

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής
ioannis@di.uoa.gr

<http://www.di.uoa.gr/~ioannis/courses.html>

2008

Βιβλιογραφία

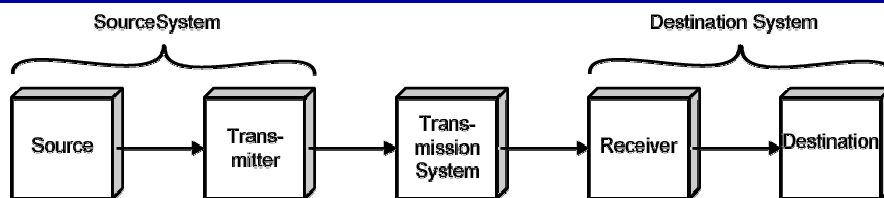
- *Communication Networks: A First Course*, J. Walrand, McG-Hill, 1998.
- *Computer Networking: A top down approach featuring the Internet*, 3rd ed., J. Kurose and K. Ross, Pearson Education, 2004.
- *Computer Networks: A Systems Approach*, 3rd ed., L. Peterson and B. Davie, Morgan Kaufmann, 2003.
- *Computer Networks*, 4th ed., A. Tanenbaum, Pearson Education, 2002.
- *Data and Computer Communications*, 6th ed., Stallings, Prentice Hall, 2000
- *Computer Networks and Internets*, 2nd ed., Comer, Prentice-Hall, 1999
- ...
- *Data Networks*, 2nd ed., D. Bertsekas and R. Gallager, Prentice Hall, 1992

Δίκτυα Επικοινωνιών

«Ορισμός»: Τα *Δίκτυα των Επικοινωνιών* αποτελούνται από *διατάξεις* από υλικό και λογισμικό που επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε χρήστες

- Τηλεφωνικό Δίκτυο (αρχικά αναλογικό, σήμερα κυρίως ψηφιακό)
 - Ενσύρματα - Ασύρματα
- Δίκτυα Υπολογιστών (Γραφεία, οργανισμοί, εργοστάσια, Internet)
 - Ενσύρματα - Ασύρματα
- Ενοποιημένα δίκτυα ολοκληρωμένων υπηρεσιών
- **Σχόλιο:** Όλα τα δίκτυα στηρίζονται σε κοινές αρχές

Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ δύο τερματικών συσκευών



(a) General block diagram



(b) Example

Με αφορμή το σχήμα:

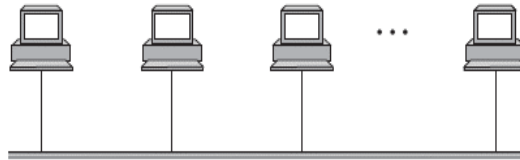
- Υπάρχουν τερματικές συσκευές (άκρα του δικτύου) και κορμός (πυρήνας) του δικτύου
- Τυπικά ροή πληροφορίας από 1 πηγή προς 1 προορισμό (1 πηγή, πολλοί προορισμοί := πολυεκπομπή - multicasting)
- Το μοντέλο «πελάτης-εξυπηρετητής» (client-server model) είναι «τυπικό» (σε P2P peer-to-peer file sharing, application layer multicasting επικοινωνία μεταξύ ομότιμων οντοτήτων)

Απευθείας Ζεύξεις

- Ζεύξη σημείου προς σημείο (point-to-point link)



- Ζεύξη πολλαπλής πρόσβασης (multiple access link)



Πρωτόκολλο

(Στην καθημερινότητα, καθορίζει τον ενδεδειγμένο τρόπο «συμπεριφοράς»)

Δικτυακό πρωτόκολλο: καθορίζει τη μορφή και τη σειρά των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ δικτυακών οντοτήτων, καθώς και τις ενέργειες που συνοδεύουν την ανταλλαγή αυτή

Peterson

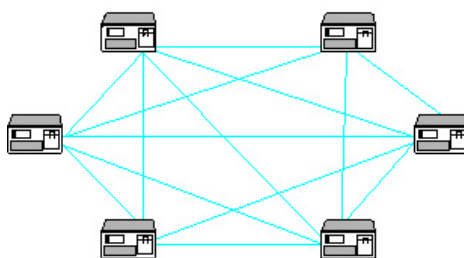
Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

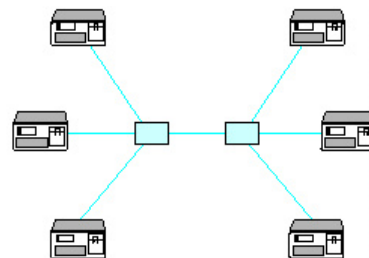
5

Τρόποι Σύνδεσης Χρηστών

- (a) Μέσω αφιερωμένων (σημείου προς σημείο) ζεύξεων
- (b) Μέσω ζεύξεων κοινής χρήσης (shared)



(a) Point-to-point links



(b) Shared links

- **Σχόλιο:**

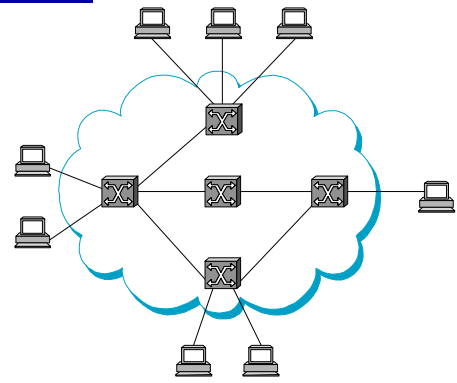
- Οικονομία πόρων μέσω κοινής χρήσης ζεύξεων
- Επινόηση κανόνων χρήσης αυτών των ζεύξεων

- **Ορισμός** (πιο εκλεπτυσμένος): Τα *Δίκτυα Επικοινωνιών* αποτελούνται από ένα σύνολο από τερματικούς / επικοινωνιακούς κόμβους

Κοινή χρήση ζεύξεων

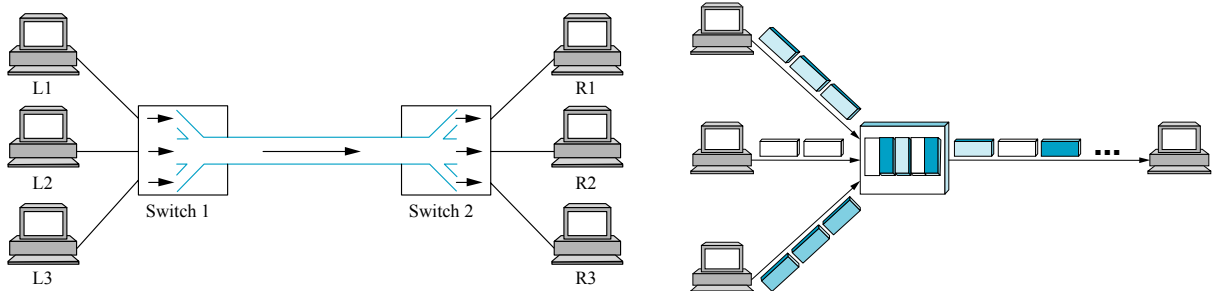
- Δίκτυα Μεταγωγής (Switched Networks)

- Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (τηλεφωνικό δίκτυο)
- Δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- (δίκτυα υπολογιστών)



- Πολυπλεξία/Αποπολυπλεξία (Multiplexing - Demultiplexing)

- Διαφορετικές ροές πληροφορίας χρησιμοποιούν το ίδιο μέσο



Peterson

Μερικά Οφέλη από τη Χρήση Δικτύων

- Η οργάνωση των υπολογιστών σε δίκτυα επεκτείνει το εύρος των εφαρμογών επιτρέποντας διαμοιρασμό πόρων και πληροφορίας
 - Πρόσβαση σε κοινά περιφερειακά
 - Πρόσβαση σε λογισμικό / εφαρμογές / υπολογιστές
 - Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο / μεταφορά αρχείων
 - ...
- Ο συνδυασμός των τηλεφωνικών δικτύων με τα δίκτυα υπολογιστών δίνει τη δυνατότητα παροχής πολλαπλών υπηρεσιών με ανάπτυξη και χρήση ΕΝΟΣ δικτύου (οικονομίες κλίμακας)
 - Τηλεφωνίας
 - Ψυχαγωγίας
 - τηλε-συνεργασίας
 - κινητής τηλεφωνίας
 - Πρόσβαση σε βάσεις πληροφοριών, ιστοσελίδες, κ.λ.π.
 - ...

Εξέλιξη Δικτύων Επικοινωνιών: Δίκτυα Τηλεφωνίας

- Η γέννηση :
 - Τηλέγραφος (Samuel Morse, 1830)
 - Τηλέφωνο (Graham Bell, 1876 - γραμμές σημείου προς σημείο)
- Η Πορεία:
 - Ανθρώπινοι μεταγωγείς, 1880
 - Ηλεκτρομαγνητικοί μεταγωγείς, 1890
 - Ψηφιακή μεταγωγή, 1960's
 - T1 carrier (24 κυκλώματα φωνής, 1.544Mbps), 1960's
 - Μεταγωγείς με χρήση υπολογιστών, 1970's
 - Κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, 1990's
 - Τηλεφωνία πάνω από δίκτυο δεδομένων (Διαδίκτυο), 2000
- Οι «επαναστάσεις»:
 - Ψηφιακή Μετάδοση: Φωνή ↔ bits
 - λιγότερος θόρυβος, ευκολότερη πολυπλεξία και μεταγωγή, δυνατότητα χρήσης δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών
 - Τηλεφωνία πάνω από δίκτυο δεδομένων (Διαδίκτυο)
 - το τέλος των τηλεφωνικών δικτύων ?

Εξέλιξη Δικτύων Επικοινωνιών: Δίκτυα Τηλεφωνίας

- Ψηφιακά Δίκτυα Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (ISDN):

Στηρίζονται στην ψηφιακή μετάδοση και στη σηματοδότηση κοινού καναλιού

 - Βασική Σύνδεση (προσπέλαση): 3 αμφίδρομα κανάλια
 - Δύο των 64kbps (για φωνή η δεδομένα - 8bits/sample X 8,000 samples/sec)
 - Ένα των 16Kbps (για έλεγχο δικτύου, συναγερμό, έλεγχο συσκευών, σηματοδότηση για ISDN υπηρεσίες, κ.λ.π)
 - Σηματοδότηση Κοινού Καναλιού (Common Channel Signaling - CCS):
 - Μεταφορά πληροφοριών ελέγχου κλήσεων και δικτύου πάνω από ξεχωριστό (out of band) δίκτυο σηματοδότησης
 - Νέες υπηρεσίες (προώθηση κλήσης, χρέωση πιστωτικής κάρτας, χρέωση καλούμενου (800)), συντομότερες συνδέσεις, καλύτερος έλεγχος φορτίου/δικτύου.
- Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο - SONET(Synchronous Optical Network)
 - Αξιοπίστη, δομημένη και υψηλών ταχυτήτων μετάδοση των bytes
 - SDH (Synchronous Digital Hierarchy) στην Ευρώπη

ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ: ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

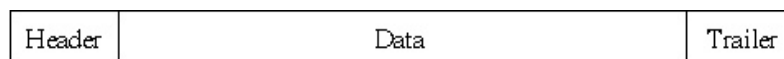
- Πρώτοι Υπολογιστές, 1940's
- Αρχική διάδοση υπολογιστών, 1960's
- Ασύγχρονη Ζεύξη Υπολογιστών:
 - RS-232-C standard, 1969 (γνωστό σαν σειριακή θύρα) μέχρι 38,400bps και μέχρι 15m
 - RS-232-D νεώτερο standard (ταχύτερα standards RS-449, RS-422-A, RS-423-A)
 - Χαρακτήρες των 7-8 bits μεταδίδονται ασύγχρονα
 - Συγχρονισμός του ρολογιού του δέκτη με ανίχνευση του πρώτου bit
 - Προβληματική η διαφορά ρυθμών ρολογιών δέκτη / πομπού για μεγαλύτερες ακολουθίες bits
- Modems (1960's)
 - Επιτρέπουν τη μετάδοση bits μέσω τηλεφωνικών γραμμών
 - Μετατρέπουν στον πομπό τα bits σε αναλογικά H/M κύματα στο εύρος συχνοτήτων φωνής και αντίστροφα στον δέκτη

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) (2000 -)

 - Δραματική αύξηση στις ταχύτητες μετάδοσης μέσω τηλεφ. γραμμών >20 Mbps

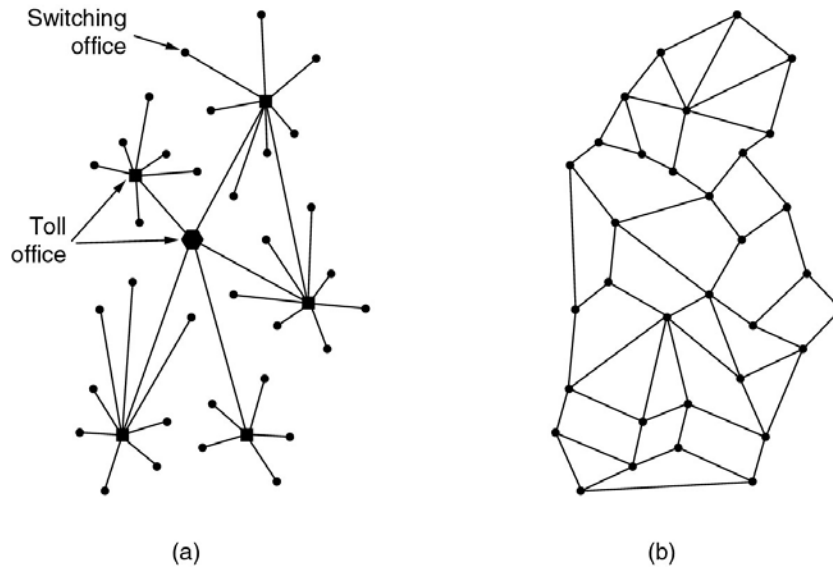
ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ: ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

