

## ΚΕΦ. 2 - Η Λειτουργία των Δικτύων

### 2.1 Ethernet

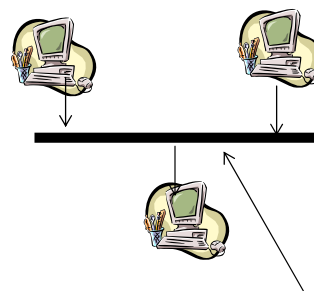
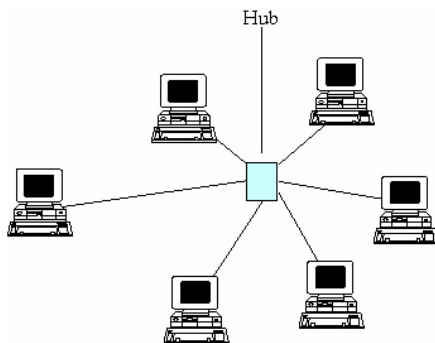
### 2.2 Internet

### 2.3 Asynchronous Transfer Mode

### 2.4 Η αρχιτεκτονική του Δικτύου

## ΚΕΦ. 2 - Η Λειτουργία των Δικτύων

### Ethernet

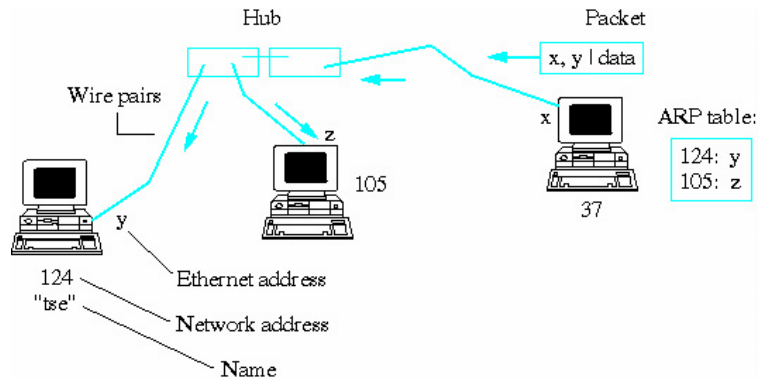


HUB ⇔ κοινός αγωγός/μέσο/κανάλι

Η πλήμνη (hub) αναπαράγει τα εισερχόμενα «πακέτα» στις (άλλες) θύρες της  
Σύγκρουση όταν το hub (πλήμνη) δεχθεί τουλάχιστον 2 σήματα

# Ethernet

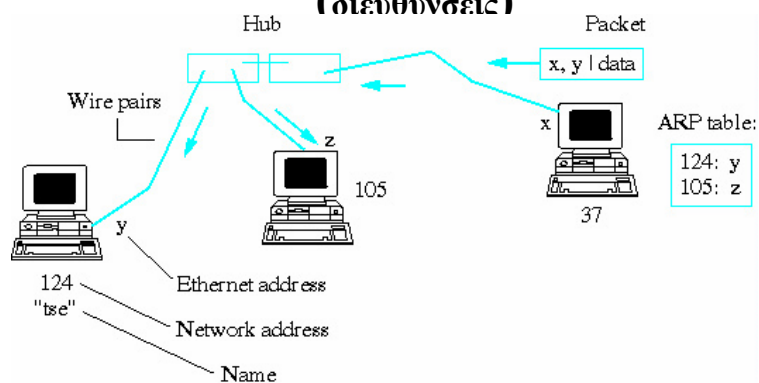
## Shared Ethernet: Hubs and Collisions (συγκρούσεις)



- **Computers συνδεδεμένοι σε ένα Hub. Πολλά συνδεδεμένα Hubs.**
- **Κάθε σύνολο διασυνδεδεμένων Hubs ορίζει ένα πεδίο συγκρούσεως (collision domain).**

# Ethernet

## (διευθύνσεις)



- **Όνομα computer: Tse**
- **Δικτυακή διεύθυνση υπολογιστή: 124 (λογική τοποθεσία)**
- **Ethernet διεύθυνση υπολογιστή: y**
  - Ορίζεται εκ κατασκευής - στατική
  - 6-byte / 48-bit (248 δυνατές) - Δεκαεξαδική περιγραφή: F8-37-B1-1F-33-BA
  - Πρώτα 24 bits ορίζονται από IEEE / Τελευταία 24 bits από τον κατασκευαστή

## Πρωτόκολλα ανεύρεσης διευθύνσεων

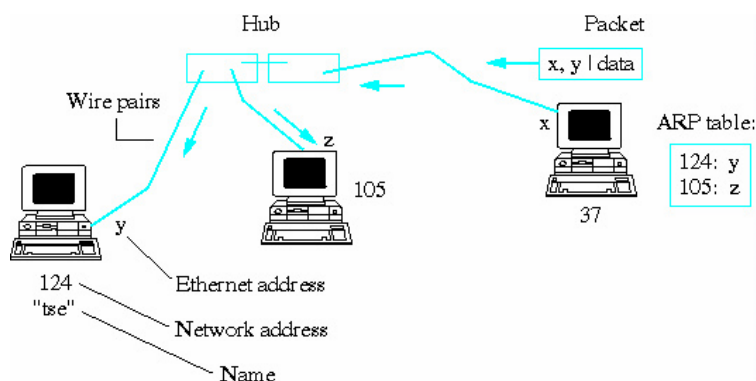
### Δικτυακής Διεύθυνσης:

- Υπολογιστές χωρίς δίσκο δεν γνωρίζουν δικτυακές διευθύνσεις
- Ο Network Server παρέχει τις δικτυακές διευθύνσεις όταν οι υπολογιστές εκκινούν με βάση τις Ethernet διευθύνσεις τους (Reverse-ARP, RARP).

### Ethernet Διεύθυνσης:

- Η πηγή γνωρίζει την δικτυακή διεύθυνση του προορισμού.
- Απαιτείται γνώση και της Ethernet διεύθυνσης για διακίνηση πληροφορίας στο Ethernet.
- ARP (Address Resolution Protocol) : => .....

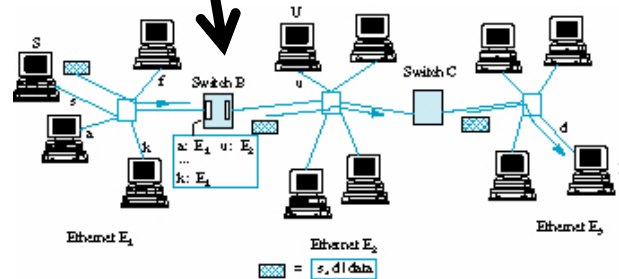
## Ethernet : ARP (Address Resolution Protocol)



- 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 Switches

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



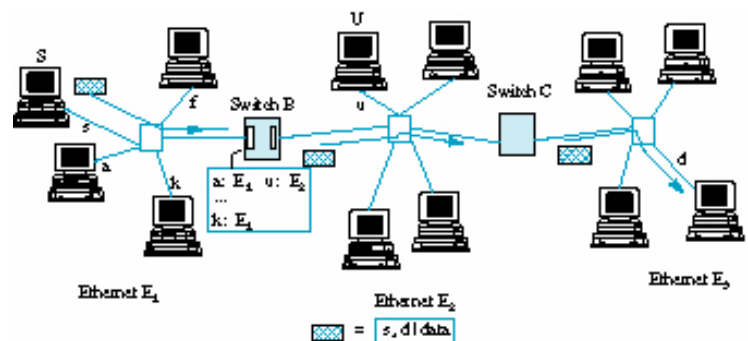
### Switched Ethernet

- 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 shared (γιατί?)

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

7

## Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (2)



### Μετάδοση από S (Ethernet E<sub>1</sub>) προς D (Ethernet E<sub>2</sub>)

- S στέλνει [s, d | Data] πακέτο στο Ethernet E<sub>1</sub>.
- Switch B συμβουλευεται 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.

