



Εισαγωγή

Δίκτυα Υπολογιστών
Άγγελος Μιχάλας
amichal@unipi.gr
amichal@uowm.gr



Βιβλιογραφία

- Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet, Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley.
- Computer Networks, Andrew Tanenbaum.

Δίκτυα Υπολογιστών

- Δίκτυο Υπολογιστών: ένα σύνολο αυτόνομων υπολογιστών που είναι διασυνδεδεμένοι με μία κοινή τεχνολογία
- Η σύνδεση αυτή μπορεί να επιτυγχάνεται με μια ποικιλία μέσων μετάδοσης
 - Χάλκινα Καλώδια
 - Οπτικές ίνες
 - Μικροκύματα
 - Υπέρυθρες Ακτίνες
 - Τηλεπικοινωνιακοί Δορυφόροι

Ταξινόμηση Δικτύων Υπολογιστών

○ Κριτήρια

● Τεχνολογία Μετάδοσης

○ Συνδέσεις εκπομπής (Broadcast)

● Κοινό κανάλι επικοινωνίας

● Δύο υποκατηγορίες

○ Εκπομπή ή ευρείας εκπομπής (broadcasting)

○ Πολυδιανομή (Multicasting)

○ Συνδέσεις από Σημείο σε Σημείο (Point-to-Point)

● Πολλές συνδέσεις ανάμεσα σε ζεύγη μηχανών

Ταξινόμηση Δικτύων Υπολογιστών

- Κριτήρια
 - Κλίμακα

Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	Local area network
100 m	Building	
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10,000 km	Planet	The Internet



Τοπικά δίκτυα – Local Area Networks (LAN)

- Καλύπτουν μικρότερες αποστάσεις (κτίριο ή campus)
- Συνήθως ανήκουν σε έναν φορέα στον οποίο επίσης ανήκουν και τα τερματικά
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης
- Συνήθως πρόκειται για συστήματα ευρείας εκπομπής (Broadcast)



Μητροπολιτικά δίκτυα - Metropolitan Area Networks (MAN)

- Καλύπτουν μητροπολιτικές περιοχές δηλαδή μεγαλύτερες από των τοπικών δικτύων και μικρότερες από αυτές των δικτύων ευρείας περιοχής
- Μπορεί να είναι ιδιωτικά ή δημόσια
- Υψηλές ταχύτητες



Δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks-WAN)

- Καλύπτουν μεγάλη γεωγραφική περιοχή
 - Διασχίζουν δημόσια δίκτυα
 - Στηρίζονται σε κυκλώματα που παρέχονται από κοινούς (δημόσιους) φορείς

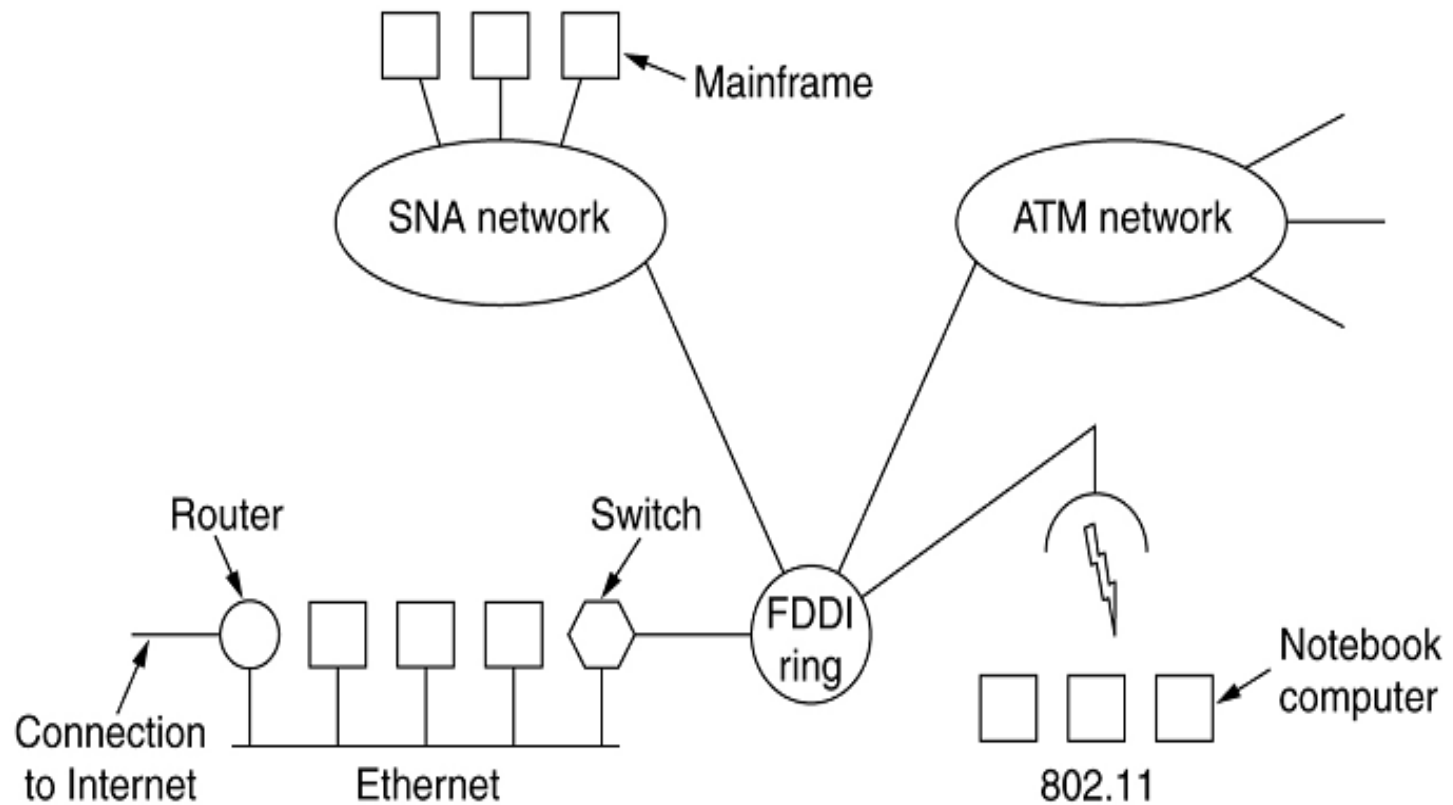
Διαδικτύωση

- Διαδικτύωση (Internetworking): διασύνδεση δύο ή περισσότερων δικτύων



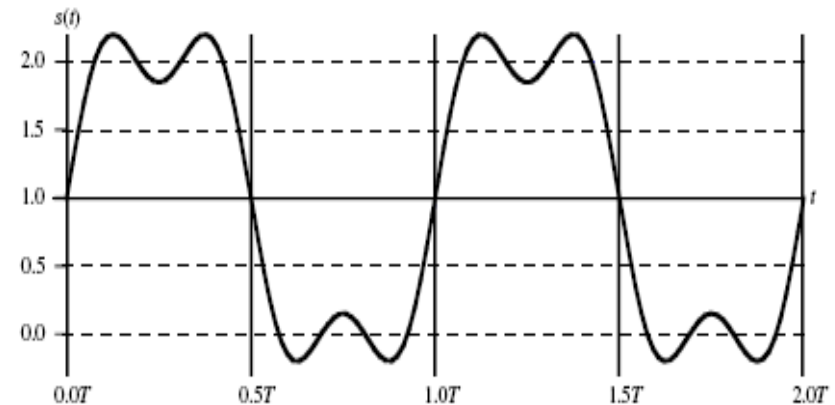
IS: (Πύλη (Gateway) -- Δρομολογητής (Router), Γέφυρα (Bridge), Επαναλήπτης (Repeater))

