

ΚΕΦ. 2 - Η Λειτουργία των Δικτύων

2.1 Ethernet

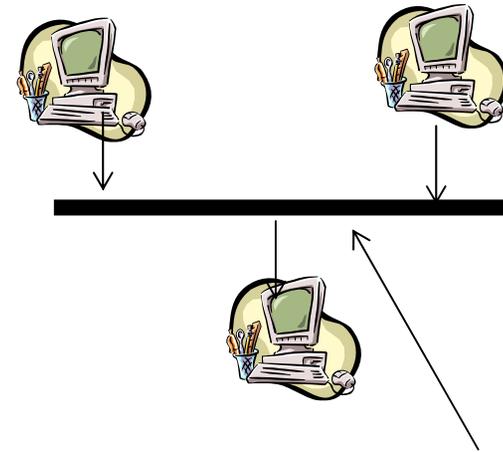
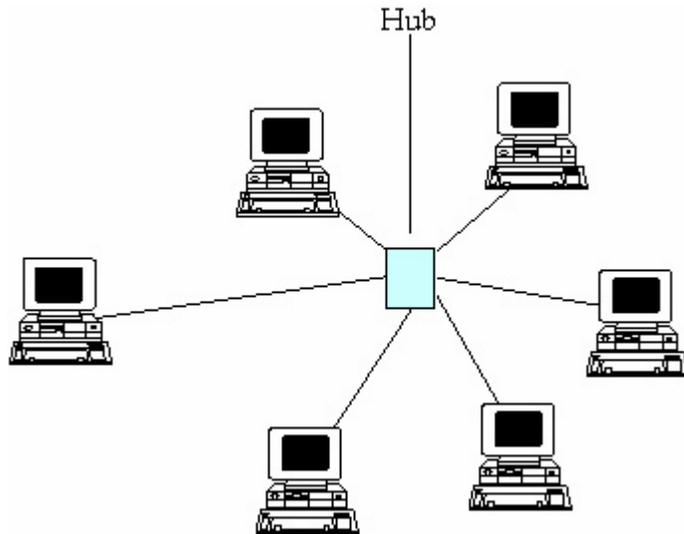
2.2 Internet

2.3 Asynchronous Transfer Mode

2.4 Η αρχιτεκτονική του Δικτύου

ΚΕΦ. 2 - Η Λειτουργία των Δικτύων

Ethernet

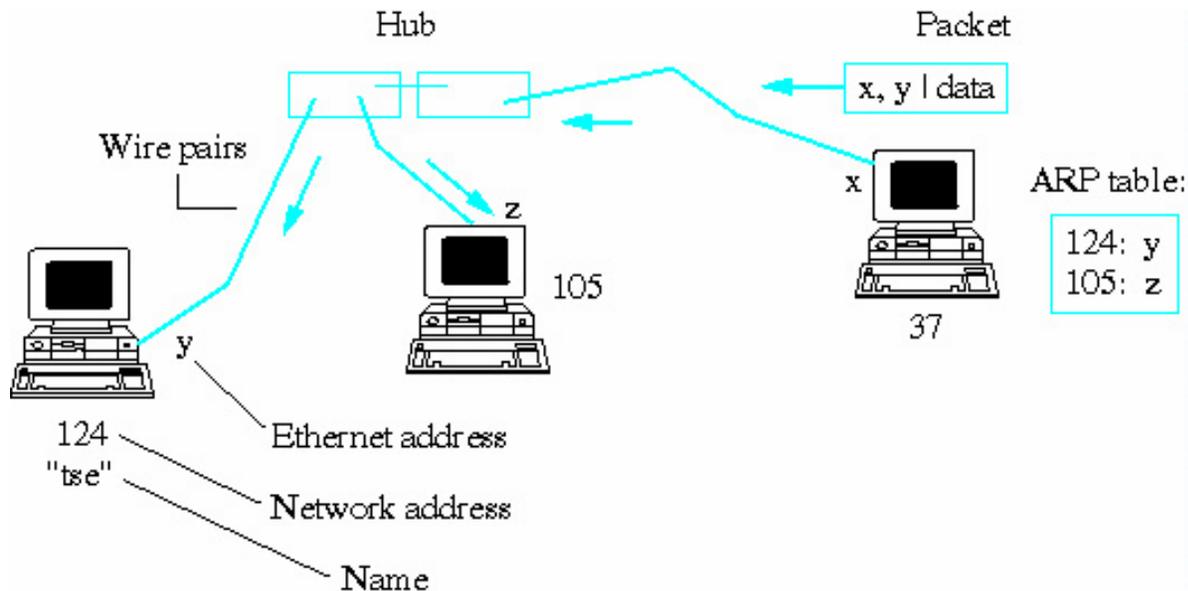


HUB ⇔ κοινός αγωγός/μέσο/κανάλι

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

Ethernet

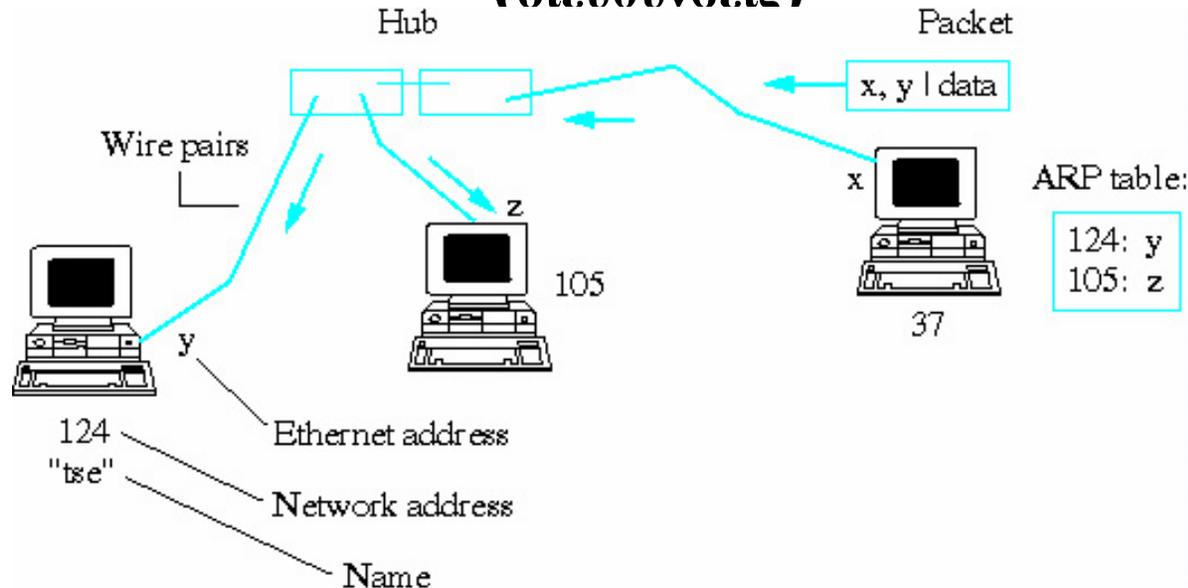
Shared Ethernet: Hubs and Collisions (συγκρούσεις)



- **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

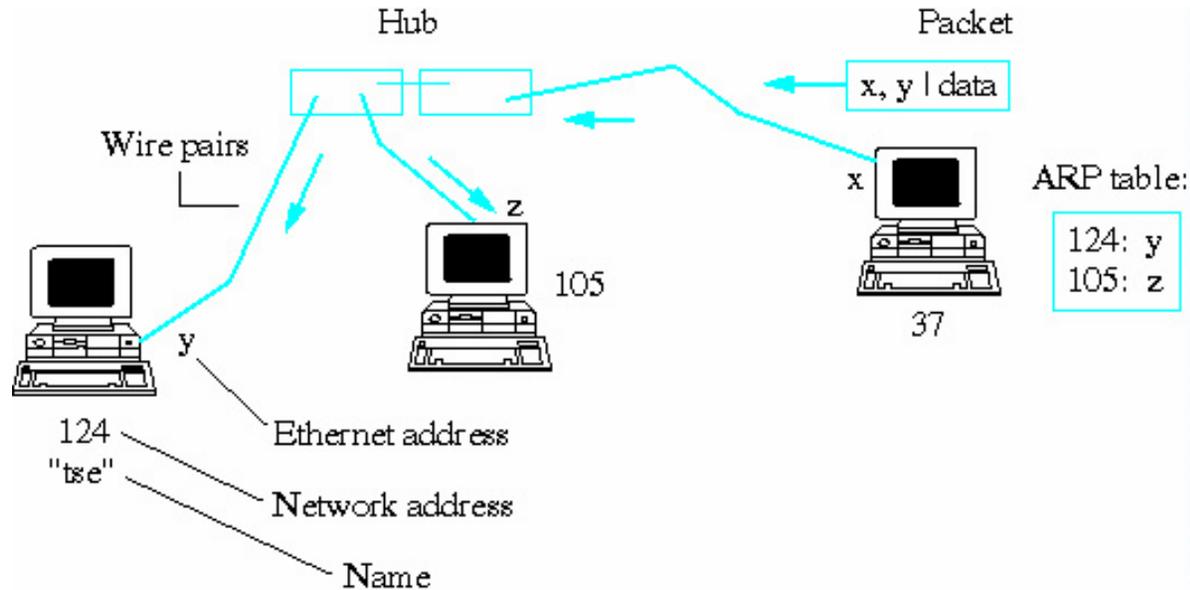
Δικτυακής Διεύθυνσης:

- 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) : =>

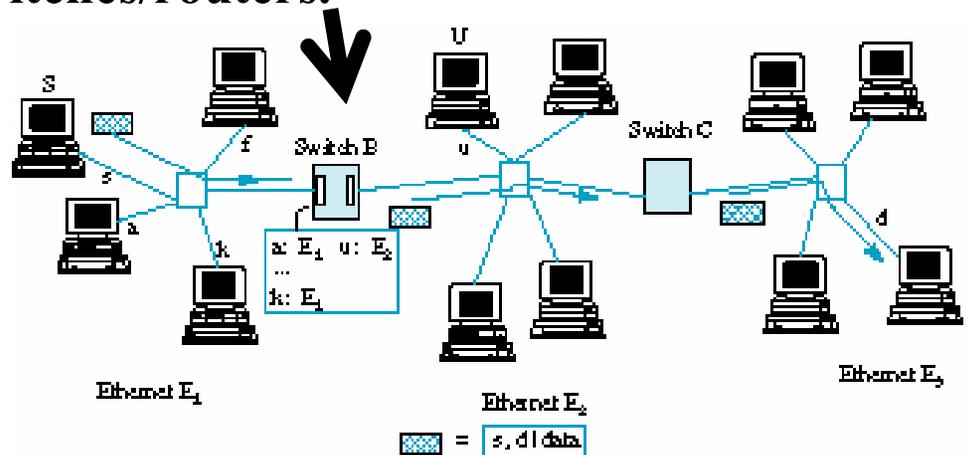
Ethernet : ARP (Address Resolution Protocol)



- 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

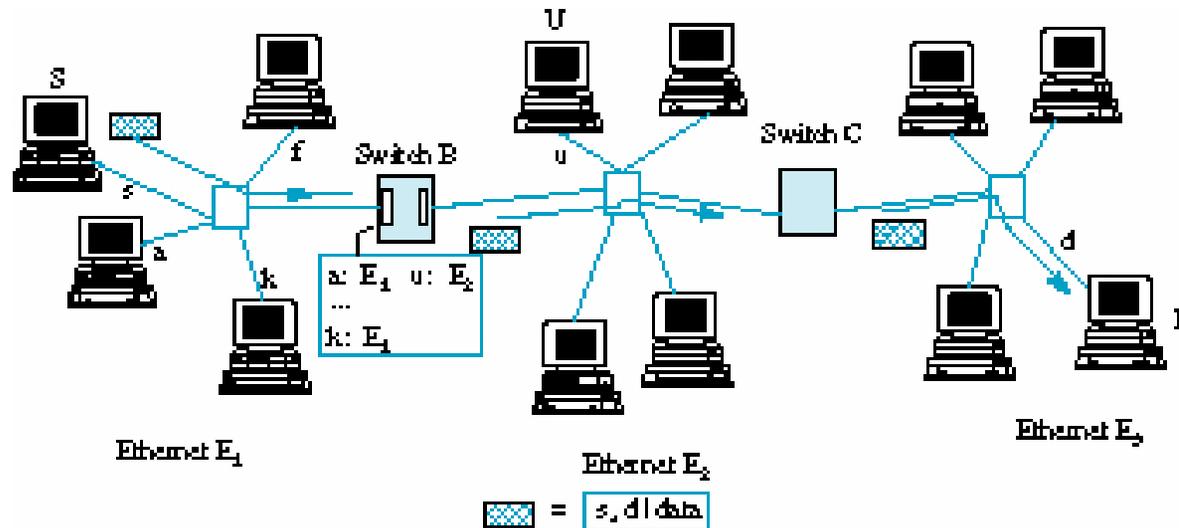
- Ένα Ethernet υποστηρίζει ένα μέγιστο αριθμό χρηστών και καλύπτει μια μέγιστη απόσταση.
- Ανάγκη για υλοποίηση και διασύνδεση πολλαπλών Ethernet δικτύων μέσω switches/routers.



Switched Ethernet

- Προώθηση πακέτων με βάση τις Ethernet διευθύνσεις.
- Απλή αντιγραφή πακέτων από μία είσοδο σε συγκεκριμένη έξοδο – όχι προς όλες τις θύρες (εξάιρεση: broadcast).
- Υψηλότερο throughput από αντίστοιχο shared (γιατί?)

Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (2)



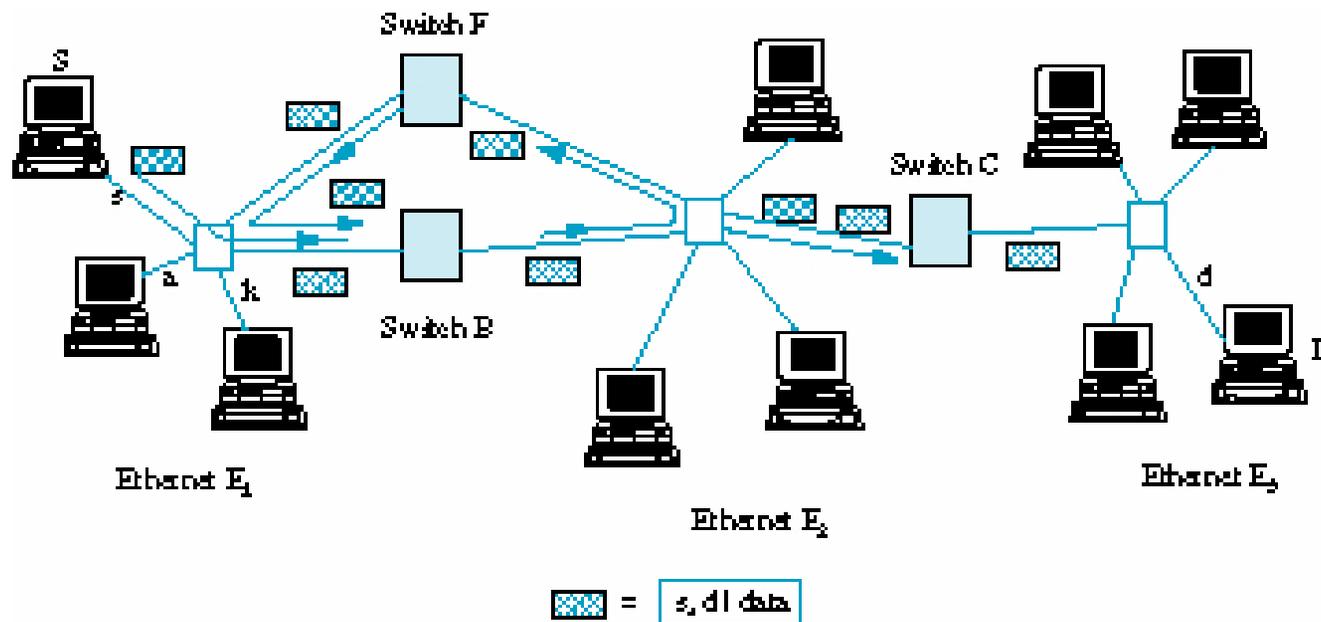
Μετάδοση από S (Ethernet E₁) προς D (Ethernet E₂)

- S στέλνει [s, d | Data] πακέτο στο Ethernet E₁.
- 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.

Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (3)

Switched Ethernet με βρόγχους

- Αύξηση της αξιοπιστίας switched Ethernet μέσω βρόγχων.

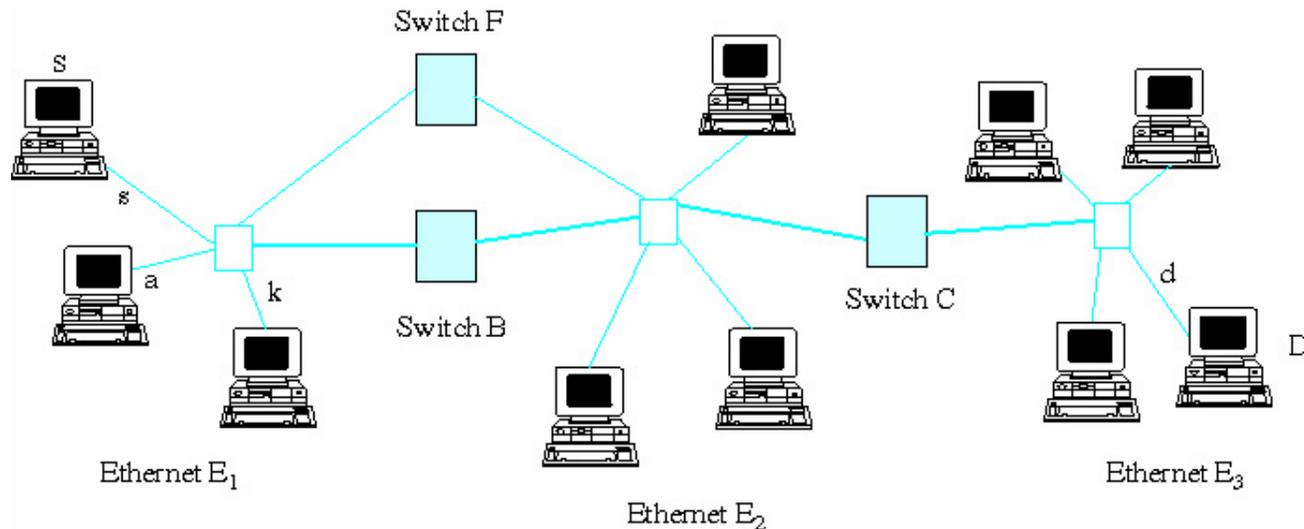


- Εάν δεν υπάρχει η διεύθυνση στη λίστα το πακέτο περνά στο άλλο ethernet και μετά πάλι πίσω, (loops)

Διασύνδεση Δικτύων - Ethernet με Switches (4)

Spanning Tree Αλγόριθμος

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



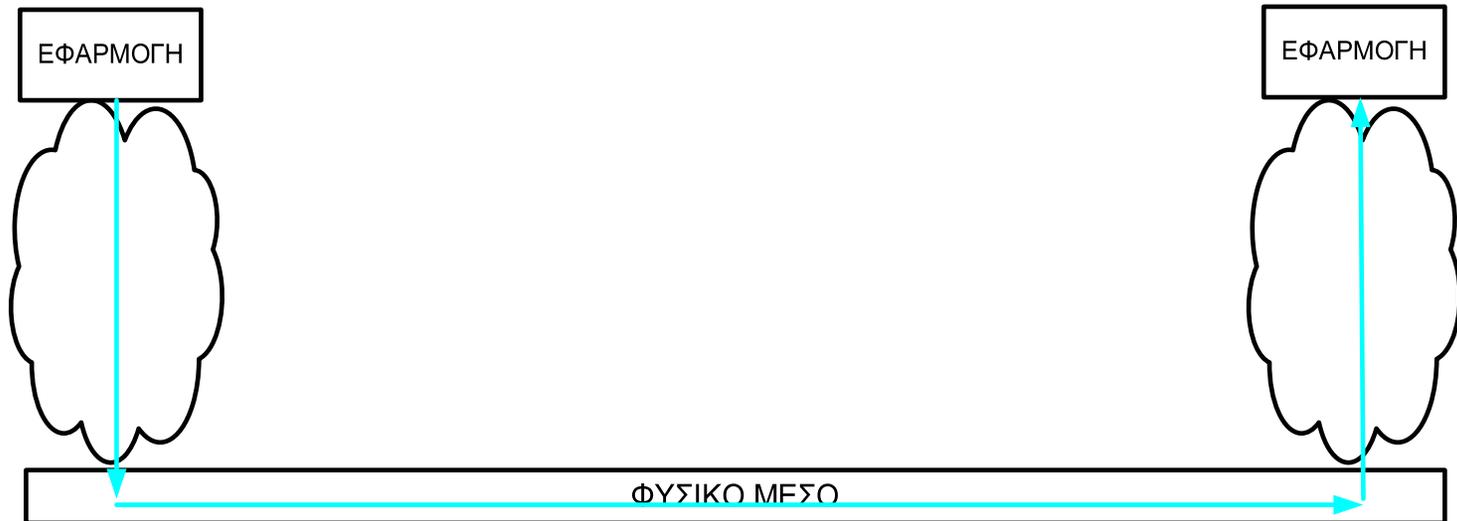
- Πακέτα αντιγράφονται από E_1 σε E_2 από Switch B και από E_2 σε E_1 από switch F, ...
- Ο spanning tree αλγόριθμος προσδιορίζει ένα δένδρο (γράφημα χωρίς βρόγχους) διασύνδεσης όλων των Ethernet.
- Πακέτα αντιγράφονται μόνο από switches που ανήκουν στο δένδρο.

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

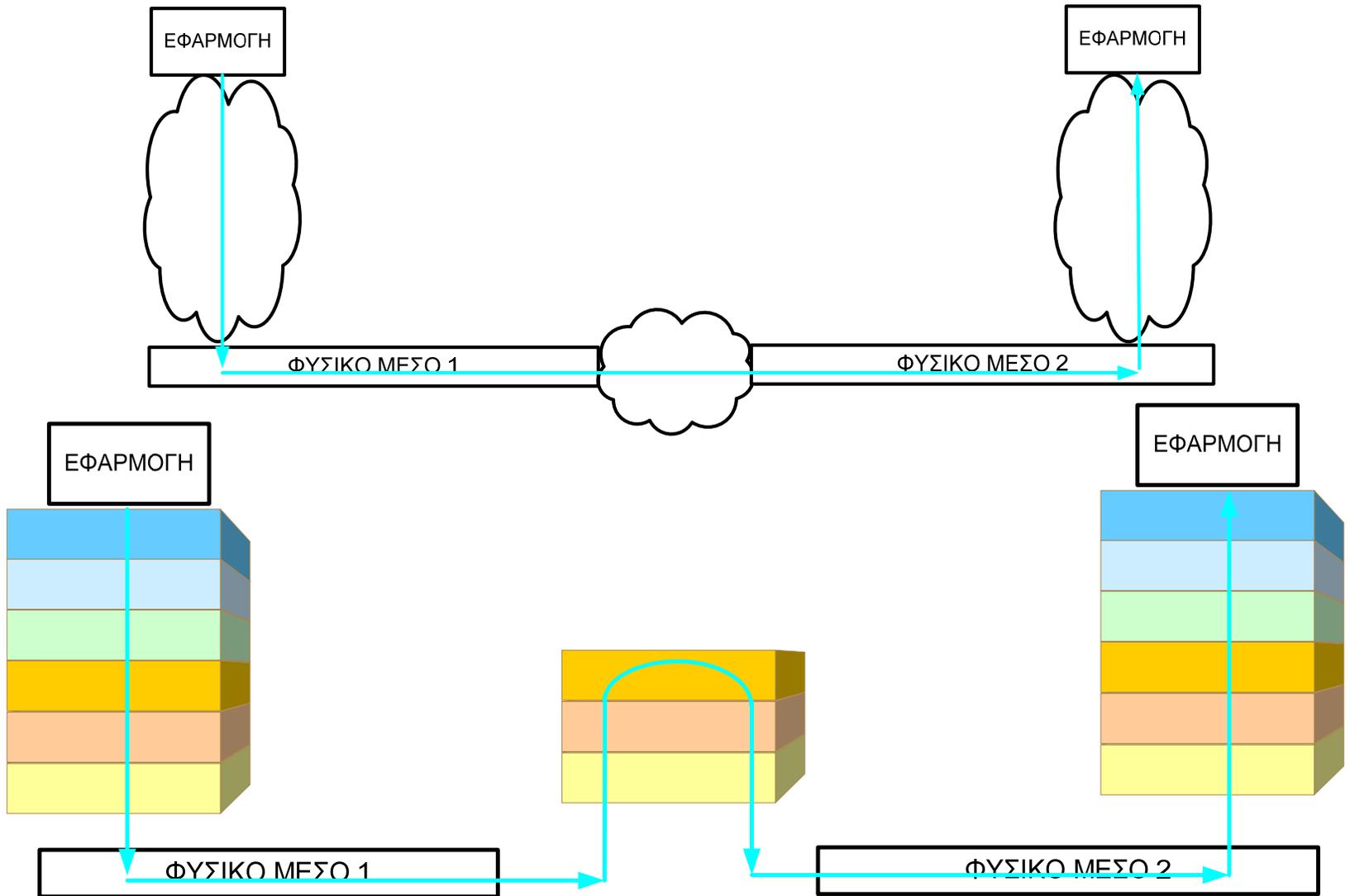
Ανάγκη ανάπτυξης νέας λογικής σχεδίασης δικτύων