- Σύγχρονη Ζεύξη
 - Σκοπεύει σε ζεύξεις υψηλών ταχυτήτων με έλεγχο σφαλμάτων
 - Διάφορα πρωτόκολλα ζεύξης δεδομένων (data link protocols) έχουν αναπτυχθεί (SDLC, HDLC, LAPB, κ.λ.π.)
 - Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται από το σήμα που φέρει τα bits
 - Είναι δυνατές «μεγάλες σειρές» από bits
 - Μετάδοση σειράς bits (εκατοντάδες / χιλιάδες) οργανωμένων σε πακέτα



- Arpanet: Πρώτο μεγάλης κλίμακας δίκτυο υπολογιστών (τέλη δεκ. 60)
 - Δίκτυο μεταγωγής πακέτων με αποθήκευση και προώθηση
 - Μηχανισμός δρομολόγησης που προσαρμόζεται αυτόματα σε αλλαγέςεξελίχθηκε στο Internet

Δομή τηλεφωνικού δικτύου και ARPANET



(a) Δομή τηλεφωνικού συστήματος

(b) Καταναμημένο σύστημα μεταγωγής που προτάθηκε από τον Baran

Tanenbaum

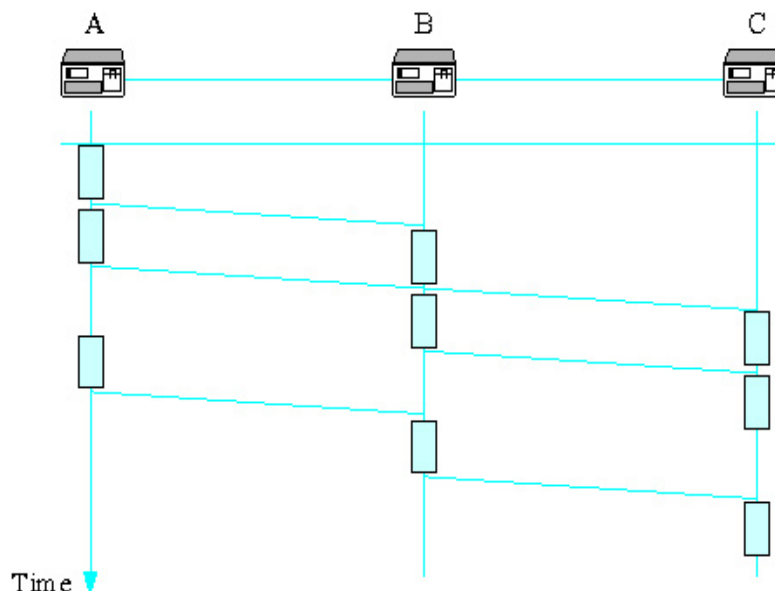
Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

13

Μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση (store and forward)

- Μείωση του χρόνου μετάδοσης μηνυμάτων πολλαπλών πακέτων
 - $N+1$ αντί για $2N$ για μετάδοση N πακέτων πάνω από δύο ζεύξεις
- Δεν είναι αναγκαία η δέσμευση πόρων

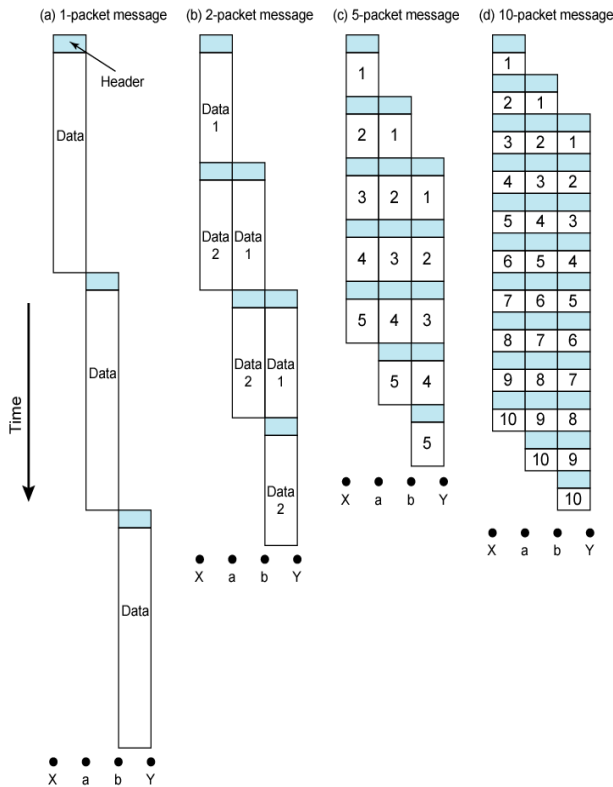


Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

14

Μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση (store and forward)



Επίδραση του μεγέθους του πακέτου

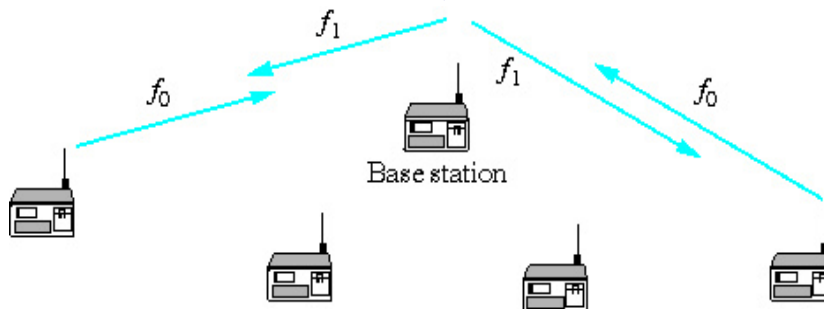
- Η "ταχύτητα" κοστίζει σε πλεονασμό
- Ο πλεονασμός κοστίζει σε "ταχύτητα"

Σχόλιο: Γενικότερα, η επιλογή μεγέθους πακέτου εξαρτάται από παραμέτρους όπως: πιθανότητα σφάλματος στη ζεύξη, μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση, μεταβλητότητα της καθυστέρησης, κτλ.,

Stallings

Δίκτυα Πολλαπλής Προσπέλασης (Multiple Access)

- Δίκτυα Πολλαπλής Προσπέλασης (Multiple Access) - ALOHA
 - Σύνδεση υπολογιστών σε διαφορετικά νησιά της Hawaii (1970's)



- Δίκτυα Πολλαπλής Προσπέλασης (Multiple Access) - Ethernet (μικρές αποστάσεις)
 - Παρόμοιο με το ALOHA (αναπτύχθηκε από τη Xerox, Palo Alto)
 - ανίχνευση φέροντος και συγκρούσεων - αποδοτικότερο του ALOHA

Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM)

- Αναπτύχθηκε από τις εταιρίες τηλεπικοινωνιών (ATM Forum, ITU, '90s...)
(...εν ισχύ ο διαχωρισμός δικτύων σε τηλεφωνικά και δεδομένων)
- Στόχος: Ευρυζωνικά Ψηφιακά Δίκτυα Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών
Broadband Integrated Services Digital Networks - BISDNs
(υποστήριξη μεταφοράς φωνής, video, δεδομένων)
- Μεταγωγή πακέτων με σταθερά πακέτα 53 bytes - ATM cells (κύτταρα) που μεταδίδονται ασύγχρονα
- **Μεταγωγή εικονικού κυκλώματος** (virtual circuit)
 - εγκαθίδρυση εικονικού κυκλώματος πριν την αποστολή δεδομένων
 - δέσμευση πόρων
- Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας
 - ορισμός υπηρεσιών σταθερού, μεταβλητού, αυθαίρετου ρυθμού
 - παροχή εγγυήσεων ως προς την καθυστέρηση, απώλειες
- Υποστήριξη υψηλών ρυθμών
 - Μέχρι 155Mbps στα τοπικά δίκτυα
 - Gbps στα δίκτυα ευρείας ζώνης (Wide Area Networks - WANs)
- Το IP δεν «εκτοπίστηκε», το ATM παρέμεινε στον «κορμό» του δικτύου

Τρόποι Μεταγωγής

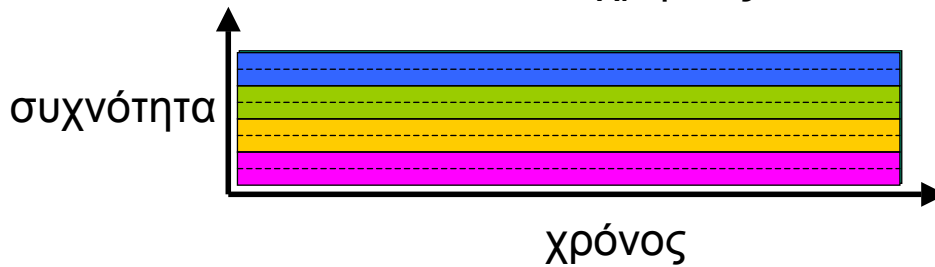
- Μεταγωγή κυκλώματος (π.χ. τηλεφωνικά δίκτυα)
 - Γρήγορη μετάδοση αφού η δρομολόγηση αποφασίζεται κατά την εγκαθίδρυση του κυκλώματος
 - Πιθανή σπατάλη πόρων
- Μεταγωγή αυτοδύναμων πακέτων με αποθήκευση και προώθηση (Datagrams), (π.χ. Internet)
 - Ευέλικτο στις αλλαγές κατάστασης δικτύου
 - Πόροι καταναλώνονται όταν χρειάζονται μόνο
- Μεταγωγή εικονικού κυκλώματος (π.χ. ATM)
 - Γρήγορη μετάδοση αφού η δρομολόγηση αποφασίζεται κατά την εγκαθίδρυση του κυκλώματος
 - Πόροι καταναλώνονται όταν χρειάζονται μόνο

Μεταγωγή κυκλώματος: FDM και TDM

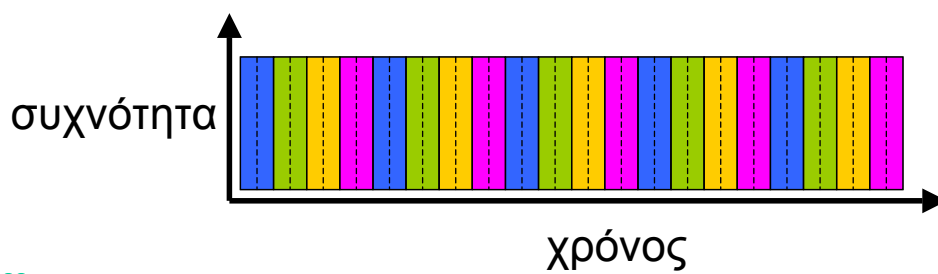
FDM

Παράδειγμα:

4 χρήστες



TDM



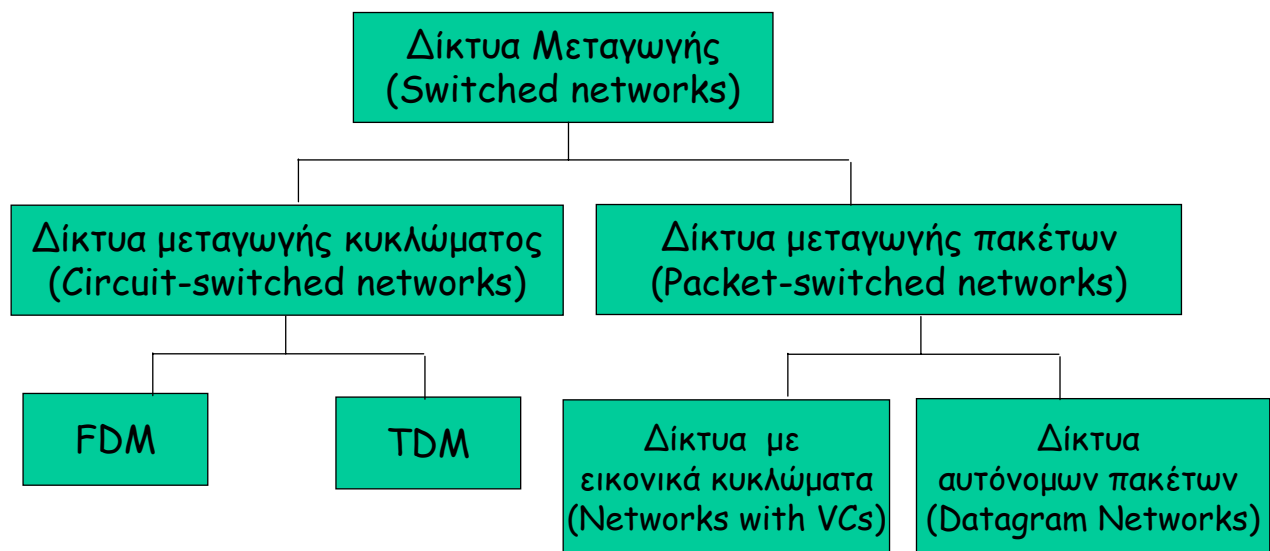
Kurose & Ross

Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

19

Ταξινόμηση Δικτύων



Kurose & Ross

Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

20

Ταξινόμηση Δικτύων με βάση την περιοχή κάλυψης

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

Tanenbaum

Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

21

Δίκτυα Υπολογιστών

- Βασικά ερωτήματα / προβλήματα κατά τη σχεδίαση ενός δικτύου:
 - Δρομολόγηση
 - Έλεγχος Ροής
 - Έλεγχος σφαλμάτων
 - Διευθυνσιοδότηση
 - Ασφάλεια
 - Πρότυπα
 - Παρουσίαση
 - Διαχείριση

Τμήμα Πληρ. Και Τηλεπ. - ΕΚΠΑ

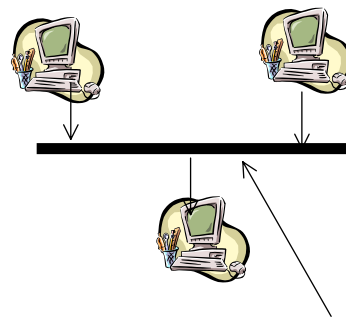
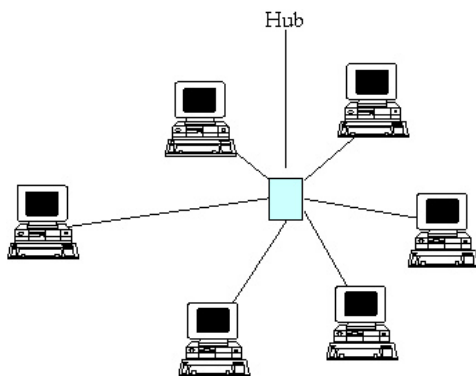
Δίκτυα Επικοινωνιών - Κεφ. 1 - 2008