Διαδικτύωση

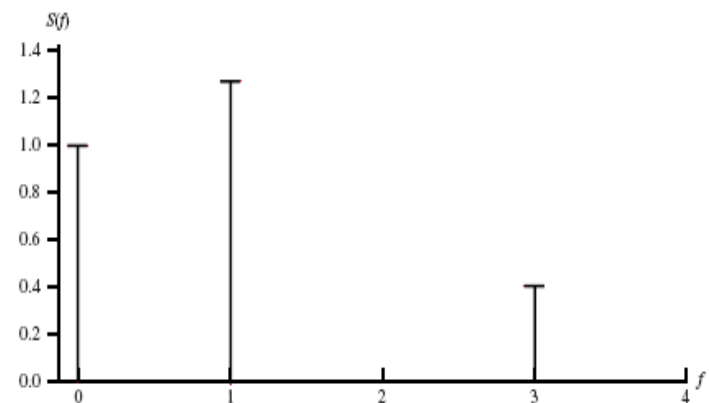


Συχνότητα, Φάσμα και Εύρος Ζώνης 1/5

- Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα χρησιμοποιούνται ως μέσα για την μετάδοση δεδομένων.
- Το σήμα είναι μια συνάρτηση του χρόνου, αλλά μπορεί και να εκφραστεί ως συνάρτηση της συχνότητας εξαιτίας του ότι το σήμα αποτελείται από συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων.
- Η παράσταση στο πεδίο της συχνότητας ενός σήματος είναι πιο σημαντική για την κατανόηση της μετάδοσης δεδομένων από ότι η παράστασή του στο πεδίο του χρόνου.



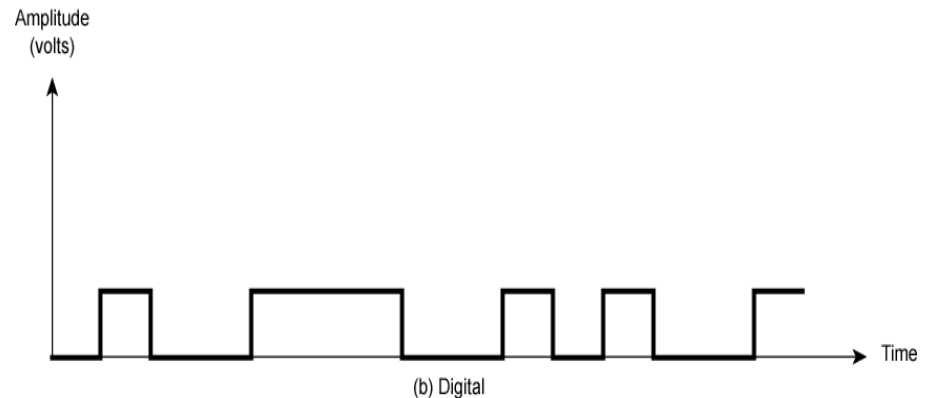
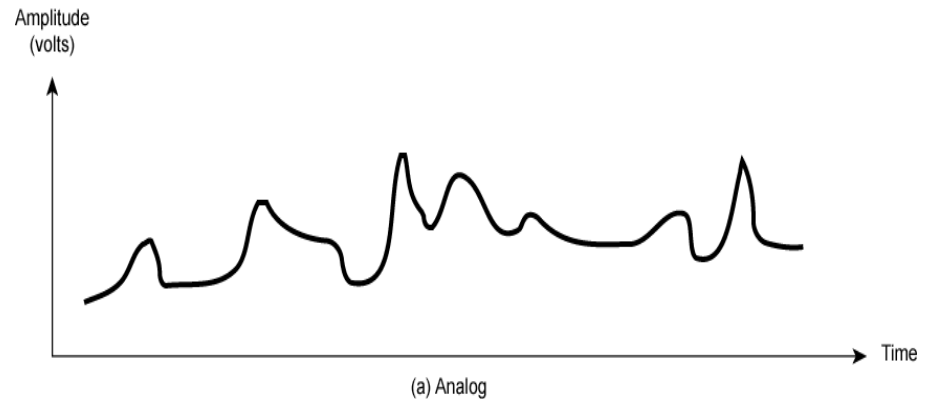
$$(a) s(t) = 1 + (4/\pi) [\sin(2\pi f t) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t)]$$



(b) S(f)

Αναλογικά και Ψηφιακά σήματα

- Ένα αναλογικό σήμα (**analog signal**) είναι ένα σήμα του οποίου η έντασή του μεταβάλλεται ομαλά με το χρόνο δηλαδή δεν υπάρχουν διακοπές ή ασυνέχειες στο σήμα.
- Ένα ψηφιακό σήμα (**digital signal**) είναι ένα σήμα του οποίου η ένταση διατηρεί μια σταθερή τιμή για μια χρονική περίοδο και μετά αλλάζει σε μια άλλη σταθερή τιμή.

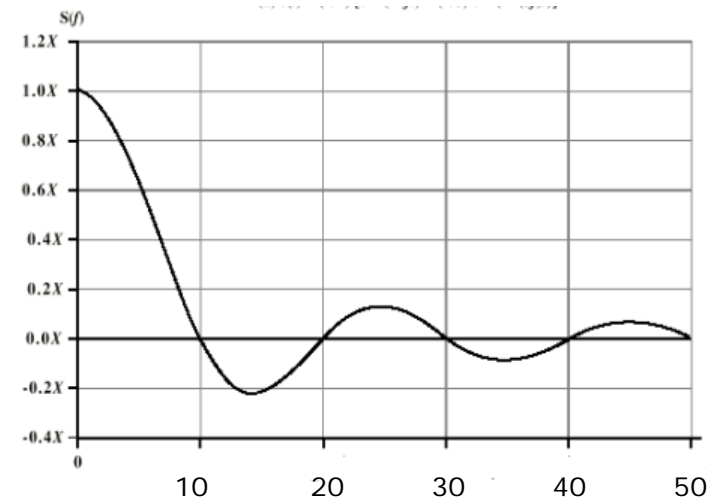
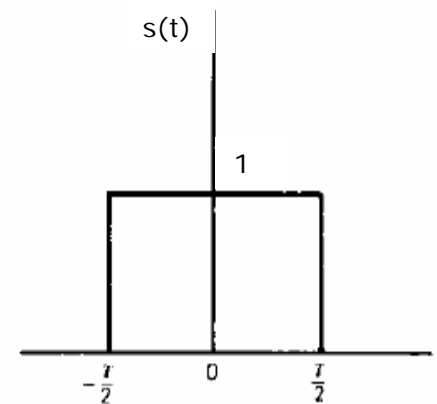


Συχνότητα, Φάσμα και Εύρος Ζώνης 2/5

- Σύμφωνα με θεώρημα Fourier, κάθε σήμα είναι ένα άθροισμα ημιτονοειδών σημάτων (που ονομάζονται και αρμονικές συνιστώσες).
- Έτσι προσθέτοντας μαζί ημιτονοειδή σήματα, που το καθένα έχει το κατάλληλο πλάτος, συχνότητα, και φάση, οποιοδήποτε σήμα μπορεί να κατασκευαστεί.
- Για τα περιοδικά σήματα οι συχνότητες των αρμονικών είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας με κατάλληλα πλάτη και φάσεις (διακριτό φάσμα συχνοτήτων).
- Για τα μη περιοδικά σήματα οι συχνότητες των αρμονικών δεν είναι διακεκριμένες τιμές αλλά όλες (συνεχές φάσμα συχνοτήτων).

Συχνότητα, Φάσμα και Εύρος Ζώνης 3/5

- Στο κάτω σχήμα παρουσιάζεται η συνάρτηση στο πεδίο της συχνότητας για το σήμα τετραγωνικού παλμού $s(t)$ που έχει τιμή 1 από $-X/2$ έως $X/2$, και 0 αλλού.
- Παρατηρούμε σε αυτή την περίπτωση πως η $S(f)$ είναι συνεχής (αφού το σήμα απεριοδικό δηλαδή δεν επαναλαμβάνεται) και καθώς μεγαλώνει το f η $S(f)$ τείνει στο 0.