Πολύ-επίπεδη Αρχιτεκτονική Δικτύων / Διαδίκτυο

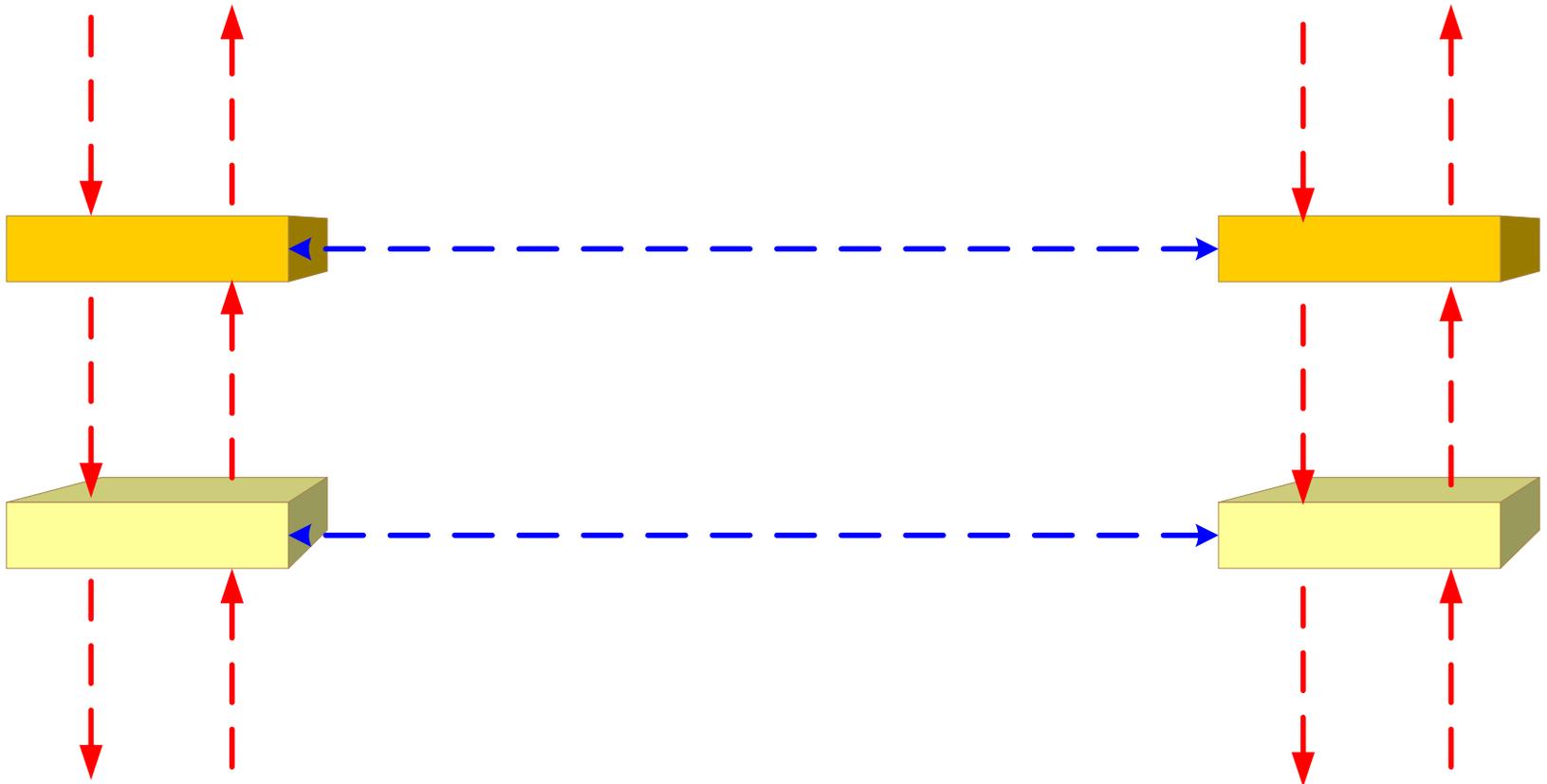
Αρχιτεκτονική Δικτύου



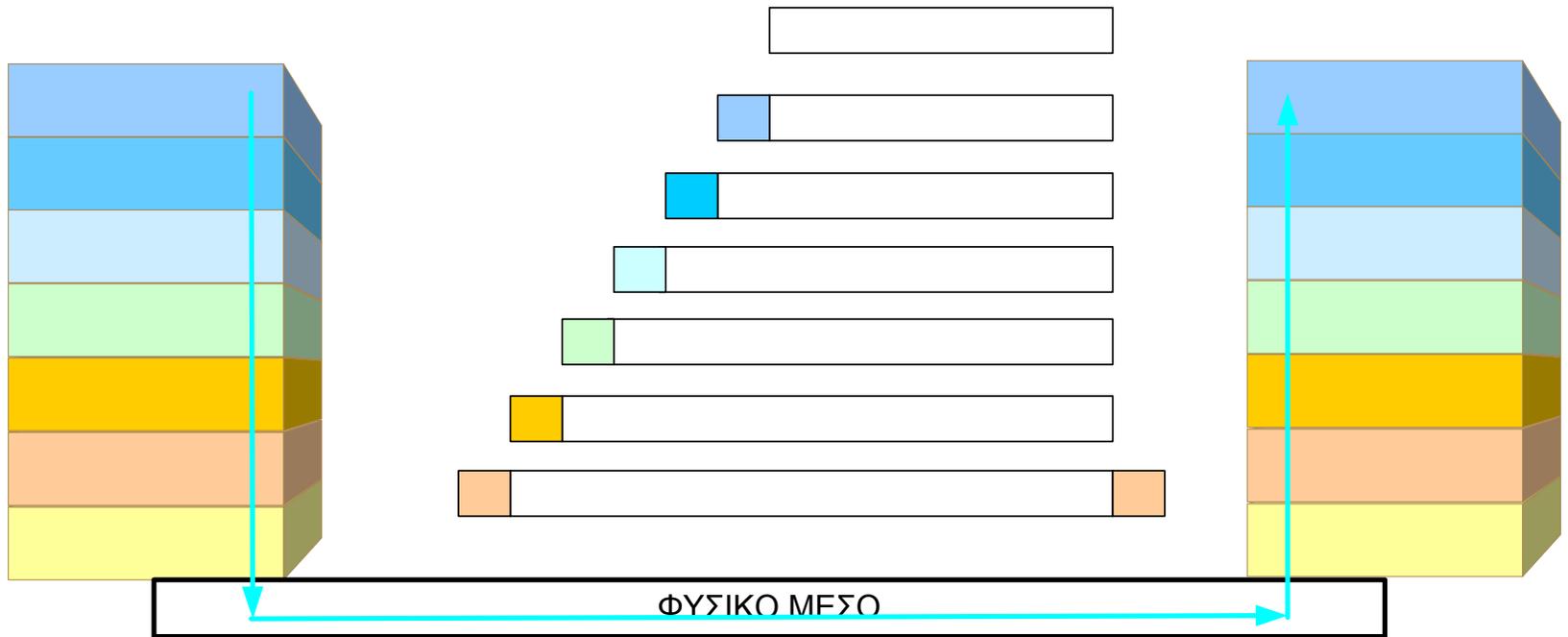
Αρχιτεκτονική Δικτύου



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

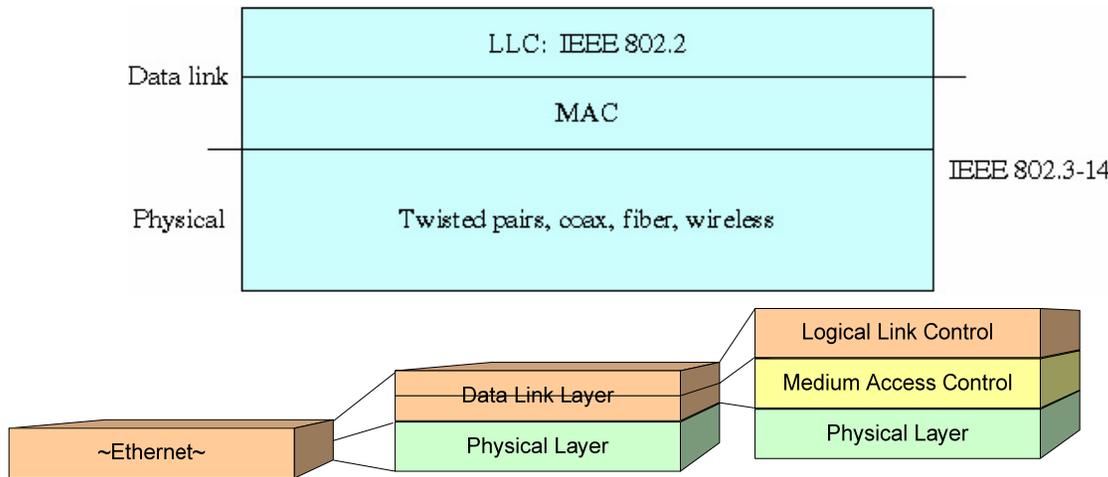
(+) Ανεξάρτητος σχεδιασμός διαφορετικών επιπέδων

(+) Συμβατότητα

(-) Απόδοση

Αρχιτεκτονική επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs) - IEEE 802.3

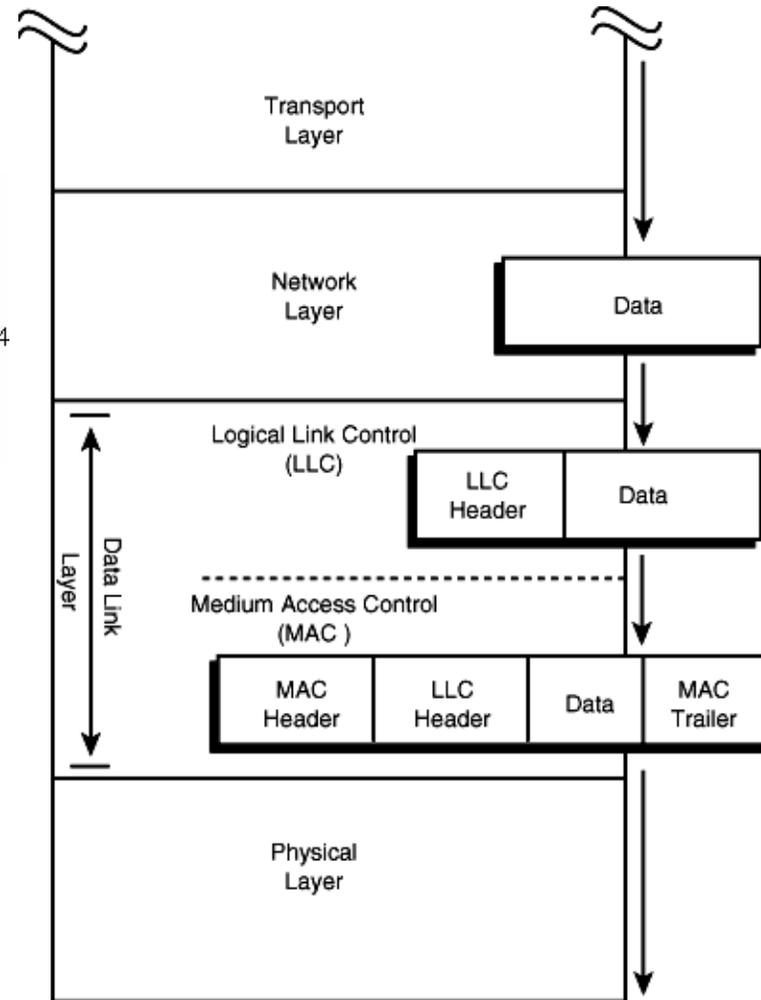
- 802.3 ~ Ethernet (Διαφορές -> Κεφ. 4)



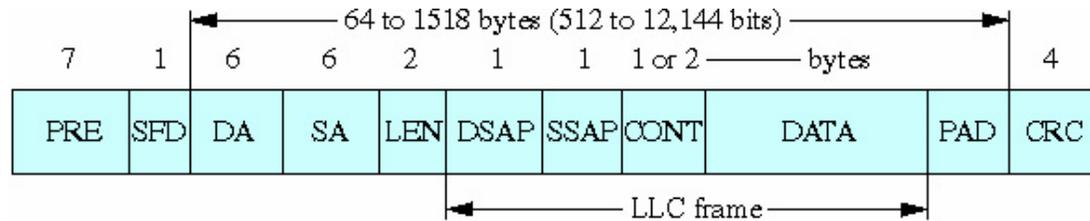
-Physical layer: ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των συνδέσεων

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

-LLC: επίβλεψη μεταδόσεων (προαιρετικά, επαναμεταδόσεις)

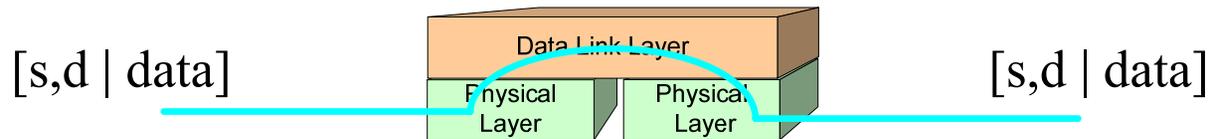


Αρχιτεκτονική επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs) - IEEE 802.3

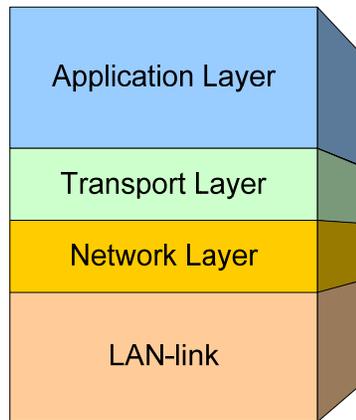
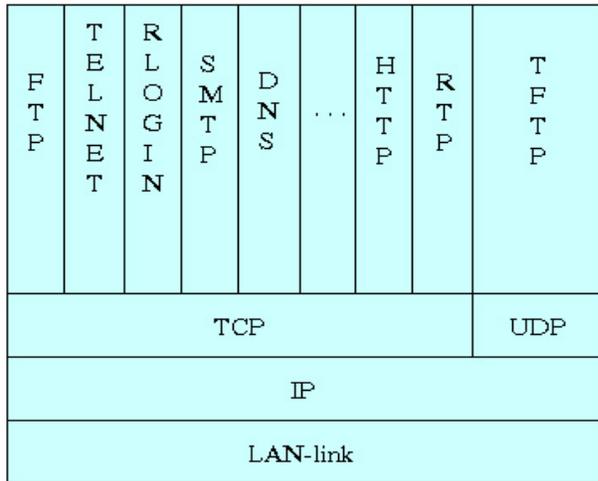


[s,d | data]

Ethernet Switch



Αρχιτεκτονική των δικτύων TCP/IP



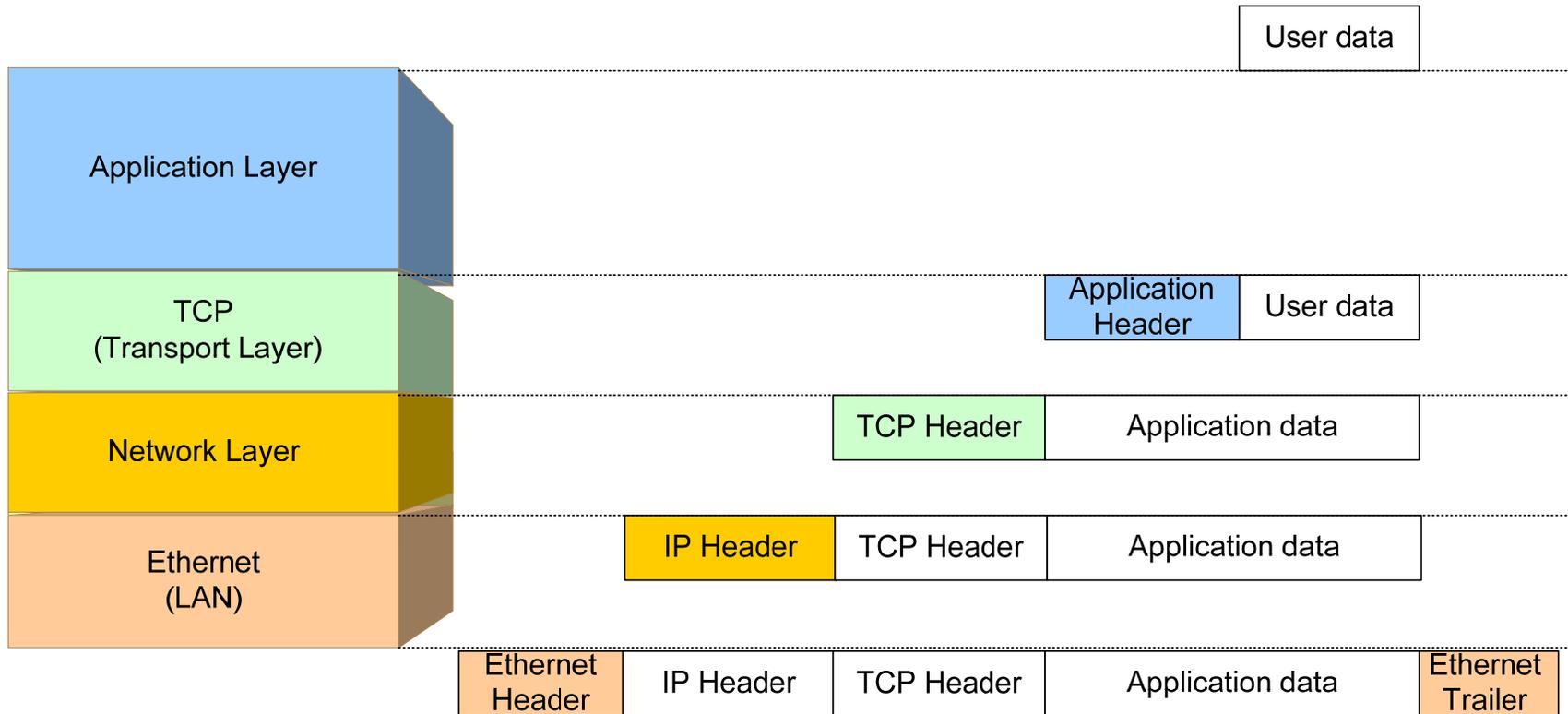
Παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας στους χρήστες (μεταφορά αρχείων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο)