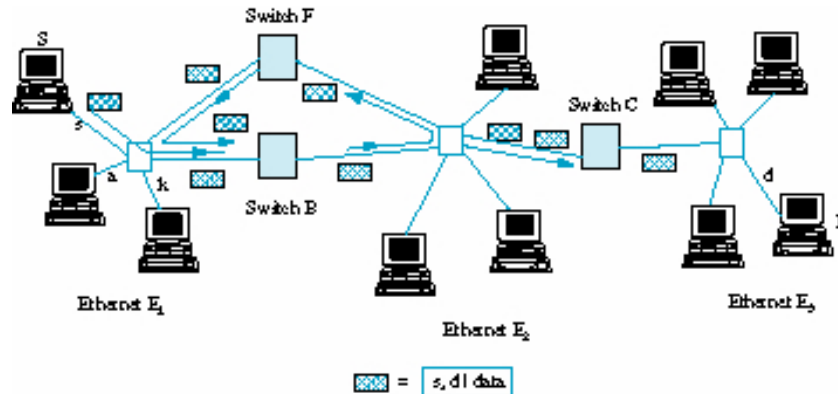
Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

8

## Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (3)

### Switched Ethernet με βρόγχους

- Αύξηση της αξιοπιστίας switched Ethernet μέσω βρόγχων.



- Εάν δεν υπάρχει η διεύθυνση στη λίστα το πακέτο περνά στο άλλο ethernet και μετά πάλι πίσω, ..... (loops)

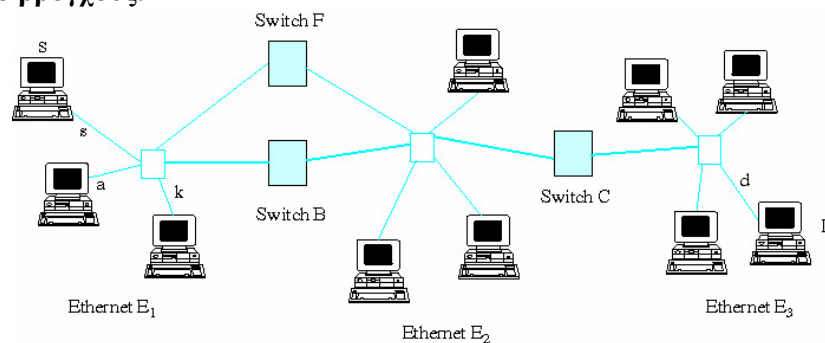
Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφο. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

9

## Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (4)

### Spanning Tree Αλγόριθμος

- Switched Ethernet με βρόγχους θα μετέφεραν πακέτα επ' άπειρον πάνω από βρόγχους.



- Πακέτα αντιγράφονται από  $E_1$  σε  $E_2$  από Switch B και από  $E_2$  σε  $E_1$  από switch F, ...
- Ο spanning tree αλγόριθμος προσδιορίζει ένα δένδρο (γράφημα χωρίς βρόγχους) διασύνδεσης όλων των Ethernet.
- Πακέτα αντιγράφονται μόνο από switches που ανήκουν στο δένδρο.

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφο. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

10

**Δεν είναι εφικτή**  
**η διασύνδεση απομακρυσμένων υπολογιστών**  
**με τη λογική διασυνδεόμενων Ethernet με Switches**

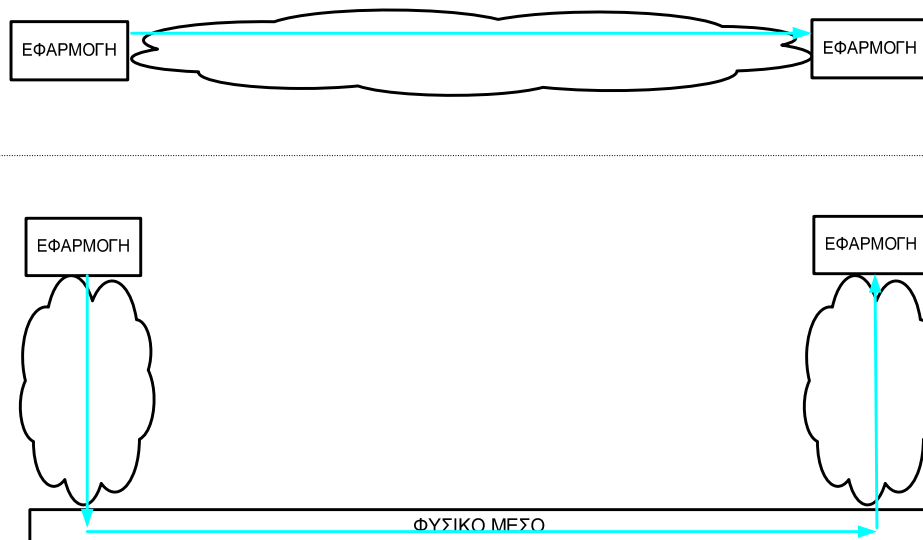
**Ανάγκη ανάπτυξης νέας λογικής σχεδίασης δικτύων**

**Πολύ-επίπεδη Αρχιτεκτονική Δικτύων / Διαδίκτυο**

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

11

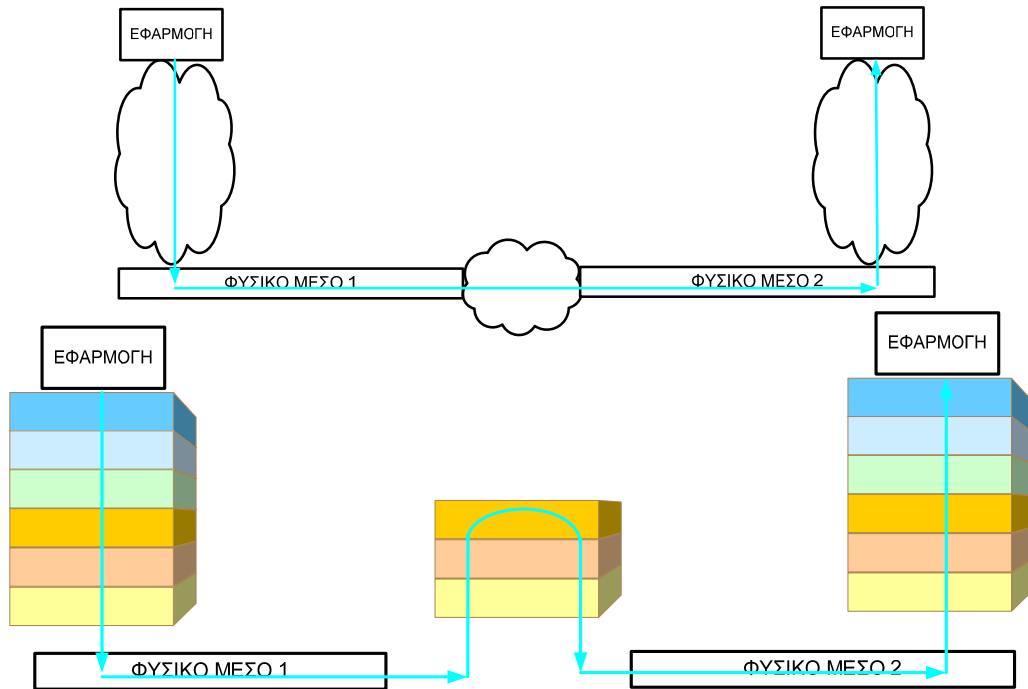
**Αρχιτεκτονική Δικτύου**



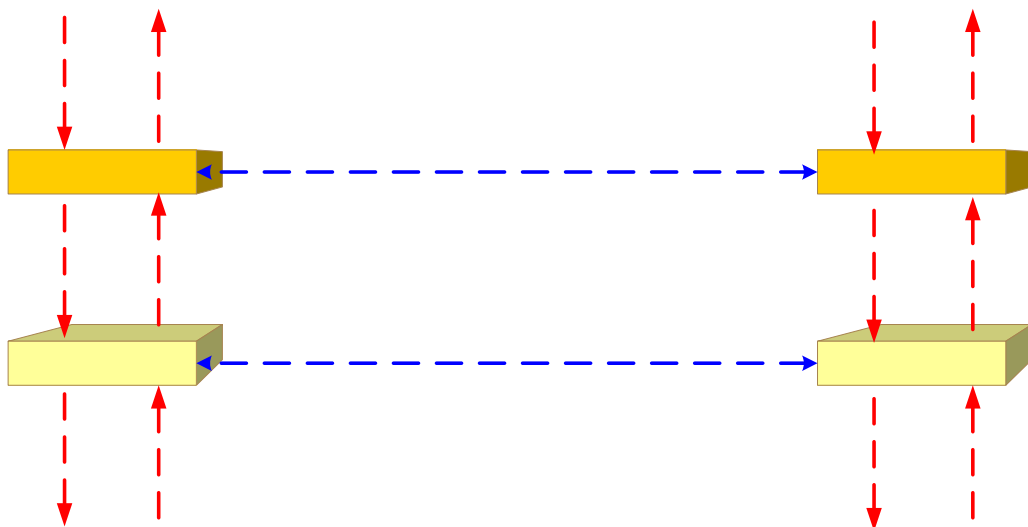
Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