Συχνότητα, Φάσμα και Εύρος Ζώνης 4/5

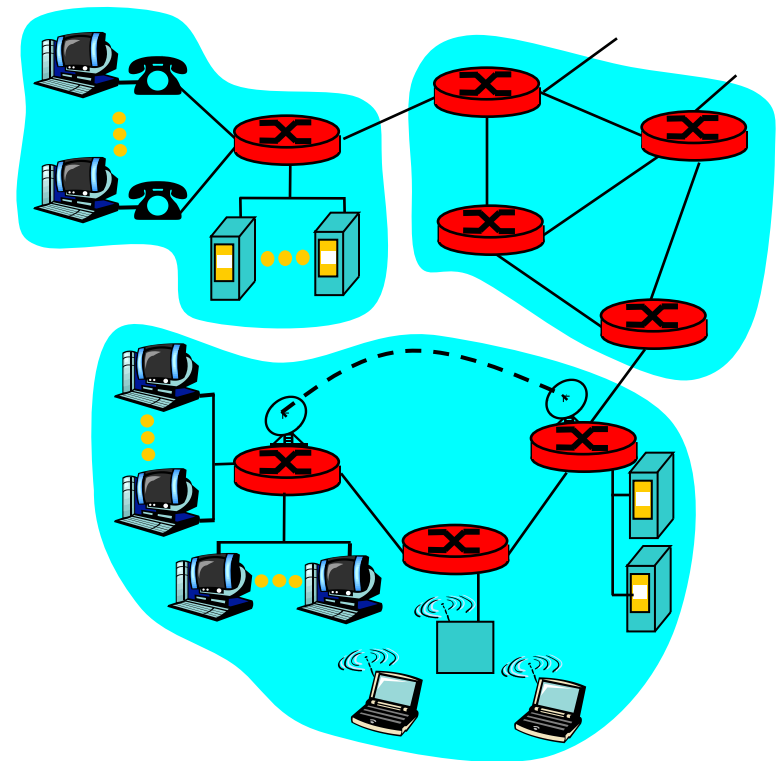
- Εύρος ζώνης (bandwidth) = το εύρος των συχνοτήτων που περιέχουν την περισσότερη ενέργεια του σήματος
- Διαφάνεια 11 => bandwidth = 3Hz
- Διαφάνεια 13 => bandwidth = 50Hz
- Υπάρχει μια άμεση σχέση μεταξύ του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (μετράται σε bps) και του εύρους ζώνης (μετράται σε Hz):
 - **Όσο υψηλότερος ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του σήματος.**

Συχνότητα, Φάσμα και Εύρος Ζώνης 5/5

- Σύμφωνα με το θεώρημα Nyquist, εάν ο ρυθμός μετάδοσης σήματος είναι $2B$, τότε ένα σήμα με συχνότητες όχι μεγαλύτερες από B είναι επαρκές για να μεταφέρει τον ρυθμό του σήματος.
 - Ισχύει και το αντίστροφο: Λαμβάνοντας υπόψη ένα εύρος ζώνης B , ο ψηλότερος ρυθμός σήματος που μπορεί να μεταφερθεί είναι $2B$.
- Για παράδειγμα, εξετάστε ένα κανάλι φωνής που χρησιμοποιείται μέσω ενός modem για να μεταδώσει ψηφιακά δεδομένα. Υποθέστε εύρος ζώνης του καναλιού 3100Hz . Η χωρητικότητα (Capacity) C του καναλιού είναι $C=2B=6200\text{bps}$.
- Πολλές φορές το **εύρος ζώνης** το ταυτίζουμε με το **ρυθμό μετάδοσης** οπότε λέμε ότι το κανάλι έχει **εύρος ζώνης** 6200bps ή $6,2\text{Kbps}$.

Δομή ενός Δικτύου

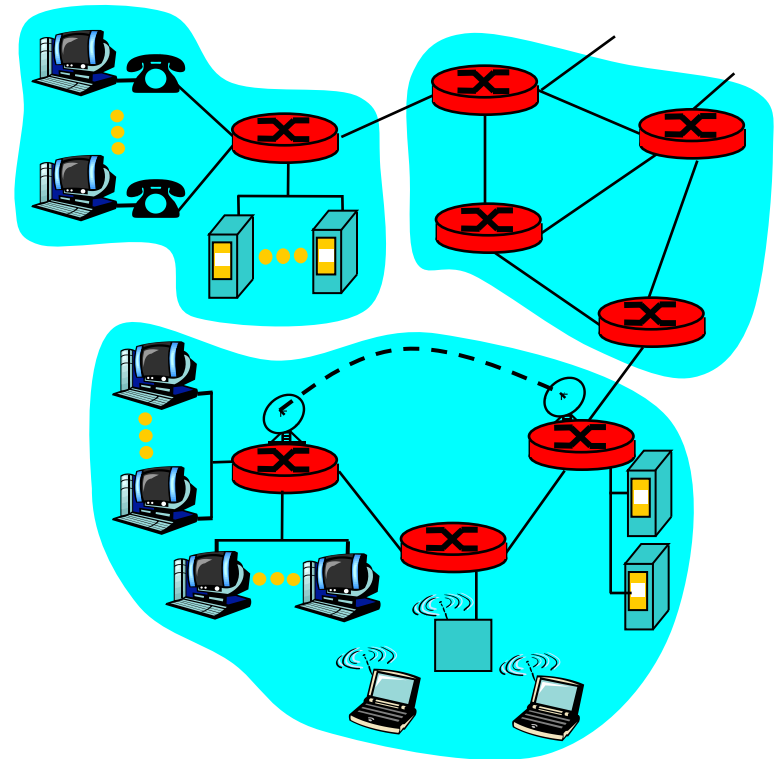
- Άκρα Δικτύου:
Εφαρμογές και hosts
 - Μοντέλο Εξυπηρετητή – Πελάτη
 - Μοντέλο Μεταξύ Ομοτίμων
- Πυρήνας Δικτύου:
 - Δρομολογητές
 - Δίκτυο από Δίκτυα
- Δίκτυα προσπέλασης,
Φυσικά μέσα



Δομή ενός Δικτύου

○ Τρόπος Μεταφοράς των Δεδομένων

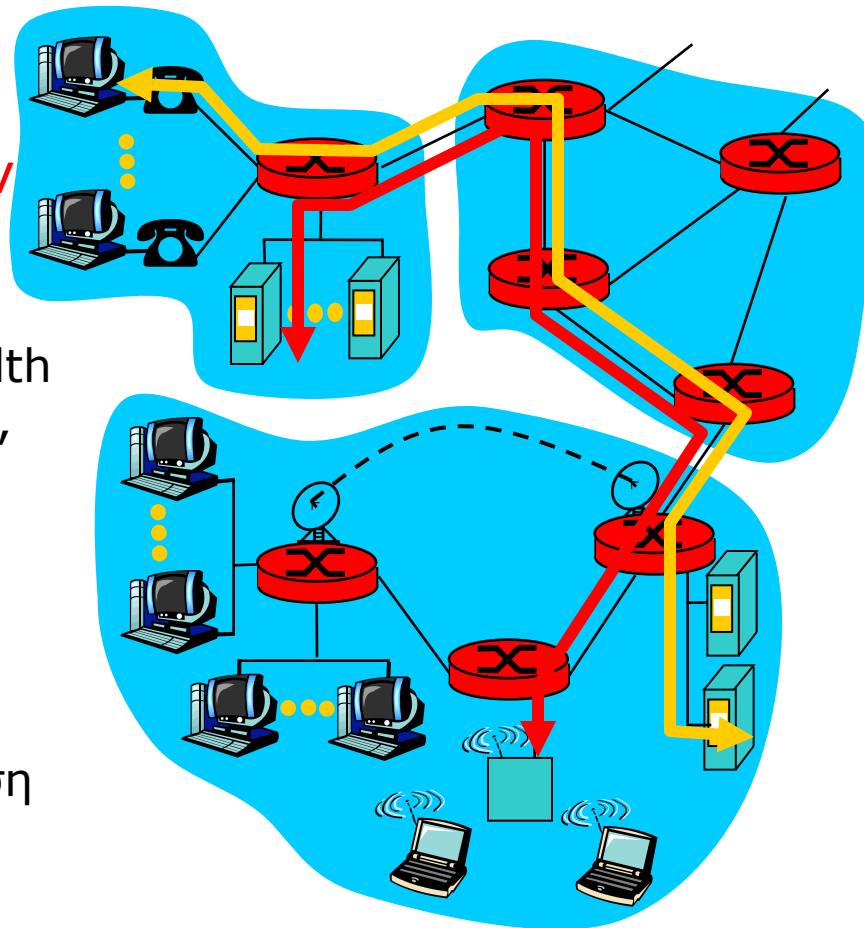
- Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching): αφιερωμένο κύκλωμα σε κάθε κλήση: τηλεφωνικό δίκτυο
- Μεταγωγή πακέτου (packet-switching): τα δεδομένα στέλνονται μέσω δικτύου σε ξεχωριστά κομμάτια



Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Κυκλώματος

Δέσμευση πόρων από άκρο σε άκρο για την κλήση

- Εύρος ζώνης του κυκλώματος (bandwidth = ρυθμός μετάδοσης), χωρητικότητα μεταγωγέων
- Αφιερωμένοι πόροι: χωρίς διαμοιρασμό
- Εγγυημένη απόδοση
- Απαιτείται εγκατάσταση κλήσης (call setup)



Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Κυκλώματος

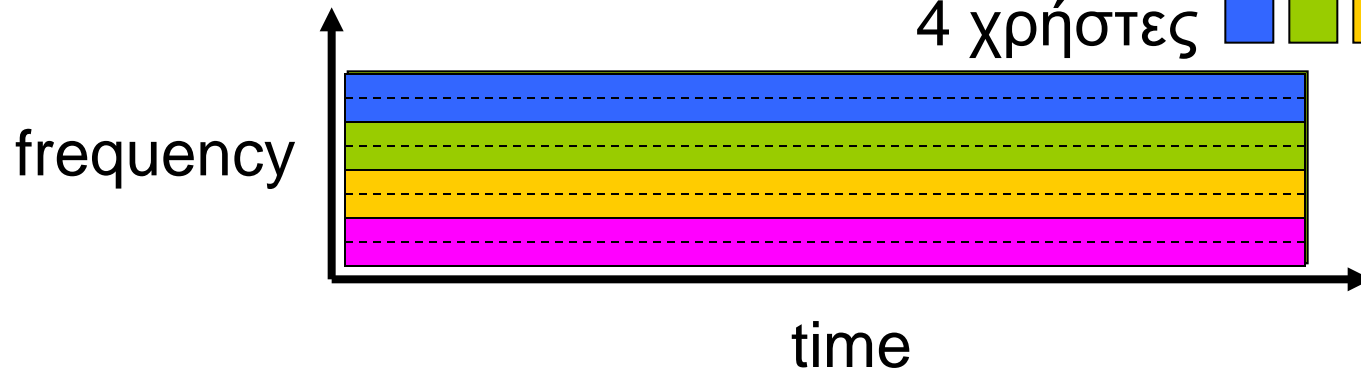
- Οι πόροι του δικτύου χωρίζονται σε κομμάτια:
 - Τα κομμάτια δίνονται στις κλήσεις
 - Το τμήμα των πόρων παραμένει αδρανές (idle) αν δε χρησιμοποιείται από την κλήση που το δημιούργησε (δεν υπάρχει διαμοιρασμός)
- Δύο τρόποι διαχωρισμού του εύρους ζώνης σε «κομμάτια»:
 - Διαχωρισμός στη συχνότητα (Frequency Division Multiplexing)
 - Διαχωρισμός στο χρόνο (Time Division Multiplexing)

Μεταγωγή Κυκλώματος: FDM και TDM

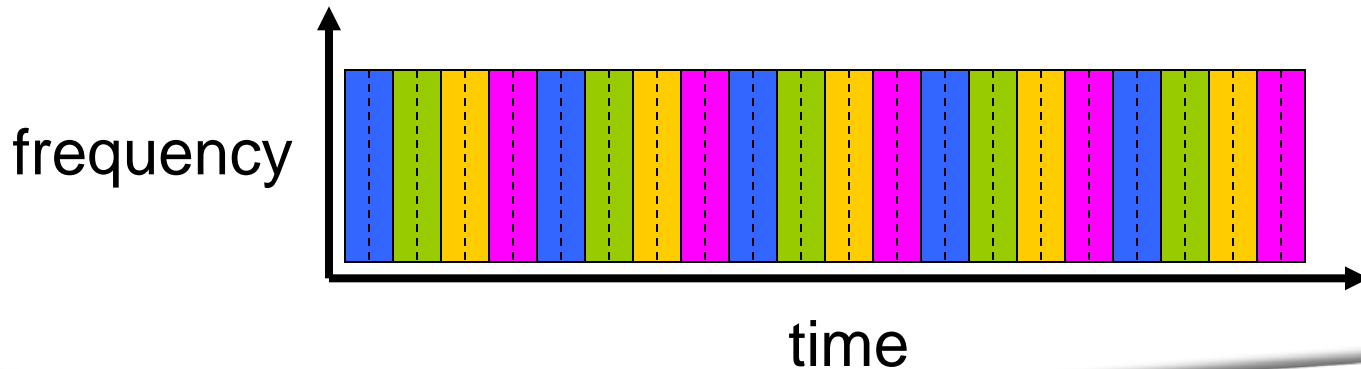
FDM

Παράδειγμα:

4 χρήστες ■ ■ ■ ■



TDM



Πυρήνας Δικτύου: Μεταγωγή Πακέτου

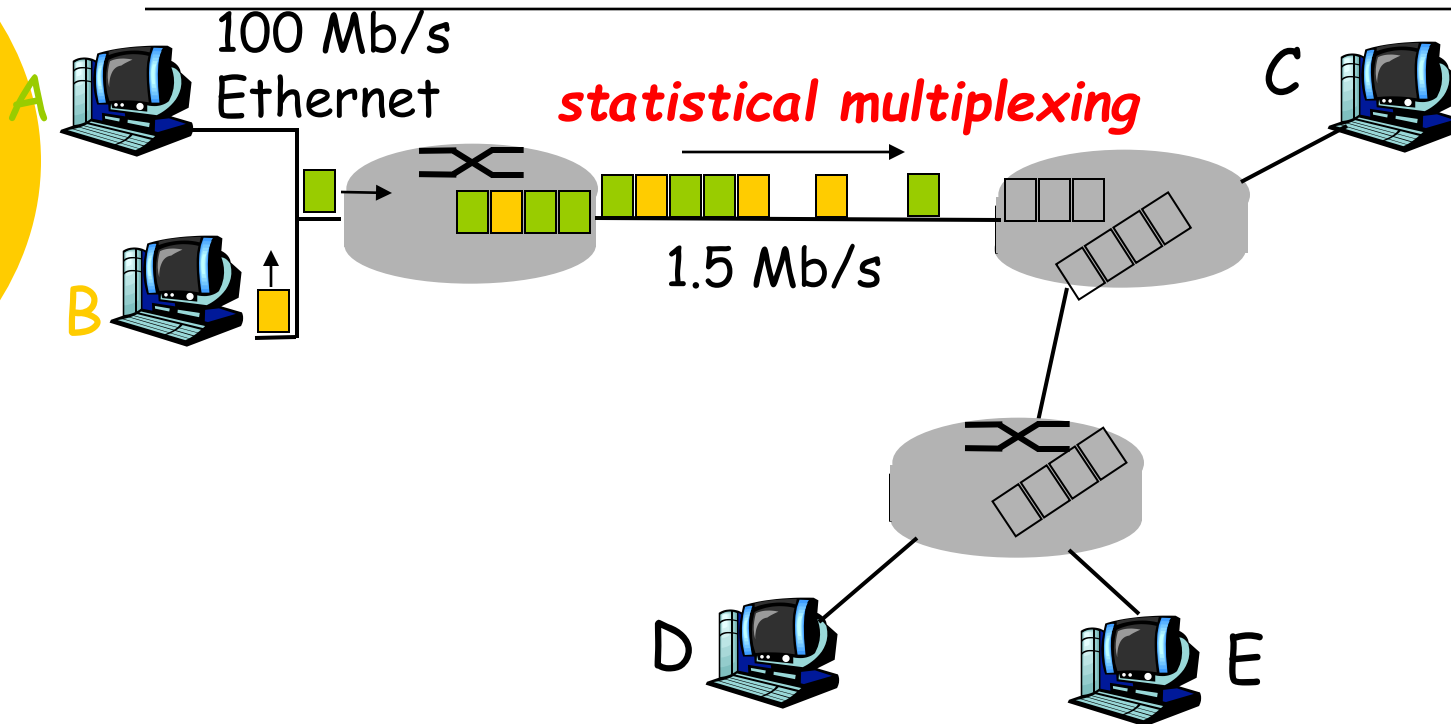
○ Κάθε ροή δεδομένων χωρίζεται σε πακέτα