Επίβλεψη μεταφοράς μηνυμάτων από άκρο σε άκρο

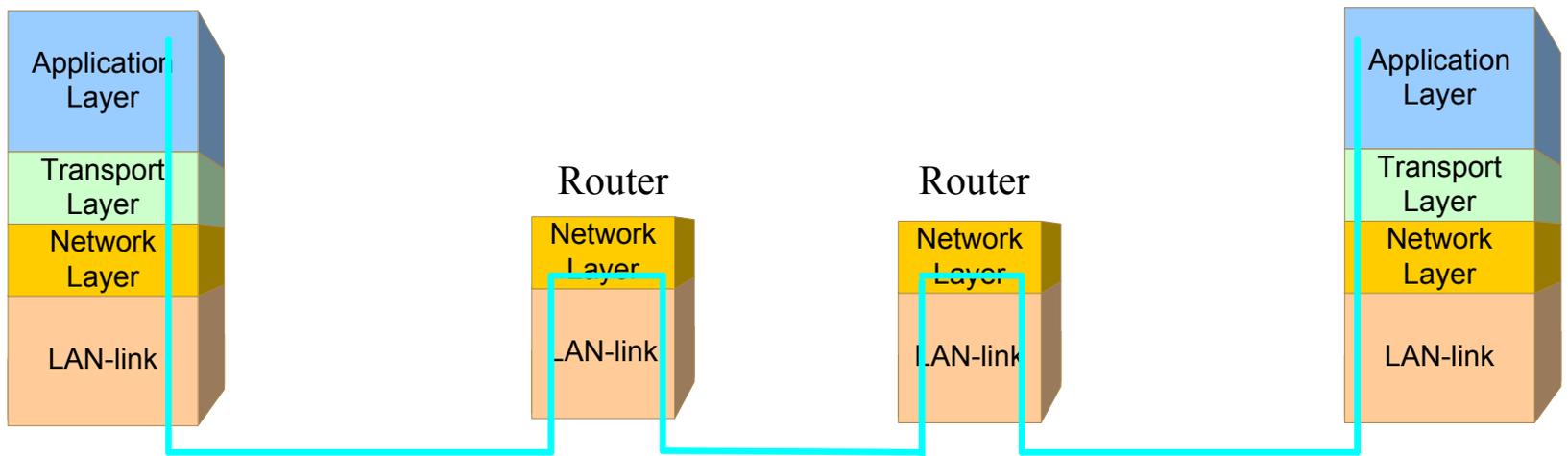
Μετάδοση μηνυμάτων σε μία ακολουθία ζεύξεων από ένα τερματικό κόμβο σε ένα άλλο (από άκρο σε άκρο)

Μετάδοση πακέτων σε μία ζεύξη ή μεταξύ διασυνδεδεμένων τοπικών δικτύων

Αρχιτεκτονική των δικτύων TCP/IP

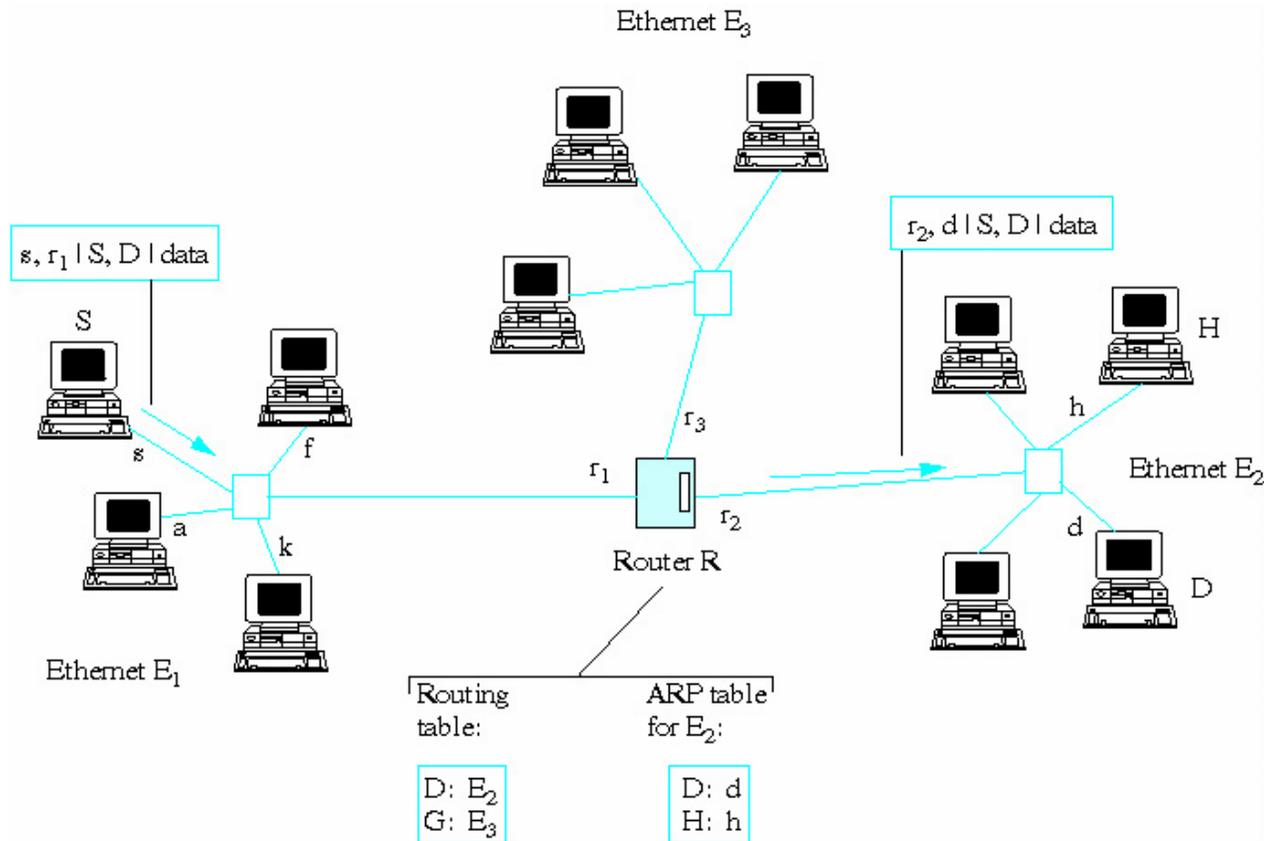


[s,d | S,D | data]

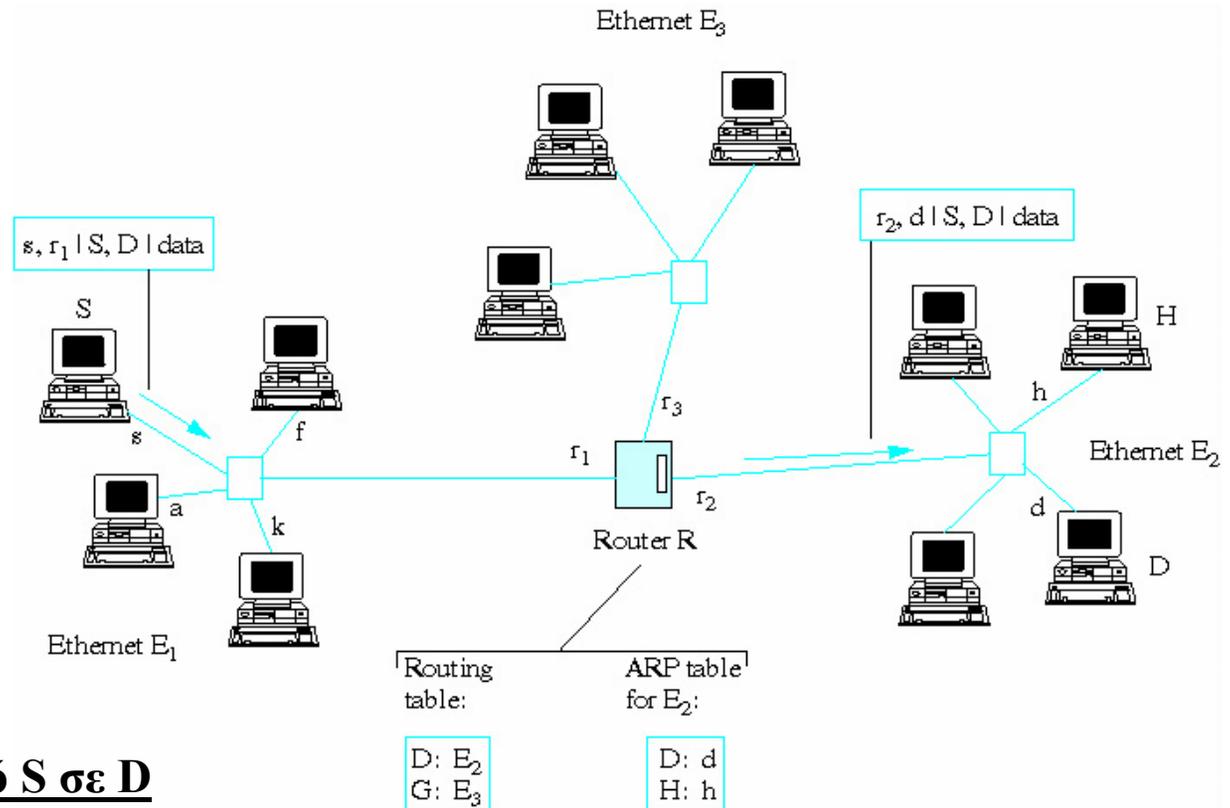


Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers

- 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



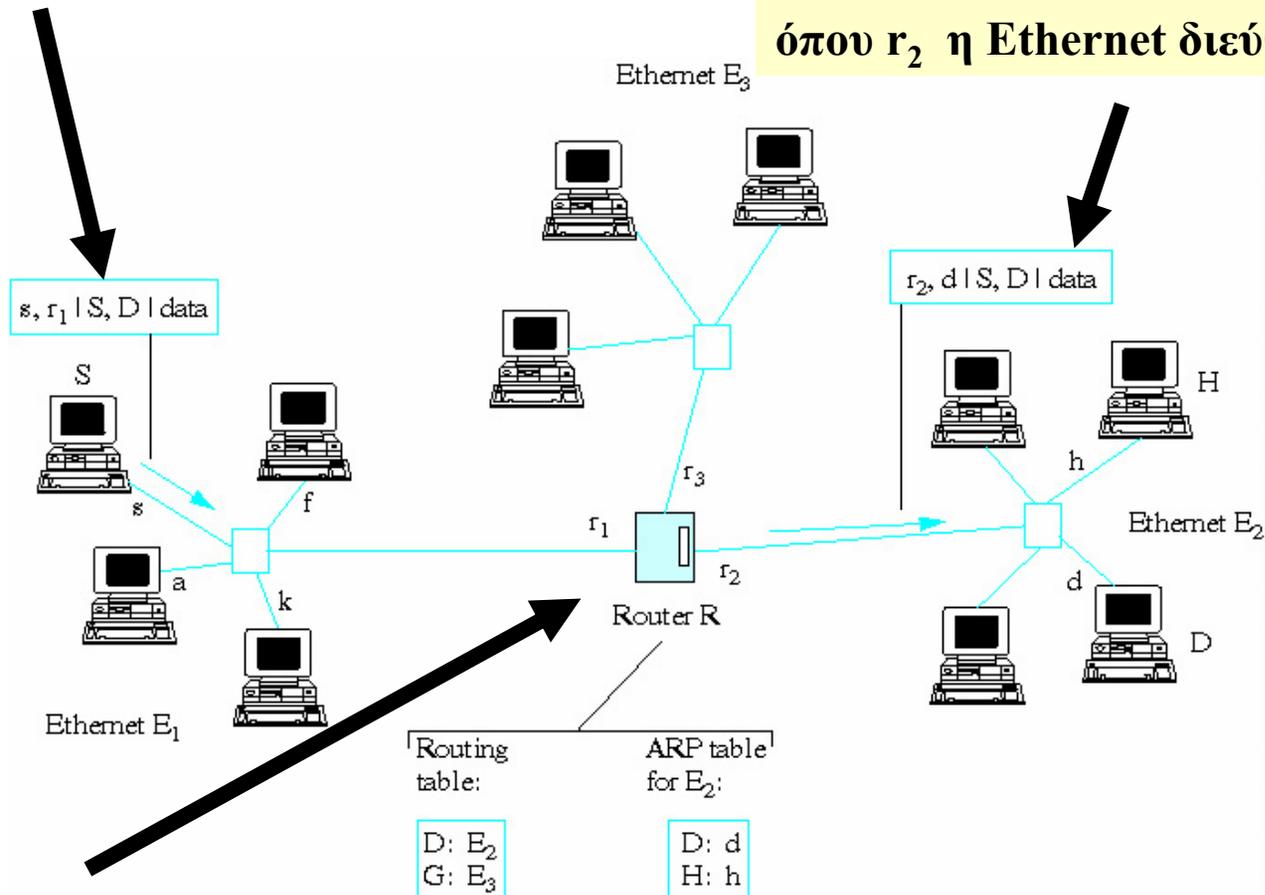
Μετάδοση πακέτου από S σε D

- **s**: Ethernet διεύθυνση του S
- **r_k**: Ethernet διεύθυνση του R στο Ethernet E_k (S γνωρίζει r₁ 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