22

Η Λειτουργία των Δικτύων

- Ethernet
- Internet
- Asynchronous Transfer Mode
- Η αρχιτεκτονική του Δικτύου

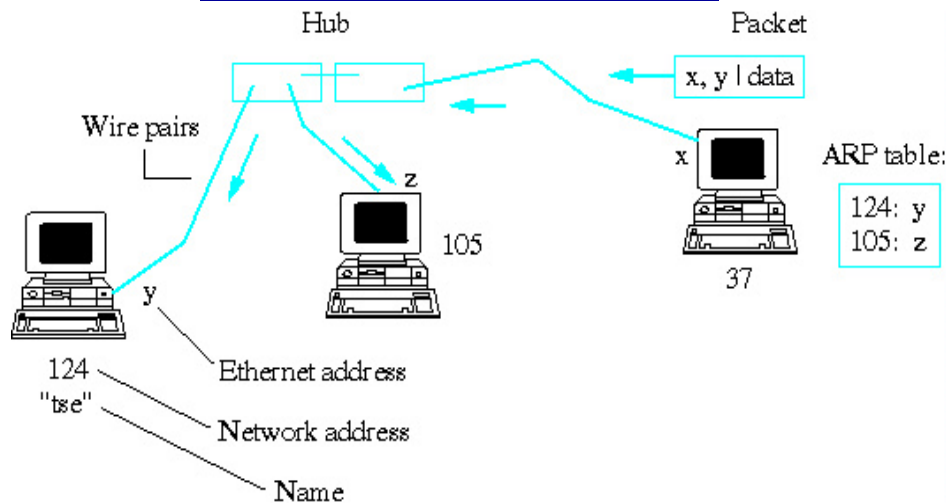
Διαμοιραζόμενο (Shared) Ethernet: Hubs and Collisions



HUB ⇔ κοινός αγωγός/μέσο/κανάλι

- Η **πλήμνη** (hub) αναπαράγει τα εισερχόμενα πακέτα στις (άλλες) θύρες της
- **Σύγκρουση (collision)** όταν το hub (πλήμνη) δεχθεί τουλάχιστον 2 σήματα
- Computers συνδεδεμένοι σε ένα Hub, πολλά συνδεδεμένα Hubs: Κάθε σύνολο διασυνδεδεμένων Hubs ορίζει ένα **πεδίο συγκρούσεως (collision domain)**
- Πρωτόκολλο πρόσβασης μέσου που χρησιμοποιείται:
CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
(πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέρουσας και συγκρούσεων)

Διευθύνσεις Ethernet

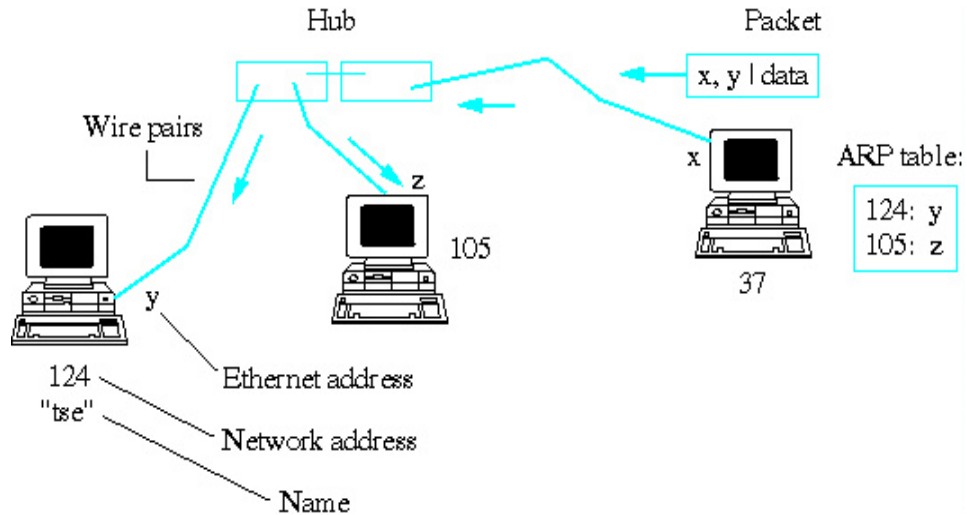


- Όνομα computer: Tse
- Δικτυακή διεύθυνση υπολογιστή: 124 (λογική τοποθεσία)
- Ethernet διεύθυνση υπολογιστή: y
 - Ορίζεται εκ κατασκευής - στατική
 - 6-byte / 48-bit (2^{48} δυνατές) - Δεκαεξαδική περιγραφή: F8-37-B1-1F-33-BA
 - Πρώτα 24 bits ορίζονται από IEEE / Τελευταία 24 bits από τον κατασκευαστή

Πρωτόκολλα Ανεύρεσης Διευθύνσεων

- Δικτυακής Διεύθυνσης υπολογιστή μου:
 - Υπολογιστές χωρίς δίσκο δεν γνωρίζουν δικτυακές διευθύνσεις
 - Ο Network Server του δικτύου μου παρέχει τις δικτυακές διευθύνσεις όταν οι υπολογιστές εκκινούν με βάση τις Ethernet διευθύνσεις τους (Reverse-ARP, RARP).
- Δικτυακής Διεύθυνσης άλλου υπολογιστή (εκτός δικού μου Ethernet):
 - Χρήση υπηρεσίας δικτυακών διευθύνσεων από Network Servers (... αργότερα)
- Ethernet Διεύθυνσης ενός προορισμού στο Ethernet μου:
 - Η πηγή γνωρίζει την δικτυακή διεύθυνση του προορισμού.
 - Απαιτείται γνώση της Ethernet διεύθυνσης για διακίνηση πληροφορίας στο Ethernet.
 - ARP (Address Resolution Protocol) ...

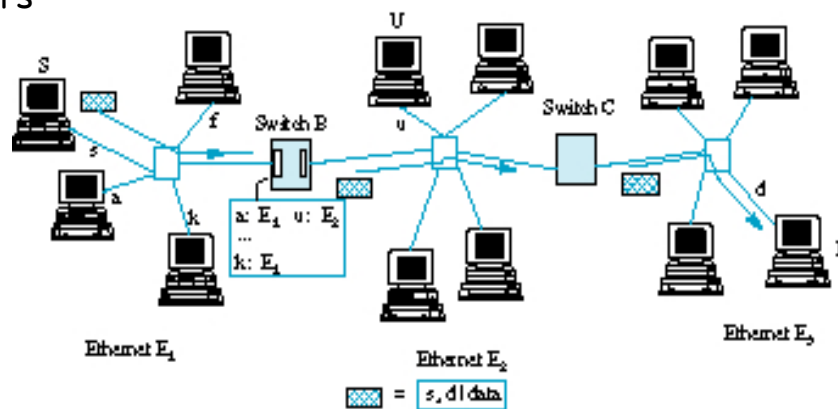
ARP (Address Resolution Protocol)



- Υπολογιστής A (37) επιθυμεί να μεταδώσει στον B (124). Οι δικτυακές διευθύνσεις (37/124) θεωρούνται γνωστές
- A εξετάζει αν το αρχείο του "List" περιέχει την Ethernet διεύθυνση του B (124)
- Αν όχι, στέλνει broadcast μήνυμα ζητώντας από τον 124 να του στείλει την Ethernet διεύθυνση

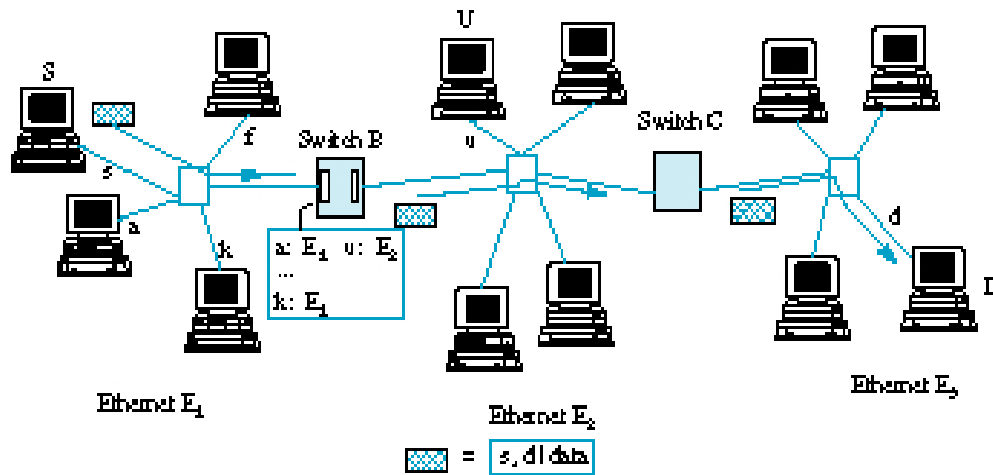
Διασύνδεση Δικτύων Ethernet με Ethernet Switches

- Ένα Ethernet υποστηρίζει ένα μέγιστο αριθμό χρηστών και καλύπτει μια μέγιστη απόσταση.
- Ανάγκη για υλοποίηση και διασύνδεση πολλαπλών Ethernet δικτύων μέσω switches/routers



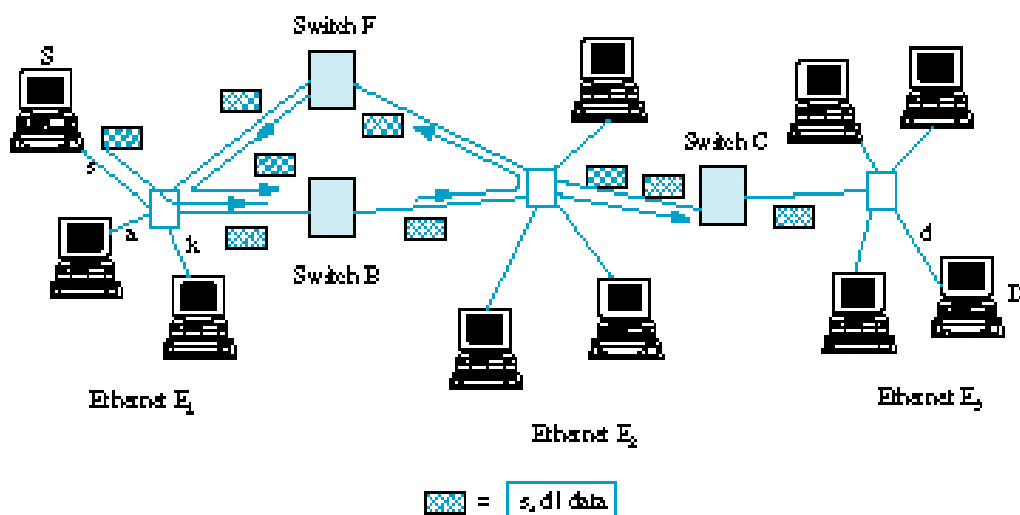
- Ethernet Switch (Μεταγωγός Ethernet)
 - Πρώθηση πακέτων με βάση τις Ethernet διευθύνσεις
 - Απλή αντιγραφή πακέτων από μία είσοδο σε συγκεκριμένη έξοδο - όχι προς όλες τις θύρες (εξαίρεση: broadcast)

Διασύνδεση Δικτύων Ethernet με Ethernet Switches



- Μετάδοση από S (Ethernet E₁) προς D (Ethernet E₂)
 - S στέλνει το [s, d | Data] πακέτο στο Ethernet E₁.
 - Switch B συμβουλευείται μια λίστα:
 - Προωθεί το πακέτο στην ζεύξη προς το Ethernet του D.
 - Αν δεν γνωρίζει, προωθεί το πακέτο προς όλες τις άλλες ζεύξεις.
 - Η λίστα ενημερώνεται με βάση την Ethernet διεύθυνση της πηγής των πακέτων που διέρχονται από το switch.

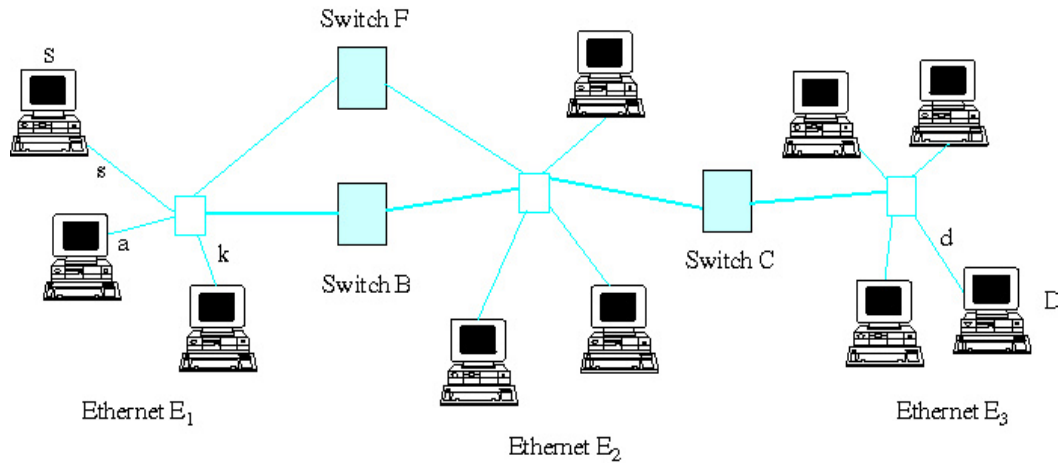
Διασύνδεση Δικτύων Ethernet με Ethernet Switches



Αύξηση της αξιοπιστίας διασύνδεσης δικτύων Ethernet μέσω βρόχων.

