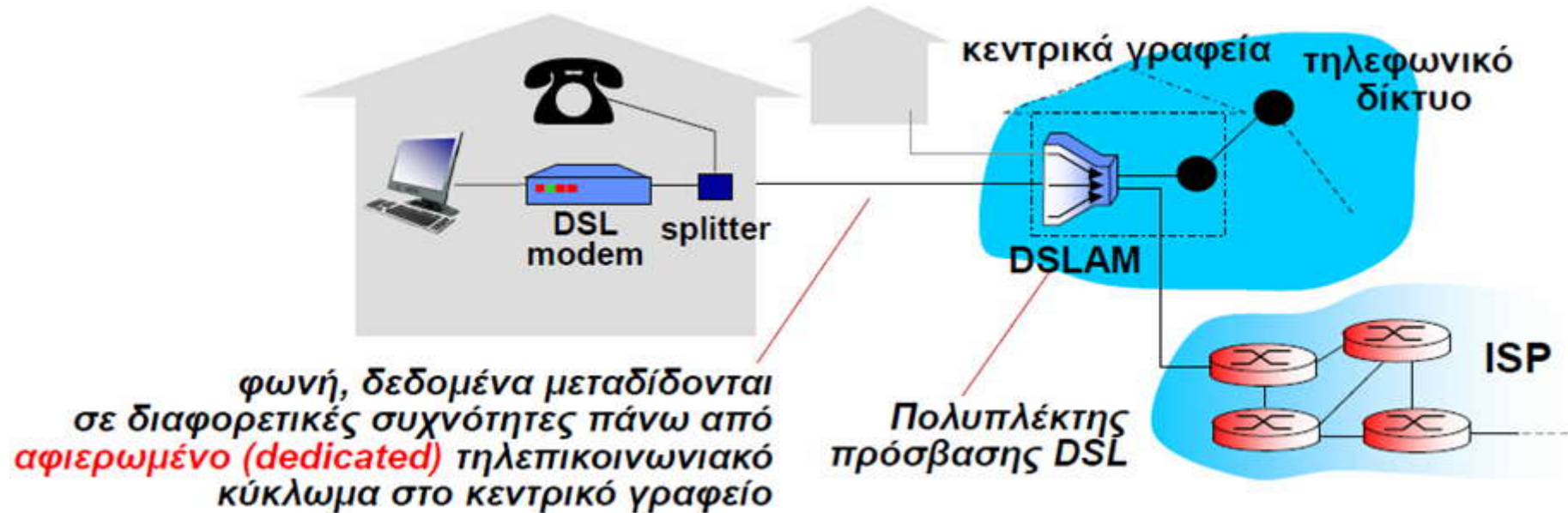


— Χρήση **υπαρχουσών τηλεφωνικών γραμμών** για σύνδεση με το DSLAM στα κεντρικά γραφεία

* τα **δεδομένα** πάνω από την τηλεφωνική γραμμή DSL πηγαίνουν στο Internet

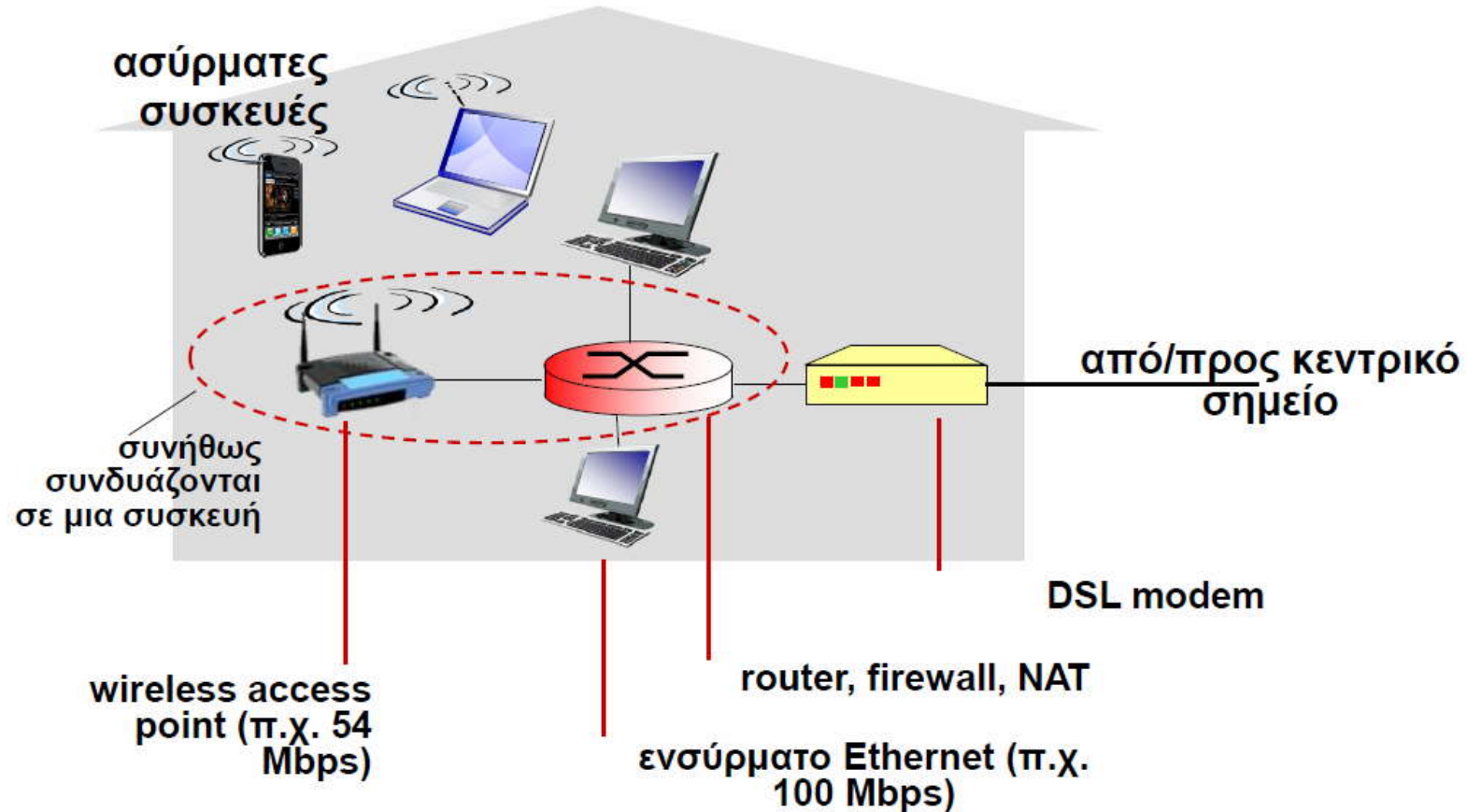
* η **φωνή** πάνω από την τηλεφωνική γραμμή DSL πηγαίνει στο τηλεφωνικό δίκτυο

Δίκτυο πρόσβασης: Digital Subscriber Line (DSL)

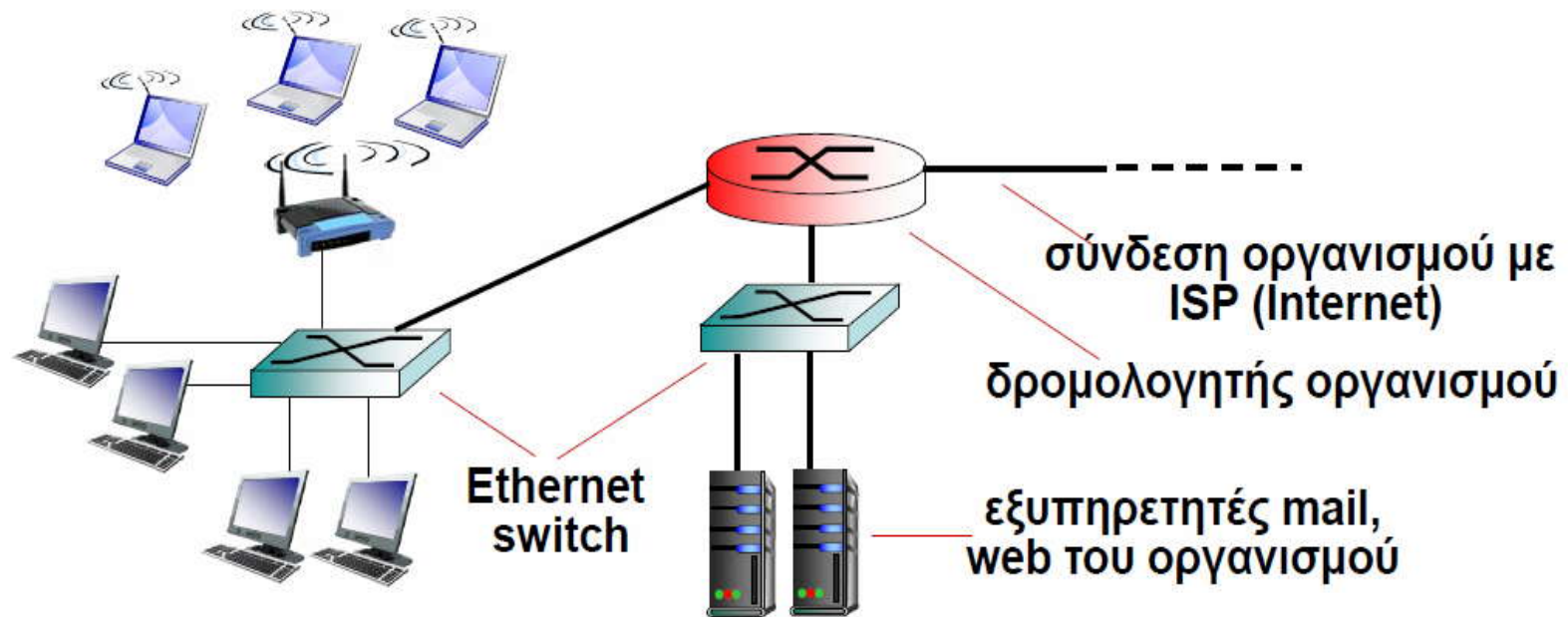


- < 2,5 Mbps ρυθμός μετάδοσης «προς τα πάνω» (**upstream** transmission rate), συνήθως < 1Mbps
- < 24Mbps ρυθμός μετάδοσης μεταφόρτωσης δεδομένων (**downstream** transmission rate), συνήθως < 10Mbps

Δίκτυο πρόσβασης: Οικιακό δίκτυο



Δίκτυα πρόσβασης οργανισμών



—Συνήθως υπάρχουν σε εταιρείες, πανεπιστήμια κ.λπ.

*Στο εσωτερικό δίκτυο, ρυθμοί μετάδοσης από 100Mbps έως 10Gbps (προς εξυπηρετητές) με χρήση Ethernet switches

*Η σύνδεση με το υπόλοιπο Internet συνήθως από ~20Mbps έως (n x 1)Gbps, ανάλογα με το κόστος και τις ανάγκες του οργανισμού

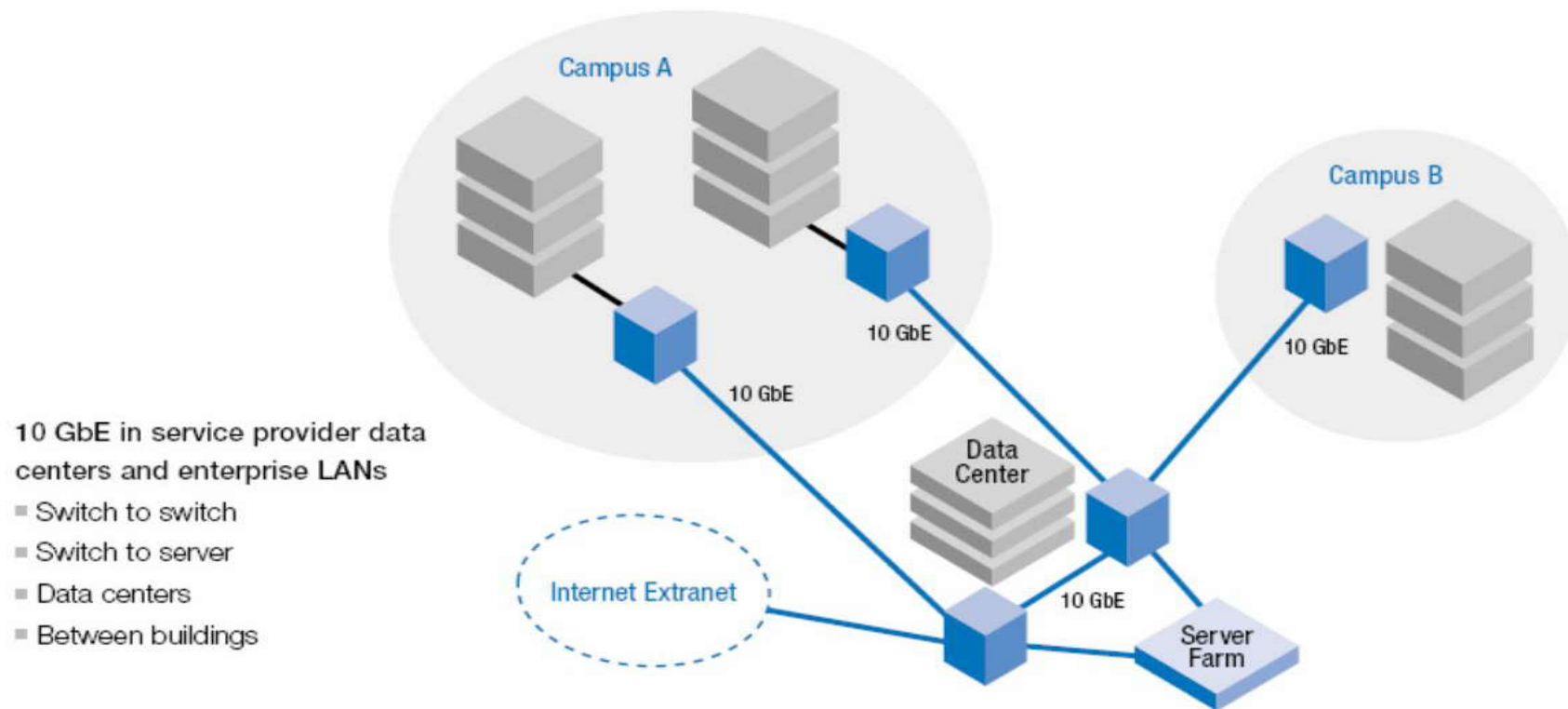
Παρένθεση I: Gigabit Ethernet

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

Παρένθεση II: 10Gbps Ethernet

Standard	Media Type	Type	Maximum Distance
10GBASE-SR	Fiber	850 nm MMF	300 m
10GBASE-LX4	Fiber	1310 nm MMF	10 Km
10GBASE-LRM	Fiber	850/1310 nm MMF	220 m
10GBASE-LR/ER	Fiber	1310 nm SMF	10-25 Km
10GBASE-T	Copper	Cat 6/6a	55 m/100 m

10Gbps Ethernet: Συνδέσεις Κορμού προς Data Centers



Δίκτυα Ασύρματης Πρόσβασης

- **διαμοιραζόμενο (shared)** δίκτυο ασύρματης πρόσβασης συνδέει τα υπολογιστικά συστήματα στο δρομολογητή
 - μέσω σταθμού βάσης, πιο γνωστό και ως “access point”