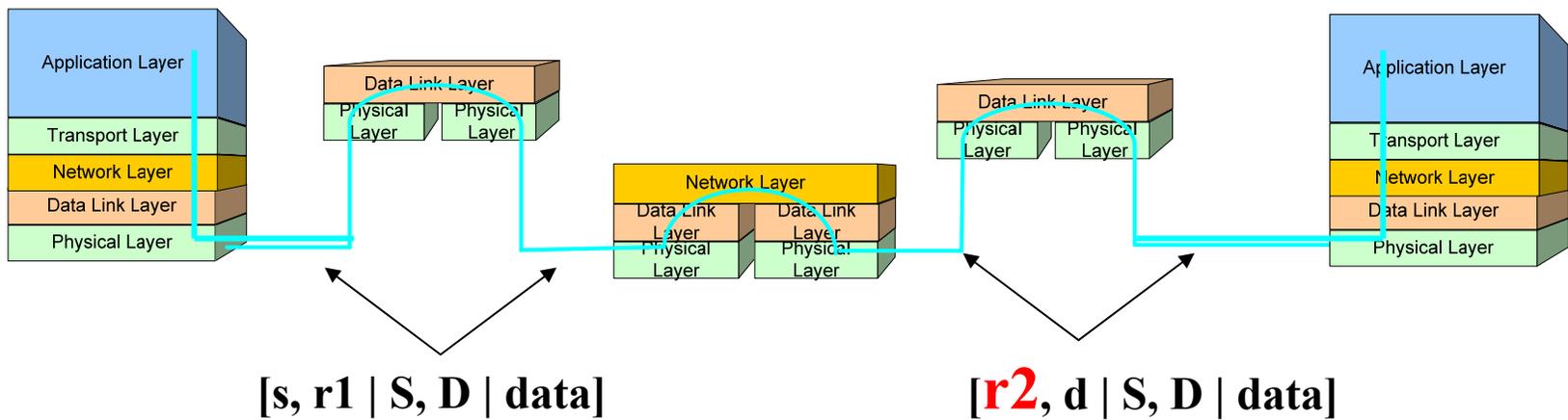
• Πηγή στέλνει πακέτο $[s, r_1 | S, D | \text{data}]$

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



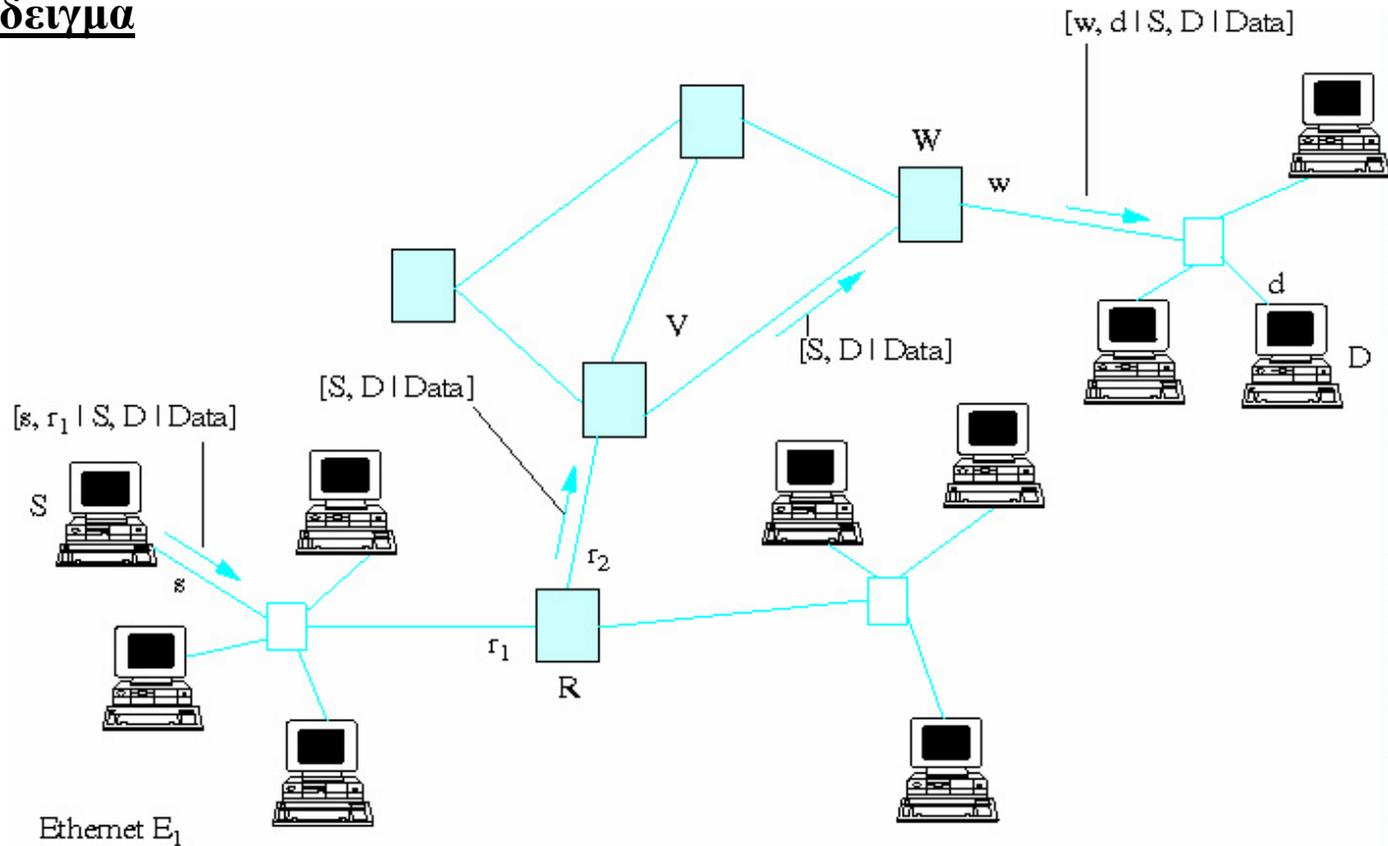
• Router R προσδιορίζει με χρήση πινάκων

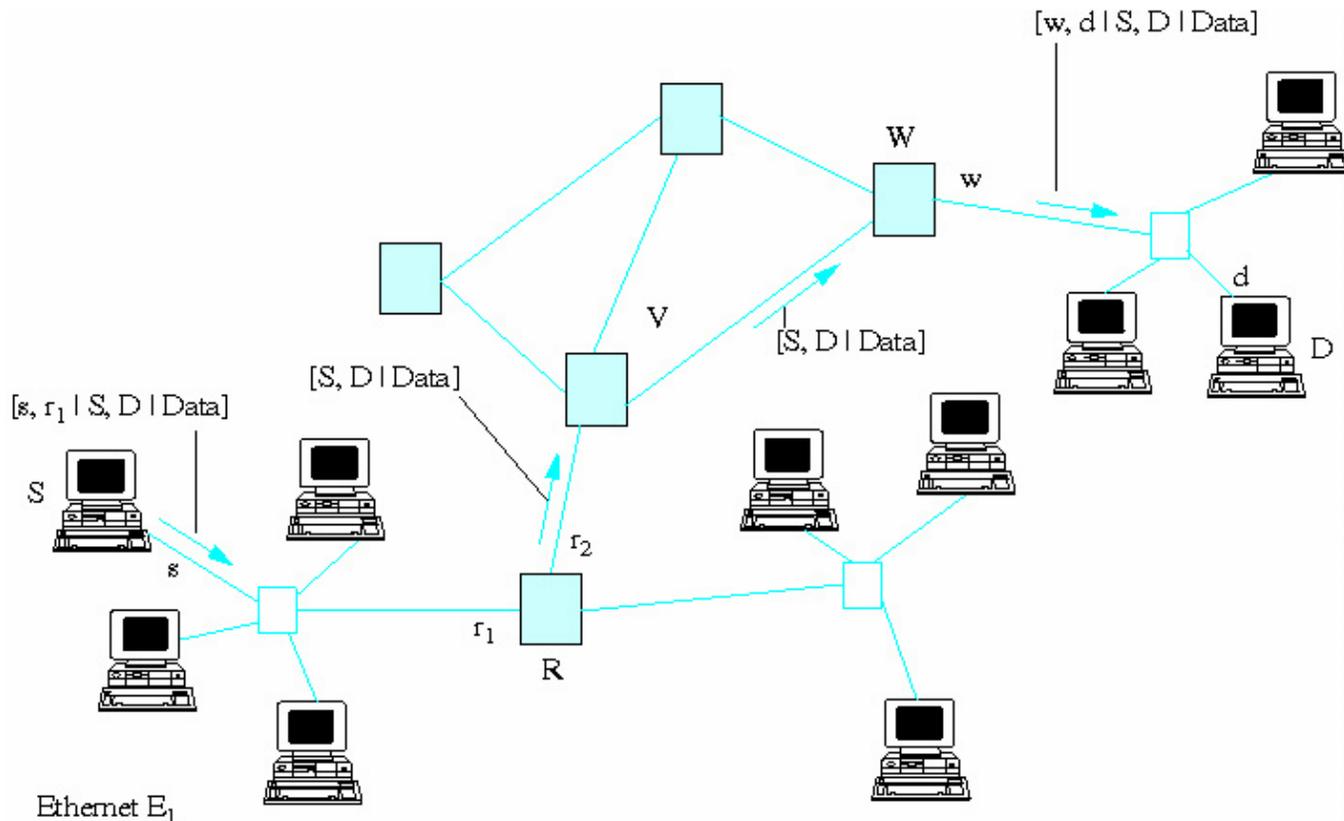
- Ethernet του προορισμού ($D \rightarrow E_2$) (μέσω αλγορίθμων δρομολόγησης)
- Ethernet διεύθυνση προορισμού ($D \rightarrow d$) (μέσω ARP)



Διασύνδεση Ethernet Δικτύων με Routers στο Internet

Παράδειγμα





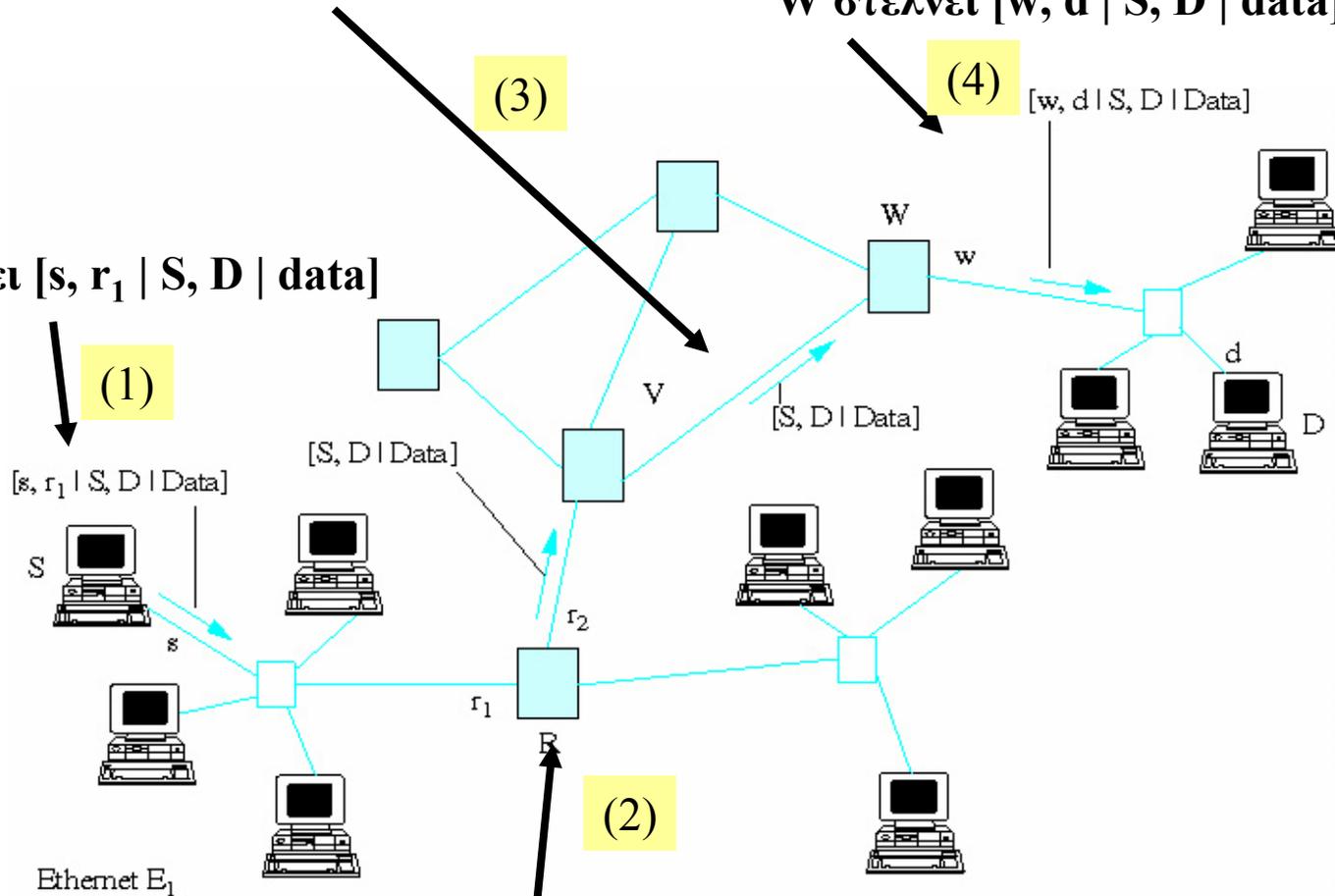
- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με δίκτυο έχει διαφορετική δικτυακή διεύθυνση.
- Κάθε ζεύξη υπολογιστή με Ethernet έχει διαφορετική Ethernet διεύθυνση.
- S γνωρίζει την δικτυακή διεύθυνσή του (π.χ. Μέσω RARP) (S)
- S γνωρίζει την Ethernet διεύθυνση του δρομολογητή του (π.χ. μέσω ARP) (r_1)
- S γνωρίζει D από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