- 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

Ανταγωνισμός για πόρους:

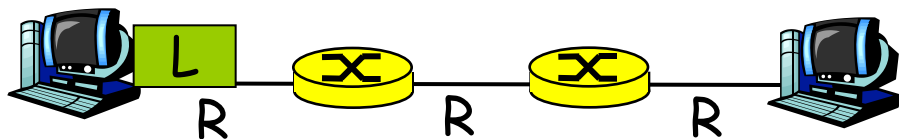
- Η συνολική απαίτηση για πόρους μπορεί να υπερβεί τη διαθέσιμη ποσότητα
- Συμφόρηση: πακέτα περιμένουν σε ουρές, περιμένοντας το κύκλωμα
- Αποθήκευση και προώθηση: τα πακέτα μετακινούνται ένα βήμα (hop) τη φορά
 - μετάδοση στο κύκλωμα
 - αναμονή στο επόμενο

Μεταγωγή Πακέτου: Στατιστική Πολυπλεξία



Η ακολουθία πακέτων από A και B δεν είναι τυποποιημένη → **στατιστική πολυπλεξία**.

Μεταγωγή Πακέτου: Προώθηση και αποθήκευση (store-and-forward)



- L/R seconds για τη μετάδοση L bits στη ζεύξη με ρυθμό μετάδοσης R bps
- Ολόκληρο το πακέτο πρέπει να φτάσει στο δρομολογητή πριν μεταδοθεί στην επόμενη ζεύξη: *store and forward*
- Καθυστέρηση = $3L/R$ (αν υποθέσουμε μηδενική καθυστέρηση διάδοσης (propagation delay))

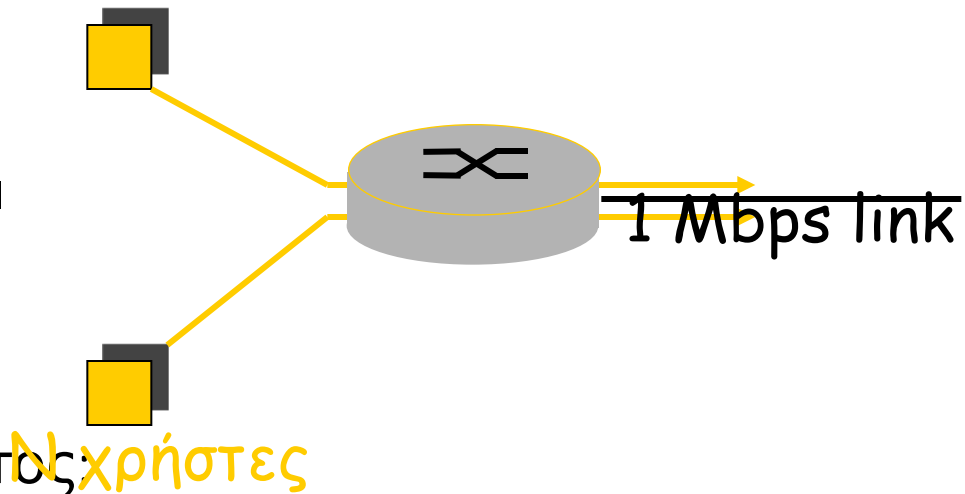
Παράδειγμα:

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

Μεταγωγή πακέτου έναντι μεταγωγής κυκλώματος

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

- 1 Mb/s link
- Κάθε χρήστης:
 - 100 kb/s όταν είναι “ενεργοί”
 - ενεργοί 10% του χρόνου
- Μεταγωγή κυκλώματος:
 - 10 χρήστες
- packet switching:
 - με 35 χρήστες, πιθανότητα > 10 ενεργοί μικρότερη .0004



$$P(n,N) = \frac{(N!) (p^n) (1-p)^{(N-n)}}{(n!) (n-M)!}$$
$$P(11,35) = \frac{(35!) (0.1^{11}) (0.9^{24})}{(11!) (24!)}$$
$$= 0.0003$$
$$P(12,35) = 0.0001$$

Prob. Host is Active	0.1		No. Hosts	35
----------------------	-----	--	-----------	----

Number Active (n)	Prob(n,N)	Prob(>n,N)	Poisson(n,P*N)	
0	0.0250	0.9750	0.0302	0.9608
1	0.0973	0.8776	0.1057	0.8641
2	0.1839	0.6937	0.1850	0.6792
3	0.2247	0.4690	0.2158	0.4634
4	0.1998	0.2693	0.1888	0.2746
5	0.1376	0.1316	0.1322	0.1424
6	0.0765	0.0552	0.0771	0.0653
7	0.0352	0.0200	0.0385	0.0267
8	0.0137	0.0063	0.0169	0.0099
9	0.0046	0.0017	0.0066	0.0033
10	0.0013	0.0004	0.0023	0.0010
11	0.0003	0.0001	0.0007	0.0003
12	0.0001	0.0000	0.0002	0.0001
13	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Με ακρίβεια:
$$\text{Prob}(n,N) = \frac{N! p^n (1-p)^{N-n}}{n! (N-n)!}$$

Με προσέγγιση:
$$\text{Poisson}(n,M) = \exp(-M)M^n/n!$$

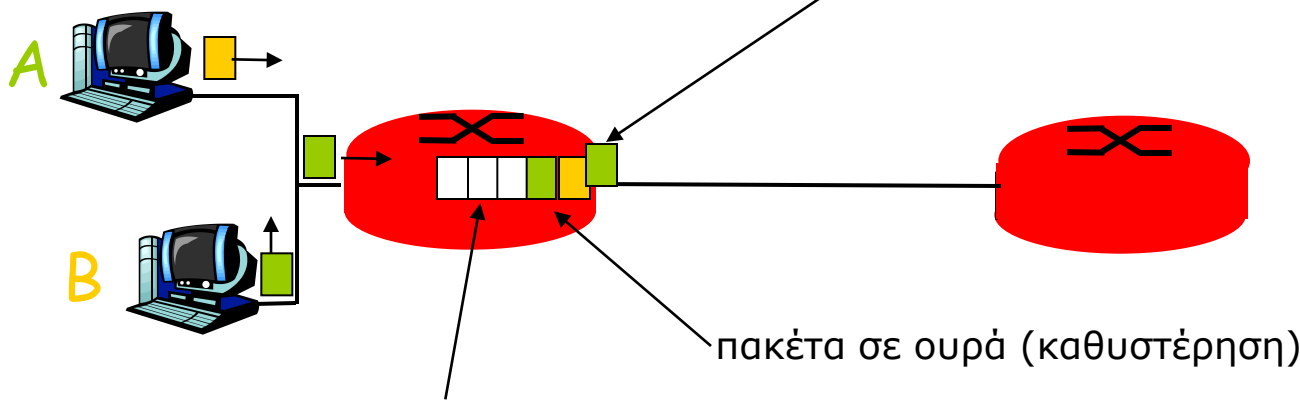
όπου $M = P*N = 3.5$ hosts

Μετρικές Επίδοσης Δίκτυου

- Ρυθμαπόδοση - Διαμετακομιστική Ικανότητα (Throughput)
 - το πλήθος των bits που μπορούν να μεταφερθούν αξιόπιστα μέσα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Καθυστέρηση Μεταφοράς
 - Καθυστέρηση Μεταφοράς = Χρόνος Διάδοσης + Χρόνος Μετάδοσης + Χρόνος Αναμονής + Χρόνος Επεξεργασίας