Ασύρματα LANs:

- Μέσα σε κτίρια (<30m)
- 802.11b/g (WiFi): ρυθμός μετάδοσης 11, 54 Mbps



προς Internet

Ασύρματη πρόσβαση ευρείας περιοχής (wide-area wireless access)

- Παρέχεται από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, 10s km
- μεταξύ 1 και 10 Mbps
- 3G, 4G: LTE



προς Internet

Κόμβος (Host): Τρόπος αποστολής πακέτων δεδομένων (packets of data)

Λειτουργία αποστολής:

- Παίρνει τα δεδομένα των εφαρμογών
- Τα «τεμαχίζει» σε μικρότερα κομμάτια, γνωστά ως **πακέτα**, μεγέθους L bits
- Μεταδίδει τα πακέτα στο δίκτυο πρόσβασης στο **ρυθμό μετάδοσης R**



Για τα τηλεπ. κυκλώματα: Ρυθμός μετάδοσης = χωρητικότητα (capacity) = εύρος ζώνης (bandwidth)

$$\text{καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου} = \text{χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση ενός πακέτου } L \text{ bits στο κύκλωμα} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

Φυσικά Μέσα (Physical Media)

bit: διαδίδεται μεταξύ ζευγών εκπομπού/δέκτη

Φυσικό κύκλωμα: αυτό που βρίσκεται μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη

Οδηγούμενα μέσα:

- Το σήμα διαδίδεται σε συμπαγή μέσα: χαλκό (copper), οπτική ίνα (fiber), ομοαξονικό (coax)

Μη οδηγούμενα μέσα:

- Τα σήματα διαδίδονται ελεύθερα π.χ. μικροκυμματικές ζεύξεις

Καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair, TP)

- Ζεύγη καλωδίων χαλκού που συστρέφονται ανά δύο
 - Κατηγορία 5: 100Mbps (2 ζεύγη, τύπου UTP), 1Gbps Ethernet (4 ζεύγη, τύπου UTP)
 - Κατηγορία 6: 10Gbps (4 ζεύγη τύπου UTP)



Φυσικά μέσα: ομοαξονικό καλώδιο, ΟΠΤΙΚΗ ΪΝΑ

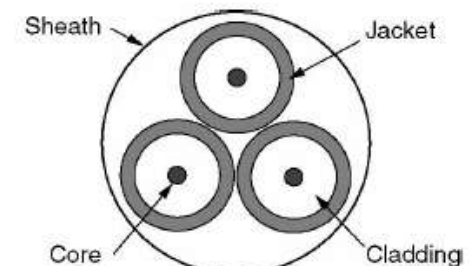
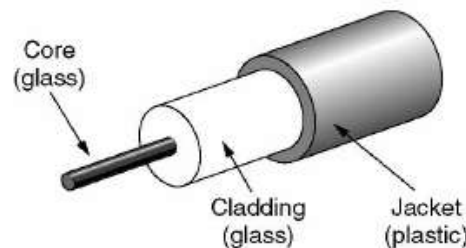
Ομοαξονικό καλώδιο (*coaxial cable*):

- Δύο ομόκεντροι αγωγοί χαλκού
- Αμφίδρομο (bidirectional)
- Ευρείας ζώνης (broadband):
 - πολλαπλά κανάλια στο καλώδιο
 - HFC

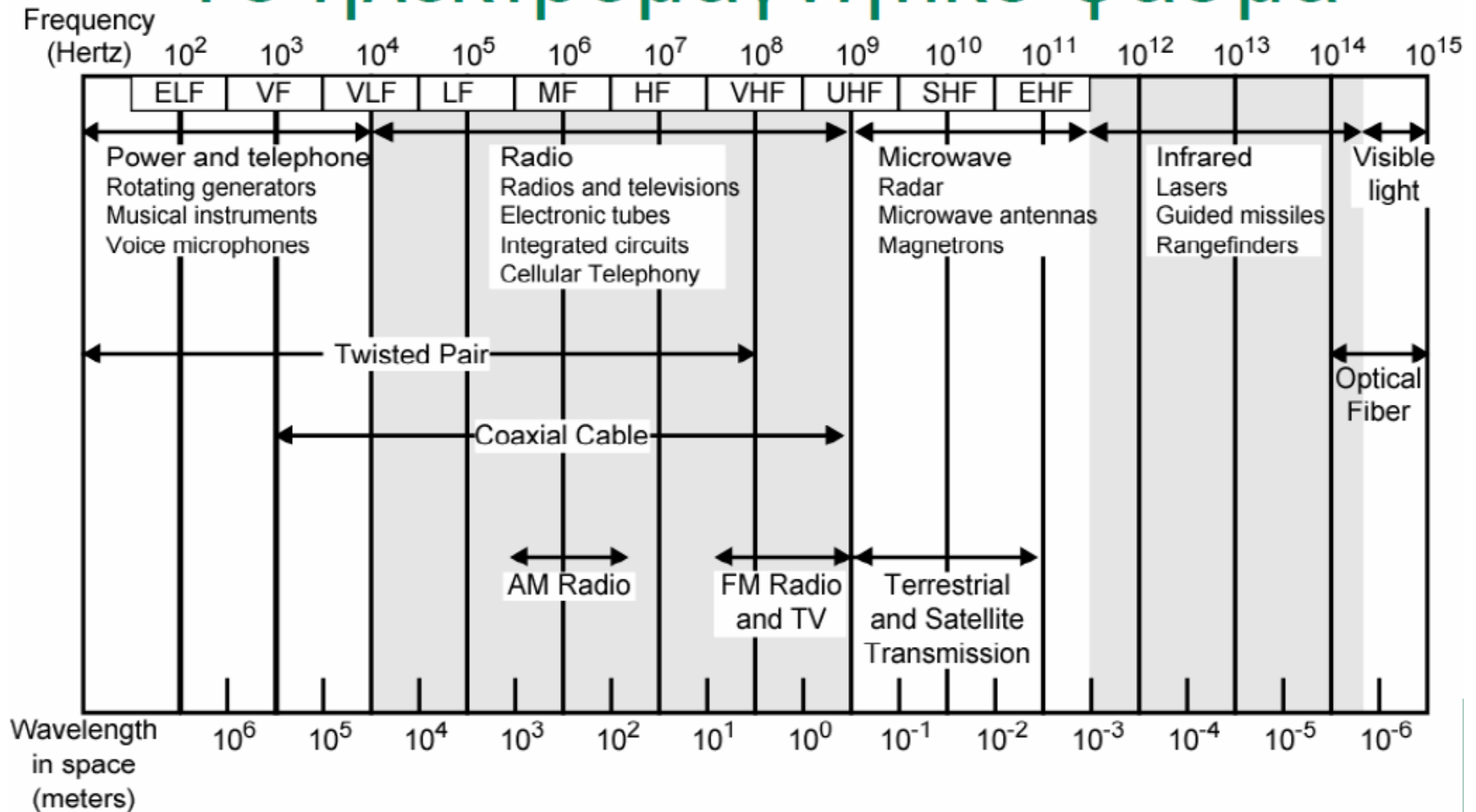


Καλώδιο οπτικής ίνας (*fiber optic*):

- Ϊνα γυαλιού μεταφέρει παλμούς φωτός, κάθε παλμός ένα bit
- Υψηλή ταχύτητα: ρυθμοί μετάδοσης point-to-point από 10 έως και >100 Gbps ανά κανάλι
- Χαμηλός ρυθμός σφαλμάτων:
 - Οι επαναλήπτες (repeaters) μπορούν να απέχουν πολύ
 - Απρόσβλητο από τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο



Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



ELF = Extremely low frequency
 VF = Voice frequency
 VLF = Very low frequency
 LF = Low frequency

MF = Medium frequency
 HF = High frequency
 VHF = Very high frequency

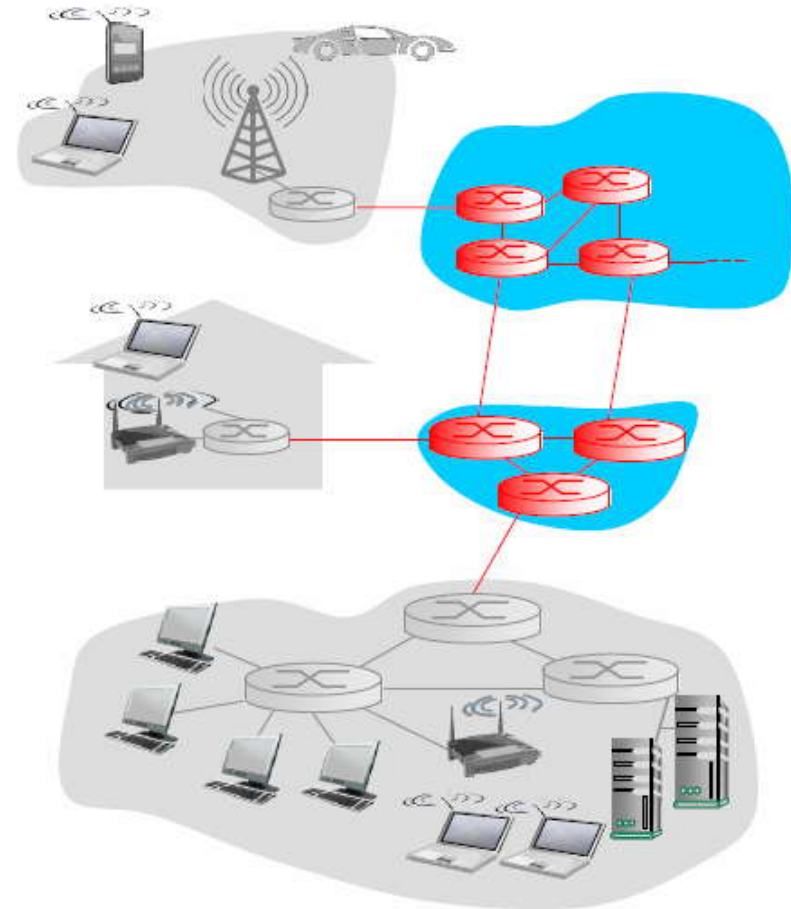
UHF = Ultrahigh frequency
 SHF = Superhigh frequency
 EHF = Extremely high frequency

Ο πυρήνας του δικτύου

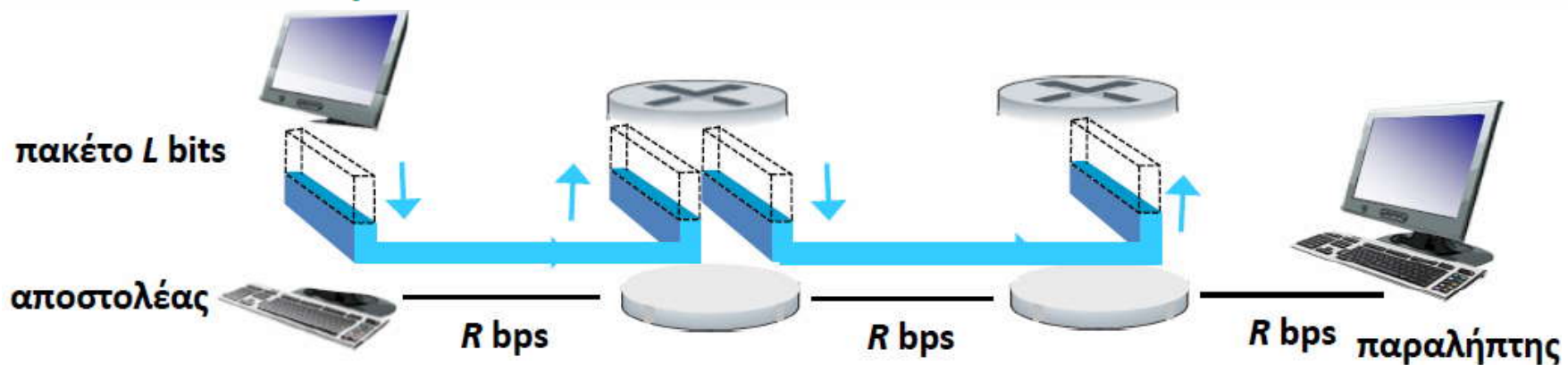
Πλέγμα από δρομολογητές που διασυνδέονται

Μεταγωγή πακέτου (*packet-switching*): ο κόμβος χωρίζει τα δεδομένα που στέλνουν οι εφαρμογές σε πακέτα (*packets*)

- προωθεί πακέτα από ένα δρομολογητή στον επόμενο, πάνω από κυκλώματα, στη διαδρομή από τον αποστολέα στον παραλήπτη
- κάθε πακέτο μεταδίδεται με την πλήρη ταχύτητα του κυκλώματος



Αποθήκευση και Προώθηση (Store and Forward)

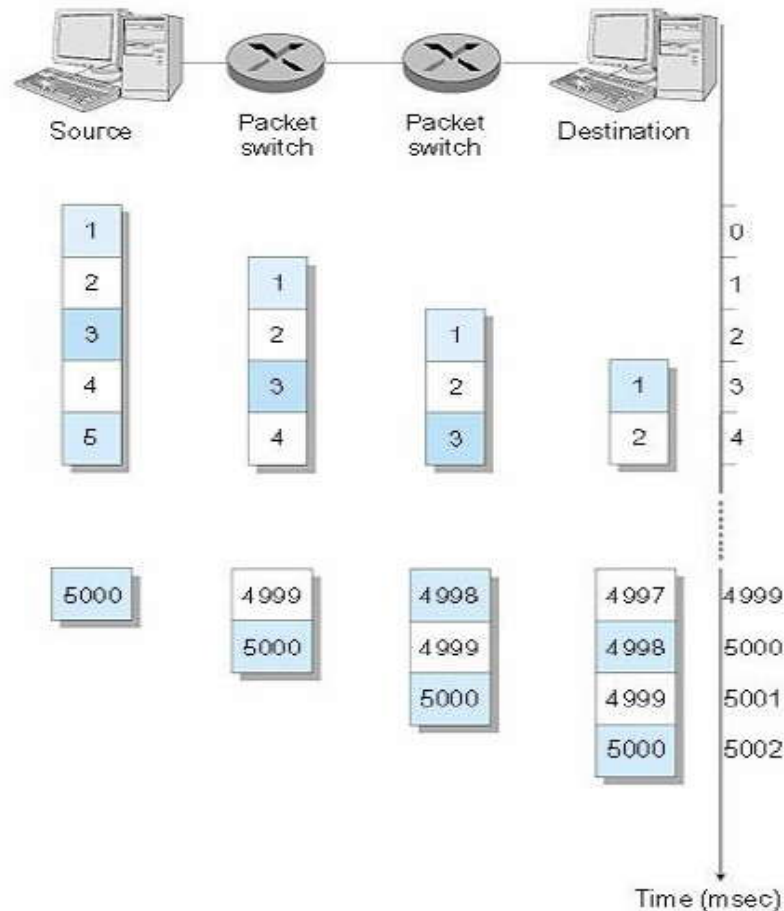


- Το πακέτο πρέπει εξολοκλήρου να φτάσει στο δρομολογητή πριν να μεταδοθεί στον επόμενο κόμβο: *αποθήκευση και προώθηση (store and forward)*
- καθυστέρηση = $(3 \cdot L) / R$