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

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

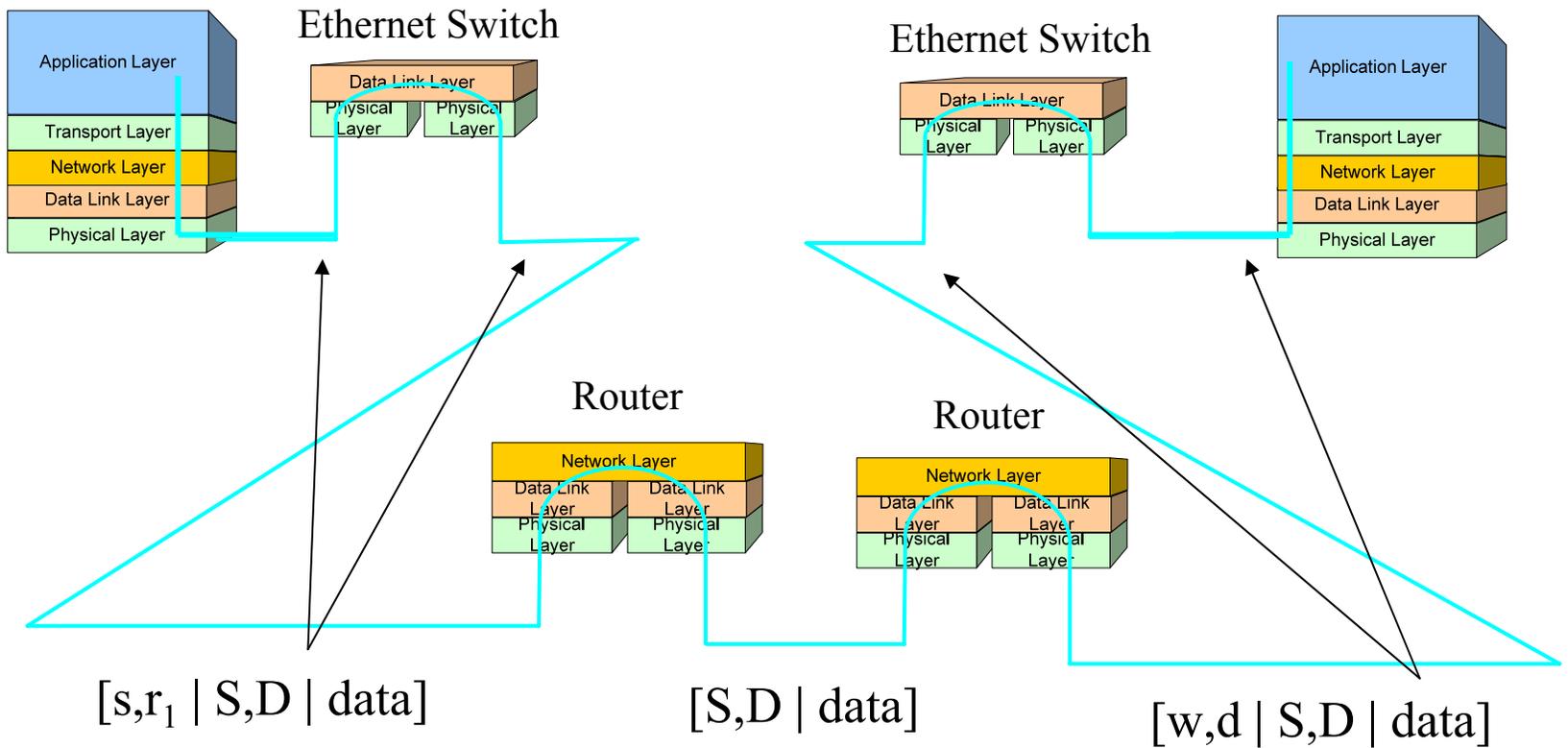
W στέλνει $[w, d | S, D | \text{data}]$

S στέλνει $[s, r_1 | S, D | \text{data}]$

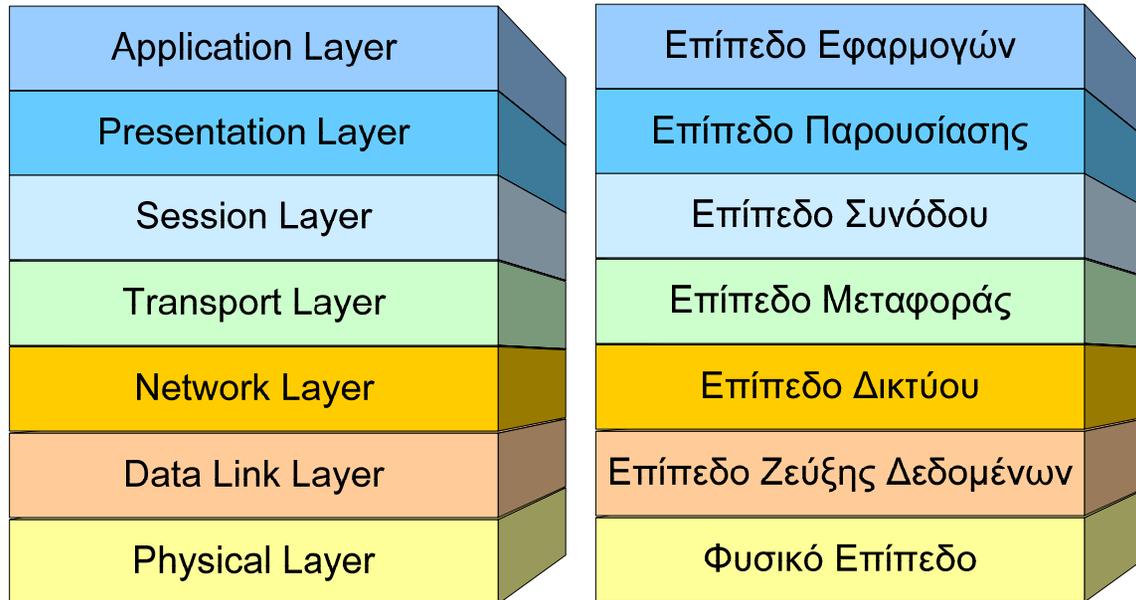


R στέλνει $[S, D | \text{data}]$

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



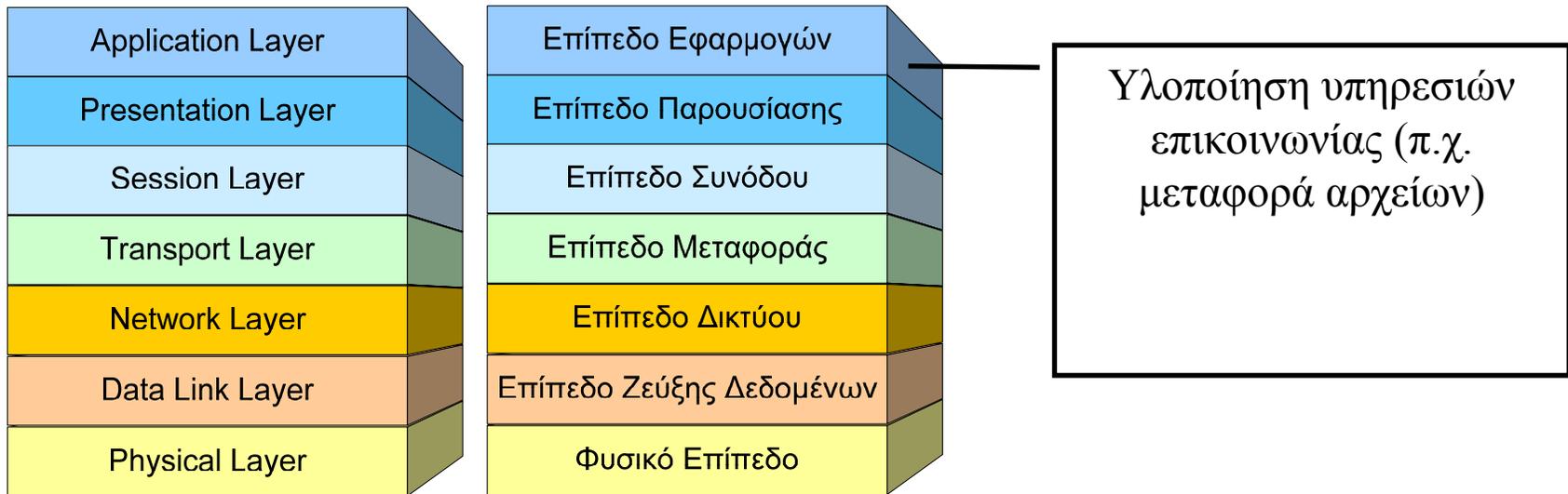
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



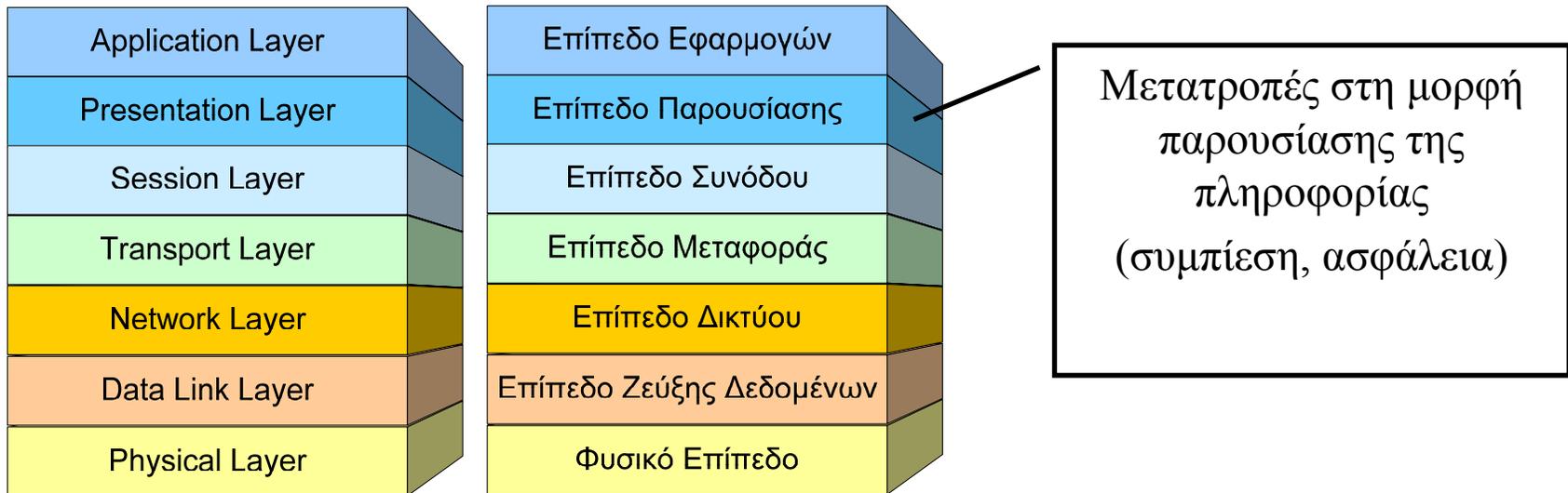
OSI: Open System Interconnection

ISO: International Organization for Standardization

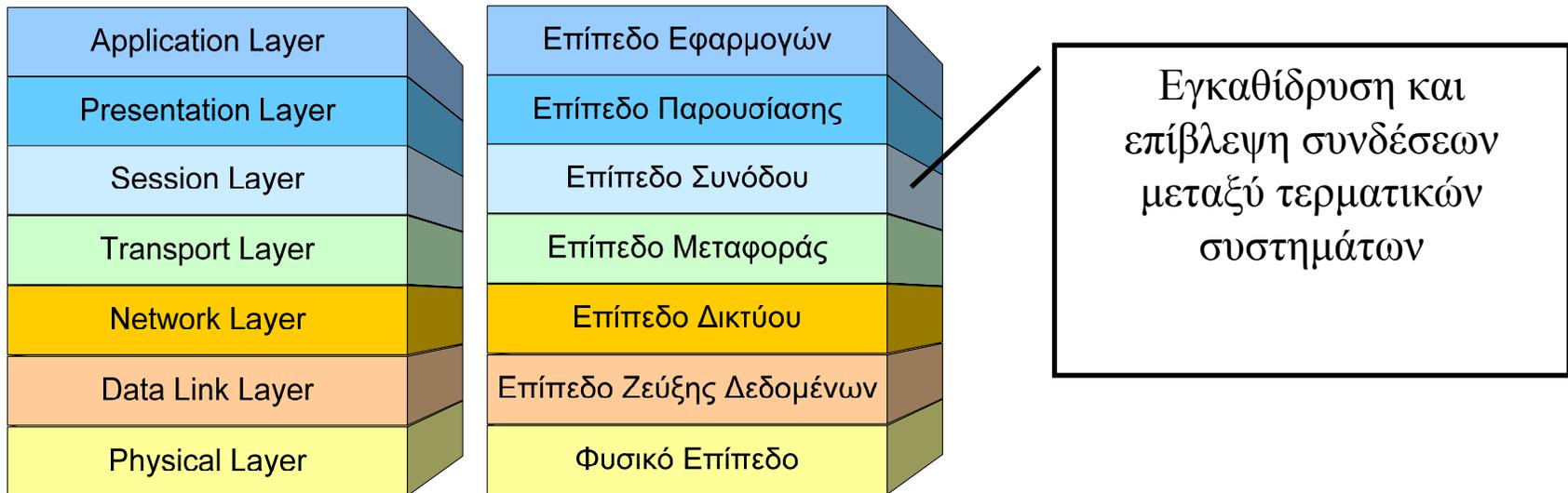
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