12

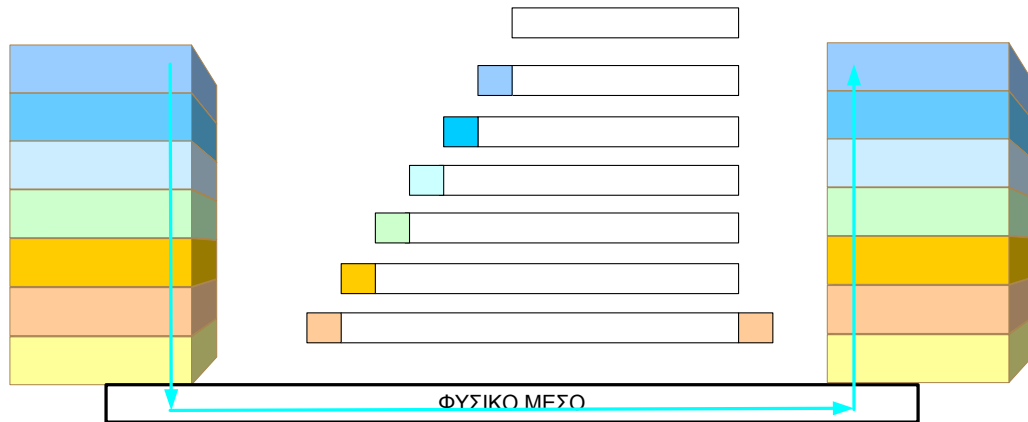
## Αρχιτεκτονική Δικτύου



## Αρχιτεκτονική Δικτύου



## Αρχιτεκτονική Δικτύου



## 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

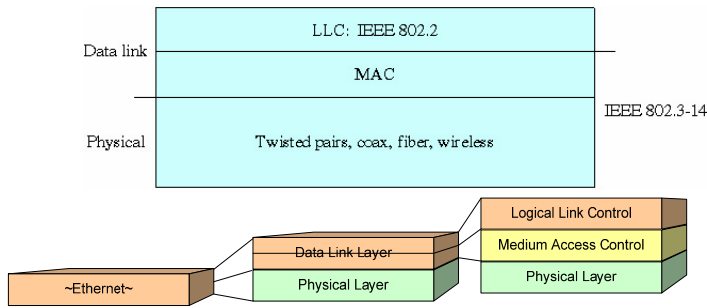
(+) Συμβατότητα

(-) Απόδοση



## Αρχιτεκτονική επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs) - IEEE 802.3

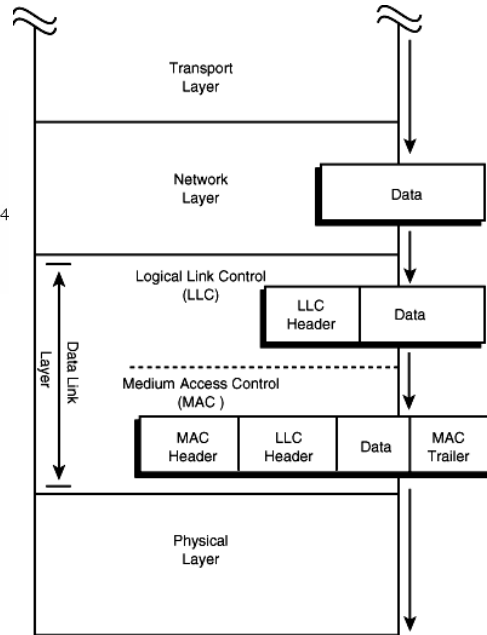
### - 802.3 ~ Ethernet (Διαφορές -> Κεφ. 4)



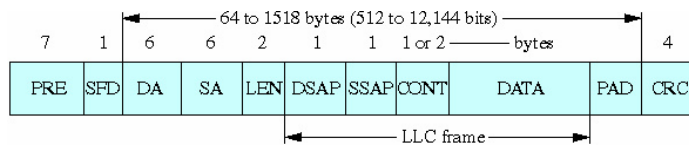
-Physical layer: ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των συνδέσεων

-MAC: «μετατρέπει» διαμοιραζόμενη ζεύξη σε εικονικές ζεύξεις σημείου προς σημείο

-LLC: επίβλεψη μεταδόσεων (προαιρετικά, επαναμεταδόσεις)

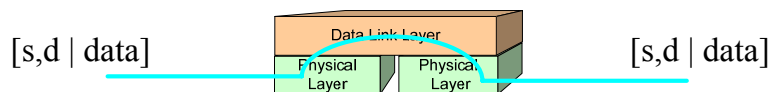


## Αρχιτεκτονική επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs) - IEEE 802.3

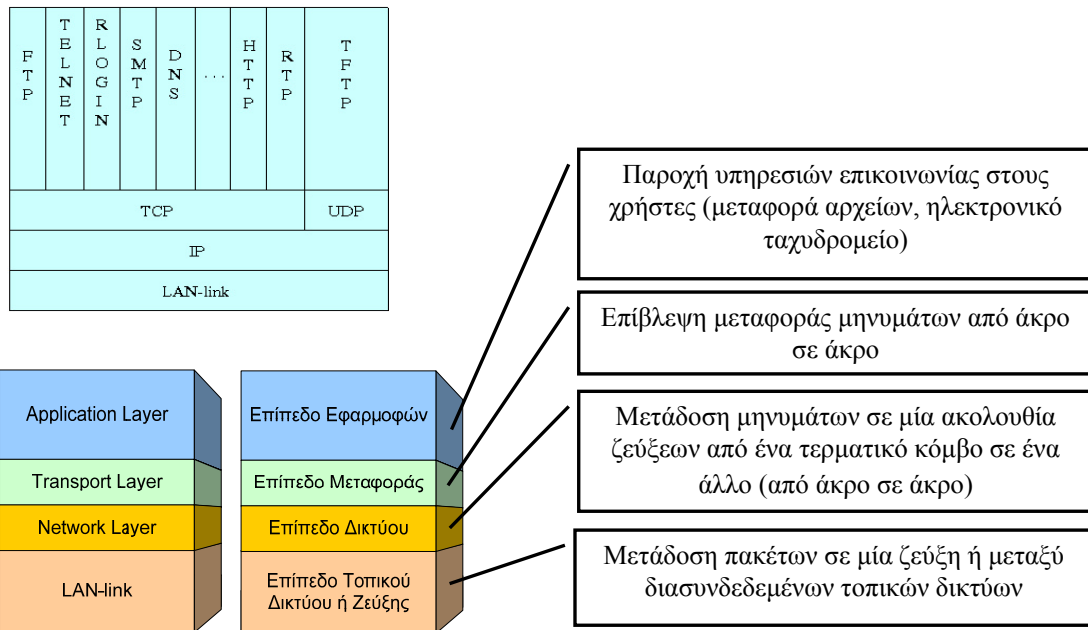


[s,d | data]