Παράδειγμα:

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

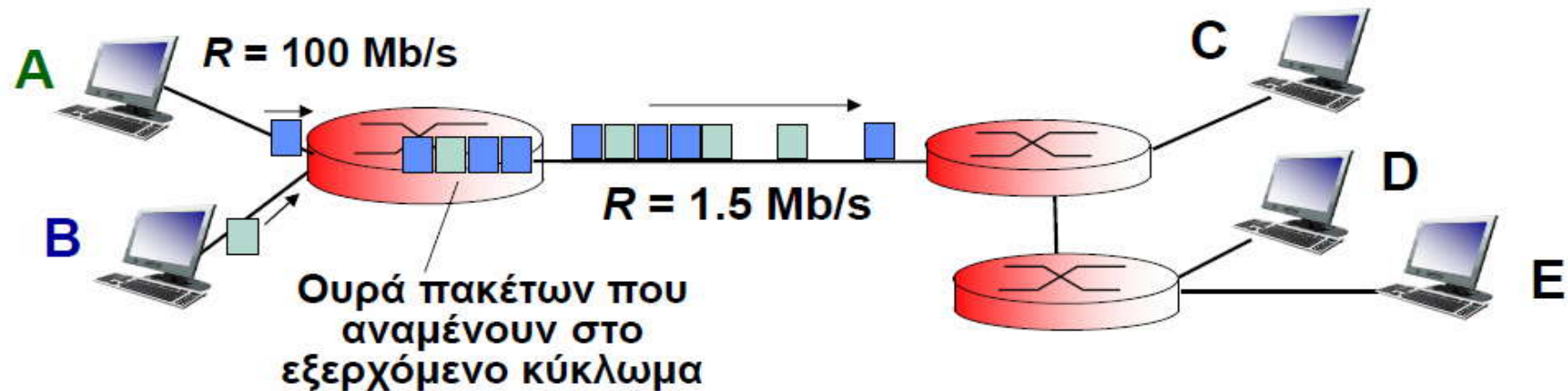
Μεταγωγή Πακέτου: Κατάτμηση Δεδομένων



Ας σπάσουμε τώρα το μήνυμα
σε 5000 πακέτα:

- Κάθε πακέτο 1.500 bits
- 1 msec για μετάδοση του πακέτου σε κάθε κύκλωμα
- *pipelining*: κάθε κύκλωμα δουλεύει παράλληλα
- Η καθυστέρηση μειώνεται από 15sec σε 5,002 sec!

Μεταγωγή πακέτου: καθυστέρηση σε ουρές, απώλειες



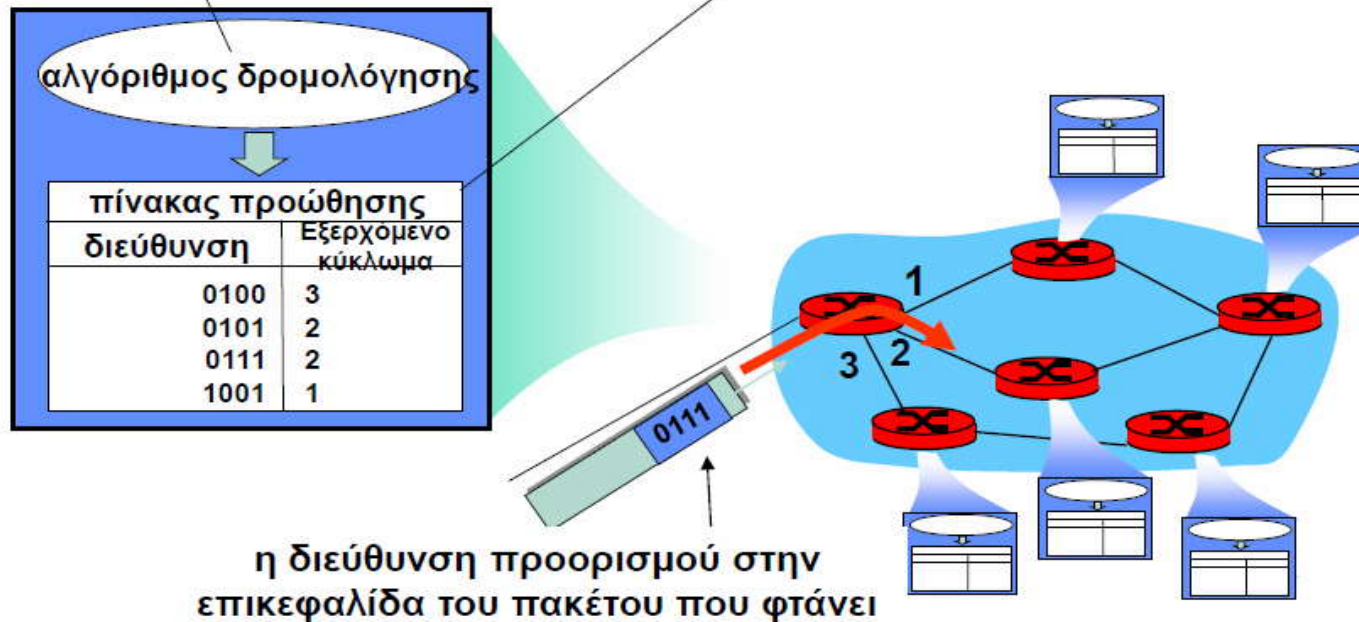
Καθυστέρηση σε ουρές και απώλειες:

- Αν ο ρυθμός άφιξης (σε bits) στο κύκλωμα ξεπερνάει το ρυθμό μετάδοσης του κυκλώματος για μια χρονική περίοδο:
 - τα πακέτα θα τοποθετούνται σε ουρές, και θα αναμένουν τη σειρά τους για να μεταδοθούν στο κύκλωμα
 - τα πακέτα μπορεί να απορρίπτονται (χάνονται) αν η μνήμη (buffer) γεμίσει

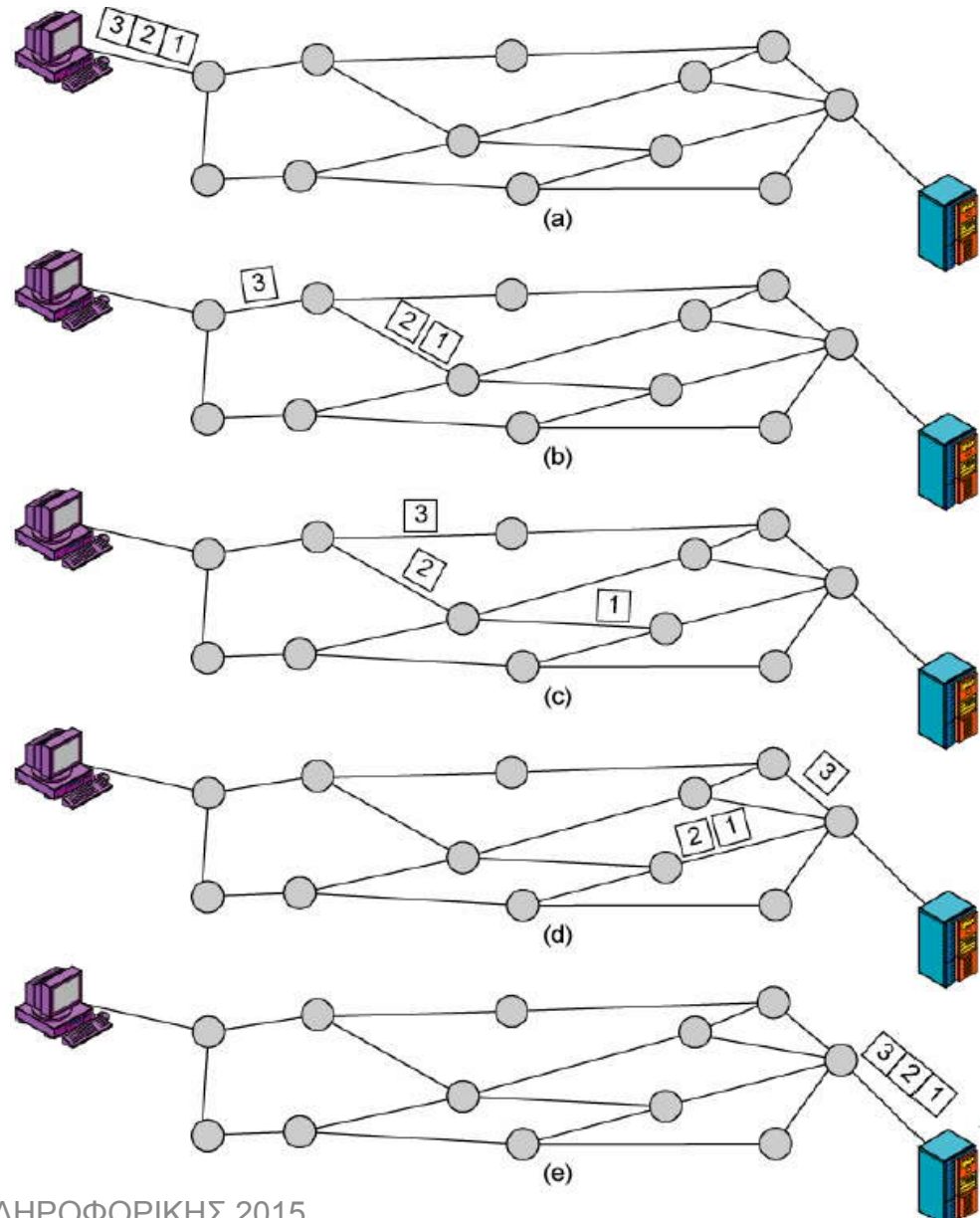
Δύο βασικές λειτουργίες στον πυρήνα του δικτύου

Δρομολόγηση (routing):
προσδιορίζει τη διαδρομή που ακολουθούν τα πακέτα από αποστολέα σε παραλήπτη

Προώθηση (forwarding):
μετακίνηση πακέτων από την είσοδο του δρομολογητή στην κατάλληλη έξοδο



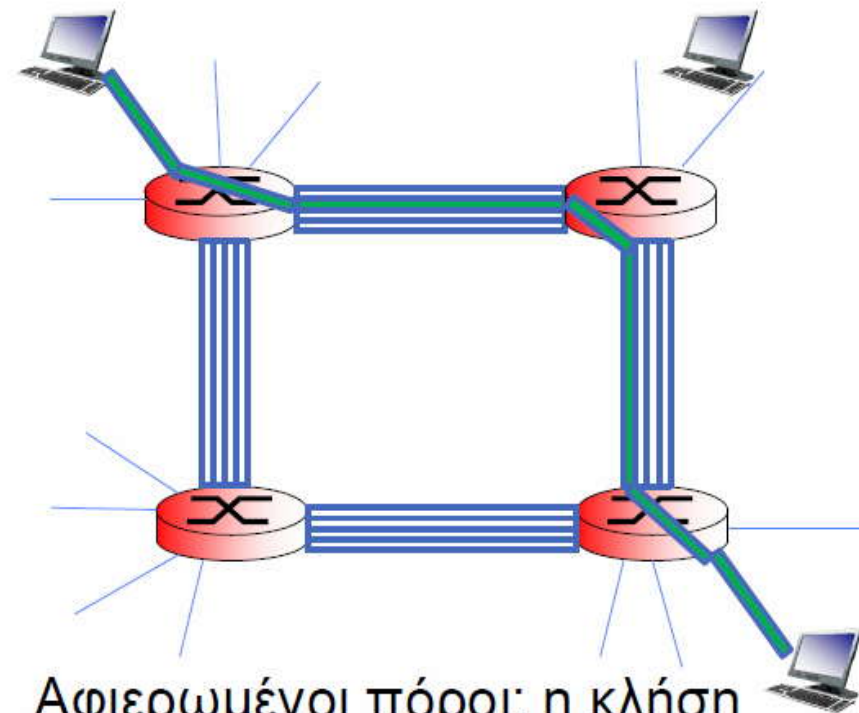
Μεταγωγή Πακέτου



Εναλλακτική μετάδοση: μεταγωγή κυκλώματος (I)

Πόροι από «άκρο σε άκρο» (end-end) ανατίθενται και δεσμεύονται για την κλήση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη:

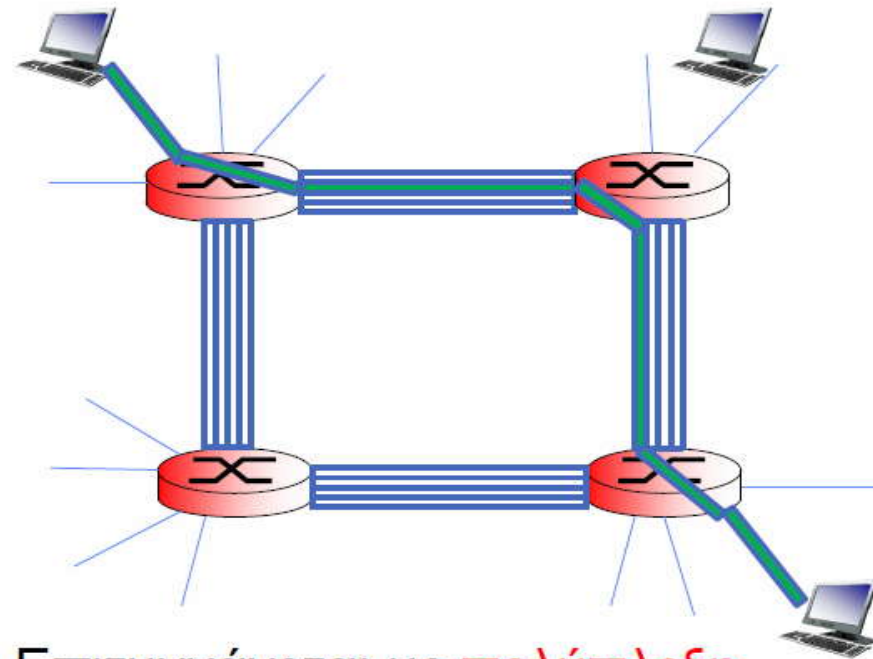
- Στο σχήμα, κάθε κύκλωμα έχει 4 κανάλια
 - Η κλήση δεσμεύει το 2^ο κανάλι στο πάνω κύκλωμα και το 1^ο στο δεξιά κύκλωμα



- Αφιερωμένοι πόροι: η κλήση που κατέχει το κύκλωμα δεν το μοιράζεται με άλλες
 - εγγυημένη απόδοση

Εναλλακτική μετάδοση: μεταγωγή κυκλώματος (II)

- Το τμήμα που κυκλώματος που δεσμεύεται από κάθε κλήση παραμένει ανενεργό αν δεν χρησιμοποιείται από την κλήση που το δέσμευσε
- Συνήθως χρησιμοποιείται στα παραδοσιακά τηλεφωνικά δίκτυα
- Απαιτείται εγκατάσταση κλήσης