Μετρικές Επίδοσης Δίκτυου

- Καθυστερήσεις και Απώλειες
 - 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)



ελεύθερα (διαθέσιμα) buffers: τα πακέτα που φθάνουν απορρίπτονται (απώλεια) αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι buffers

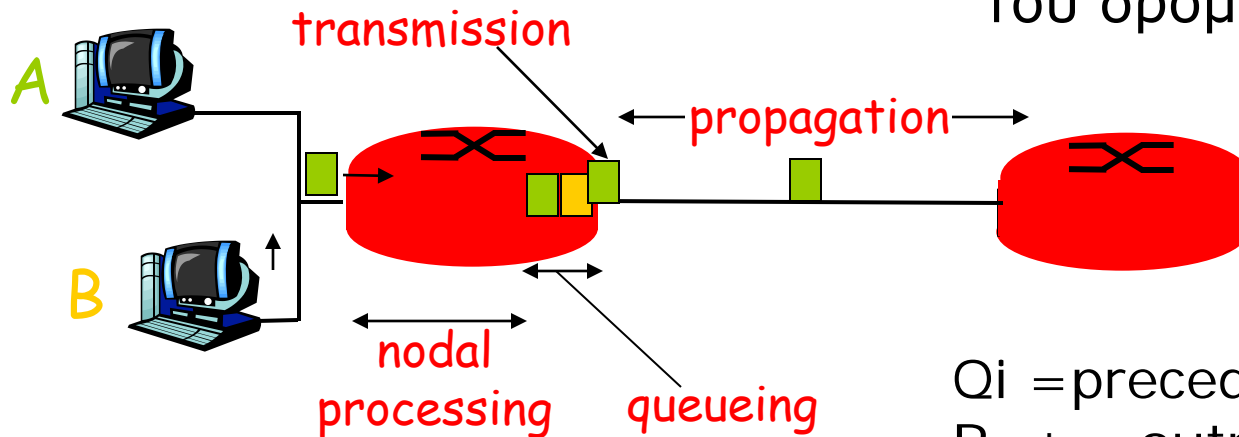
Μετρικές Επίδοσης Δίκτυου

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



Q_i = preceding bits in queue
 R_{out} = output link bps

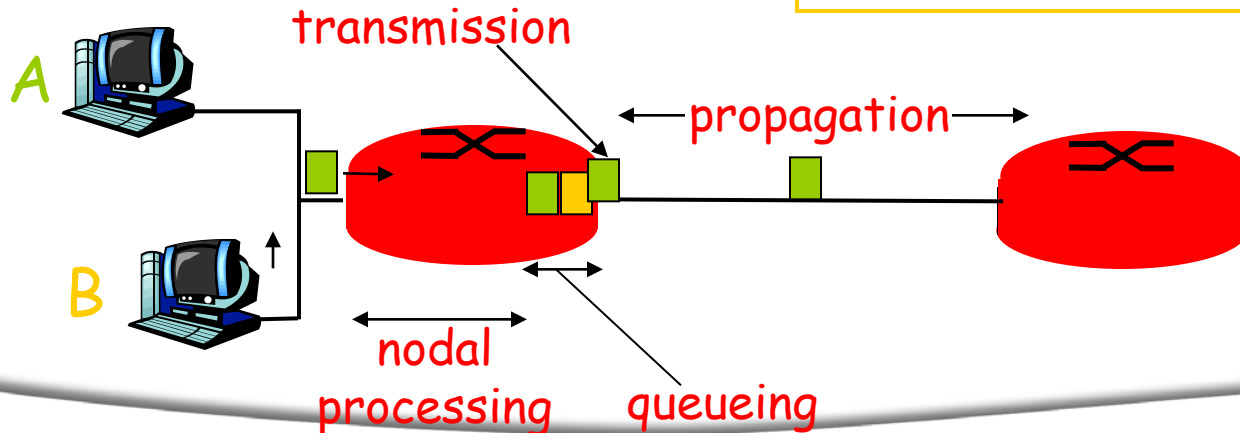
Μετρικές Επίδοσης Δίκτυου

3. Καθυστέρηση Μετάδοσης:

- R = link bandwidth (bps)
- L = packet length (bits)
- $TRANSP = L/R$

4. Καθυστέρηση Διάδοσης:

- d = length of physical link
- s = propagation speed in medium
- $PROP = d/s$

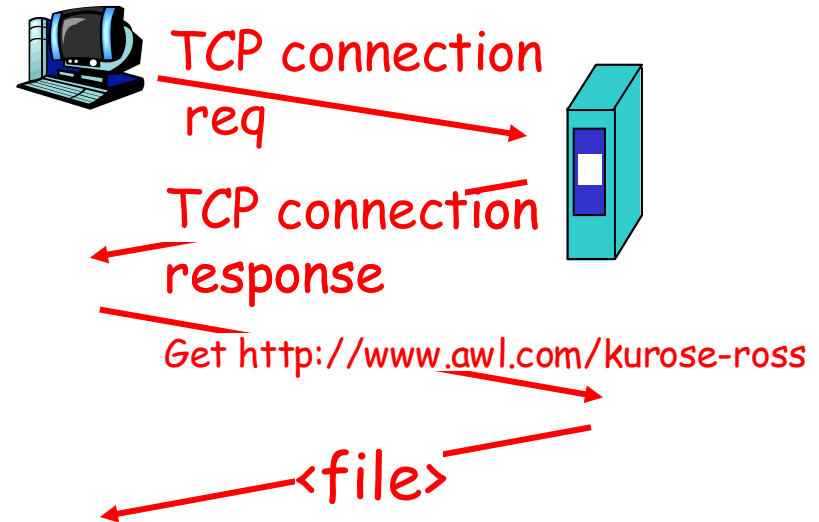


Άσκηση

Για την μετάδοση πακέτων με μηχανισμό εικονικού κυκλώματος θα πρέπει αρχικά να εγκατασταθεί το κύκλωμα και εν συνεχεία να μεταδοθούν τα πακέτα. Το δίκτυο αντιμετωπίζει χαμηλό φόρτο, οπότε τα πακέτα δεν υφίστανται καθυστερήσεις (queuing delay) στους κόμβους του. Ο χρόνος εγκατάστασης του εικονικού κυκλώματος είναι 400ms. Τα πακέτα ταξιδεύουν σε μία διαδρομή μέσω 10 κόμβων, και ο ρυθμός των συνδέσεων είναι 56 kbps. Το κάθε πακέτο φέρει 400 bits δεδομένα, μία επικεφαλίδα 5 bytes για να υποδείξει τον αριθμό του εικονικού κυκλώματος, καθώς και 2 bytes για ανίχνευση λαθών. Όταν χρησιμοποιείται μηχανισμός αυτοδύναμου πακέτου (datagram), δεν απαιτείται η εγκατάσταση εικονικού κυκλώματος αλλά το κάθε πακέτο χρειάζεται μία επικεφαλίδα 10 bytes (αντί για 5) για να προσδιοριστεί η πλήρης διεύθυνση προορισμού, αφετηρίας καθώς και ο αριθμός σειράς του πακέτου. Τα πακέτα φέρουν πληροφορία ανίχνευσης λαθών 2 bytes. Υποθέστε ότι τα αυτοδύναμα πακέτα ακολουθούν πάντα την ίδια διαδρομή μέσα από τους 10 κόμβους. Πόσος χρόνος απαιτείται για την μετάδοση N πακέτων όταν χρησιμοποιείται εικονικό κύκλωμα και πόσος στην περίπτωση αυτοδύναμων πακέτων? Για ποιές τιμές του N είναι προτιμότερη η χρήση εικονικού κυκλώματος.

