



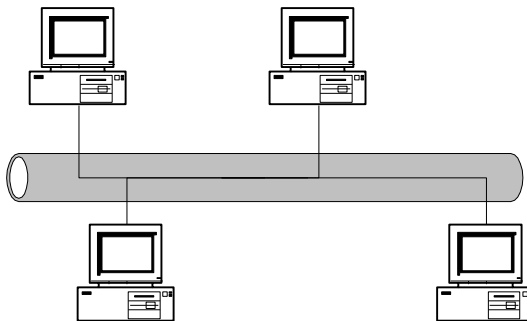
# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Τοπικά δίκτυα

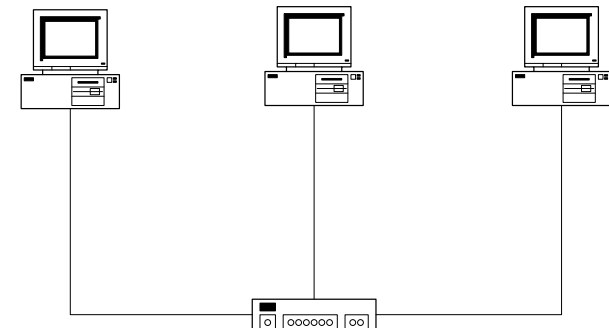
# Local Area Network (LAN)



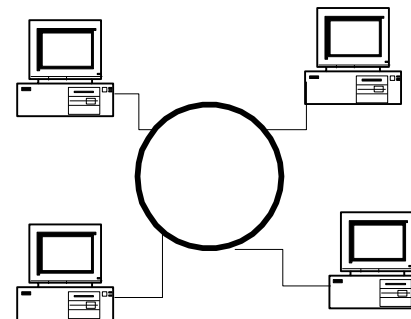
- Το **τοπικό δίκτυο (LAN)** είναι ο συνήθης τρόπος διασύνδεσης υπολογιστών
  - μέσα σε ένα κτίριο, πανεπιστημιούπολη ή εταιρικό δίκτυο
- Οι τυπικές τοπολογίες είναι:
  - αρτηρία (bus)
  - δακτύλιος (ring)
  - αστέρας (star)



Bus LAN



Hub ή Switch

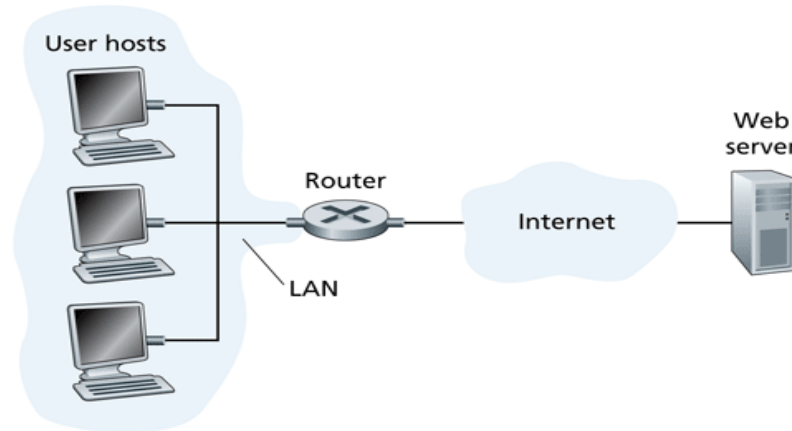


Ring LAN



# Τοπικά δίκτυα

- Η ζεύξη μεταξύ των υπολογιστών (hosts) συνήθως είναι ένας **δίαυλος εκπομπής (broadcast channel)**
  - Όλοι οι υπολογιστές μπορούν να μιλήσουν και ακούσουν τους άλλους
  - Η πρόσβαση στο διαδίκτυο γίνεται μέσω **δρομολογητή (router)** που είναι και αυτός συνδεδεμένος στο LAN