- **Παρατήρηση:** Εάν δεν υπάρχει η διεύθυνση στη λίστα το πακέτο περνά στο άλλο Ethernet και μετά πάλι πίσω, (loops)

Διασύνδεση Δικτύων Ethernet με Ethernet Switches



- **Spanning Tree Αλγόριθμος**
 - Ethernet μεταγωγείς με βρόχους θα μετέφεραν πακέτα επ' άπειρον πάνω από βρόχους
 - Πακέτα αντιγράφονται από E₁ σε E₂ από Switch B και από E₂ σε E₁ από switch F, ...
 - Ο spanning tree αλγόριθμος προσδιορίζει ένα δένδρο (γράφημα χωρίς βρόχους) διασύνδεσης όλων των Ethernet
 - Πακέτα αντιγράφονται μόνο από μεταγωγείς που ανήκουν στο δένδρο

Χρήση μεταγωγού Ethernet (Ethernet Switch)
για υλοποίηση

Ethernet μεταγωγής (Switched Ethernet)

(δυναμικά πολλαπλά πεδία σύγκρουσης)



- **Switched Ethernet (Ethernet μεταγωγής)**
 - Προώθηση πακέτων με βάση τις Ethernet διευθύνσεις
 - Απλή αντιγραφή πακέτων από μία είσοδο σε συγκεκριμένη έξοδο - όχι προς όλες τις θύρες (εξαιρέση: broadcast)
 - Υψηλότερο throughput από αντίστοιχο διαμοιραζόμενο (shared / hub) (γιατί?)

Αρχιτεκτονική Δικτύου

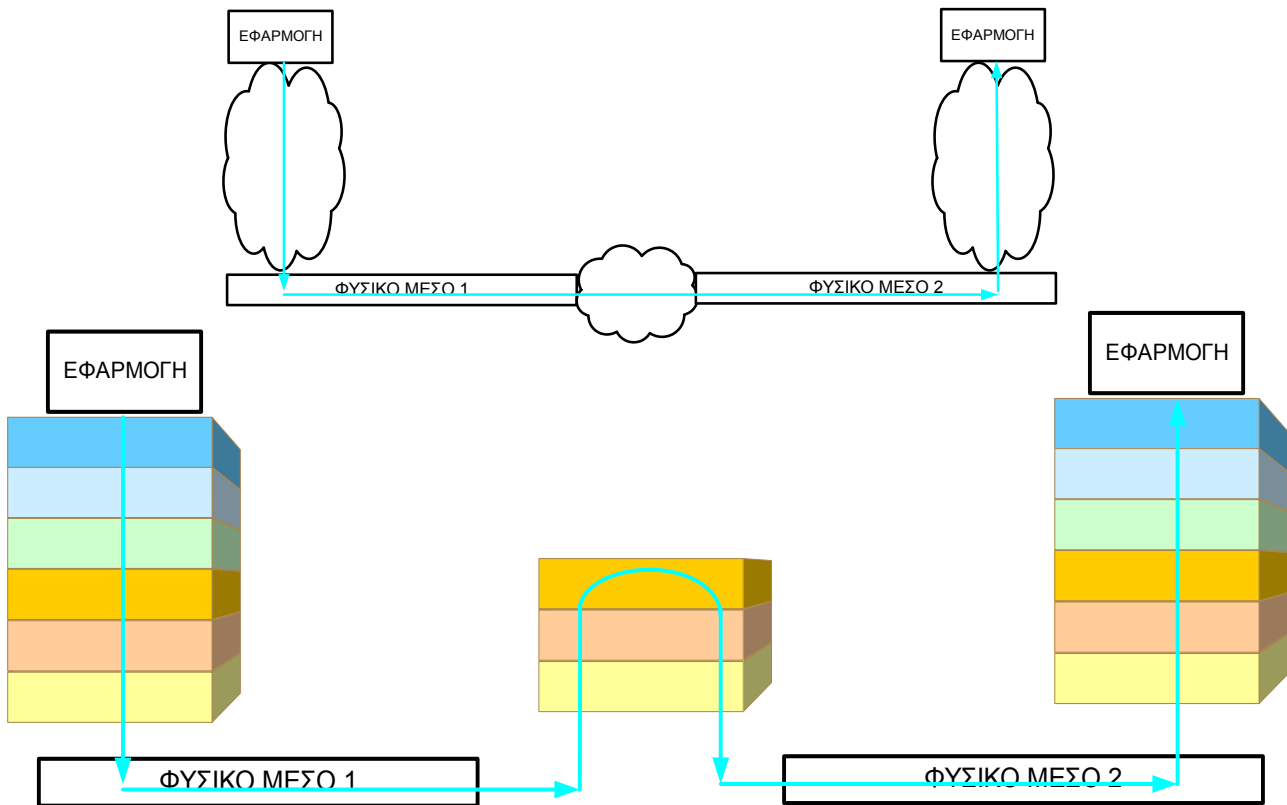
- Φυσική Θεώρηση δικτύου: υπολογιστές, δρομολογητές, ζεύξεις, κτλ.
- Επιπεδοποιημένη Θεώρηση δικτύου (νοητική Θεώρηση): σύνολο από υπηρεσίες παράδοσης πληροφοριών τοποθετημένη η μία πάνω στην άλλη (ιεραρχική δομή, διαχείριση πολυπλοκότητας)
- Οι υπηρεσίες ενός επιπέδου υλοποιούνται με χρήση των υπηρεσιών του αμέσως κατώτερου επιπέδου

- (+) Ανεξάρτητος σχεδιασμός διαφορετικών επιπέδων
- (+) Συμβατότητα
- (-) Απόδοση

Αρχιτεκτονική Δικτύου

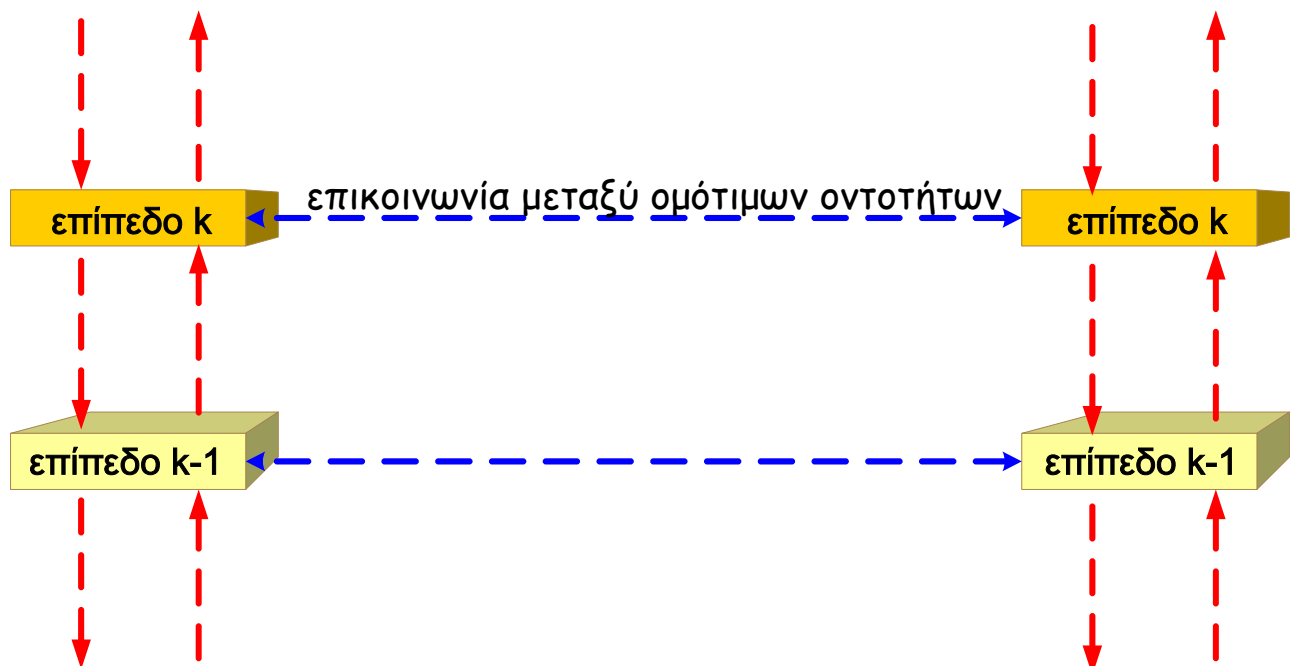


Αρχιτεκτονική Δικτύου



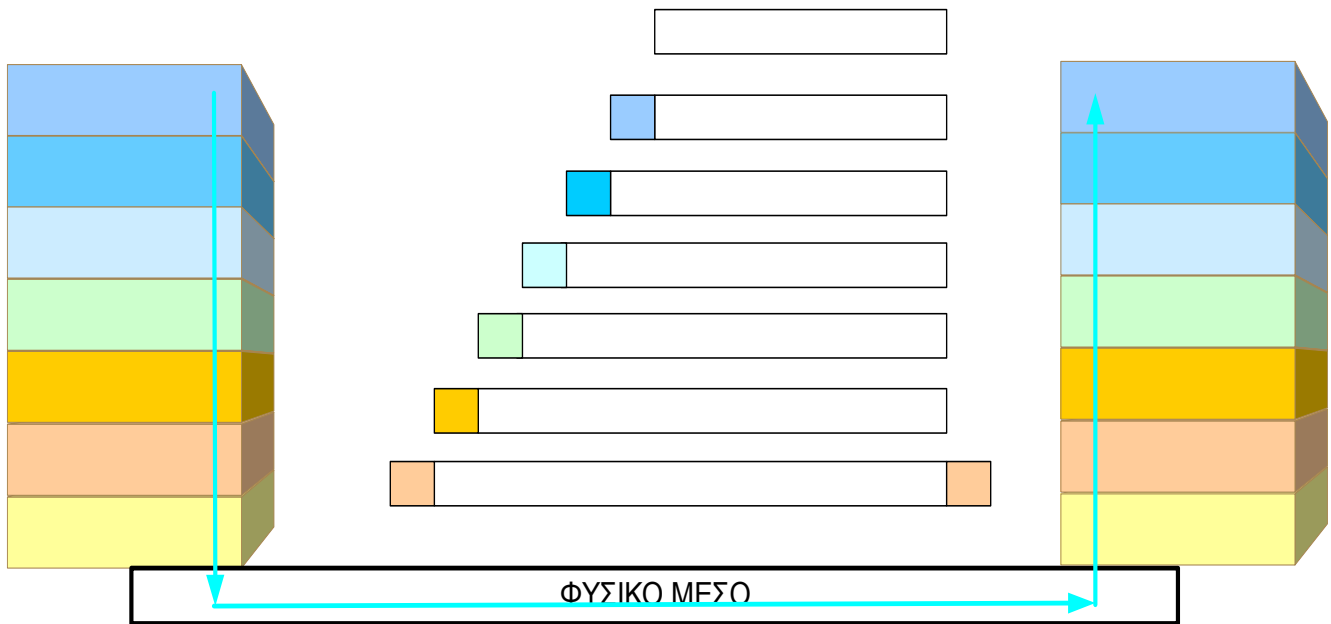
Αρχιτεκτονική Δικτύου

- Κάθε επίπεδο
 - προσφέρει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο
 - δέχεται τις υπηρεσίες του κατώτερου επιπέδου



Αρχιτεκτονική Δικτύου

- Κάθε επίπεδο εισάγει πληροφορία ελέγχου που αφορά στην επικοινωνία του με το ομότιμο επίπεδο

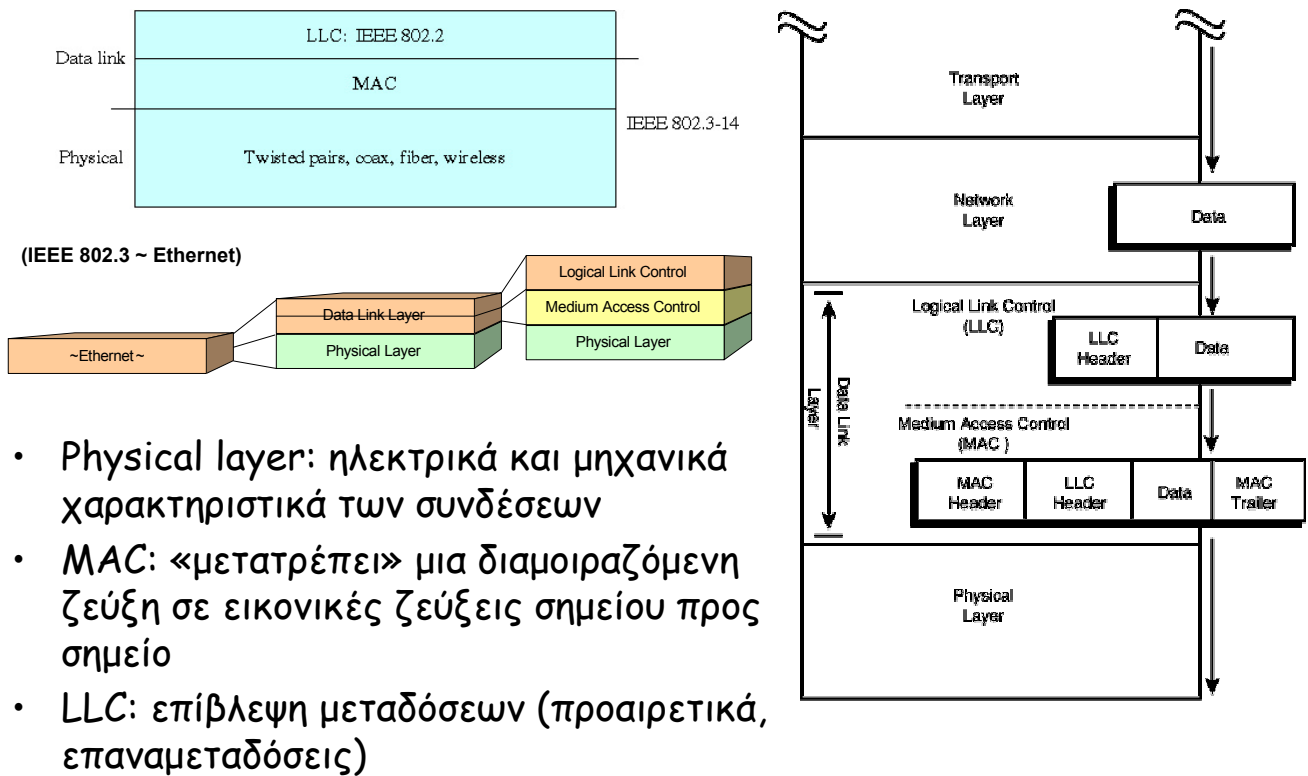


Αρχιτεκτονική Δικτύου Πολλών Επιπέδων για τοπικά δίκτυα και το Internet (TCP/IP)