Τι είναι πρωτόκολλο;

- Πρωτόκολλο = ένα σύνολο από κανόνες.
- Όλη η επικοινωνία στο Διαδίκτυο γίνεται μέσω πρωτοκόλλων
- Τα πρωτόκολλα ορίζουν
 - Τη δομή των μηνυμάτων
 - Τη σειρά που τα μηνύματα στέλνονται και λαμβάνονται μεταξύ των οντοτήτων
 - Τις ενέργειες κατά γίνονται κατά τη λήψη , αποστολή



Στρώματα και πρωτόκολλα

- Τα δίκτυα είναι περίπλοκα
 - Πολλά διαφορετικά «κομμάτια»
 - Τερματικά
 - Δρομολογητές
 - Ζεύξεις
 - Εφαρμογές
 - Πρωτόκολλα
 - Hardware, software
 - Μια συγκεκριμένη δομή επιτρέπει την αναγνώριση και τη συσχέτιση των «κομματιών»
 - Οργανώνουμε την διεργασία της επικοινωνίας κάθε συστήματος σε ανεξάρτητα επίπεδα/στρώματα.
 - Η διαστρωμάτωση διευκολύνει τη συντήρηση, εκσυγχρονισμό του συστήματος.
 - Αλλαγή στην υλοποίηση ενός στρώματος γίνεται με διαφανή τρόπο προς τα άλλα στρώματα

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Βαθμός χρήσης του συστήματος μετάδοσης	Διευθυνσιοδότηση
Διεπαφές	Δρομολόγηση
Παραγωγή σήματος	Ανάκτηση
Συγχρονισμός	Μορφοποίηση μηνύματος
Διαχείριση ανταλλαγής	Ασφάλεια
Ανίχνευση και διόρθωση σφάλματος	Διαχείριση δικτύου
Έλεγχος ροής	

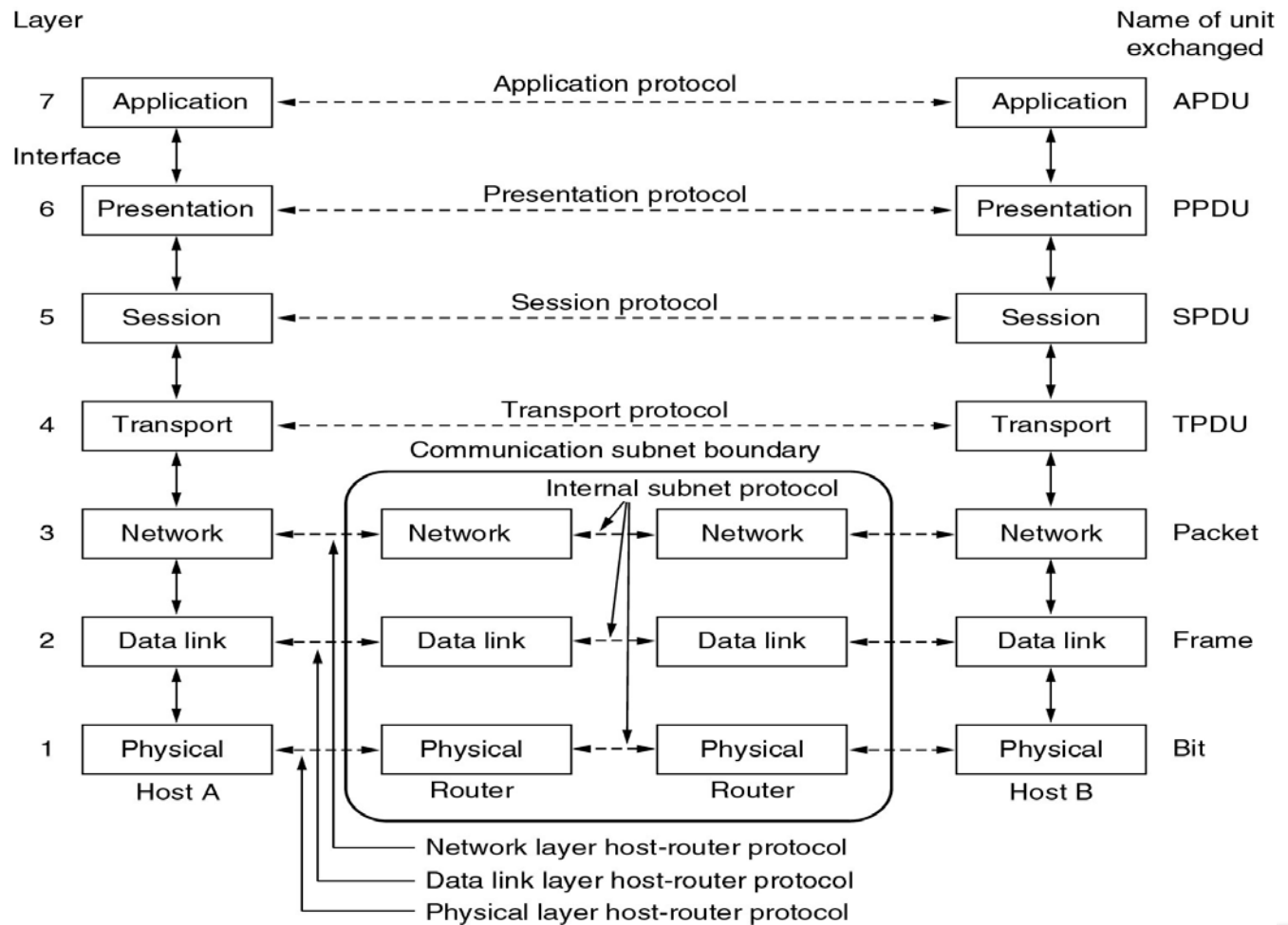
Η ανάγκη για αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων

- Οι διεργασίες αναλύονται και υλοποιούνται ξεχωριστά σε επίπεδα
- Χρειάζονται λειτουργίες και στις δυο πλευρές επικοινωνίας
- Επικοινωνούν τα αντίστοιχα επίπεδα των δύο άκρων (Peer layers)
- Παράδειγμα : μεταφορά αρχείου
 - Η πηγή (source) πρέπει να ενεργοποιήσει το μονοπάτι επικοινωνίας ή να ενημερώσει το δίκτυο για τον προορισμό (destination)
 - Η πηγή πρέπει να ελέγξει αν ο προορισμός είναι έτοιμος να λάβει
 - Η εφαρμογή μεταφοράς αρχείου πρέπει να ελέγξει ότι το σύστημα διαχείρισης αρχείων του προορισμού θα δεχθεί το αρχείο που προτίθεται να στείλει

Προτυποποιημένες αρχιτεκτονικές πρωτοκόλλων

- Απαιτούνται για την επικοινωνία των συσκευών
- Υλοποιούνται από τα προϊόντα όλων των κατασκευαστών
- Οι χρήστες χρησιμοποιούν εξοπλισμό που υλοποιούν τα πρότυπα
- Δύο πρότυπες αρχιτεκτονικές :
 - Αρχιτεκτονική OSI – OSI Reference model
 - Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων TCP/IP

Το Μοντέλο Αναφοράς OSI



Τα Επίπεδα του OSI

- Φυσικό στρώμα (1)
 - Προσδιορίζει τις φυσικές διεπαφές των συσκευών
- Στρώμα ζεύξης δεδομένων (2)
 - Παρέχει τα μέσα για ενεργοποίηση, επισκευή και απενεργοποίηση μιας αξιόπιστης ζεύξης
 - Πλαισίωση
 - Ανίχνευση και διόρθωση λαθών=> Αποτέλεσμα: τα υψηλότερα στρώματα θεωρούν ότι υλοποιείται μεταδοση χωρίς λάθη