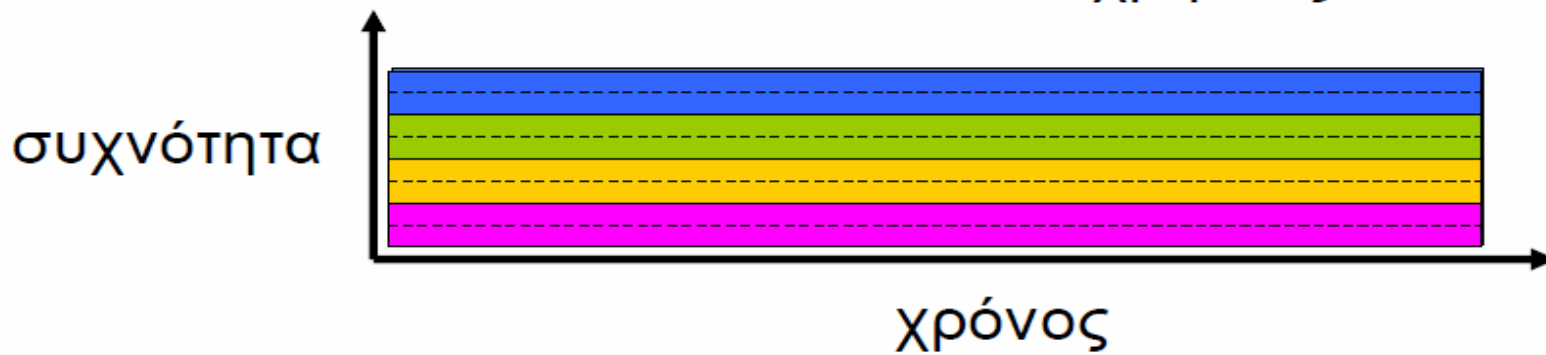
- Επιτυγχάνεται με **πολύπλεξη διαχωρισμού συχνότητας, χρόνου, μήκους κύματος, κ.ά.**

Μεταγωγή Κυκλώματος: FDM και TDM

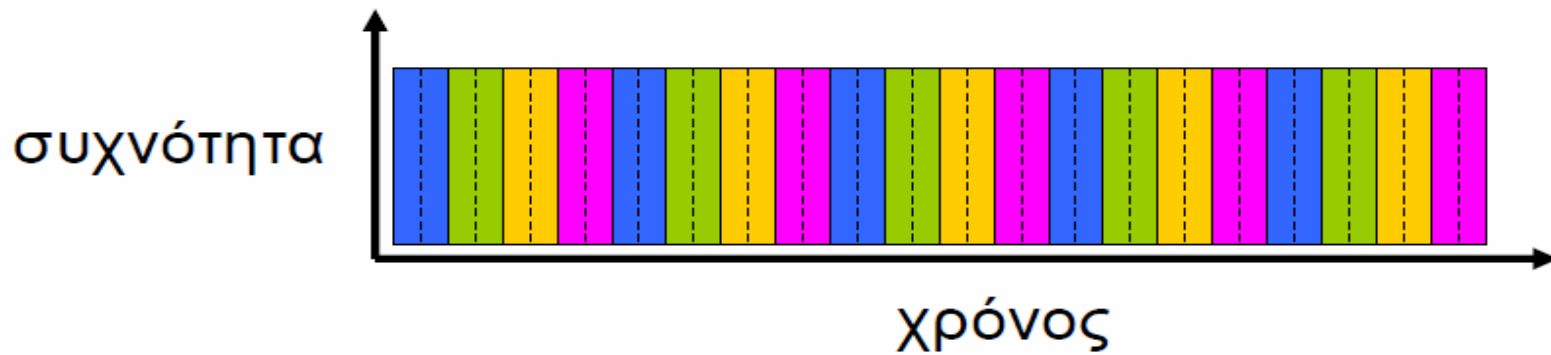
FDM

Παράδειγμα:

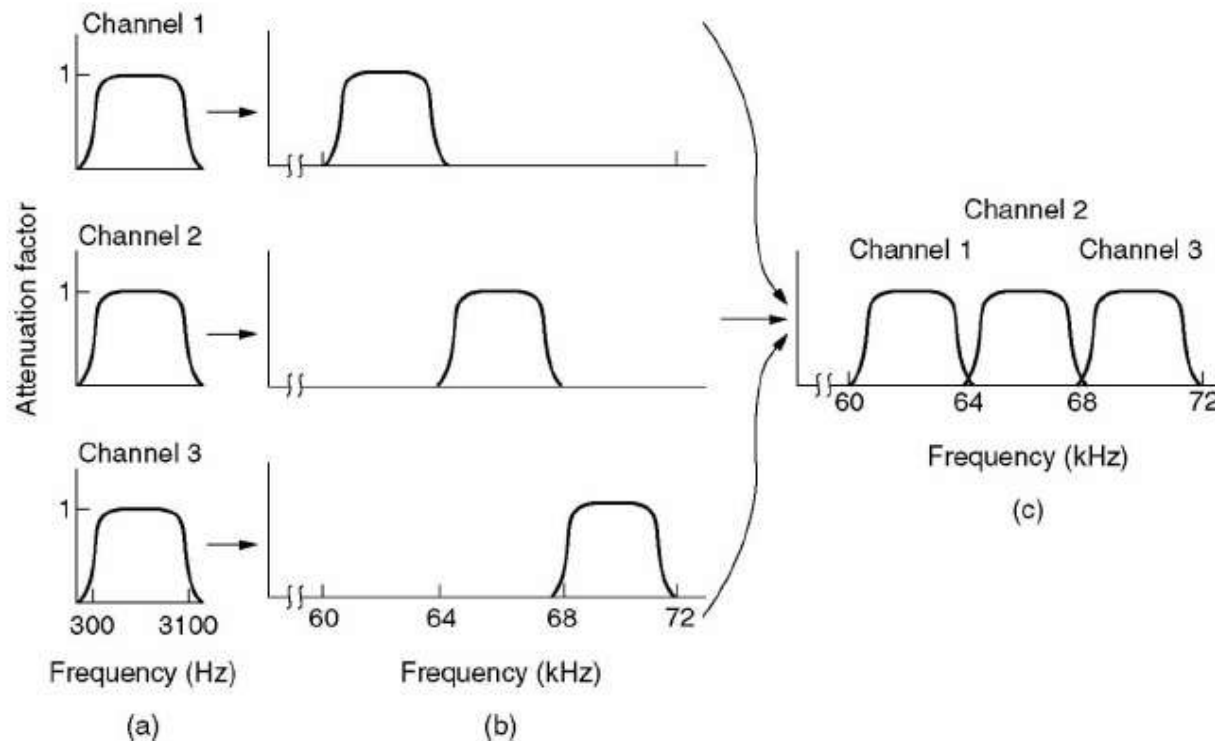
4 χρήστες 



TDM

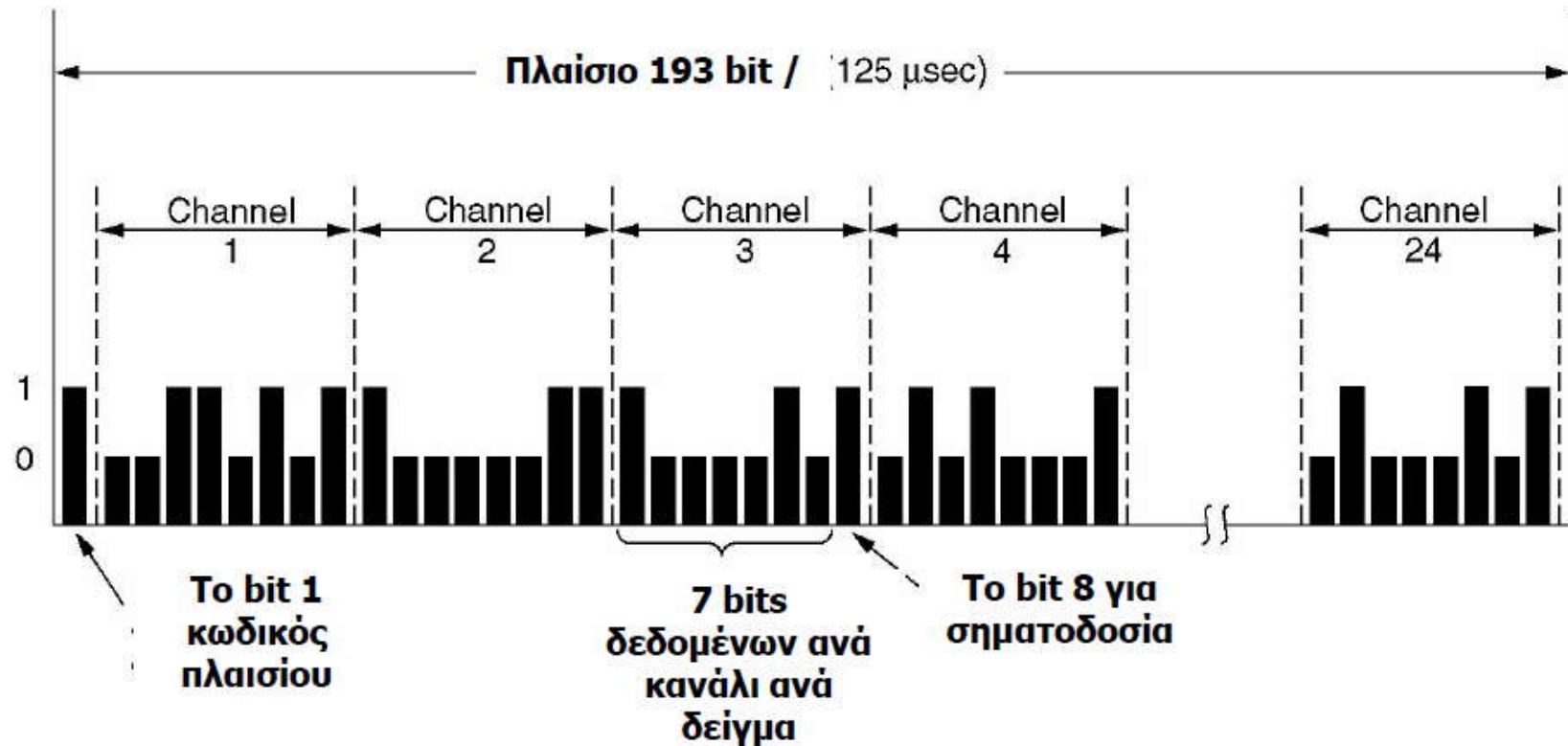


Πολύπλεξη Διαχωρισμού Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)



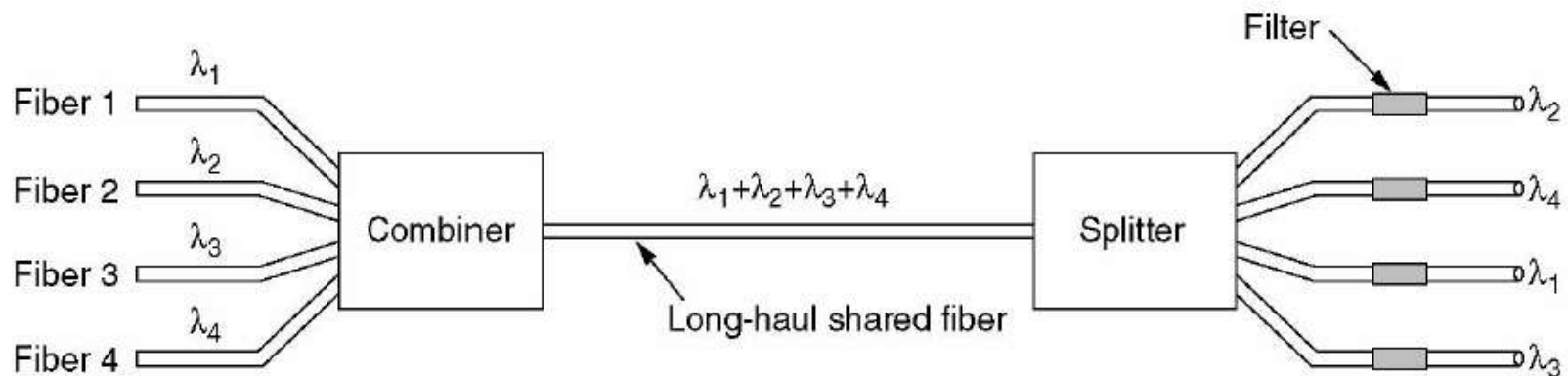
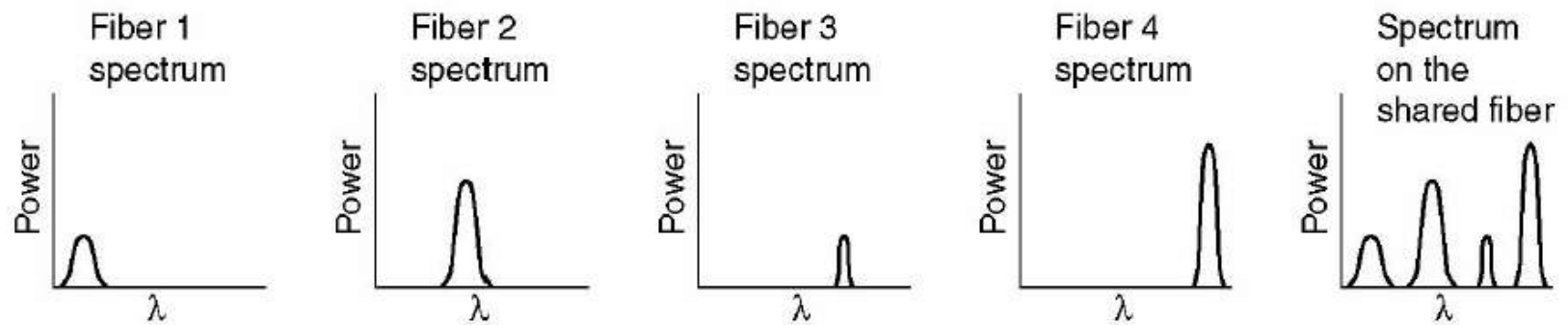
- (α) Τα αρχικά εύρη ζώνης
- (β) Τα εύρη ζώνης **μετατοπισμένα** ως προς συχνότητα
- (γ) Το **πολυπλεγμένο (multiplexed)** κανάλι

Πολύπλεξη Διαχωρισμού Χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM)



Ο φορέας (carrier) T1 (1.544 Mbps) = 193 bit/δείγμα * 8000 δείγματα/sec (1 sec / 125 μsec)

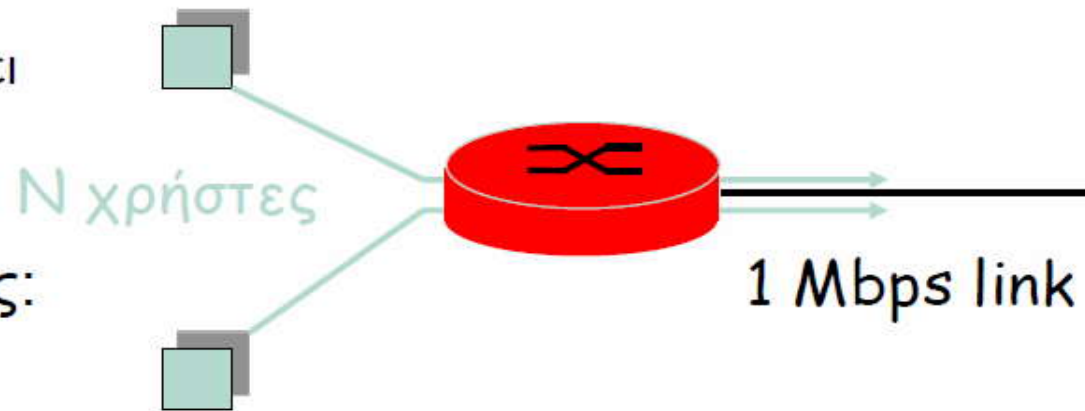
Πολύπλεξη Διαχωρισμού Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing – WDM)