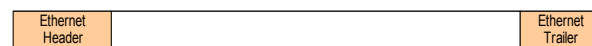
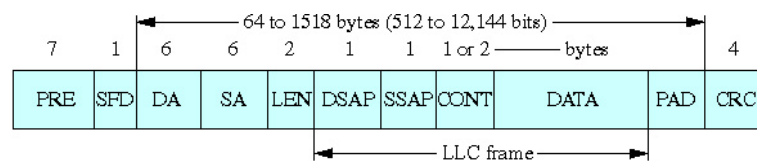
Παρουσίαση διακίνησης πακέτων

- σε διασυνδεδεμένα τοπικά δίκτυα μέσω δρομολογητών
- και στο Internet

Αρχιτεκτονική Επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs)

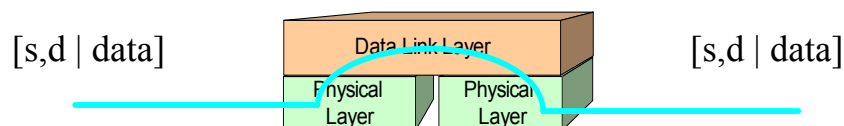


Πλαίσιο (Frame) 802.3

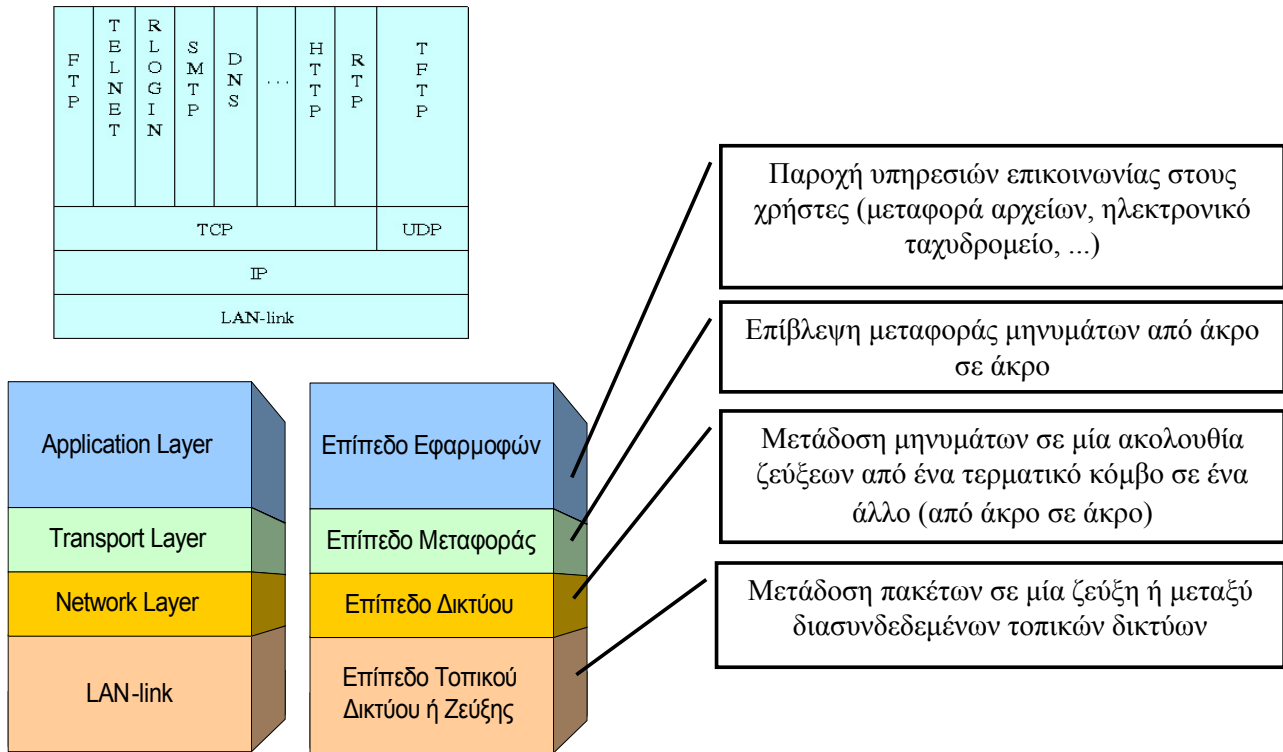


[s,d | data]

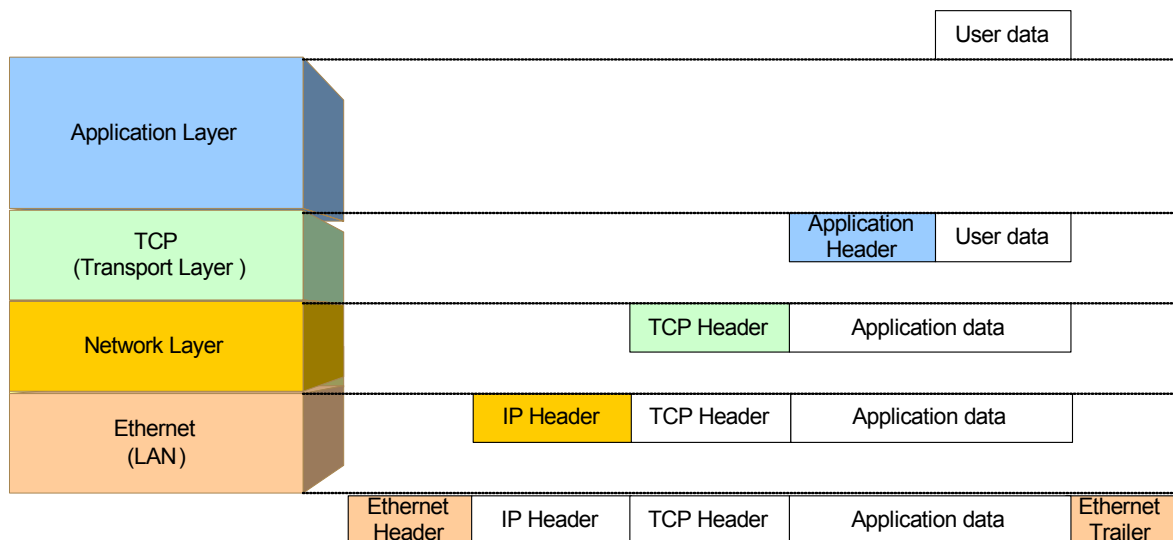
Ethernet Switch



Αρχιτεκτονική των Δικτύων TCP/IP

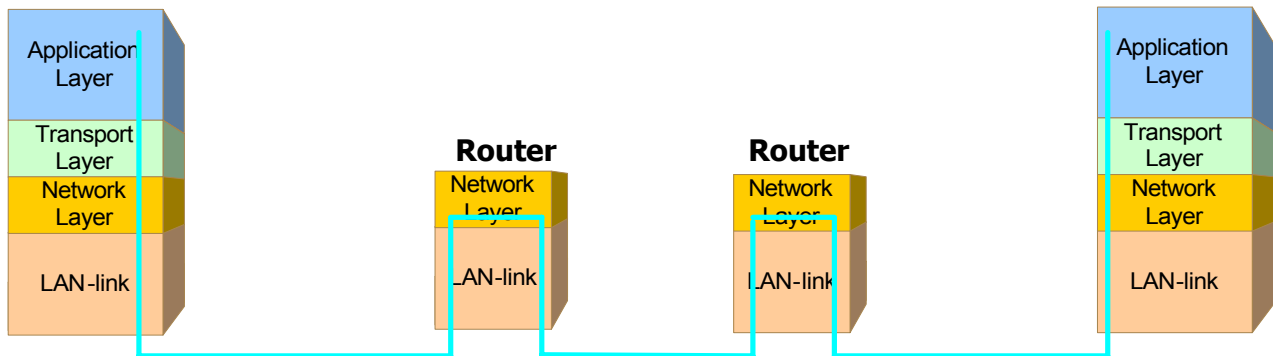


Αρχιτεκτονική των Δικτύων TCP/IP



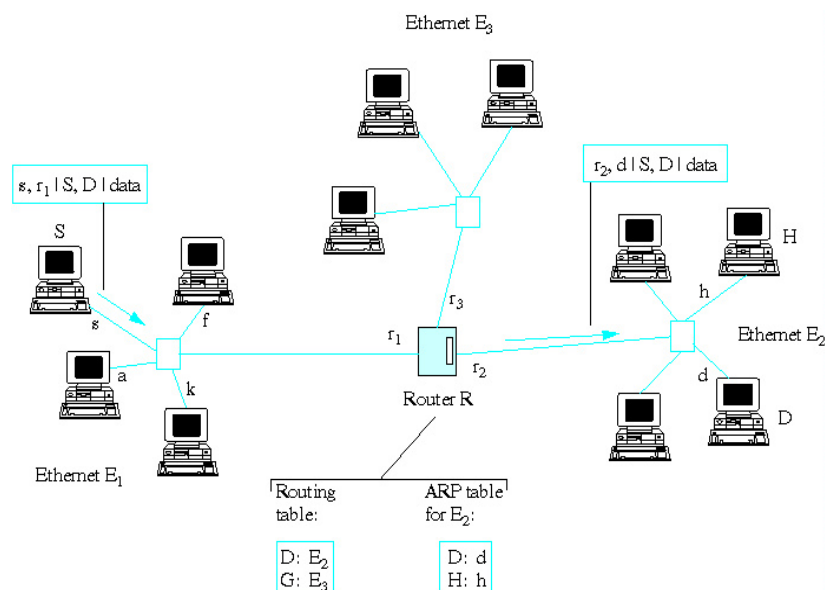
[s,d | S,D | data]

Αρχιτεκτονική των Δικτύων TCP/IP



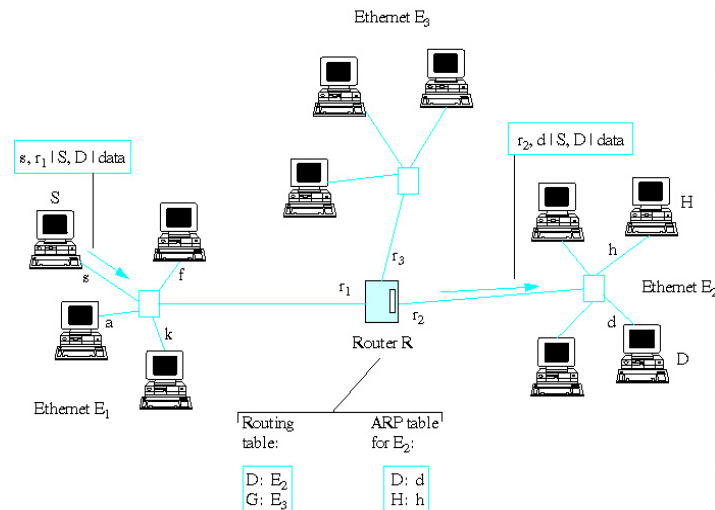
Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

- Επεκτάσιμη λογική διασύνδεσης, πέρα από τοπικές περιοχές
- Προώθηση πακέτων με βάση τις δικτυακές διευθύνσεις
- Τροποποίηση των Ethernet διευθύνσεων των πακέτων



Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

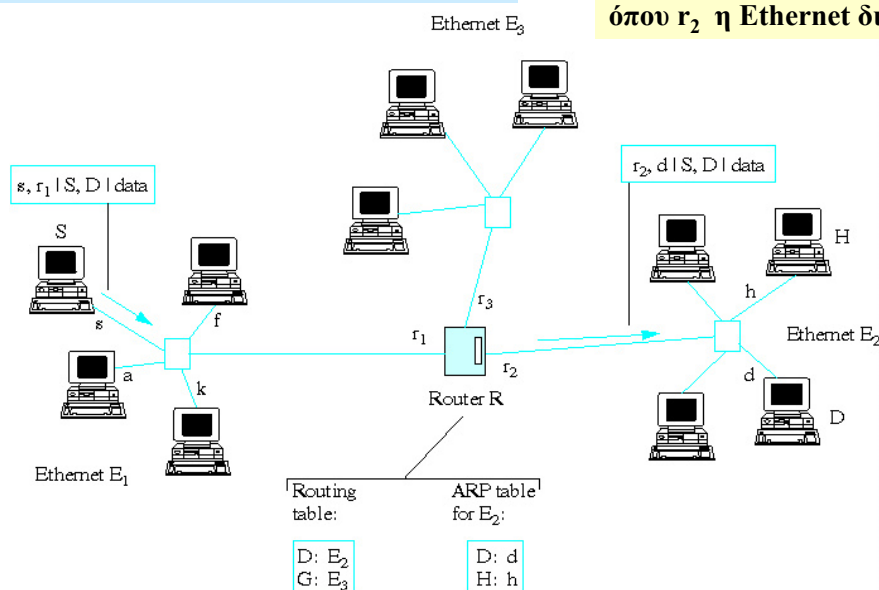
- Μετάδοση πακέτου από S σε D
 - s: Ethernet διεύθυνση του S
 - r_k : Ethernet διεύθυνση του R στο Ethernet E_k (S γνωρίζει r_1 μέσω του ARP)
 - S,D: Δικτυακές διευθύνσεις της πηγής και προορισμού (η πηγή γνωρίζει το S μέσω π.χ. RARP και γνωρίζει το D μέσω της υπηρεσίας δικτύου).



Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

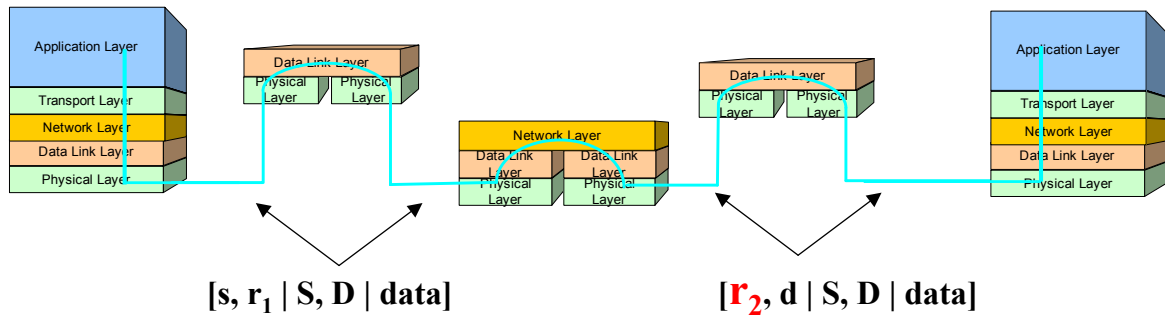
• Η Πηγή στέλνει το πακέτο $[s, r_1 | S, D | data]$

Router R στέλνει $[r_2, d | S, D | data]$, όπου r_2 η Ethernet διεύθυνση του R στο E_2 .



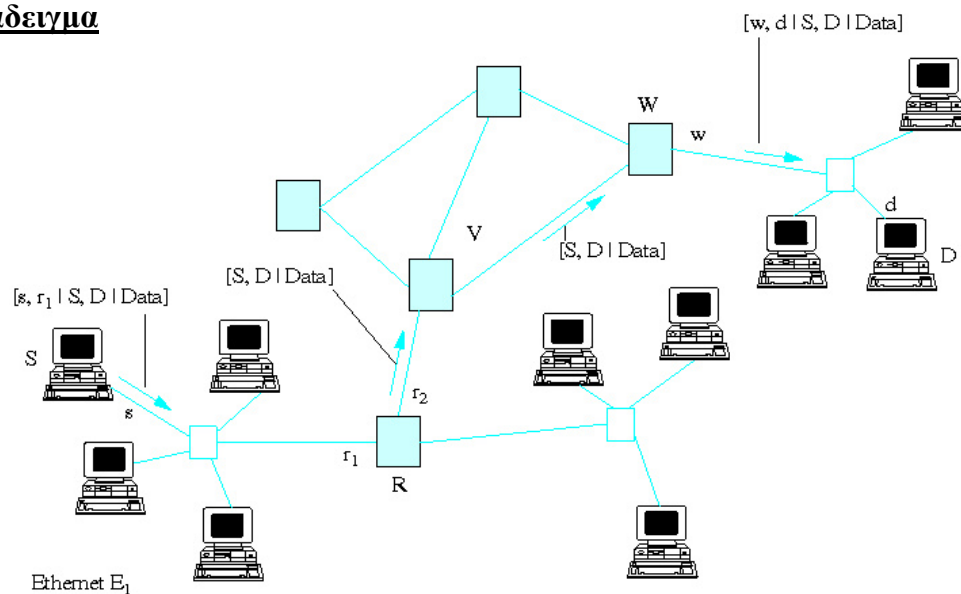
- Router R προσδιορίζει με χρήση πινάκων
 - Ethernet του προορισμού (D => E_2) (μέσω αλγορίθμων δρομολόγησης)
 - Ethernet διεύθυνση προορισμού (D => d) (μέσω ARP)

Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

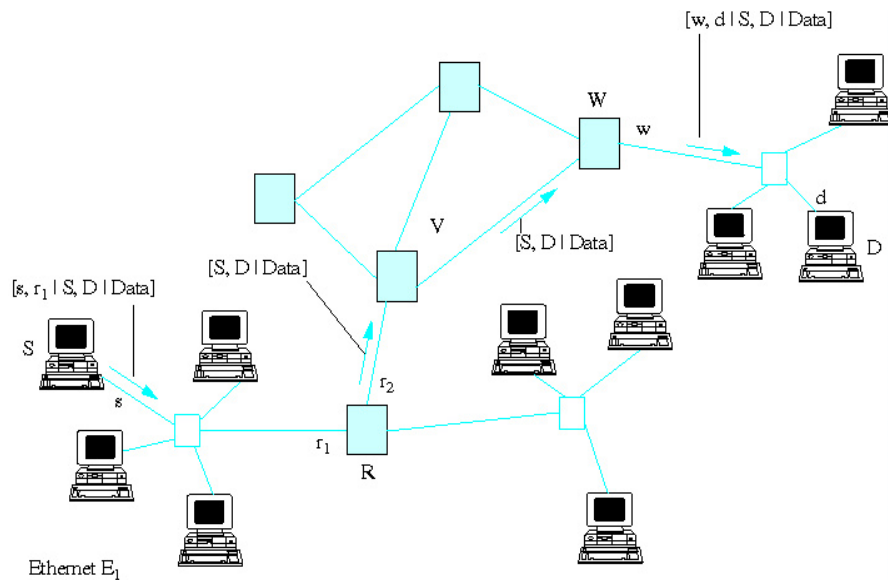


Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet

Παράδειγμα



Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet



- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με δίκτυο έχει διαφορετική δικτυακή διεύθυνση.
- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με Ethernet έχει διαφορετική Ethernet διεύθυνση.
- Ο S γνωρίζει την δικτυακή διεύθυνσή του (π.χ. Μέσω RARP) (S)
- Ο S γνωρίζει την Ethernet διεύθυνση του δρομολογητή του (π.χ. μέσω ARP) (r_1)
- Ο S γνωρίζει D από το παρελθόν ή μέσω του Domain Name Service (DNS)

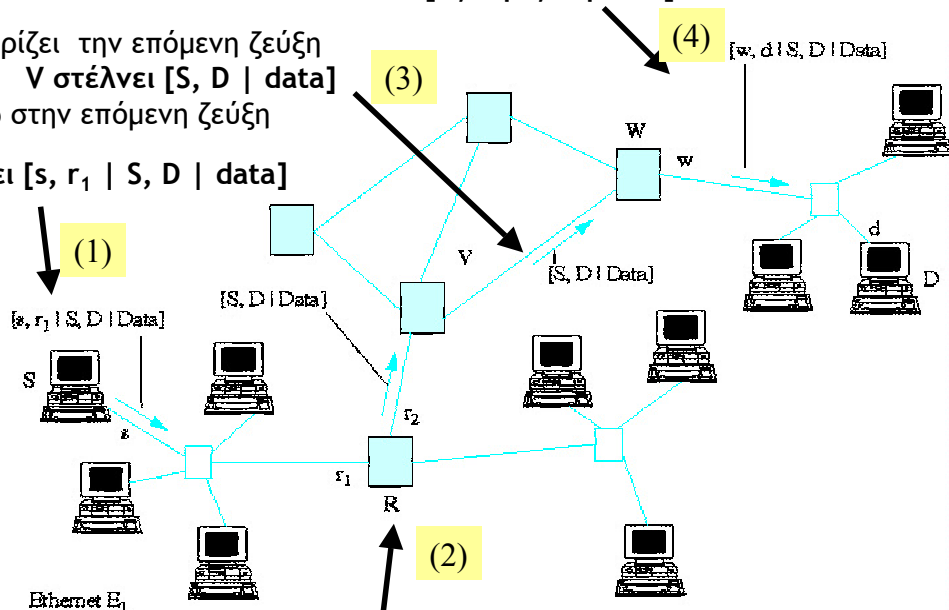
Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet

W γνωρίζει ότι D ανήκει στο Ethernet που έχει διεύθυνση w (ή συνδέεται με την ζεύξη w)

W στέλνει $[w, d | S, D | data]$

V γνωρίζει την επόμενη ζεύξη
V στέλνει $[S, D | data]$
πάνω στην επόμενη ζεύξη

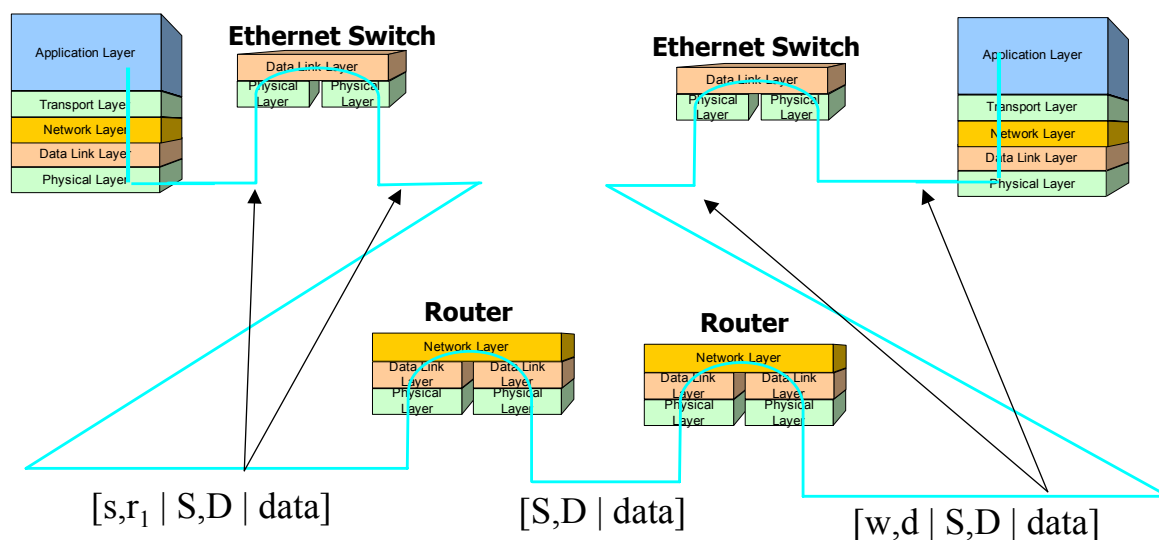
S στέλνει $[s, r_1 | S, D | data]$



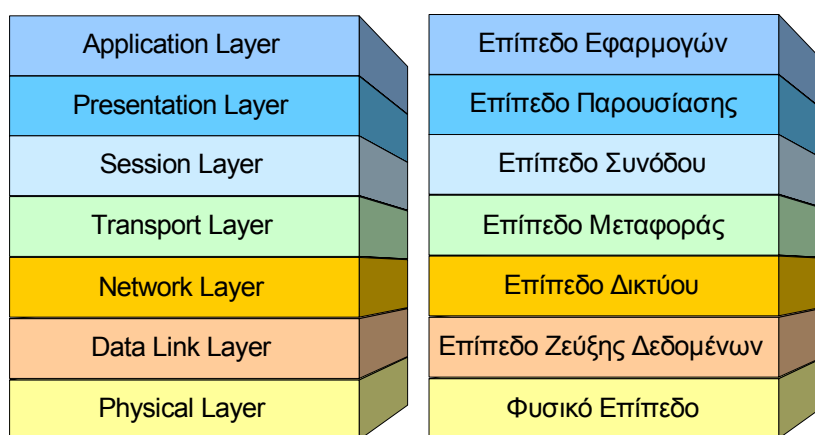
R στέλνει $[S, D | data]$

R γνωρίζει μέσω πινάκων δρομολόγησης την επόμενη ζεύξη (r_2)
(r_2) δεν είναι Ethernet διεύθυνση

Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet

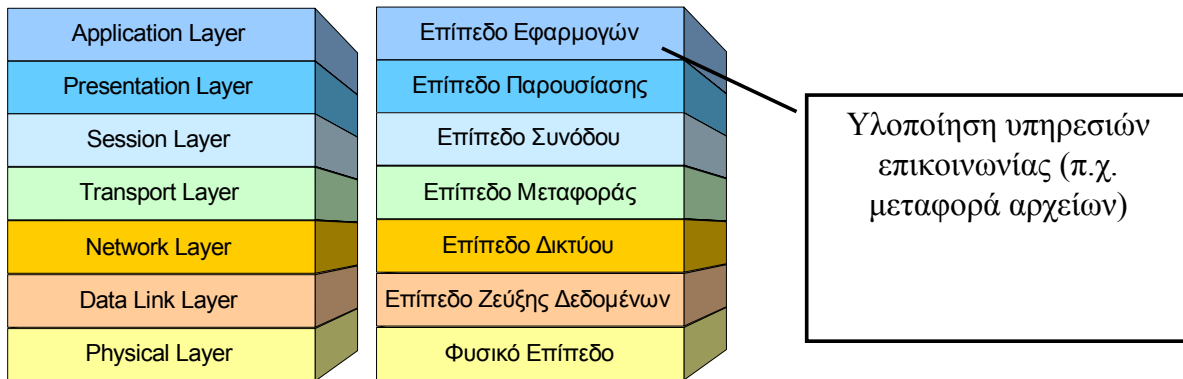


Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

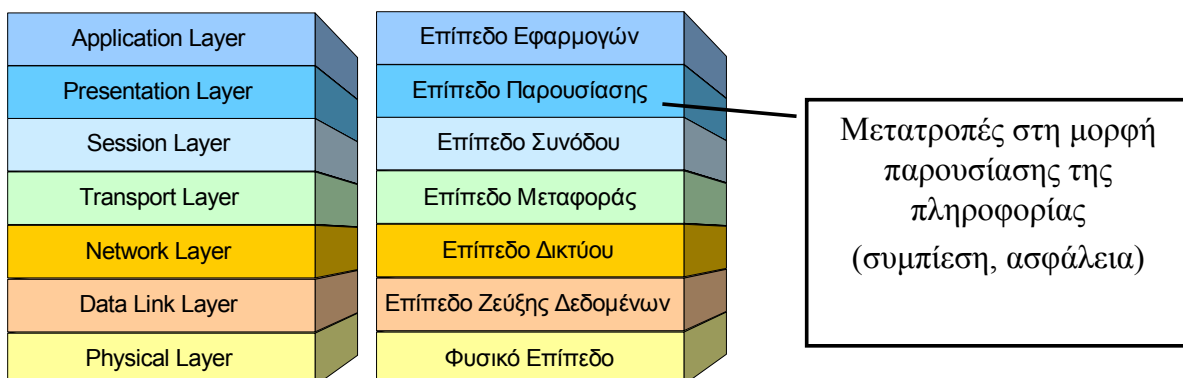


OSI: Open System Interconnection
ISO: International Organization for Standardization