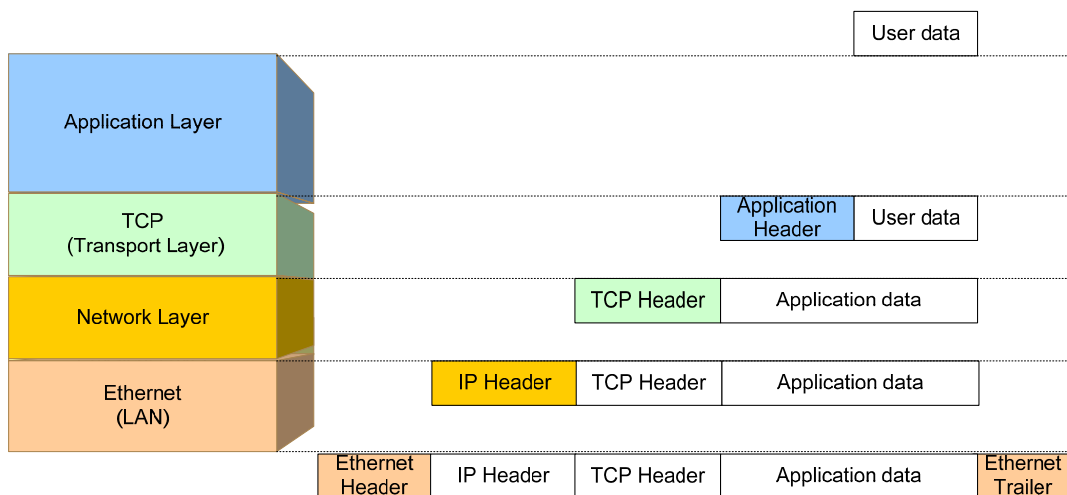
Ethernet Switch



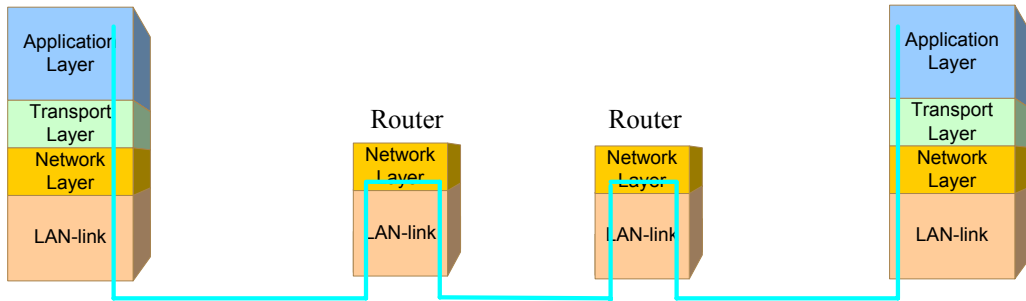
# Αρχιτεκτονική των δικτύων TCP/IP



# Αρχιτεκτονική των δικτύων TCP/IP

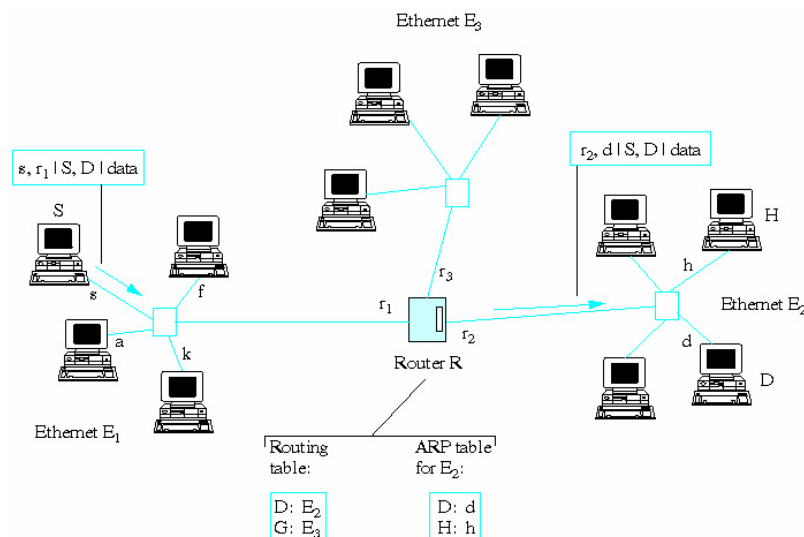


[s,d | S,D | data]

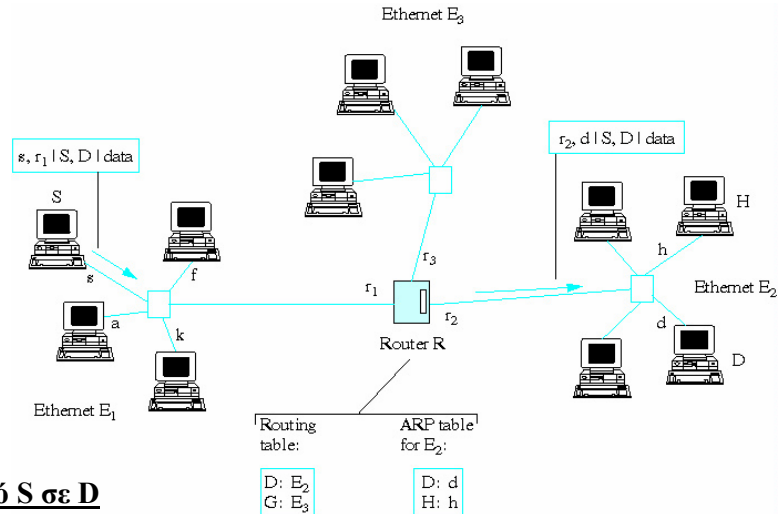


## Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

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



## Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers



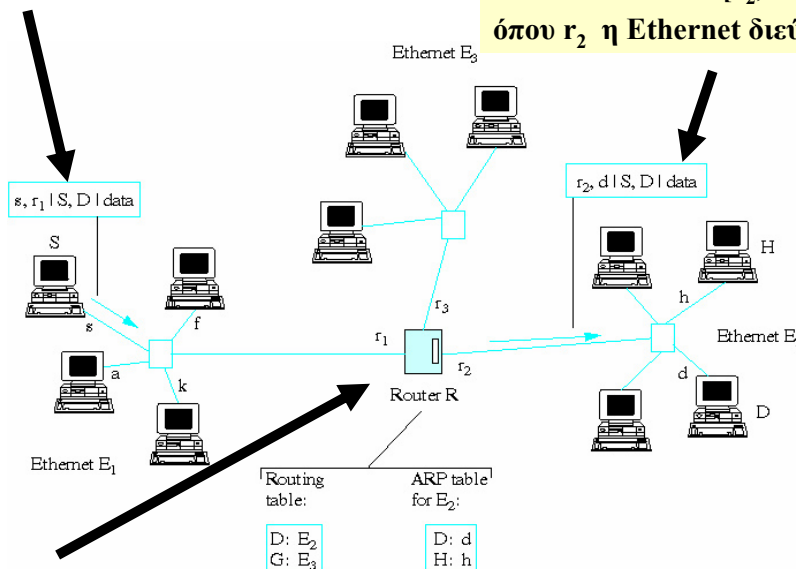
### Μετάδοση πακέτου από S σε D

- $s$ : Ethernet διεύθυνση του S
- $r_k$ : Ethernet διεύθυνση του R στο Ethernet E<sub>k</sub> (S γνωρίζει  $r_1$  μέσω του ARP)
- S,D: Δικτυακές διευθύνσεις της πηγής και προορισμού.  
(πηγή γνωρίζει S μέσω π.χ. RARP και γνωρίζει D μέσω υπηρεσίας δικτύου).

## Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

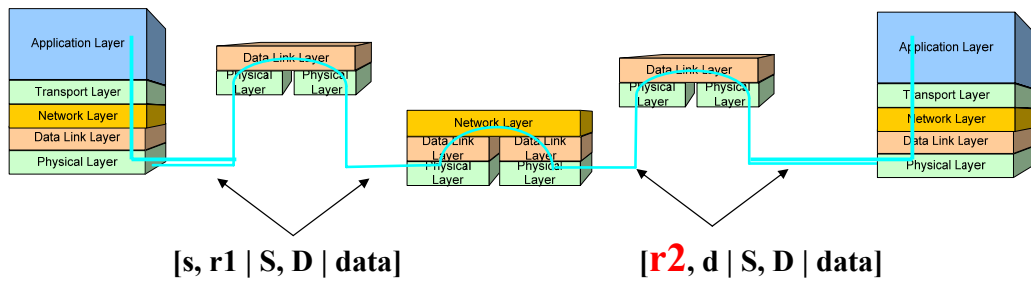
• Πηγή στέλνει πακέτο  $[s, r_1 | S, D | data]$

Router R στέλνει  $[r_2, d | S, D | data]$ , όπου  $r_2$  η Ethernet διεύθυνση του R στο E<sub>2</sub>.