Μεταγωγή Κυκλώματος εναντίον Μεταγωγής Πακέτου

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

- 1 Mbit link
- Κάθε χρήστης:
 - 100 kbps όταν μεταδίδει
 - Μεταδίδει 10% του χρόνου
- Μεταγωγή Κυκλώματος:
 - 10 χρήστες
- Μεταγωγή Πακέτου:
 - Με 35 χρήστες, πιθανότητα > 10 ενεργοί μικρότερη από .0004



Μεταγωγή Κυκλώματος εναντίον Μεταγωγής Πακέτου

- **Μεταγωγή Πακέτου:** Ιδανική για κίνηση με εξάρσεις
 - διαμοιρασμός πόρων
 - απλούστερο, χωρίς εγκατάσταση κλήσης
- **Μπορεί να δημιουργηθεί συμφόρηση (congestion):** καθυστέρηση και απώλεια πακέτων
 - απαιτούνται πρωτόκολλα για αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, έλεγχο συμφόρησης
- **Ερώτηση: Γίνεται το Internet να παρέχει στις εφαρμογές υπηρεσίες αντίστοιχες της μεταγωγής κυκλώματος;**
 - χρειάζονται **εγγυήσεις εύρους ζώνης** για εφαρμογές ήχου και video, στην πράξη παραμένει ένα άλυτο πρόβλημα

Δομή του Internet: δίκτυο των δικτύων (I)

- Τα τελικά συστήματα συνδέονται στο Internet μέσω ISPs πρόσβασης (ISPs: Internet Service Providers)
- Οικιακοί, εταιρικοί και Πανεπιστημιακοί ISPs
- Οι ISPs πρόσβασης πρέπει να **διασυνδέονται**, έτσι ώστε οποιοδήποτε δύο κόμβοι να μπορούν να στείλουν πακέτα ο ένας στον άλλο
- Το προκύπτον δίκτυο των δικτύων είναι πολύ πολύπλοκο
- Η εξέλιξη καθορίζεται από οικονομικά ζητήματα και εθνικές πολιτικές
- Ας περιγράψουμε την τρέχουσα δομή του Internet με μια προσέγγιση βήμα-βήμα

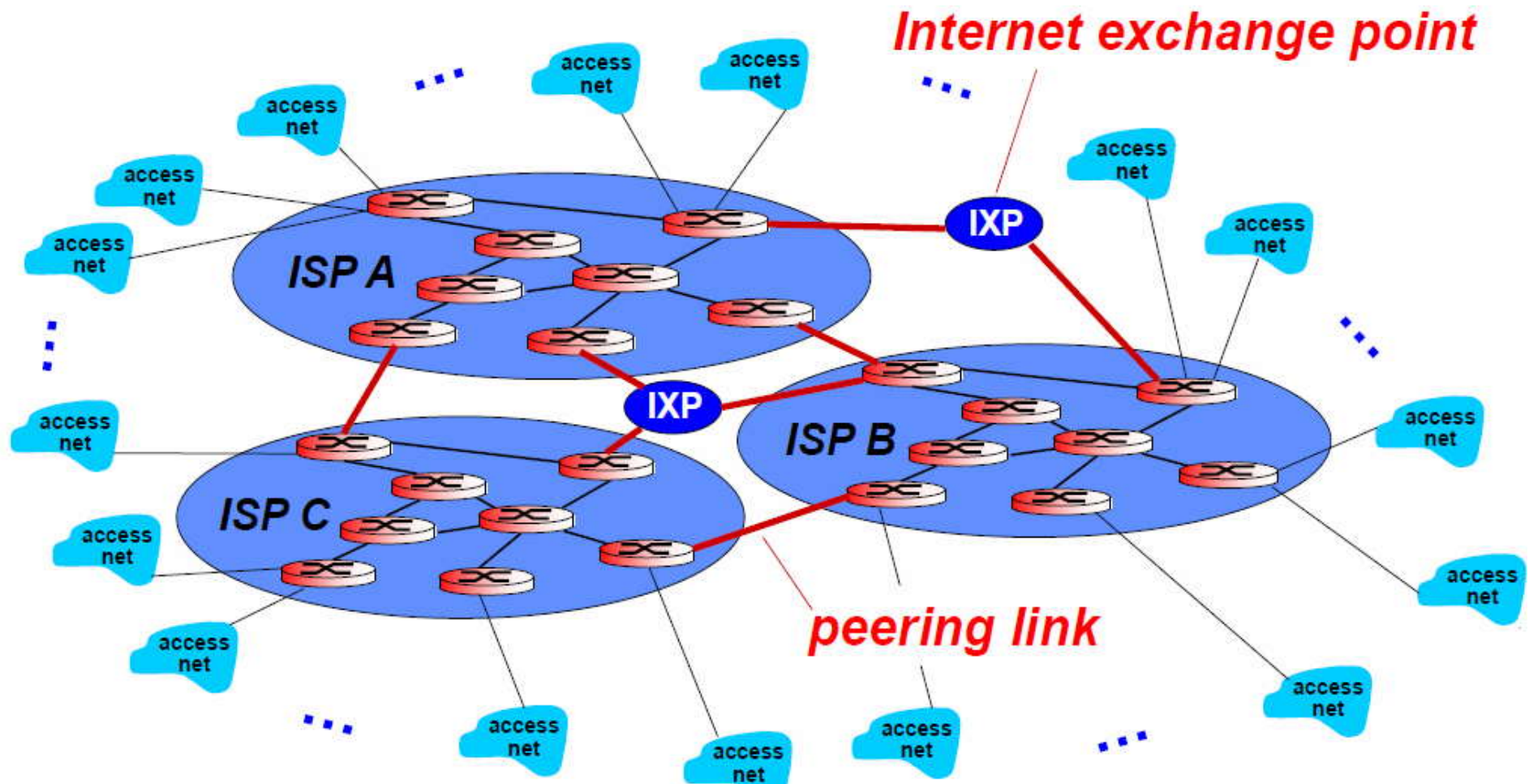
Δομή του Internet: δίκτυο των δικτύων

Επιλογή: Μπορεί να συνδεθεί κάθε ISP πρόσβασης με κάθε ISP πρόσβασης;



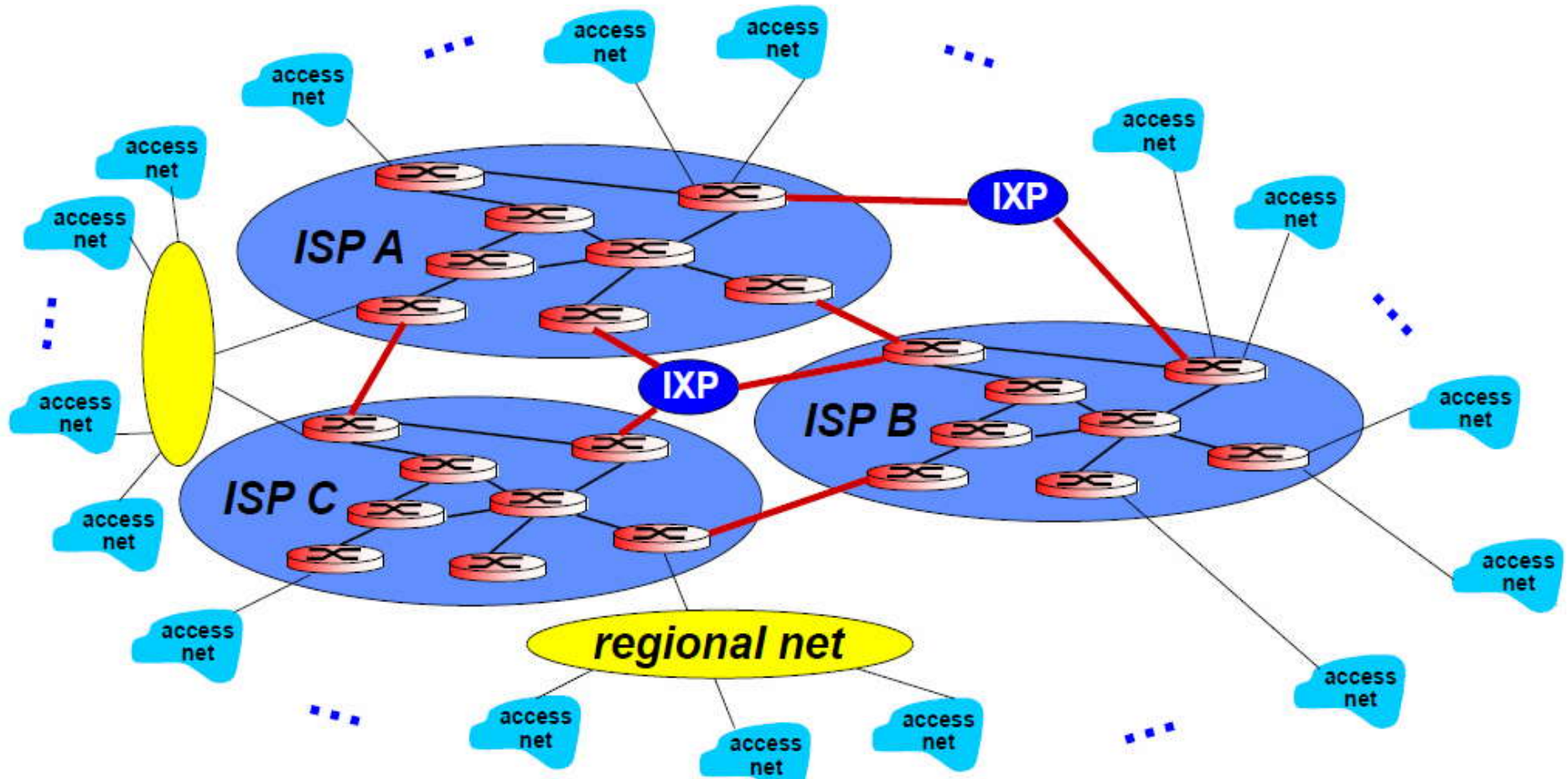
Δομή του Internet: δίκτυο των δικτύων

Αν ένας σφαιρικός ISP είναι βιώσιμη επιχείρηση, θα υπάρχουν ανταγωνιστές.... οι οποίοι θα πρέπει να είναι διασυνδεδεμένοι

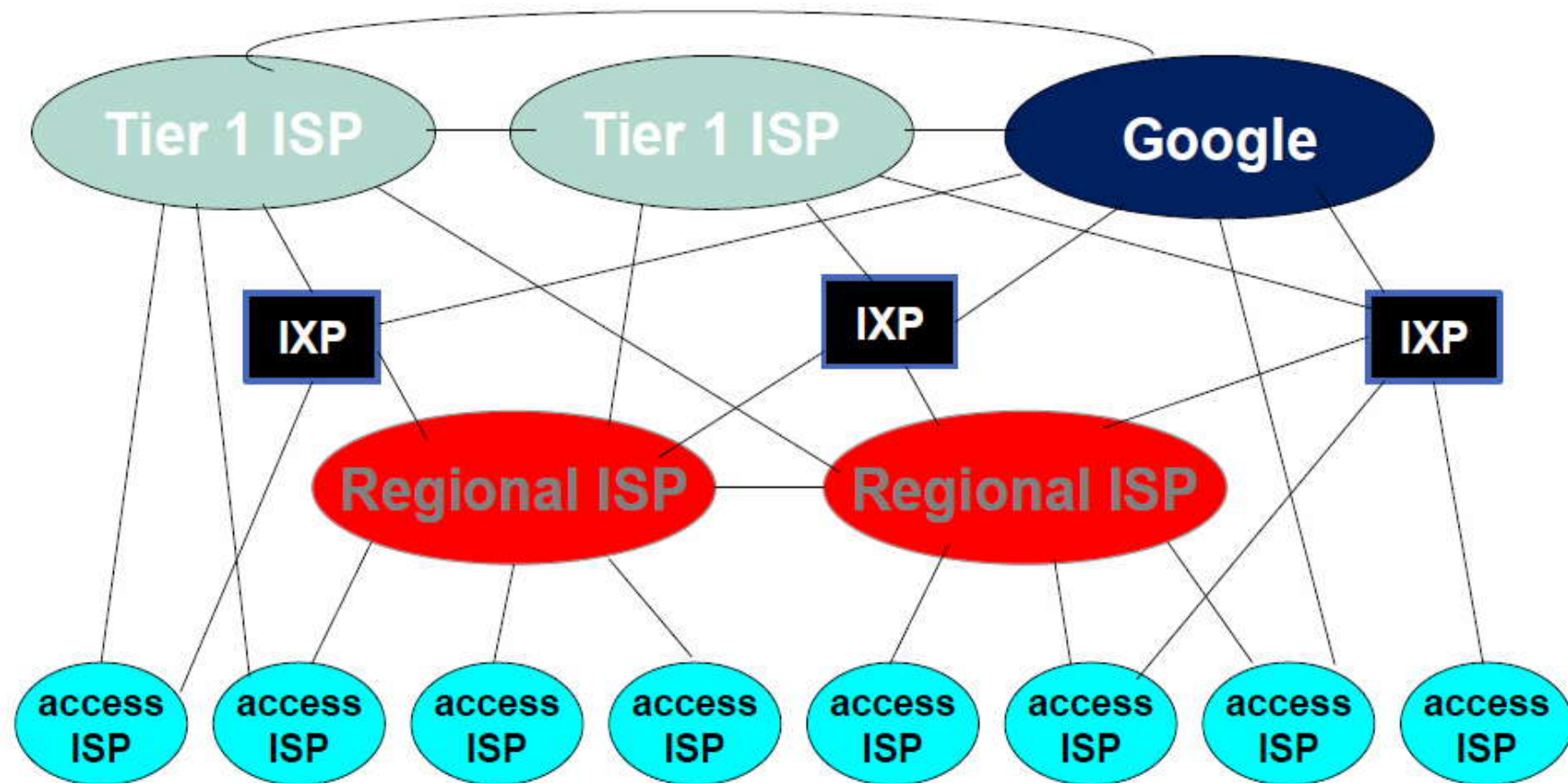


Δομή του Internet: δίκτυο των δικτύων

... και περιφερειακά δίκτυα μπορεί να προκύψουν που συνδέουν δίκτυα πρόσβασης στους ISPs