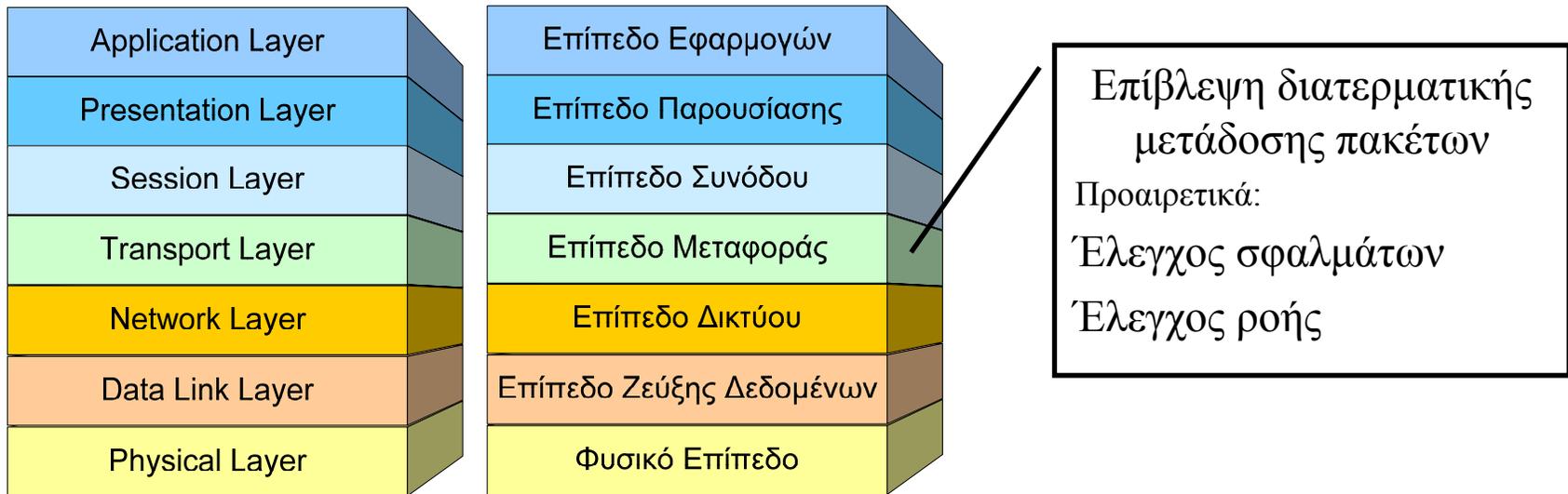
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



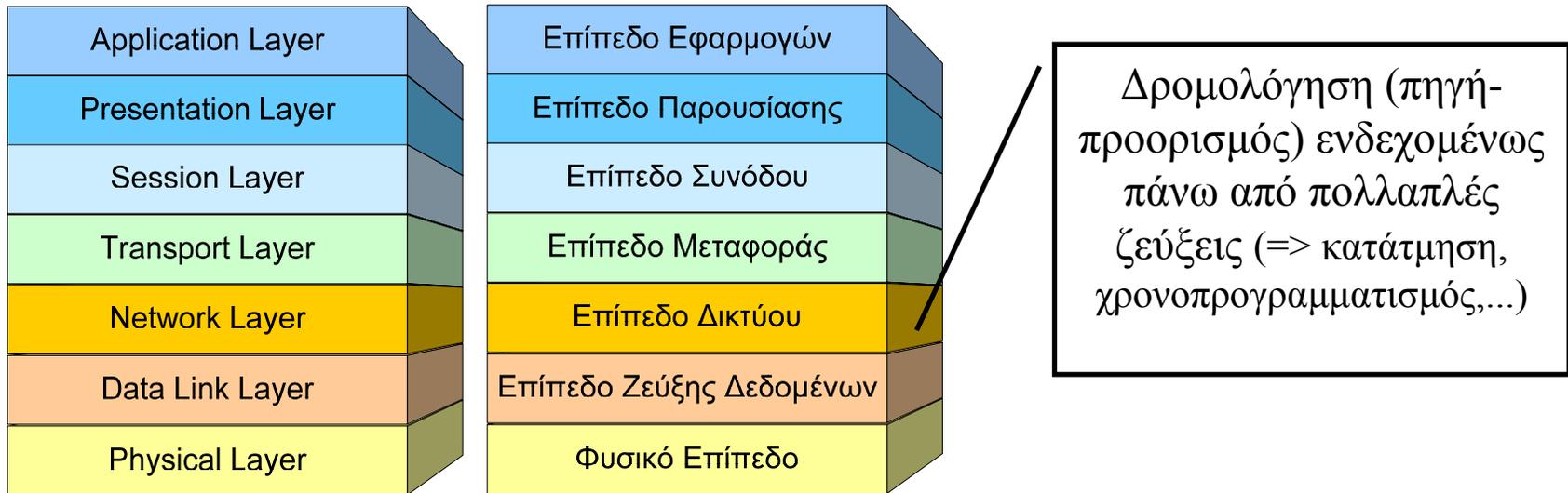
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



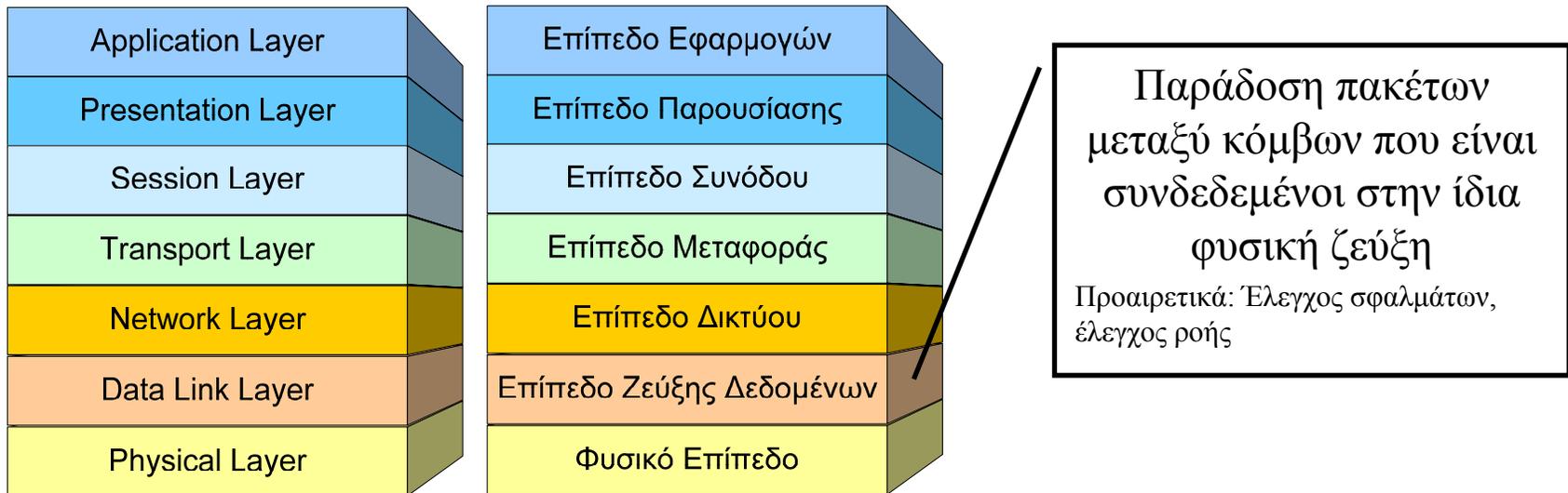
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



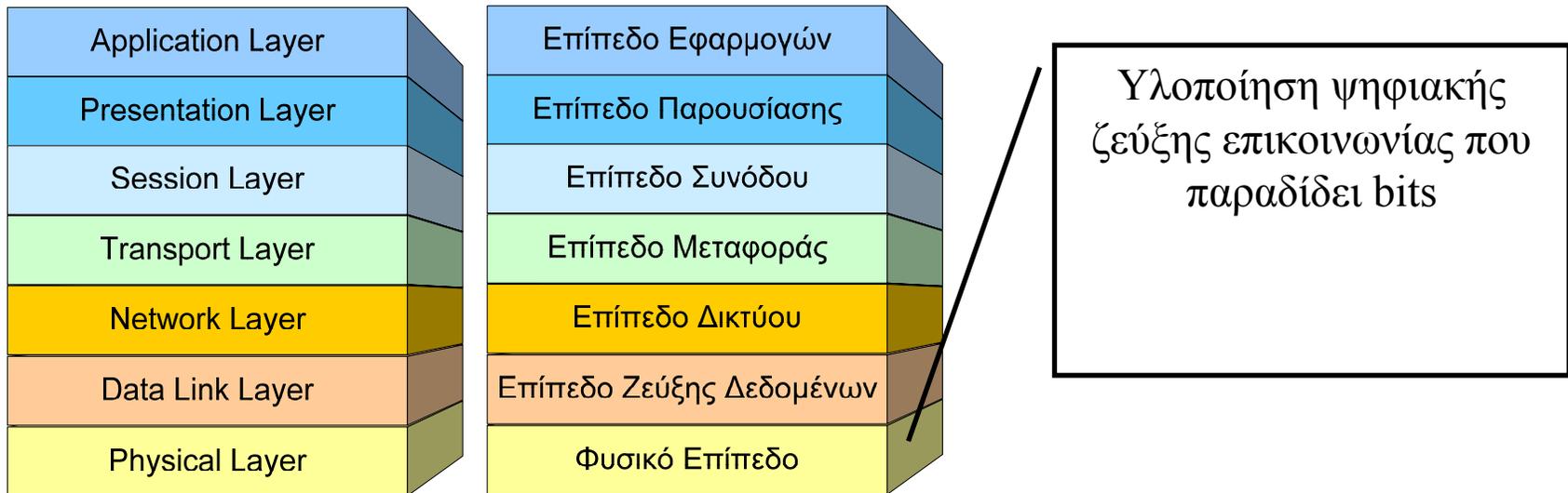
Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO



Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

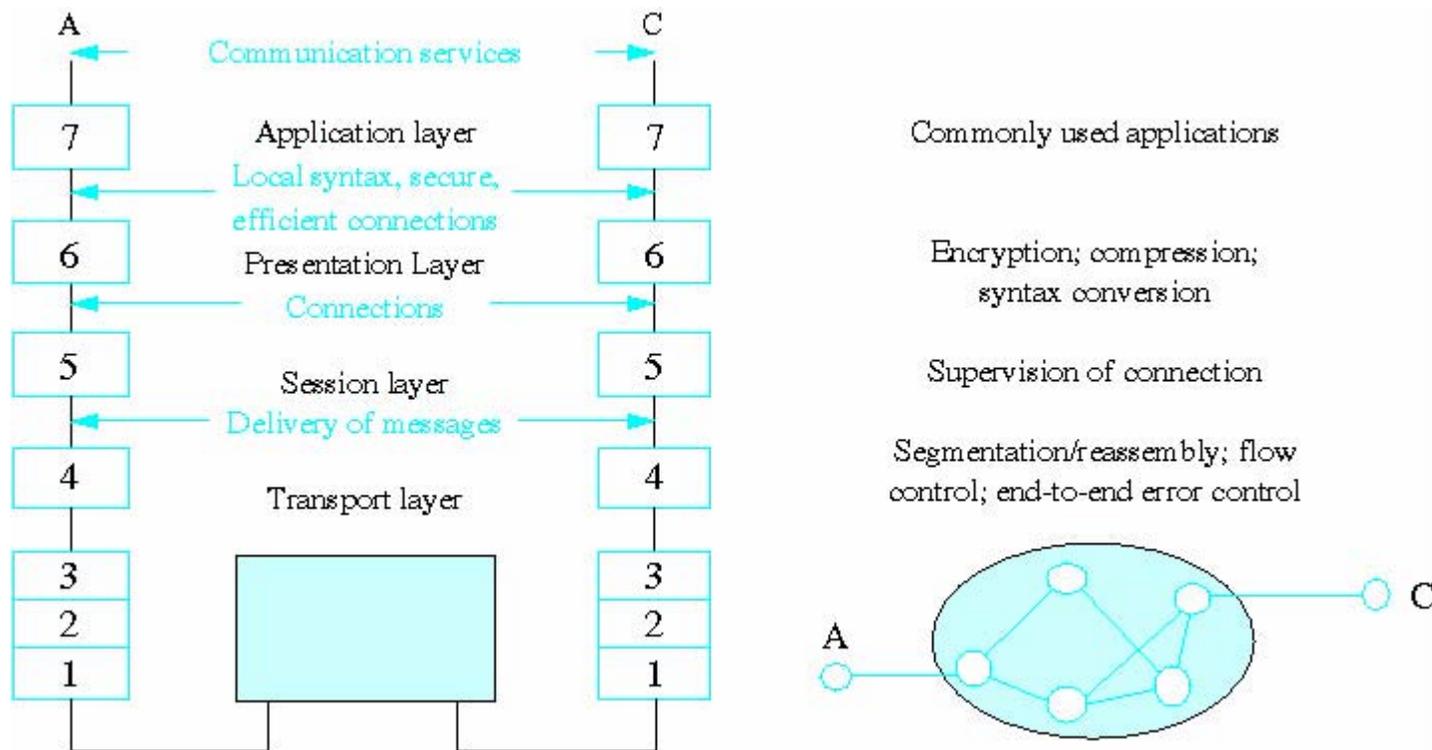


Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI-ISO

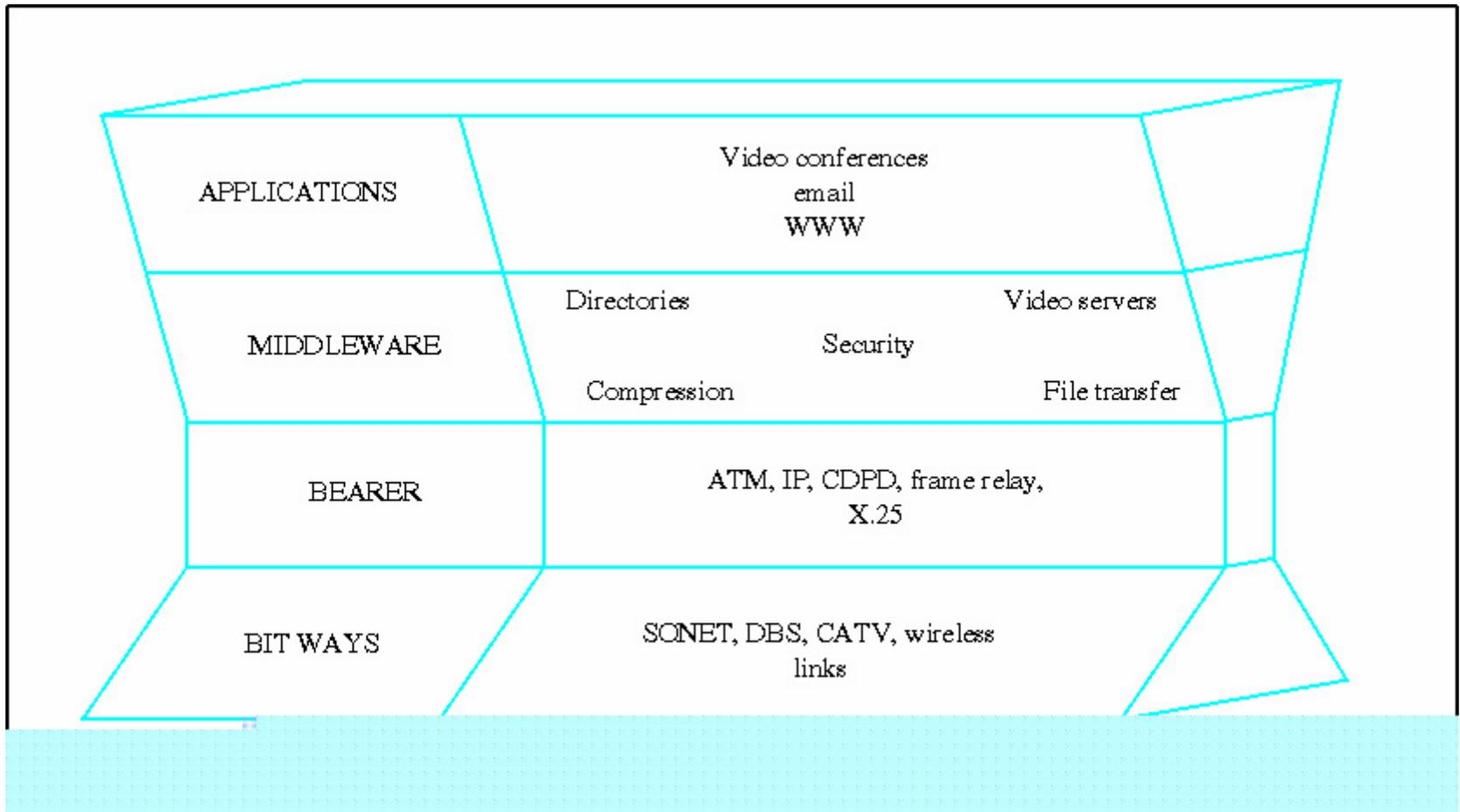


Αρχιτεκτονική Δικτύων

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 χάρτες (για μικρά δίκτυα)

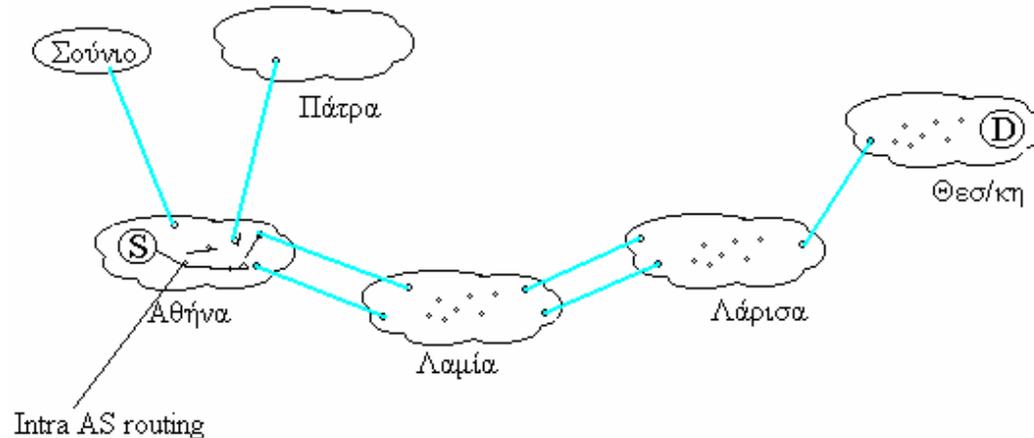
- Δρομολογητές στέλνουν λίστες με σχετικές παραμέτρους προς όλους τους κόμβους (flooding)
- Με βάση ένα κοινό αλγόριθμο, οι δρομολογητές κατασκευάζουν συμβατούς πίνακες δρομολόγησης
- Βέλτιστα μονοπάτια προσδιορίζονται με την διαδικασία Open Shortest Path Free (OSPF)

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

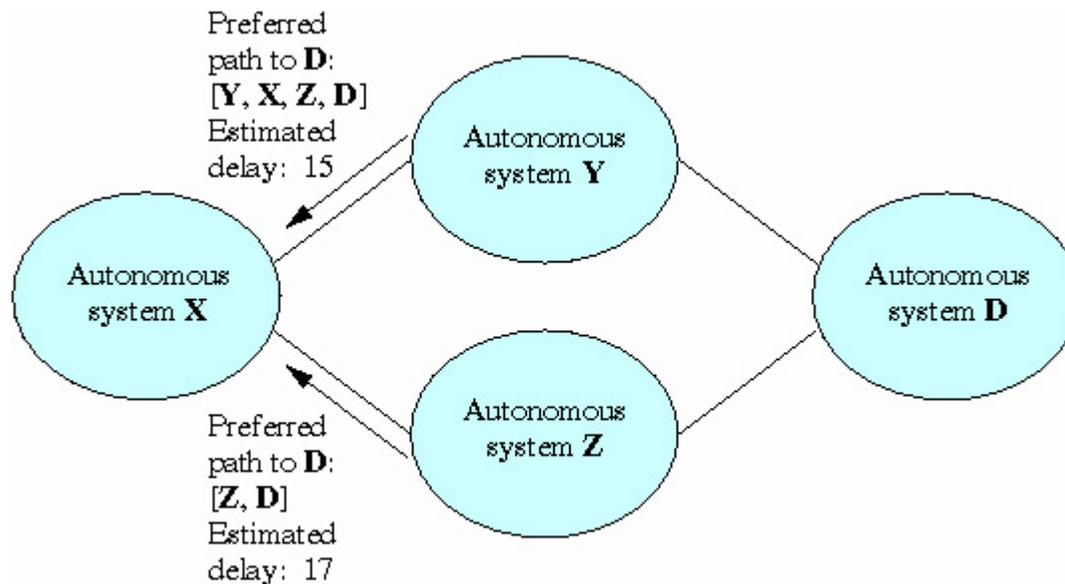
BGP (Border Gateway protocol)

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**

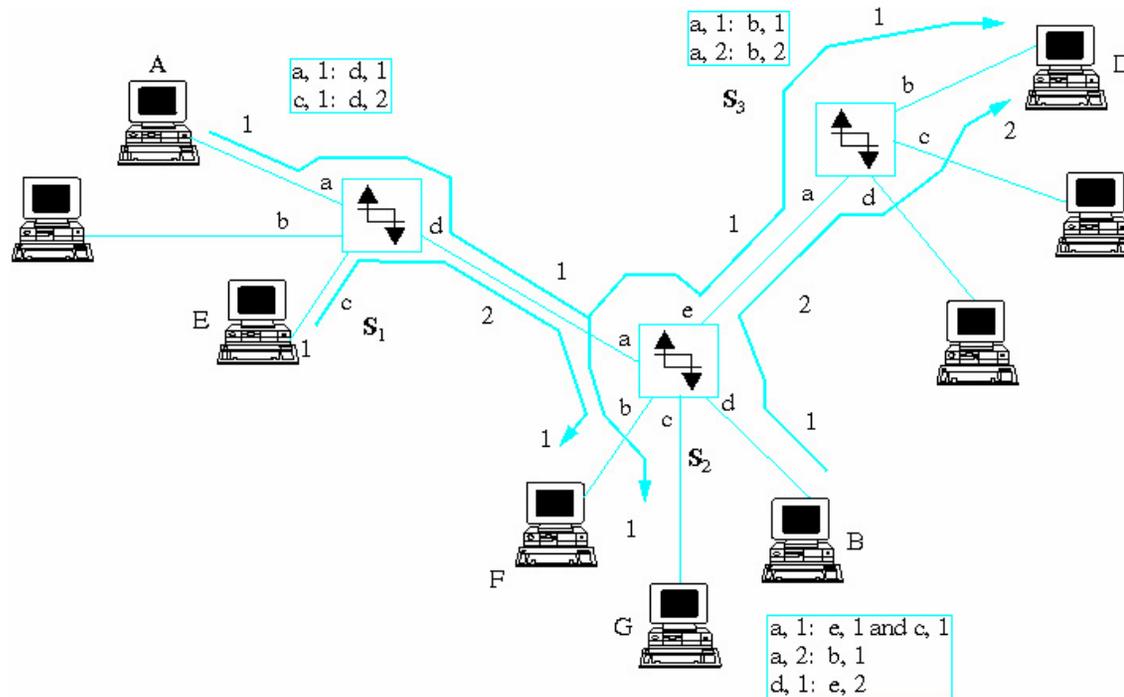
Εφαρμογές client/server

- 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

Δρομολόγηση



- **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 (QoS)

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

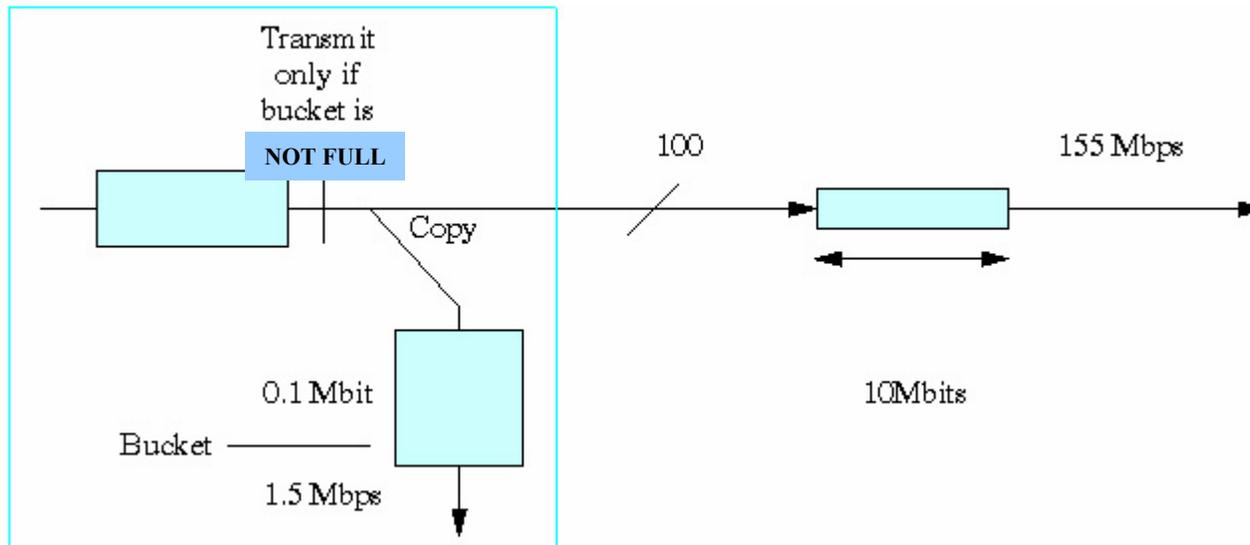
Μετάδοση πακέτου: Εάν το πακέτο χωράει να αντιγραφεί στον Bucket
(η, εφόσον ο Bucket δεν είναι γεμάτος)

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

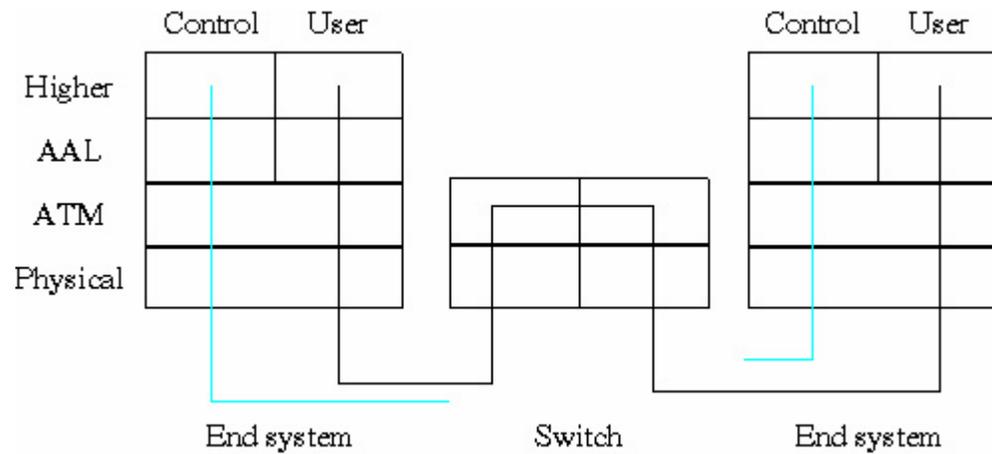
Μέγιστο μήκος ριπής (burst): 0.1Mbits

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

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



ATM Αρχιτεκτονική



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) $\mu\text{sec}/\text{Km}$)

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 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) : $PMR = 64Kbps / (8Kbits / (10.125s)) = 1/0.0123 = 81$!
- 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 ~ PMR