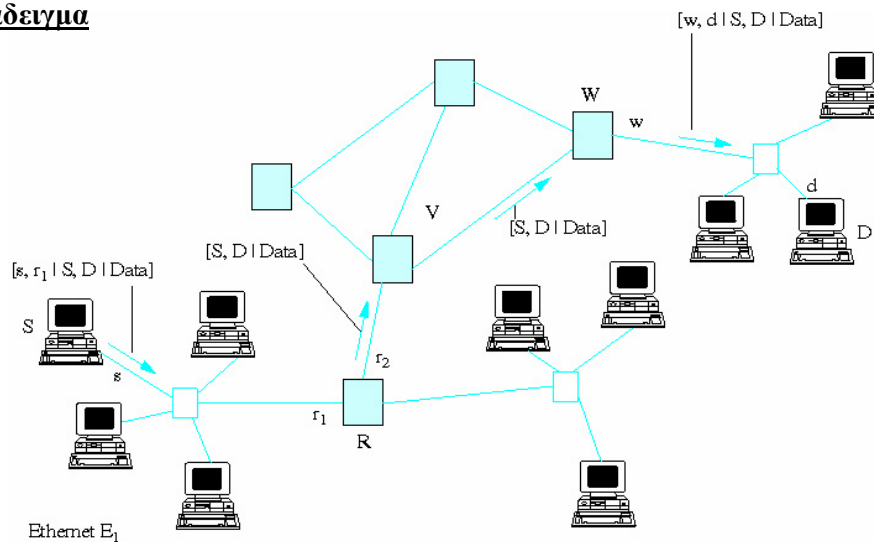
• Router R προσδιορίζει με χρήση πινάκων

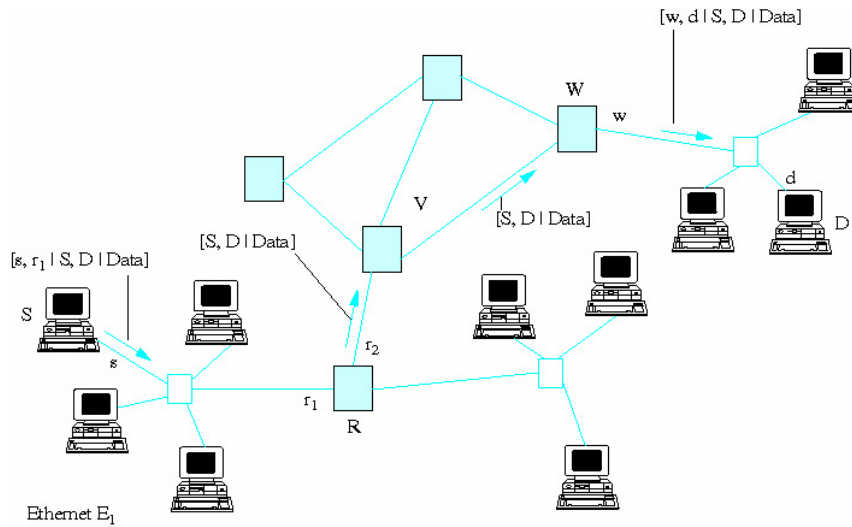
- Ethernet του προορισμού (D -> E<sub>2</sub>) (μέσω αλγορίθμων δρομολόγησης)
- Ethernet διεύθυνση προορισμού (D -> d) (μέσω ARP)



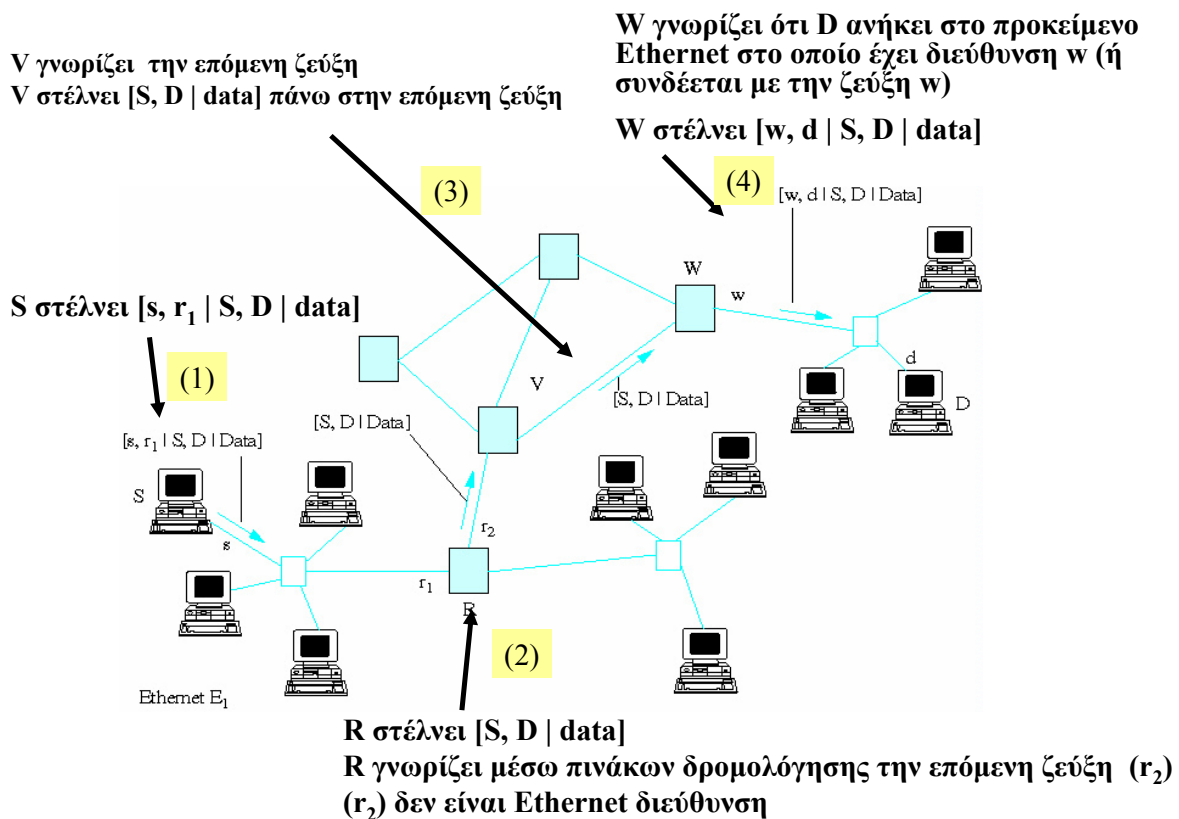
## Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet

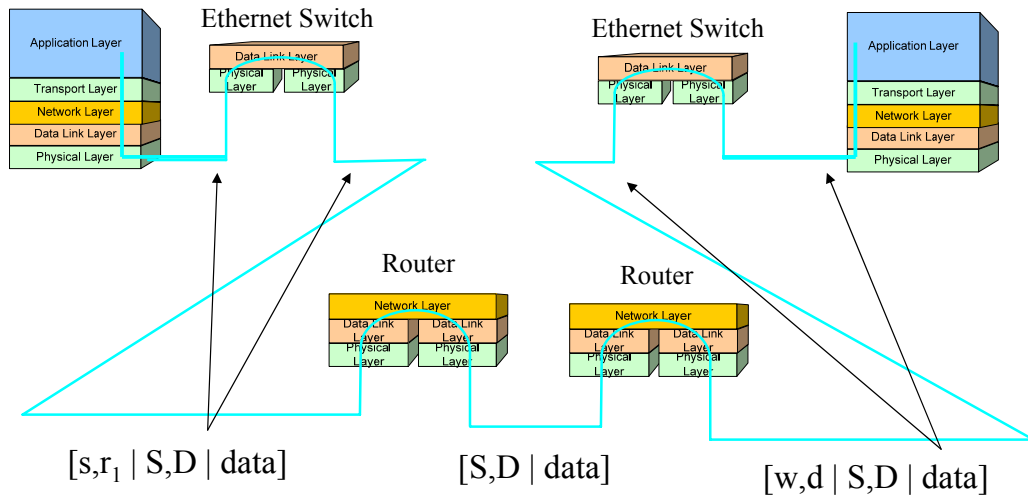
### Παράδειγμα



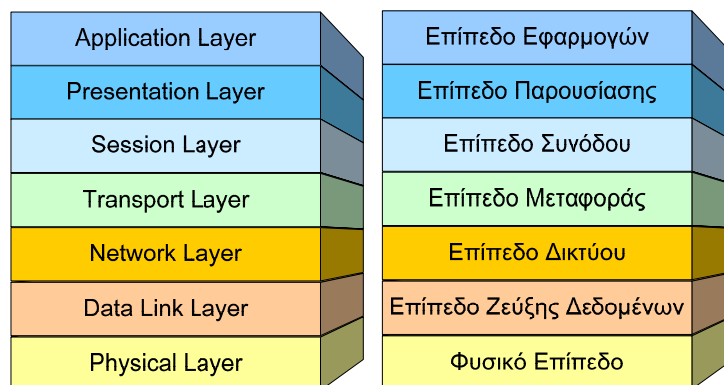


- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με δίκτυο έχει διαφορετική δικτυακή διεύθυνση.
- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με Ethernet έχει διαφορετική Ethernet διεύθυνση.
- S γνωρίζει την δικτυακή διεύθυνσή του (π.χ. Μέσω RARP) (S)
- S γνωρίζει την Ethernet διεύθυνση του δρομολογητή του (π.χ. μέσω ARP) ( $r_1$ )
- S γνωρίζει D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



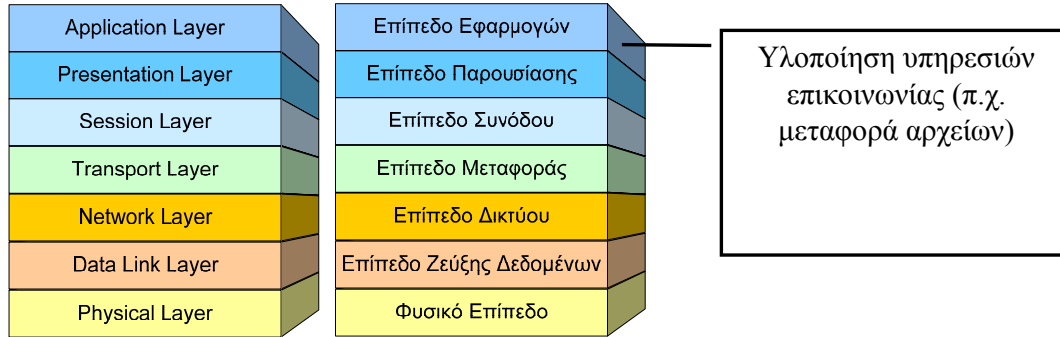


## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

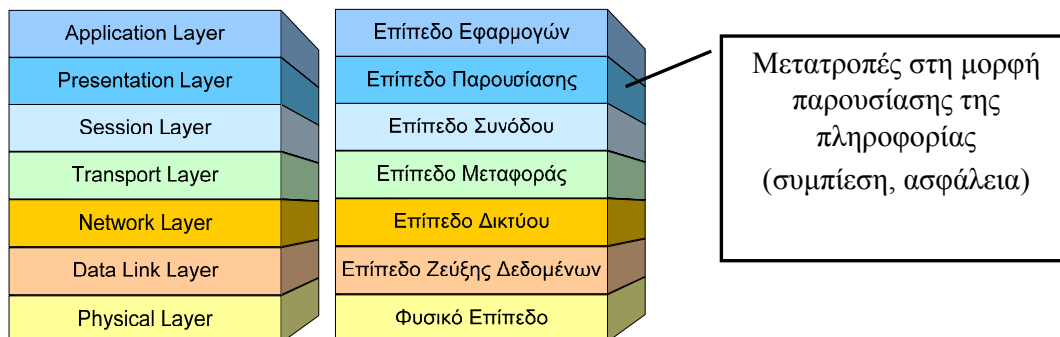


OSI: Open System Interconnection  
 ISO: International Organization for Standardization

## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

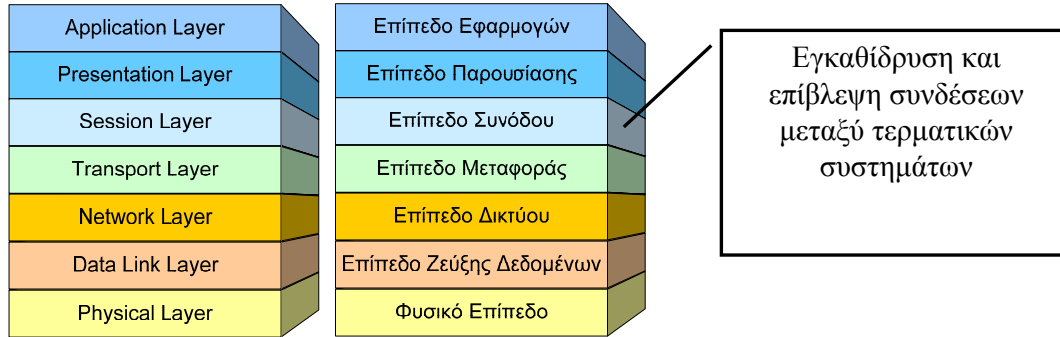


## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

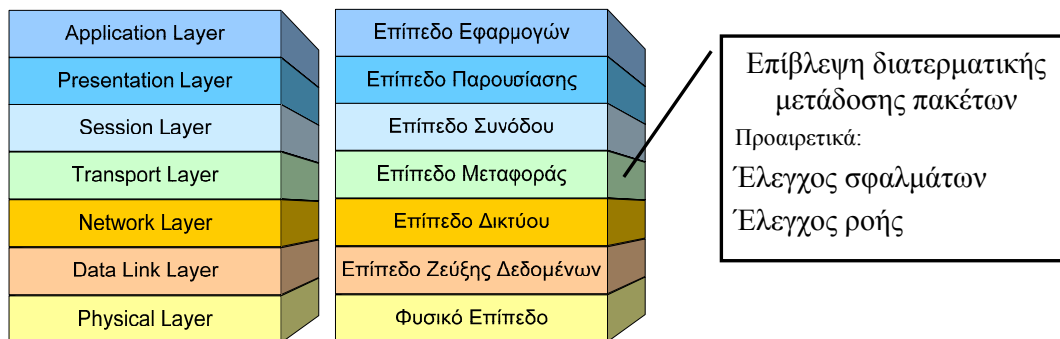




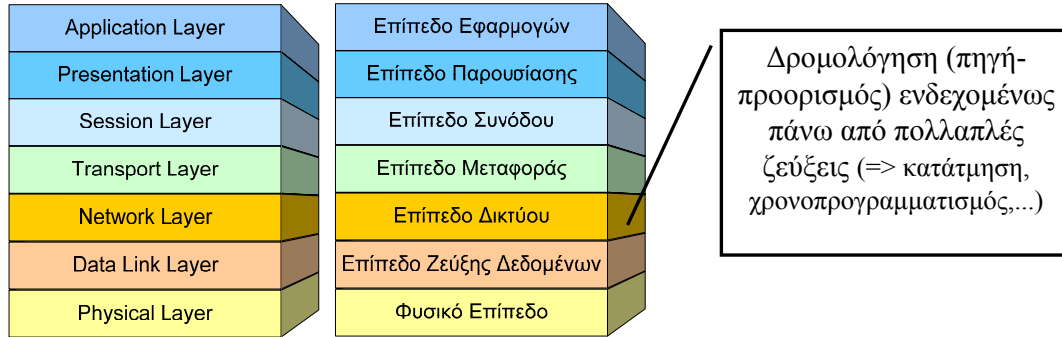
## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