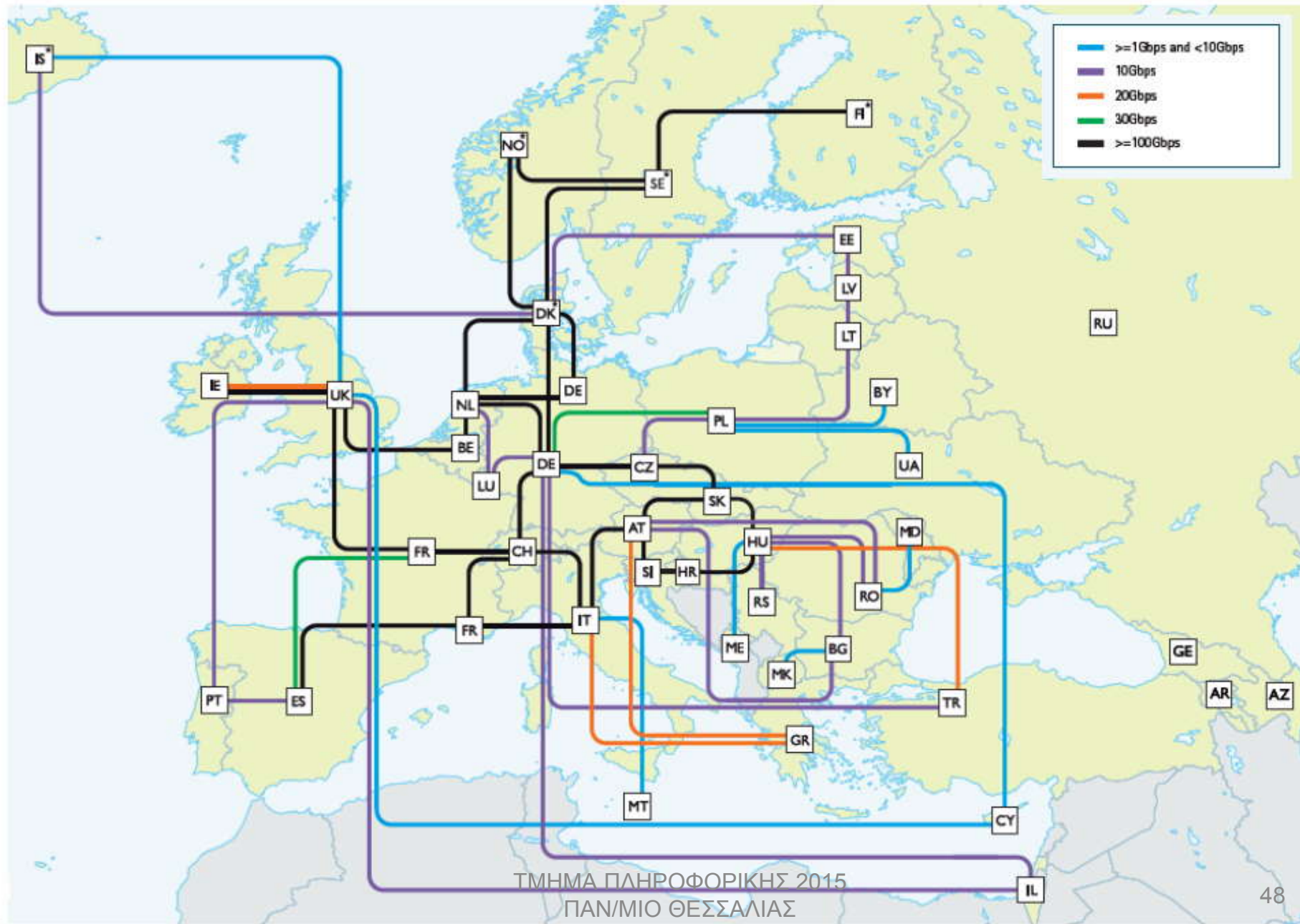
Δομή του Internet: δίκτυο των δικτύων



Στο κέντρο: μικρό πλήθος καλά συνδεδεμένων μεγάλων δικτύων

- “tier-1” εμπορικοί ISPs (π.χ., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), εθνική και διεθνής κάλυψη

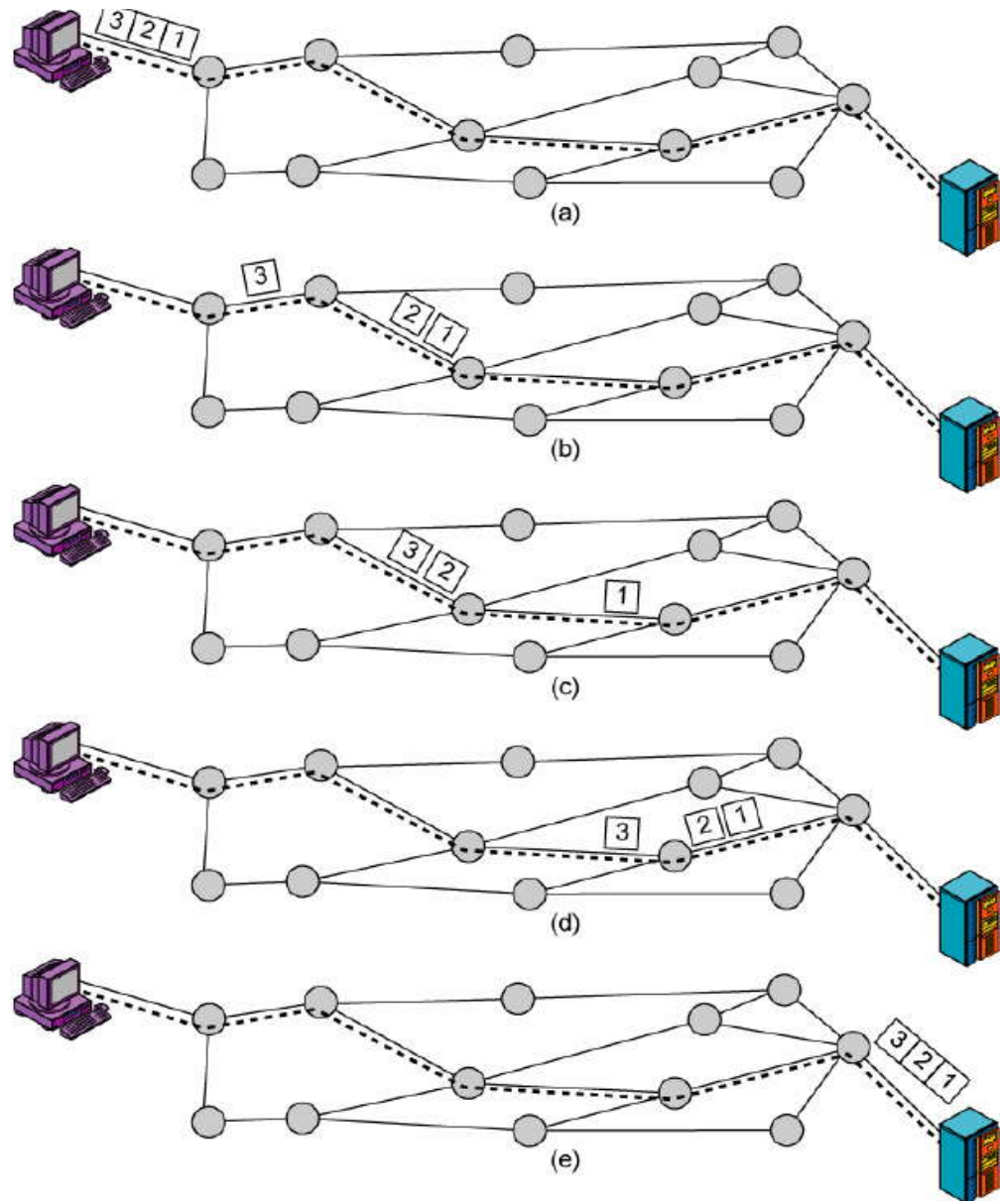
GEANT: Το ευρωπαϊκό ακαδημαϊκό Internet



Εικονικό Κύκλωμα (Virtual Circuit)

- Επιλέγεται διαδρομή πριν σταλούν πακέτα
- Πακέτα **αίτησης και αποδοχής κλήσης** (Call request and call accept packets) δημιουργούν σύνδεση (handshake)
- Κάθε πακέτο περιέχει **αναγνωριστικό** εικονικού κυκλώματος αντί για διεύθυνση προορισμού
- Δεν απαιτούνται αποφάσεις δρομολόγησης για κάθε πακέτο
- Αίτηση για τερματισμό κυκλώματος
- **Δεν** πρόκειται για δέσμευση πόρων από άκρη σε άκρη

Εικονικό Κύκλωμα



Εικονικά Κυκλώματα και Μεταγωγή Πακέτου

— Εικονικά Κυκλώματα:

- Το δίκτυο διατηρεί σειρά στα πακέτα και κάνει έλεγχο λαθών
- Τα πακέτα προωθούνται πιο γρήγορα
 - ✓ Δεν απαιτούνται αποφάσεις δρομολόγησης
- Μικρότερη αξιοπιστία
 - ✓ Απώλεια ενός κόμβου σημαίνει ότι χάνονται όλα τα εικονικά κυκλώματα που περνούν από τον κόμβο

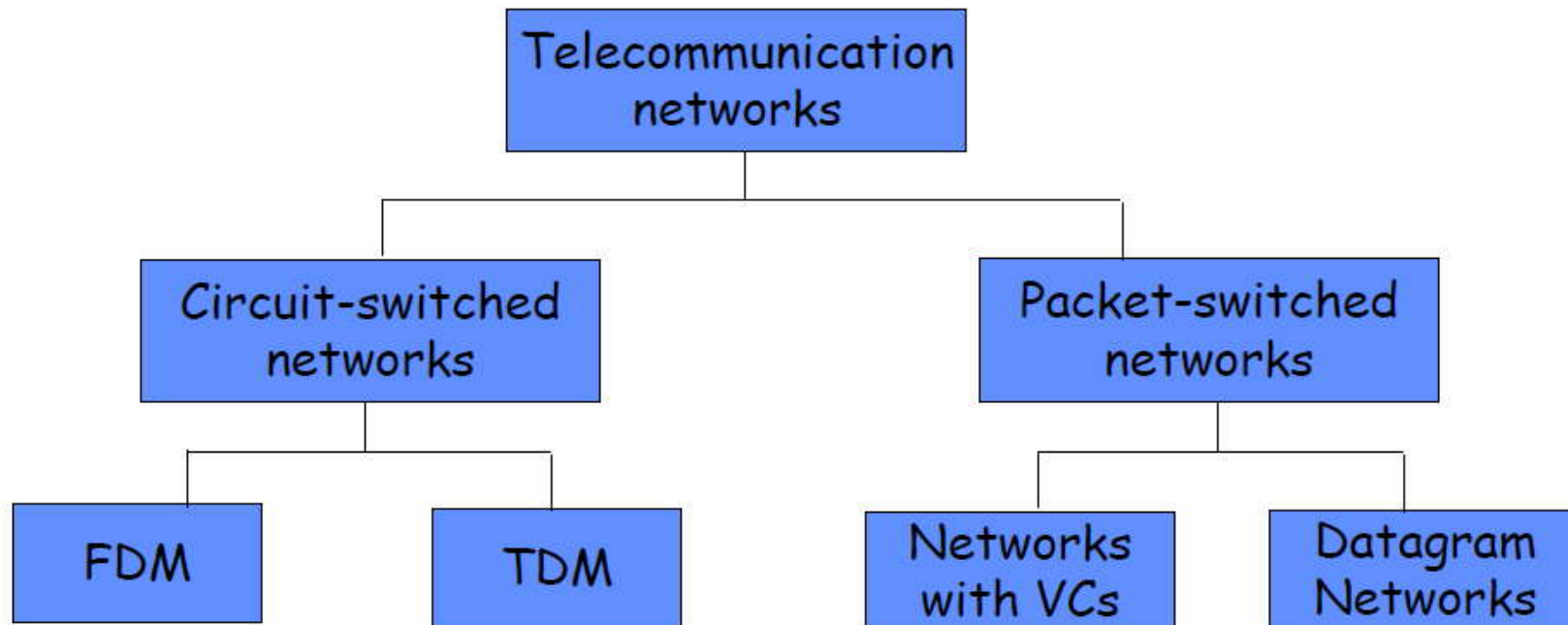
— Πακέτα δεδομένων:

- Δεν υπάρχει φάση εγκατάστασης κλήσης
 - ✓ Καλύτερο για λιγότερα πακέτα
- Μεγαλύτερη ευελιξία
 - ✓ Δρομολόγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή τμημάτων του δικτύου που έχουν συμφόρηση

Τρόποι Προώθησης Πακέτων σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου

- **Στόχος**: μετακίνηση πακέτων μέσω δρομολογητών από την πηγή στον προορισμό
- **Δίκτυο πακέτων (datagram network)**:
 - η διεύθυνση προορισμού στο πακέτο προσδιορίζει το επόμενο βήμα
 - οι διαδρομές μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας
 - παράδειγμα: οδηγώντας, ζητάμε κατευθύνσεις
- **Δίκτυο εικονικού κυκλώματος (virtual circuit network)**:
 - Κάθε πακέτο φέρει ετικέτα (tag) (το ID του εικονικού κυκλώματος), η οποία και προσδιορίζει το επόμενο βήμα
 - Ένα σταθερό μονοπάτι προσδιορίζεται κατά το χρόνο εγκατάστασης κλήσης (*call setup time*) και παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια της κλήσης
 - *οι δρομολογητές διατηρούν πληροφορίες κατάστασης ανά κλήση*

Ταξινόμηση των δικτύων



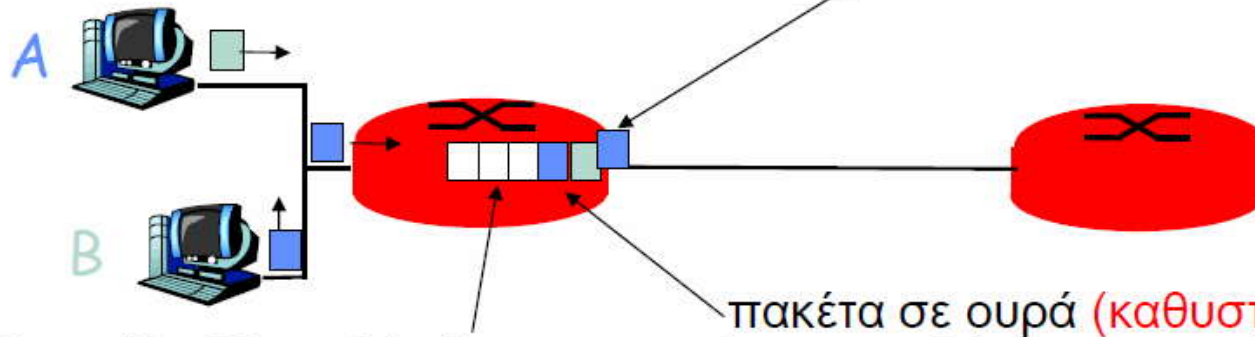
Ταχύτητα Διάδοσης και Ταχύτητα Μετάδοσης

- Θεωρούμε ως **ταχύτητα διάδοσης** την ταχύτητα με την οποία μεταφέρονται οι πληροφορίες πάνω στο κάθε φυσικό μέσο
- **Ταχύτητα μετάδοσης** την ταχύτητα με την οποία τοποθετεί η κάρτα δικτύου την πληροφορία πάνω στο φυσικό μέσο
- Η ταχύτητα διάδοσης είναι **σταθερή** ανά φυσικό μέσο ενώ η ταχύτητα μετάδοσης ποικίλει από τεχνολογία σε τεχνολογία, π.χ. υπάρχει Ethernet πάνω από καλώδιο χαλκού σε ταχύτητες μετάδοσης 10/100/1000 Mbps