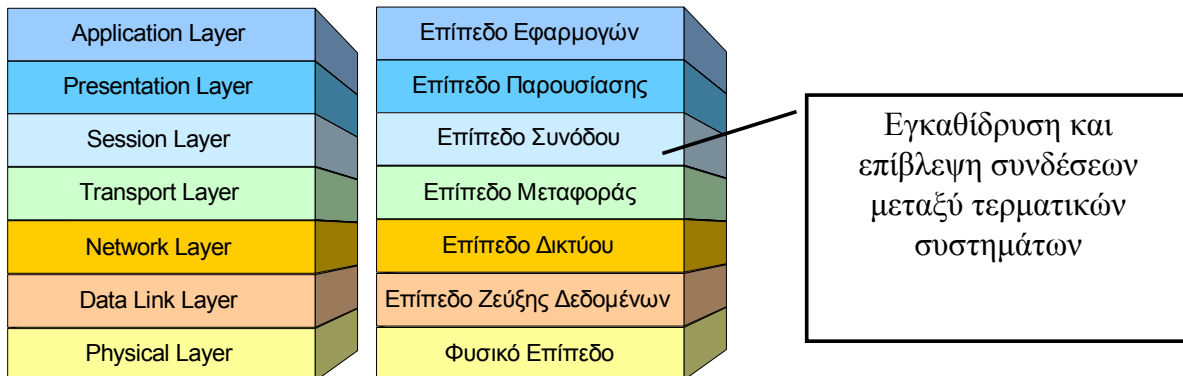
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



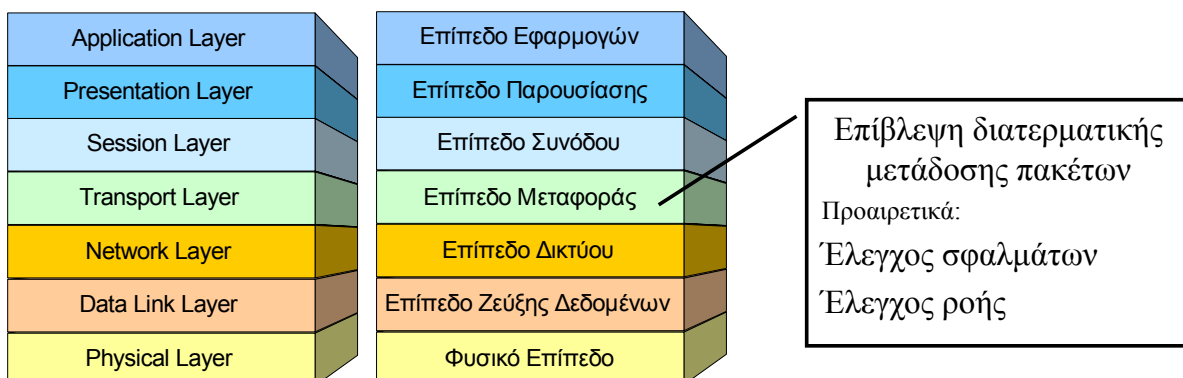
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



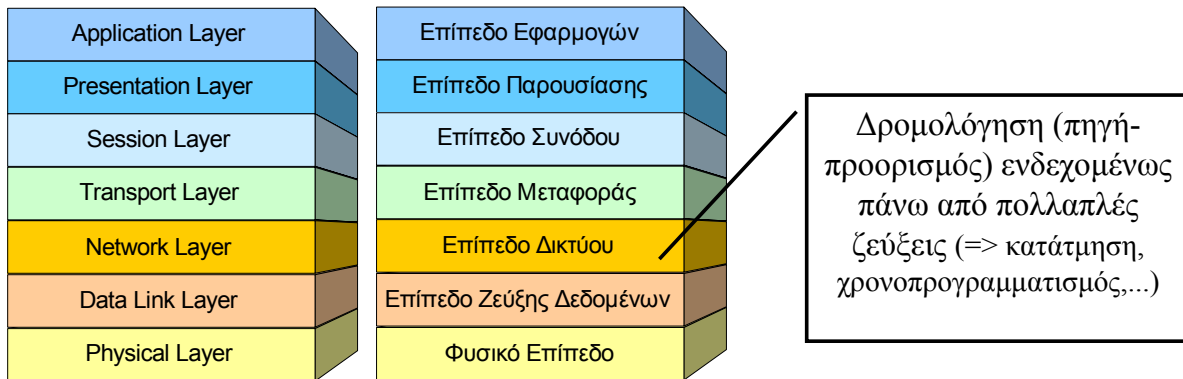
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



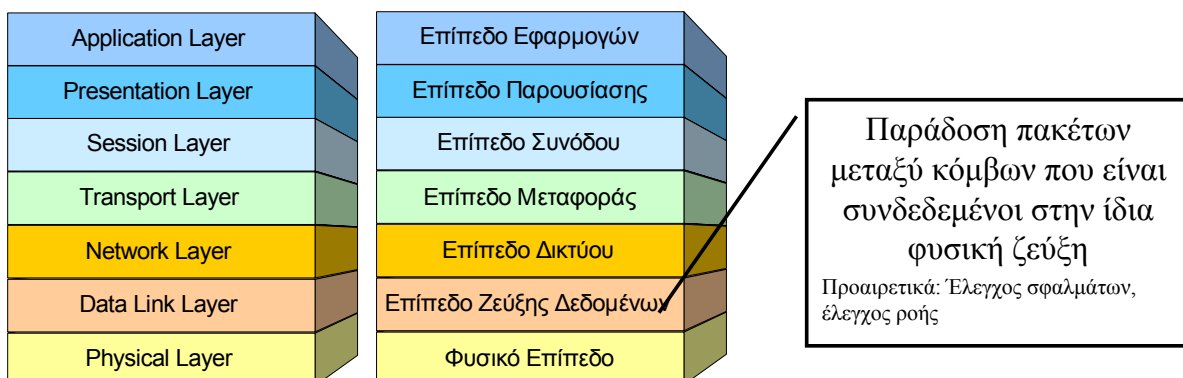
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



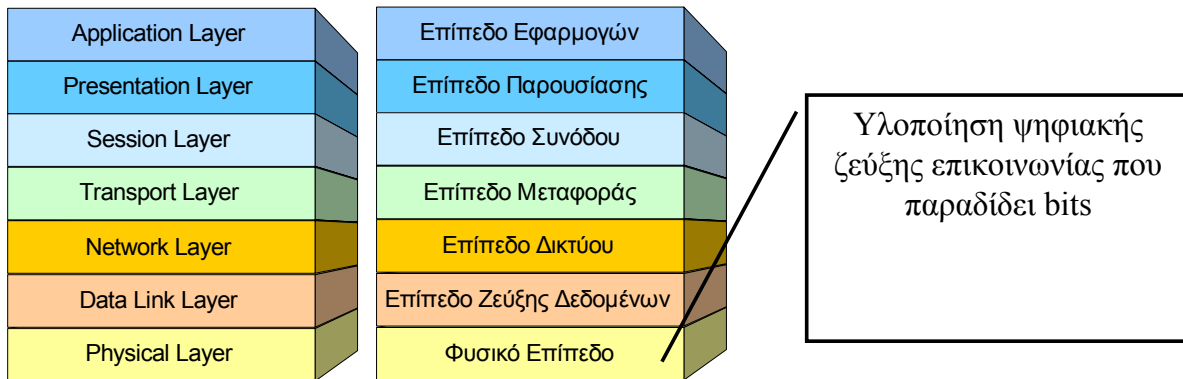
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

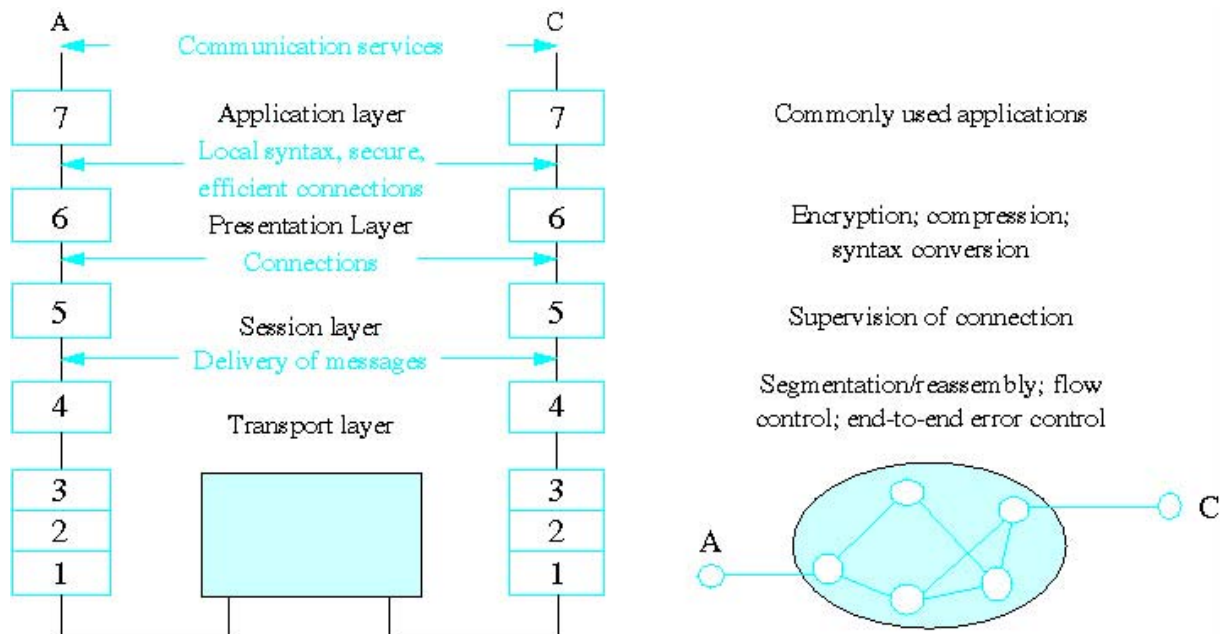


Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

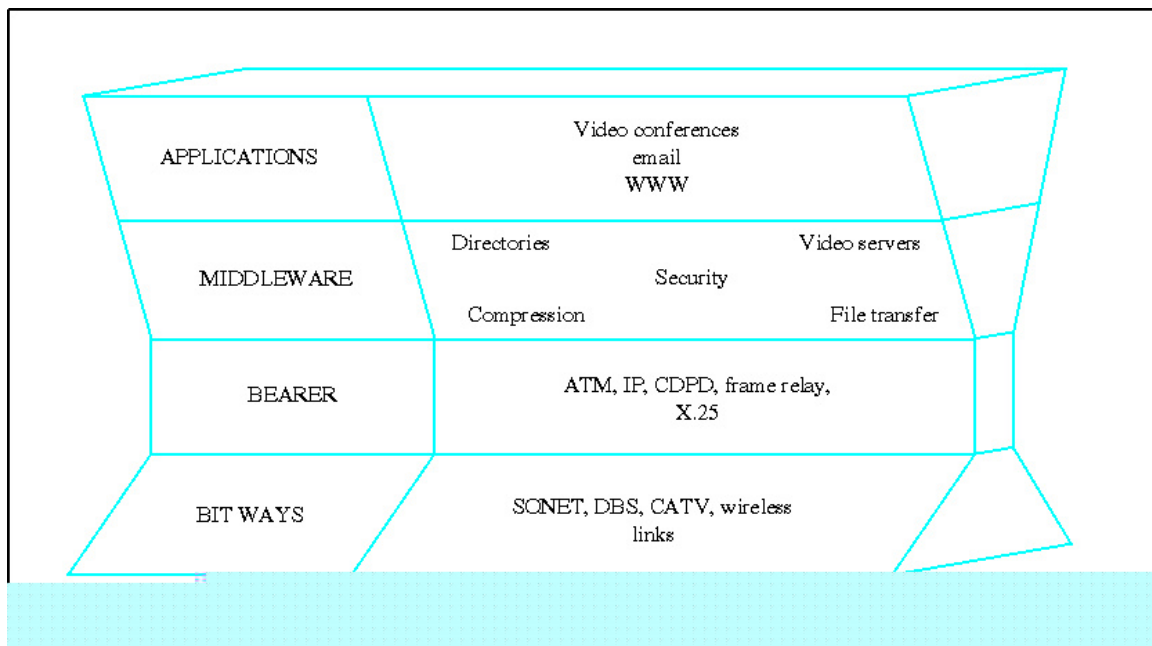


Αρχιτεκτονική Δικτύων

- Αρχιτεκτονική 7 επιπέδων (OSI-ISO) για διευκόλυνση σχεδιασμού



Αρχιτεκτονική Ανοικτού Δικτύου Δεδομένων (Open Data Network)

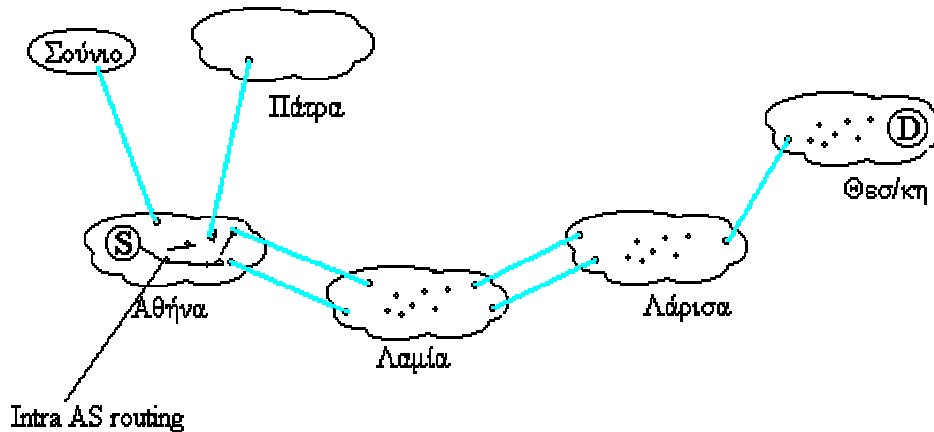


Δρομολόγηση

- Ανάγκη υλοποίησης διαδικασιών (αλγορίθμων) ενημέρωσης των πινάκων δρομολόγησης
- Μια δυνατή διαδικασία χωρίς αυτοματοποίηση
 - Ο διαχειριστής δικτύου υπολογίζει και ενημερώνει τους πίνακες δρομολόγησης
 - Εφικτό για μικρά και σχετικά στατικά δίκτυα
 - Βλάβη κόμβου οδηγεί σε αδυναμία δρομολόγησης κάποιων πακέτων
 - Σχετικά αργή διαδικασία αποκατάστασης λειτουργίας
- Διαδικασία με χάρτες (για μικρά δίκτυα)
 - Δρομολογητές στέλνουν λίστες με σχετικές παραμέτρους προς όλους τους κόμβους (flooding)
 - Με βάση ένα κοινό αλγόριθμο, οι δρομολογητές κατασκευάζουν συμβατούς πίνακες δρομολόγησης
 - Βέλτιστα μονοπάτια προσδιορίζονται με την διαδικασία Open Shortest Path First (OSPF)