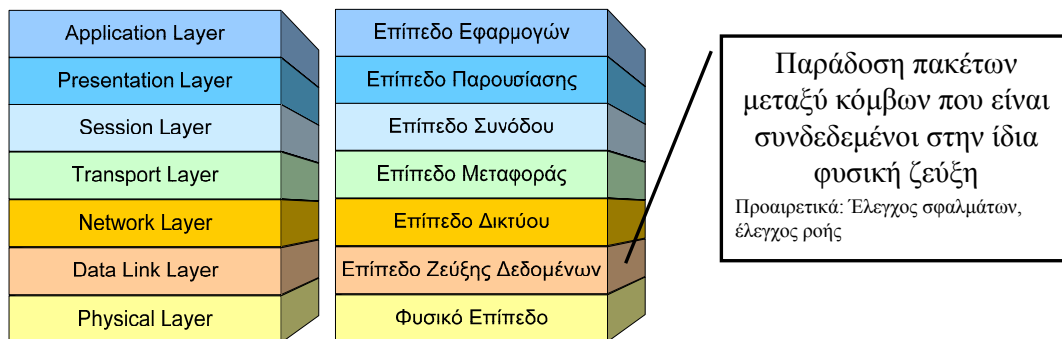
## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



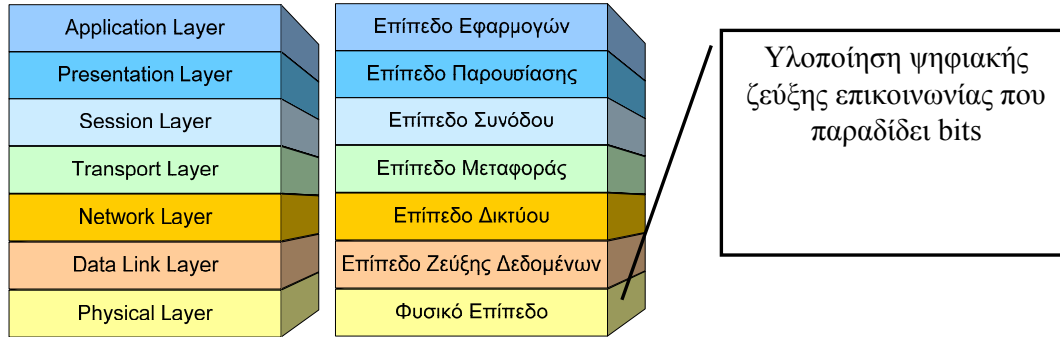
## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



## Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

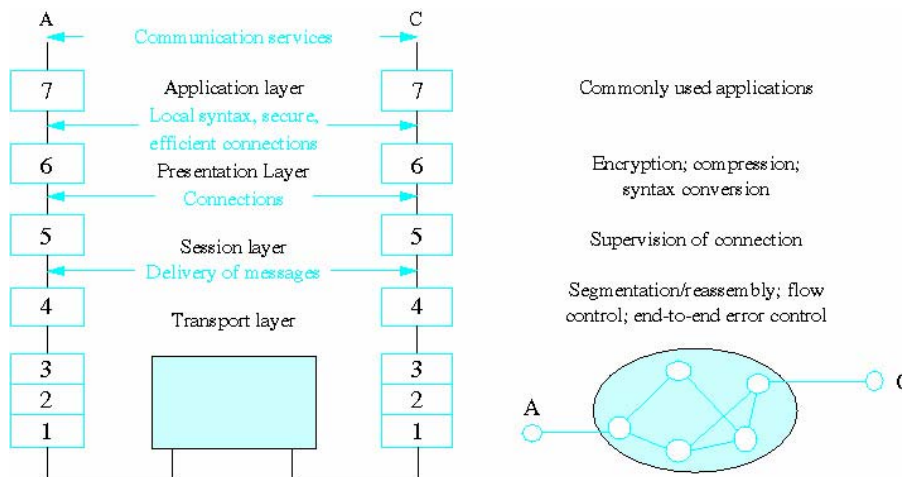


# Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

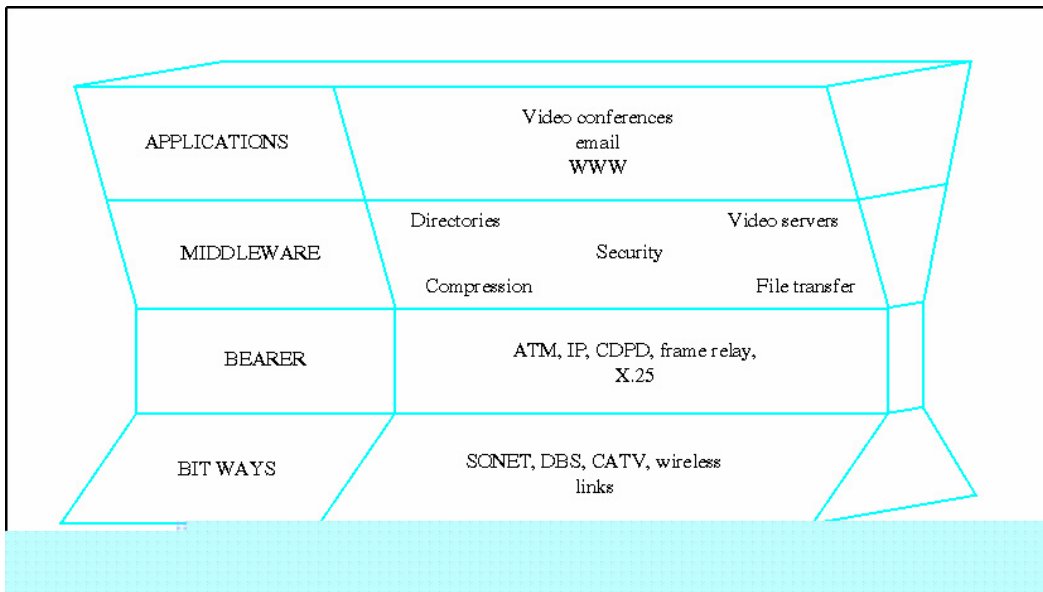


## Αρχιτεκτονική Δικτύων

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



## Αρχιτεκτονική Ανοικτού Δικτύου Δεδομένων (Open Data Network)



## Δρομολόγηση OSPF/BGP

**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 γάρτες (για μικρά δίκτυα)

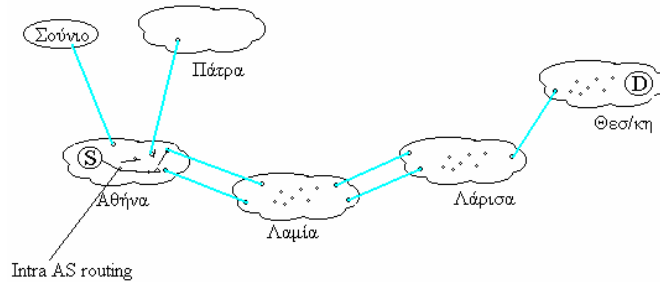
- Δρομολογητές στέλνουν λίστες με σχετικές παραμέτρους προς όλους τους κόμβους (flooding)
- Με βάση ένα κοινό αλγόριθμο, οι δρομολογητές κατασκευάζουν συμβατούς πίνακες δρομολόγησης
- Βέλτιστα μονοπάτια προσδιορίζονται με την διαδικασία Open Shortest Path Free (OSPF)

## Ιεραρχική δρομολόγηση

### Πρώτη ιδέα:

- Ιεραρχία δύο επιπέδων (“κόμβος”, “δίκτυο”)
- Δρομολόγηση βασισμένη στο “δίκτυο”