Γιατί υπάρχουν απώλειες και καθυστερήσεις;

Τα πακέτα μπαίνουν σε ουρά (queue) σε buffers του δρομολογητή

- ο ρυθμός άφιξης πακέτων είναι μεγαλύτερος της χωρητικότητας της εξερχόμενης σύνδεσης
- τα πακέτα μπαίνουν σε ουρά, περιμένοντας τη «σειρά» τους
πακέτο που μεταδίδεται (καθυστέρηση)



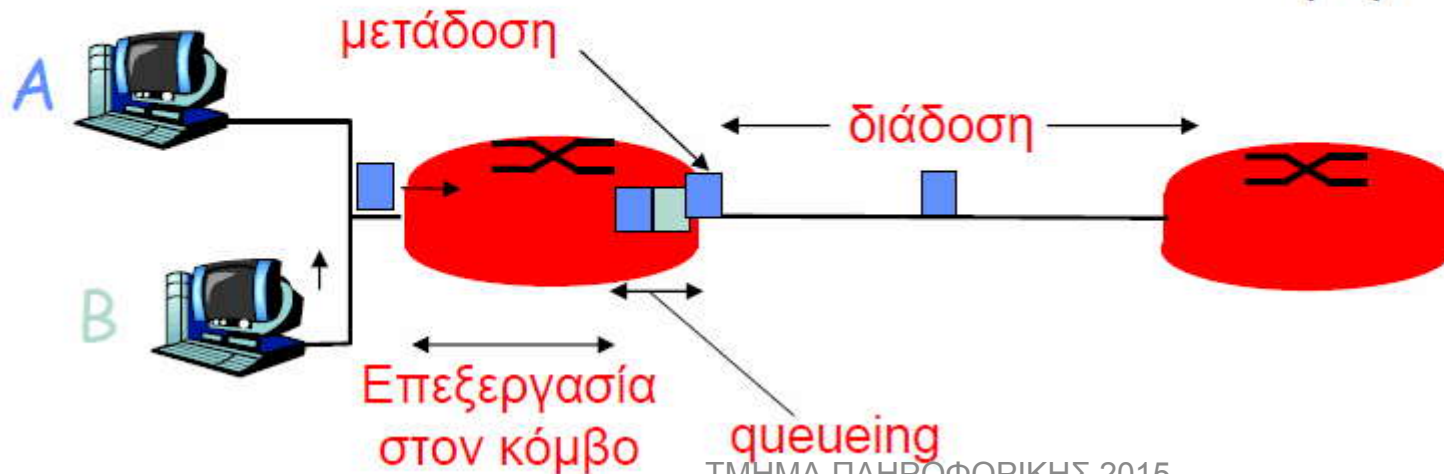
Τέσσερις λόγοι για την καθυστέρηση ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ

– 1. Επεξεργασία στον κόμβο:

- Έλεγχος για λάθη
- Προσδιορισμός εξερχόμενου κυκλώματος

— 2. Ουρές αναμονής

- Χρόνος αναμονής στο εξερχόμενο κύκλωμα για μετάδοση
- Εξαρτάται από το επίπεδο συμφόρησης (congestion) του δρομολογητή



Καθυστέρηση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου

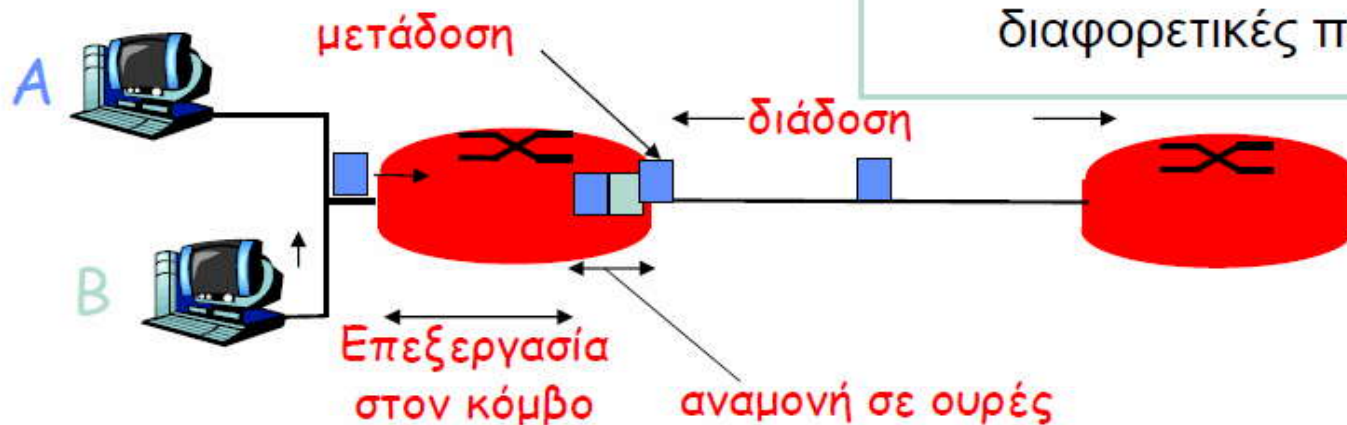
3. Καθυστέρηση Μετάδοσης:

- R = link bandwidth (bps)
- L = μέγεθος πακέτου (bits)
- χρόνος για την αποστολή του πακέτου στο κανάλι = L/R

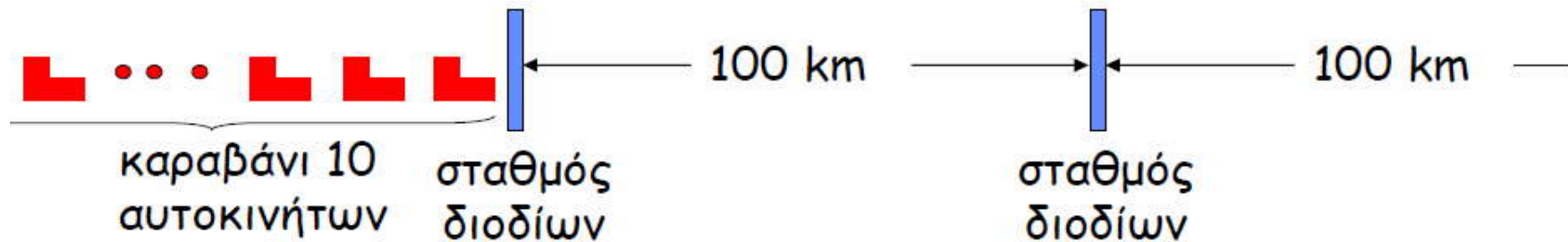
4. Καθυστέρηση Διάδοσης:

- d = μήκος του φυσικού συνδέσμου
- s = ταχύτητα διάδοσης στο φυσικό μέσο ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- καθυστέρηση διάδοσης = d/s

Σημείωση: το s και το R είναι πολύ διαφορετικές ποσότητες!



Παράδειγμα: Καραβάνι Αυτοκινήτων



Τα αυτοκίνητα “διαδίδονται” με 100 km/hr

Ο σταθμός διοδίων χρειάζεται 12 sec να εξυπηρετήσει ένα αυτοκίνητο (transmission time/bit)

Αυτοκίνητο ~ bit, καραβάνι ~ πακέτο

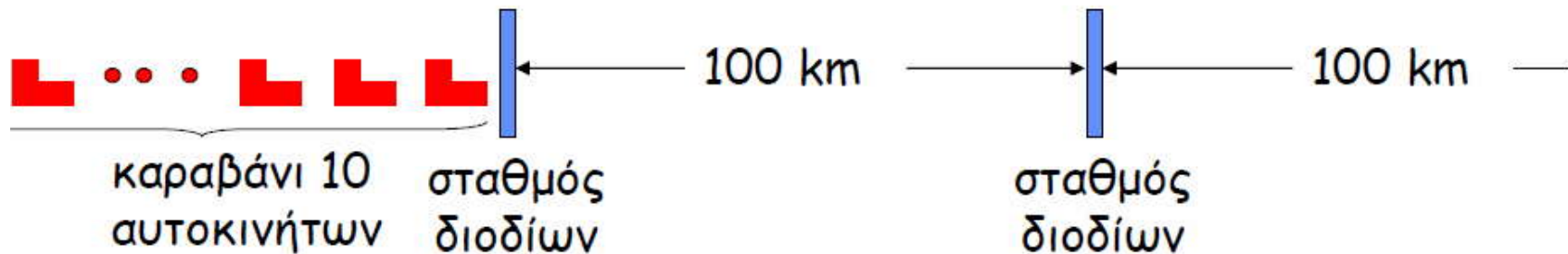
Ερώτηση: πόσος χρόνος χρειάζεται μέχρι το καραβάνι να φτάσει πριν το δεύτερο σταθμό διοδίων;

— Χρόνος να περάσει όλο το καραβάνι από το σταθμό διοδίων στο δρόμο = $12 \cdot 10 = 120$ sec

— Χρόνος για το τελευταίο αυτοκίνητο να διαδοθεί από τον πρώτο στο δεύτερο σταθμό διοδίων: $100\text{km}/(100\text{km/hr}) = 1$ hr

— Απάντηση: 62 minutes

Καραβάνι Αυτοκινήτων (συνέχεια)



Τα αυτοκίνητα τώρα διαδίδονται με 1000 km/hr

Ο σταθμός διοδίων χρειάζεται ένα λεπτό για να εξυπηρετήσει ένα αυτοκίνητο

Ερώτηση: Μπορούν να φτάσουν αυτοκίνητα στο δεύτερο σταθμό πριν όλα τα αυτοκίνητα εξυπηρετηθούν στον πρώτο;

— **Ναι!** Μετά από 7 λεπτά, το πρώτο αυτοκίνητο είναι στο δεύτερο σταθμό ενώ 3 αυτοκίνητα είναι ακόμα στον πρώτο

— Το πρώτο bit του πακέτου μπορεί να φτάσει στο δεύτερο δρομολογητή πριν το πακέτο μεταδοθεί πλήρως από τον πρώτο δρομολογητή!

Καθυστέρηση ανά Κόμβο (nodal delay)

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

- d_{proc} = καθυστέρηση επεξεργασίας
 - συνήθως λίγα μsecs ή λιγότερο
- d_{queue} = καθυστέρηση σε ουρές αναμονής
 - εξαρτάται από το φόρτο
- d_{trans} = καθυστέρηση μετάδοσης
 - = L/R , σημαντική για κυκλώματα χαμηλής ταχύτητας
- d_{prop} = καθυστέρηση διάδοσης
 - λίγα μsecs έως εκατοντάδες msecs

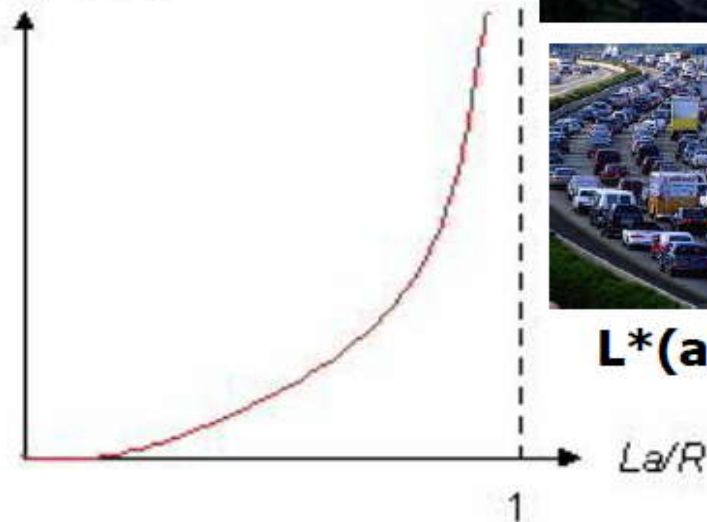
Καθυστέρηση Αναμονής Σε Ουρές (Queueing)

- R =bandwidth συνδέσμου (bps)
- L =μέγεθος πακέτου (bits)
- a =average packet arrival rate

ένταση κίνησης (traffic intensity) = $(L \cdot a) / R$

- $(L \cdot a) / R \sim 0$: μέσος χρόνος καθυστέρησης αναμονής σε ουρές μικρός
- $(L \cdot a) / R \rightarrow 1$: οι καθυστερήσεις είναι μεγάλες
- $(L \cdot a) / R > 1$: περισσότερη δουλειά φτάνει από όση μπορεί να εξυπηρετηθεί, μέση καθυστέρηση άπειρη!

average
queueing delay



$L \cdot (a/R) \sim 0$



$L \cdot (a/R) \rightarrow 1$

Η Μεταγωγή Πακέτου: πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Κάθε ροή δεδομένων χωρίζεται σε πακέτα (*packets*)

- Τα πακέτα των χρηστών A, B μοιράζονται τους πόρους του δικτύου
- Κάθε πακέτο χρησιμοποιεί το πλήρες εύρος ζώνης του κυκλώματος
- Οι πόροι χρησιμοποιούνται όταν χρειάζονται

~~Χωρισμός του εύρους ζώνης σε κομμάτια~~

~~Αφιερωμένη ανάθεση~~

~~Δέσμευση πόρων~~

Ανταγωνισμός για πόρους:

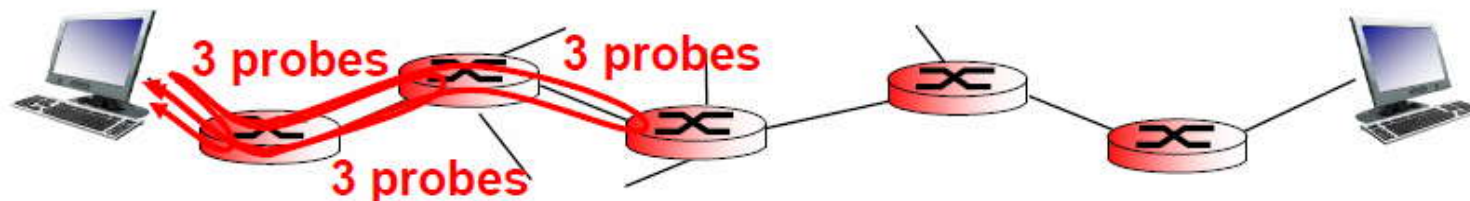
- Η συνολική απαίτηση για πόρους μπορεί να υπερβεί τη διαθέσιμη ποσότητα
- **Συμφόρηση:** πακέτα περιμένουν σε ουρές, περιμένοντας το κύκλωμα
- **Αποθήκευση και προώθηση:** τα πακέτα μετακινούνται ένα βήμα (hop) τη φορά
 - μετάδοση στο κύκλωμα
 - αναμονή στο επόμενο

“Πραγματικές” καθυστερήσεις και διαδρομές στο Internet (I)

Πως θα μπορούσα να δω «πραγματικές» καθυστερήσεις και απώλειες στο Internet;

Πρόγραμμα `traceroute`: παρέχει μετρήσεις καθυστέρησης από την πηγή προς κάθε δρομολογητή κατά μήκος του μονοπατιού προς τον προορισμό. Για κάθε i :

- στέλνει τρία πακέτα που θα φτάσουν στο δρομολογητή i στο μονοπάτι προς τον προορισμό
- ο δρομολογητής i θα επιστρέψει τα πακέτα στον αποστολέα
- ο αποστολέας χρονομετρεί το διάστημα μεταξύ μετάδοσης και απάντησης