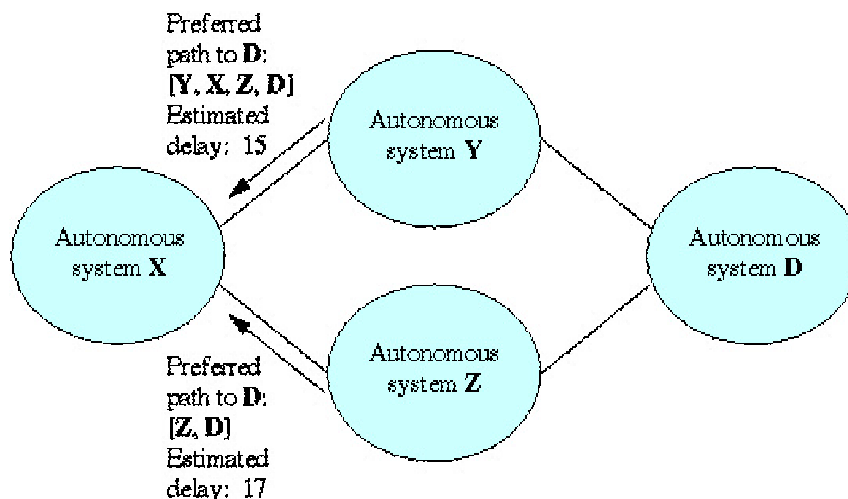
Ιεραρχική δρομολόγηση

- Πρώτη ιδέα:
 - Ιεραρχία δύο επιπέδων ("κόμβος", "δίκτυο")
 - Δρομολόγηση βασισμένη στο "δίκτυο"
- Δεύτερη ιδέα (Αυτόνομα Συστήματα - Autonomous Systems)
 - Χάρτη της πόλης εκκίνησης (intra-AS routing , OSPF)
 - Χάρτη εθνικών δρόμων (intra-AS routing , BGP)
 - Χάρτη της πόλης προορισμού (intra-AS routing , OSPF)
- (OSPF) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για inter-AS routing αλλά το BGP ανιχνεύει καλύτερα τους βρόχους



BGP (Border Gateway Protocol)

- Αυτόνομο Σύστημα (AS): Ομάδα δρομολογητών υπό κοινό οργανισμό
- Κάθε AS ενημερώνει για διαδρομές ΚΑΙ καθυστέρηση προς όλα τα AS
- Ασυνέπειες (λόγω παλαιώσης πληροφορίας) εντοπίζονται και loops αποφεύγονται
 - π.χ. με βάση μόνο την καθυστέρηση X θα έστειλε πίσω στο Y (loop), αλλά θα στείλει στον Z αφού η διαδρομή από το X περνάει από το Z)



Transmission Control Protocol (TCP)

- Πρωτόκολλο στο επίπεδο μετάδοσης που φροντίζει για:
 - Επαναμετάδοση αλλοιωμένων πακέτων (μη επιβεβαιωμένα πακέτα (unacknowledged) μέσα σε κάποιο μέγιστο χρονικό διάστημα)
 - N πακέτα το πολύ χωρίς επιβεβαίωση
 - Μέγιστος ρυθμός N/T όπου T η καθυστέρηση των επιβεβαιώσεων
 - Εάν οι επιβεβαιώσεις καθυστερούν => συμφόρηση => μείωση N

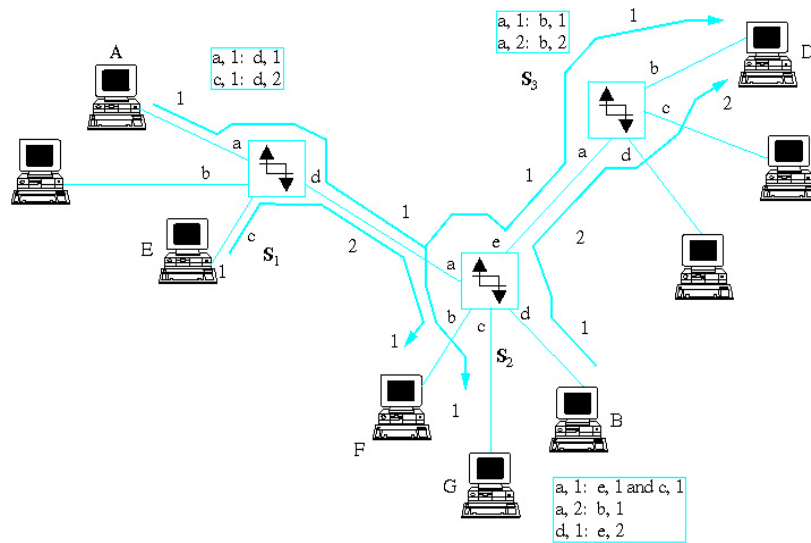
Εφαρμογές Client/Server

- Δικτυακές εφαρμογές σχεδιάζονται με βάση το client/server μοντέλο
- Client και server στέλνουν μηνύματα χρησιμοποιώντας συνήθως TCP
- TCP είναι μια διεργασία (process) που τρέχει στον υπολογιστή
- Client/server εφαρμογές (διεργασίες) επικοινωνούν με την TCP διεργασία
- Inter process επικοινωνία εξαρτάται από το λειτουργικό

Asynchronous Transfer Mode (ATM)

- Πακέτα των 53 bytes (cells)
- Επιλογή του νοητού κυκλώματος (VC) με βάση τους διαθέσιμους πόρους πριν την μετάδοση
- Δέσμευση πόρων και ενημέρωση των switches/πηγής
- Απόρριψη σύνδεσης, δυνατή λόγω έλλειψης πόρων
- Απελευθέρωση πόρων στο τέλος της σύνδεσης
- Η επικεφαλίδα των cells φέρει κάποιον αριθμό σύνδεσης βάση του οποίου γίνεται η δρομολόγηση
- ATM σχεδιασμένο για υποστήριξη επιθυμητής ποιότητας ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών

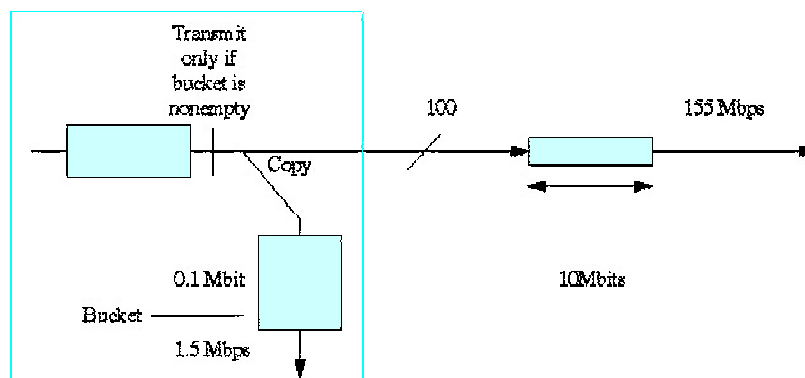
Δρομολόγηση στο ATM



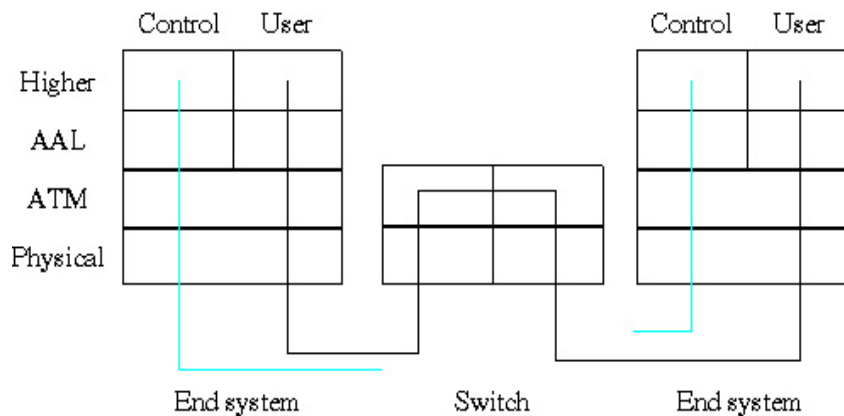
- Τρία VC : A → D,G, E → F, B → D
- Αρίθμηση VCs με τον μικρότερο διαθέσιμο αριθμό
- (ζεύξη εισόδου, VC#) (ζεύξη εξόδου, VC#)
- Virtual Paths (εικονικά μονοπάτια) για περιγραφή VCs τα οποία έχουν κοινή δρομολόγηση - εξοικονόμηση μνήμης και αύξηση ταχύτητας

Έλεγχος κίνησης για εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service - QoS)

- Leaky Bucket: Αδειάζει με ρυθμό 1.5Mbps, μέγιστη χωρητικότητα 0.1Mbits
- Μετάδοση πακέτου: Εάν το πακέτο χωράει να αντιγραφεί στον Bucket (ή, εφόσον ο Bucket δεν είναι γεμάτος)
- Μέσος επιτρεπόμενος ρυθμός (μεγάλο t): $(0.1 + 1.5t)/t$, περίπου 1.5Mbps
- Μέγιστο μήκος ριπής (burst): 0.1Mbits
- Για 100 ροές, ταχύτητα ζεύξης 155Mbps, ταμιευτήρια (buffer) 10Mbits :
- Απώλειες: 0 - Μέγιστη καθυστέρηση: $10/155 = 65ms$



ATM Αρχιτεκτονική



Διατεματικές Υπηρεσίες (End-to-End Services)

- Υποθέστε ότι ένα δίκτυο παρέχει τις παρακάτω υπηρεσίες:
 - Υπηρεσία 1: μεταφορά μηνύματος με M bytes με καθυστέρηση T και πιθανότητα σφάλματος ϵ
 - $\epsilon < 10^{-4}$ για $M < 10^6$, το T εξαρτάται από το M ; $T < 2s$ για $M = 1Mbyte$
 - Υπηρεσία 2: Διαθεσιμότητα ζεύξης με χωρητικότητα R bps, καθυστέρηση T και ρυθμό σφάλματος ρ (ποσοστό εσφαλμένων bits)
 - $R = 150 Mbps$, $0.01s < T < 1.2s$ με πιθανότητα 0.999 , $\rho < 10^{-8}$
- Ερώτημα: Μπορεί αυτό το δίκτυο να υποστηρίξει τις παρακάτω εφαρμογές?
 - Βίντεοτηλεφωνία: $R = 64Kbps$ (o.k.) αλλά $1.2s$ καθυστέρηση μη αποδεκτή
 - Πλοήγηση στο Web: Για $M = 1Mbyte$ o.k.

Φυσικά Χαρακτηριστικά Ζεύξεων

- Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου :
 - **R**: Ρυθμός μετάδοσης bits
 - **D**: Καθυστέρηση διάδοσης σήματος (3.3-4 (αέρα, χαλκό), 5 (οπτ. ίνα) $\mu\text{sec/Km}$)
 - **T**: Καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου μήκους P (bits) :
 - $T = D + P / R$
- Πιθανότητα σφάλματος στο πακέτο :
 - **BER**: Πιθανότητα σφάλματος ενός bit
 - (Υπόθεση : σφάλματα σε διαφορετικά bits είναι ανεξάρτητα γεγονότα)
 - Πιθανότητα τα P bits του πακέτου να είναι σωστά : $(1 - \text{BER})^P$
 - Πιθανότητα το πακέτο να έχει σφάλμα : $\text{PER} = 1 - (1 - \text{BER})^P$

Μεταγωγή Πακέτων / Στατιστική Πολυπλεξία

- Μειονεκτήματα μεταγωγής κυκλώματος (circuit-switching) :
 - Δέσμευση (\Rightarrow σπατάλη για bursty κίνηση) πόρων
 - Αυξημένη πολυπλοκότητα μεταγωγών λόγω σηματοδοσίας κ.λ.π.
- Παράδειγμα Α: Εγκαθίδρυση και τερματισμός σύνδεσης (10s) με γραμμή 64Kbps
 - Υποθέτοντας μετάδοση 1Kbyte (χρόνος μετάδοσης 1Kbyte=8Kbits : 0.125s)
 - Συνολικός χρόνος δέσμευσης γραμμής : 10.125s
 - Συντελεστής (ωφέλιμης) χρήσης πόρων (U) : $U = 0.125 / 10.125 = 1.23\%$!
 - Μέγιστος/Μέσο ρυθμό (PMR) : $\text{PMR} = 64\text{Kbps} / (8\text{Kbits} / (10.125\text{s})) = 1 / 0.0123 = 81$!
 - Υποθέτοντας μετάδοση 1Kbyte κάθε 1s για διάρκεια 100s :
 - $U = 100 \times 0.125 / (100 + 10) = 11.3\%$ / $\text{PMR} = 1 / 0.113 = 8.8$
 - Υποθέτοντας μετάδοση 1Kbyte κάθε 1s για διάρκεια 10000s :
 - $U = 10000 \times 0.125 / (10000 + 10) \sim 10000 \times 0.125 / (10000) = 12.5\%$ / $\text{PMR} = 1 / 0.125 = 8.0$

Μεταγωγή Πακέτων / Στατιστική Πολυπλεξία

- Παράδειγμα Β: Μετάδοση με αυτοδύναμα πακέτα
 $U \sim 100\%$
(αγνοώντας επικεφαλίδες, διαδικασία ενημέρωσης πινάκων δρομολόγησης, ...)
- Συγκριτικό όφελος λόγω εκμετάλλευσης του κέρδους στατιστικής πολυπλεξίας (SMG- Statistical Multiplexing Gain)

$$SMG \sim PMR$$