### Δεύτερη ιδέα (Αυτόνομα Συστήματα - Autonomous Systems)



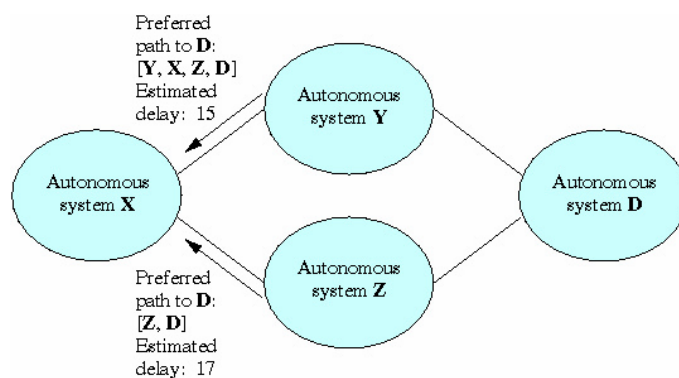
- Χάρτη της πόλης εκκίνησης (intra-AS routing , OSPF)
- Χάρτη εθνικών δρόμων (intra-AS routing , BGP)
- Χάρτη της πόλης προορισμού (intra-AS routing , OSPF)

**(OSPF) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για inter-AS routing αλλά BGP ανιχνεύει καλύτερα τους βρόγχους**

## 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 έστελνε 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:**

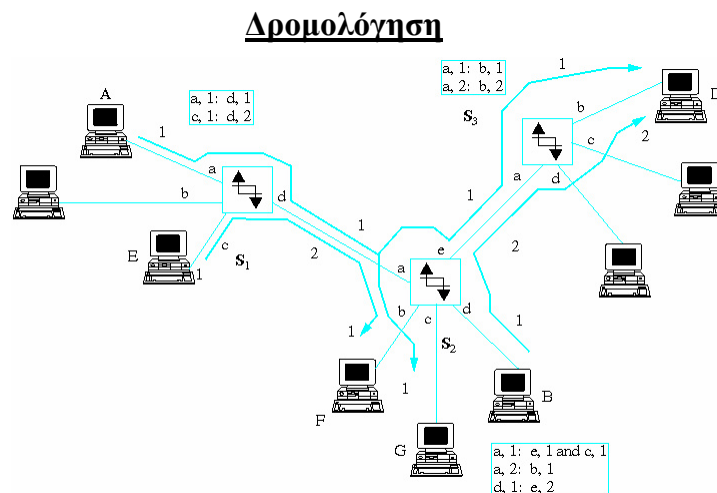
- **Επαναμετάδοση αλλοιωμένων πακέτων (μη επιβεβαιωμένα πακέτα (unacknowledged) μέσα σε κάποιο μέγιστο χρονικό διάστημα)**
- **N πακέτα το πολύ χωρίς επιβεβαίωση**
- **Μέγιστος ρυθμός N/T - T η καθυστέρηση των επιβεβαιώσεων**
- **Εαν επιβεβαιώσεις καθυστερούν => συμφόρηση => μείωση N**

## 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**
- **Για UNIX BSD η επικοινωνία μεταξύ διεργασιών γίνεται με ουρές**
  - **Αποστολή μηνύματος υλοποιείται με εγγραφή σε κατάλληλη ουρά (socket write)**
  - **Ανάγνωση μηνύματος υλοποιείται με πρόσβαση και ανάγνωση από την κατάλληλη ουρά (socket read)**

## 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



- Τρία VC :  $A \rightarrow D, G$ ,  $E \rightarrow F$ ,  $B \rightarrow D$
- Αρίθμηση VCs με τον μικρότερο διαθέσιμο αριθμό
- (ζεύξη εισόδου, VC#)  $\rightarrow$  (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 (QoS)

**Leaky Bucket:** Αδειάζει με ρυθμό 1.5Mbps, μέγιστη χωρητικότητα 0.1Mbits

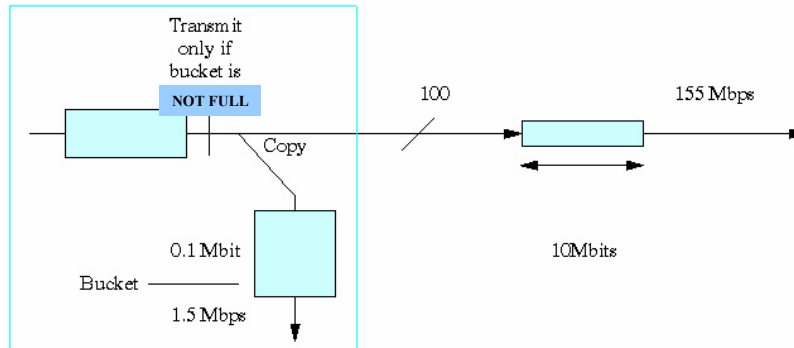
**Μετάδοση πακέτου:** Εάν το πακέτο χωράει να αντιγραφεί στον Bucket  
( η, εφόσον ο Bucket δεν είναι γεμάτος)

**Μέγιστος επιτρεπόμενος ρυθμός (μεγάλο t):**  $(0.1 + 1.5t)/t$  , περίπου 1.5Mbps

**Μέγιστο μήκος ριπής (burst):** 0.1Mbits

**Για 100 ροές, ταχύτητα ζεύξης 155Mbps, ταμιευτήρα (buffer) 10Mbits :**

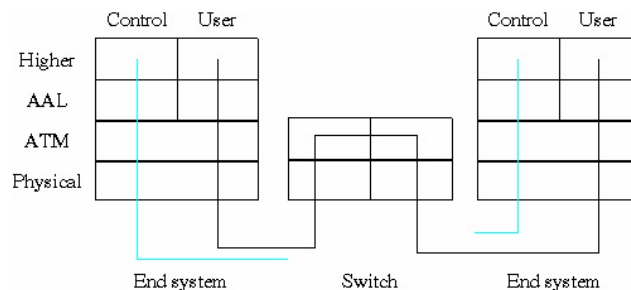
**-Απώλειες: 0 - Μέγιστη καθυστέρηση:  $10/155 = 65ms$**



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

47

## ATM Αρχιτεκτονική



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 2Α (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) - 2007

48



## Υπηρεσίες από άκρη σε άκρη (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  $M < 10^6$ , T εξαρτάται από το M;  $T < 2s$  για  $M = 1\text{Mbyte}$ )
- Υπηρεσία 2: Διαθεσιμότητα ζεύξης με χωρητικότητα R bps, καθυστέρηση T και ρυθμό σφάλματος ρ (ποσοστό εσφαλμένων bits)  
( $R = 150\text{ Mbps}$ ,  $0.01s < T < 1.2s$  με πιθανότητα 0.999,  $\rho < 10^{-8}$ )

**Ερώτημα:** Μπορεί αυτό το δίκτυο να υποστηρίξει τις παρακάτω εφαρμογές?

- Βίντεοτηλεφωνία:  $R = 64\text{Kbps}$  (o.k.) αλλά 1.2s καθυστέρηση μη αποδεκτή
- Πλοήγηση στο Web: Για  $M = 1\text{Mbyte}$  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 (==> σπατάλη για bursty κίνηση) πόρων
- Αυξημένη πολυπλοκότητα μεταγωγών λόγω σηματοδότησης 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) :  $PMR = 64Kbps / (8Kbits / (10.125s)) = 1/0.0123 = 81$  !
- Υποθέτοντας μετάδοση 1Kbyte κάθε 1s για διάρκεια 100s :
  - $U = 100 \times 0.125 / (100 + 10) = 11.3\%$  /  $PMR = 1/0.113 = 8.8$
- Υποθέτοντας μετάδοση 1Kbyte κάθε 1s για διάρκεια 10000s :
  - $U = 10000 \times 0.125 / (10000 + 10) \sim 10000 \times 0.125 / (10000) = 12.5\%$  /
  - $PMR = 1/0.125 = 8.0$

## Μεταγωγή Πακέτων / Στατιστική Πολυπλεξία (2)

### Παράδειγμα Β: Μετάδοση με αυτοδύναμα πακέτα

$U \sim 100\%$

(αγνοώντας επικεφαλίδες, διαδικασία ενημέρωσης πινάκων δρομολόγησης, ...)

Συγκριτικό όφελος λόγω εκμετάλλευσης του κέρδους στατιστικής πολυπλεξίας (SMG)

$SMG \sim PMR$