“Πραγματικές” καθυστερήσεις και διαδρομές στο Internet (I)

traceroute: από `gaia.cs.umass.edu` προς `www.eurecom.fr`

3 μετρήσεις καθυστέρησης από `gaia.cs.umass.edu` προς `cs-gw.cs.umass.edu`

1	<code>cs-gw (128.119.240.254)</code>	1 ms	1 ms	2 ms
2	<code>border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)</code>	1 ms	1 ms	2 ms
3	<code>cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)</code>	6 ms	5 ms	5 ms
4	<code>jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)</code>	16 ms	11 ms	13 ms
5	<code>jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)</code>	21 ms	18 ms	18 ms
6	<code>abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)</code>	22 ms	18 ms	22 ms
7	<code>nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)</code>	22 ms	22 ms	22 ms
8	<code>62.40.103.253 (62.40.103.253)</code>	104 ms	109 ms	106 ms
9	<code>de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)</code>	109 ms	102 ms	104 ms
10	<code>de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)</code>	113 ms	121 ms	114 ms
11	<code>renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)</code>	112 ms	114 ms	112 ms
12	<code>nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)</code>	111 ms	114 ms	116 ms
13	<code>nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)</code>	123 ms	125 ms	124 ms
14	<code>r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)</code>	126 ms	126 ms	124 ms
15	<code>eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)</code>	135 ms	128 ms	133 ms
16	<code>194.214.211.25 (194.214.211.25)</code>	126 ms	128 ms	126 ms
17	***			
18	***			
19	<code>fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)</code>	132 ms	128 ms	136 ms

Υπερωκεάνιο κύκλωμα

* Χωρίς απάντηση (απώλεια probe, ο δρομολογητής δεν αποκρίνεται)

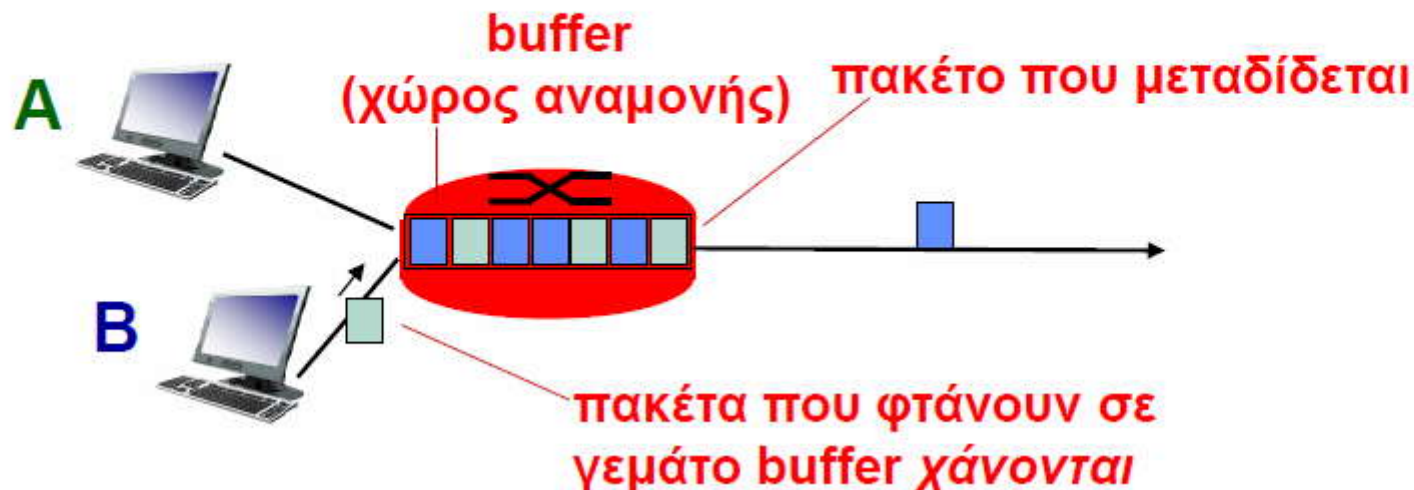
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΑΚΕΤΩΝ

Η ουρά (δηλ. ο buffer) ενός κυκλώματος έχει **πεπερασμένη χωρητικότητα**

Το πακέτο που φτάνει σε μια γεμάτη ουρά **χάνεται**

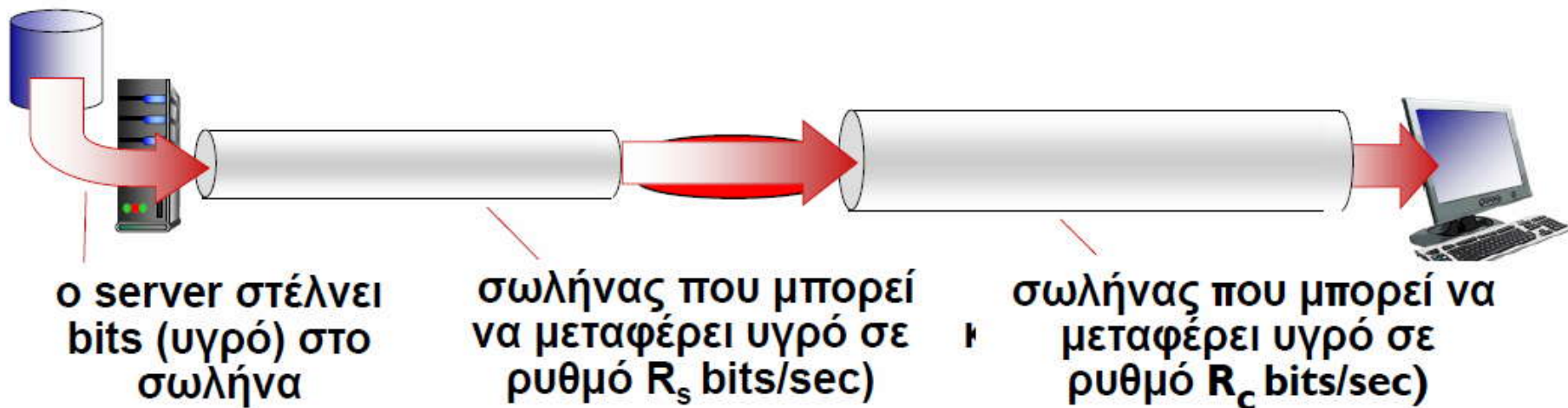
Το χαμένο πακέτο μπορεί να **επαναμεταδοθεί** από τον προηγούμενο κόμβο, τον αποστολέα, ή καθόλου

Δείτε εδώ applets για κατανόηση απωλειών και αναμονής σε ουρές:
http://wps.aw.com/aw_kurose_network_3/21/5493/1406348.cw/index.html



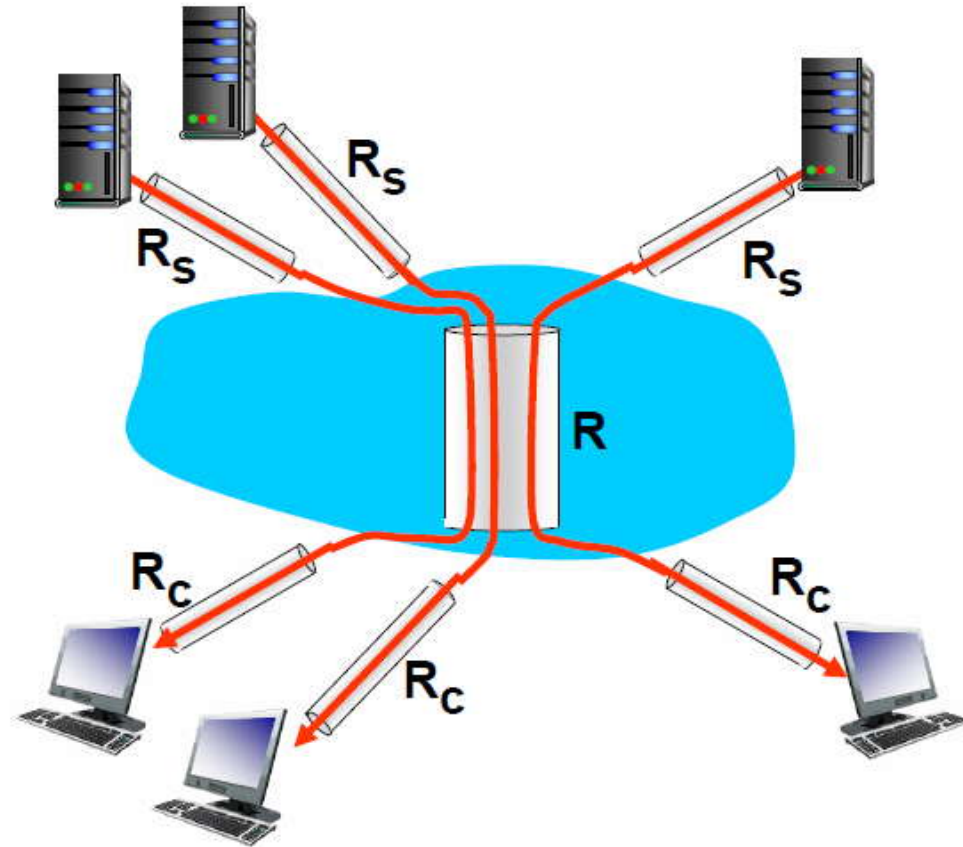
Throughput

- **throughput**: ο ρυθμός (bits/χρονική μονάδα) με τον οποίο μεταφέρονται bits μεταξύ αποστολέα-παραλήπτη
 - **στιγμιαίος**: ο ρυθμός σε μια δεδομένη χρονική στιγμή
 - **μέσος**: ο ρυθμός σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο



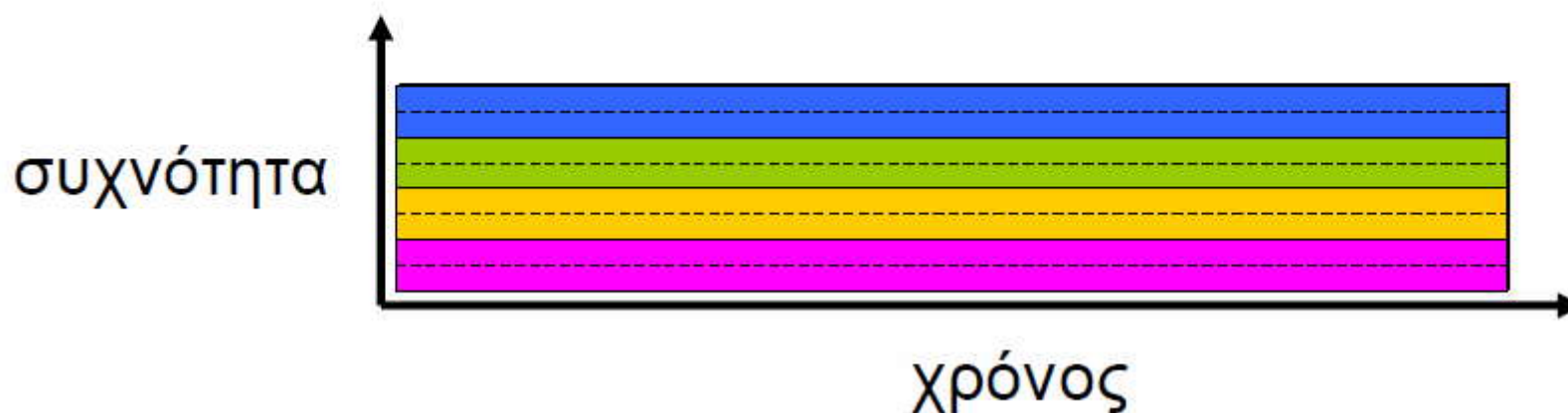
Throughput: Το σενάριο του Internet

- Το throughput ανά σύνδεση από άκρο σε άκρο: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Στην πράξη: Το bottleneck είναι συνήθως το R_c ή το R_s



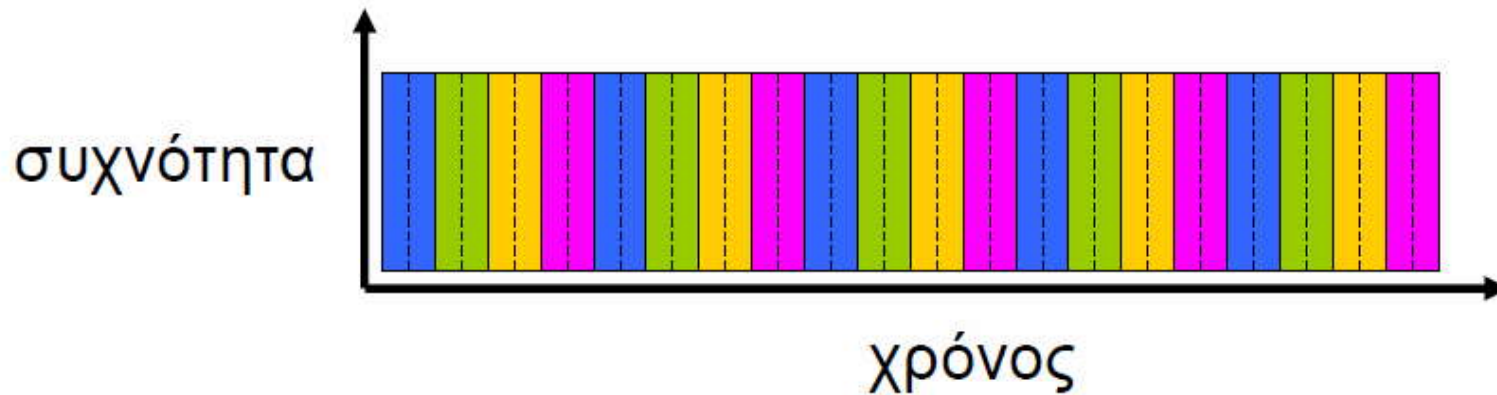
10 συνδέσεις μοιράζονται (δίκαια) το κύκλωμα κορμού R bits/sec που δημιουργεί bottleneck

Παράδειγμα: Χρόνος Μετάδοσης Δεδομένων και FDM



- Έστω κύκλωμα με ρυθμό μετάδοσης R bps το οποίο υποστηρίζει N κανάλια με χρήση FDM
- Ο ρυθμός μετάδοσης κάθε καναλιού θα είναι R/N bps
- Έστω δεδομένα πλήθους L bits. Ο συνολικός χρόνος μετάδοσής τους πάνω από ένα κανάλι αυτού του κυκλώματος θα είναι: $\frac{L}{R/N} = \frac{L * N}{R}$

Παράδειγμα: Χρόνος Μετάδοσης Αρχείου και TDM



- Δεδομένα: L bits, Κύκλωμα: R bps, N κανάλια με χρήση TDM
- Υποθέτουμε διάρκεια των N καναλιών 1 sec, συνεπώς χρονική διάρκεια ενός καναλιού: $1/N$ sec
- Έστω L_s τα δεδομένα που στέλνονται σε χρόνο $1/N$.
 $1/N = L_s/R \Rightarrow L_s = R/N$. Άρα σε 1 sec έχουν σταλεί R/N bits και σε $(L*N)/R$ sec έχουν σταλεί και τα L bits