Τα Επίπεδα του OSI

- Επίπεδο δικτύου (3)
 - Μεταφορά της πληροφορίας
 - Τα υψηλότερα στρώματα δεν χρειάζεται να γνωρίζουν τίποτα για το υποκείμενο δίκτυο όπως τεχνολογία, τεχνική μεταγωγής, κ.λ.π. (π.χ. IP δρομολόγηση)
 - Δεν απαιτείται σε απευθείας συνδέσεις σημείου προς σημείο
- Επίπεδο μεταφοράς (4)
 - Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ακραίων συστημάτων
 - κατάτμηση – επανένωση
 - Δεδομένα απαλλαγμένα από σφάλματα
 - Στη σωστή σειρά
 - Χωρίς απώλειες
 - Χωρίς πολλαπλά αντίγραφα
 - Με ποιότητα υπηρεσίας

Τα επίπεδα του OSI

- Επίπεδο συνόδου (5)
 - Έλεγχος διαλόγου μεταξύ εφαρμογών
 - Ισορροπία διαλόγου
 - Ομαδοποίηση
 - Ανάκτηση
- Επίπεδο Παρουσίασης (6)
 - Κωδικοποίηση και μορφή δεδομένων
 - Συμπίεση δεδομένων
 - Κρυπτογράφηση
- Επίπεδο εφαρμογής (7)
 - Παρέχει στις εφαρμογές το μέσο πρόσβασης στην αρχιτεκτονική OSI

Αρχές διαστρωμάτωσης του μοντέλου αναφοράς OSI

- Κάθε επίπεδο n εκτελεί ένα σύνολο προδιαγεγραμμένων λειτουργιών
- Κάθε επίπεδο n συναλλάσσεται μόνο με τα γειτονικά του, $n-1$, $n+1$, εφόσον αυτά υπάρχουν
- Κάθε επίπεδο (εκτός του φυσικού) χρησιμοποιεί υπηρεσίες που διατίθενται από το κάτω επίπεδο και προσφέρει υπηρεσίες στο πάνω επίπεδο (εκτός από το επίπεδο εφαρμογών)
- Μια διαδικασία αλληλεπιδρά μόνο με μια όμοιά της (peer) στο ίδιο επίπεδο του άλλου συστήματος
- Οι υπηρεσίες διατίθενται από το επίπεδο n στο επίπεδο $n+1$ σε καθορισμένα σημεία που ονομάζονται **σημεία πρόσβασης υπηρεσίας του επιπέδου n (n -service access points, n -SAP)**

Διαστρωμάτωση και δεδομένα

- Ενθυλάκωση



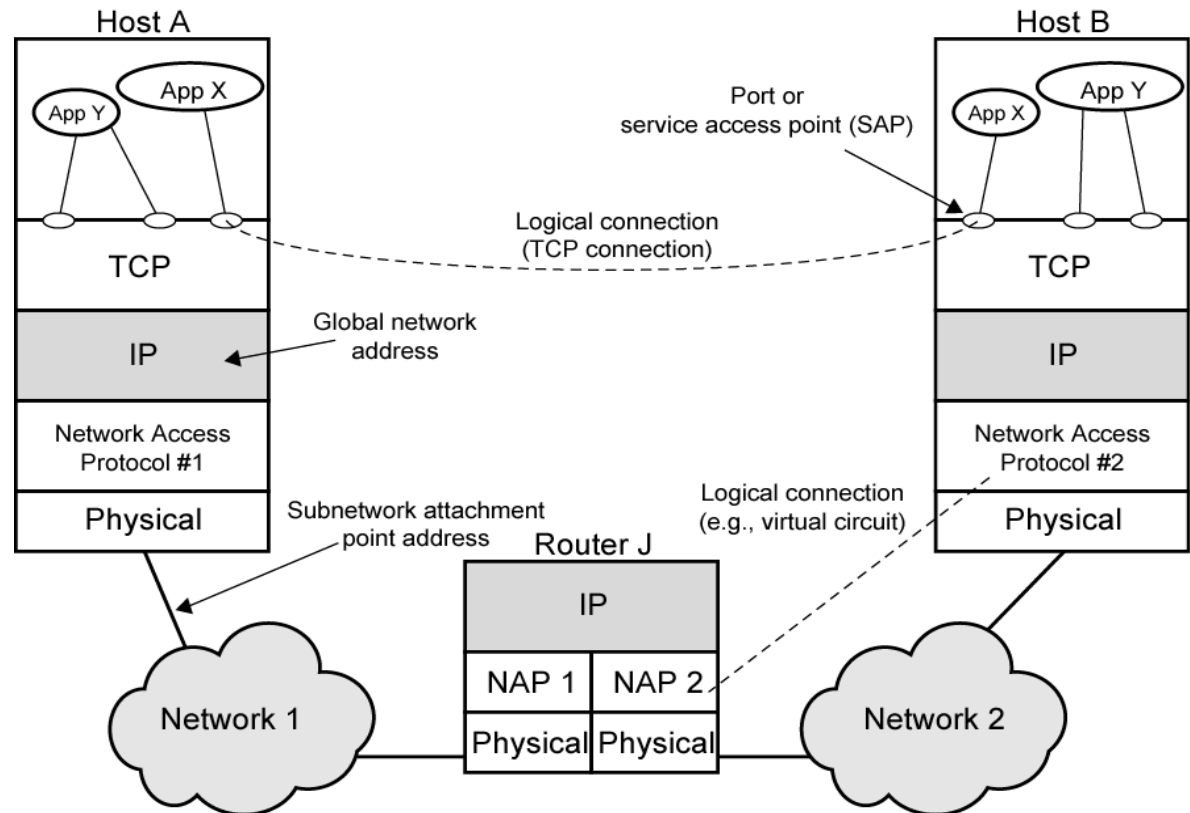
Μοντέλο αναφοράς TCP/IP

- Το TCP/IP θεωρείται ένα σύστημα 5 επιπέδων
 - Το **φυσικό επίπεδο (Physical)** σχετίζεται με τον καθορισμό των χαρακτηριστικών του μέσου μετάδοσης, τη φύση των σημάτων, το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και άλλα σχετικά ζητήματα
 - Το **επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Network Access)** περιλαμβάνει τον οδηγό (driver) της κάρτας δικτύου του υπολογιστή και το κατάλληλο λογισμικό για την αλληλεπίδραση με αυτή
 - Το **επίπεδο δικτύου (Internet Protocol -IP)** χειρίζεται την κίνηση των πακέτων στο δίκτυο, π.χ. σε αυτό το στρώμα γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων
 - Το **επίπεδο μεταφοράς (Transport Control Protocol - TCP ή User Datagram Protocol - UDP)** παρέχει στο στρώμα εφαρμογής τον έλεγχο ροής των δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών, τον τεμαχισμό μεγάλων μηνυμάτων και την επανασυναρμολόγησή τους στο άλλο άκρο.
 - Το **επίπεδο εφαρμογής** ασχολείται με τις λεπτομέρειες της κάθε εφαρμογής

OSI	TCP/IP
Application	Application
Presentation	
Session	
Transport	Transport (host-to-host)
Network	Internet
Data Link	Network Access
Physical	Physical

Λειτουργία των TCP και IP

- Το **TCP** είναι υλοποιημένο μόνο στα τερματικά συστήματα, για αυτό χαρακτηρίζεται ως από άκρο σε άκρο πρωτόκολλο (**End to end protocol** ή **host to host protocol**). Δεν υπάρχει στους δρομολογητές του δικτύου.
- Το **IP** είναι υλοποιημένο παντού.



TCP/IP: Πρωτόκολλα

Εφαρμογής	Άλλες υπηρεσίες				PING
	FTP, Telnet, SMTP, SNMP	rlogin, rcp,..	NFS, YP ...	TFTP DNS SNMP ...	
Μεταφοράς	TCP		UDP		ICMP
Δικτύου	Internet Protocol (IP)				
Ζεύξης και Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο	(IEEE 802.2 Logical Link)				
	(IEEE 802.1 Bridging)				
	IEEE 802.3 MAC	IEEE 802.4 MAC	IEEE 802.5 MAC	IEEE 802.6 MAC	
	Ethernet	Token Bus	Token Ring	MAN	