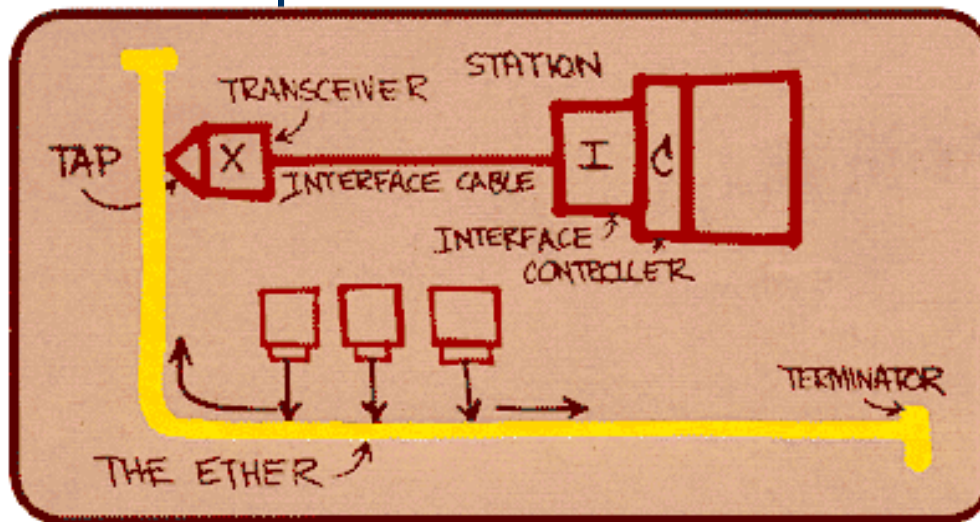




# Ethernet

## Η "επικρατέστερη" τεχνολογία LAN:

- η πρώτη τεχνολογία LAN που χρησιμοποιήθηκε ευρέως
- φθηνή (~10 €)
- απλούστερη και φθηνότερη από τα LAN με σκυτάλη
- χρησιμοποιεί πρωτόκολλο CSMA/CD
- ταχύτητες μετάδοσης: 10, 100 Mbps, 1, 10, 40, 100, 200, 400 Gbps

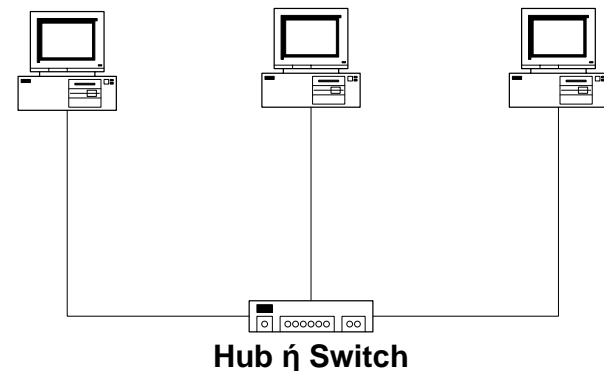
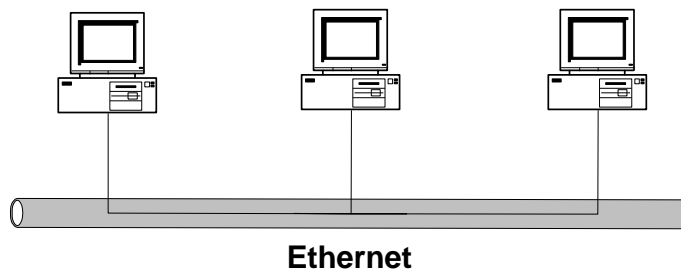


Το πρώτο σκαρίφημα του Metcalfe που οδήγησε στο Ethernet 10Base5

# Τοπολογίες Ethernet



- Το Ethernet αρχικά ήταν τοπολογία **αρτηρίας**
  - Η τοπολογία αρτηρίας ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1990
  - Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στην ίδια επικράτεια συγκρούσεων
- Τώρα επικρατεί η τοπολογία **αστέρα**
  - Ενεργό στοιχείο (hub ή switch) στο κέντρο
  - **Hub**: δημιουργεί μια επικράτεια συγκρούσεων
  - **Switch**: κάθε ακτίνα αποτελεί ένα διαφορετικό δίκτυο Ethernet στο οποίο δεν έχουμε συγκρούσεις





- Προσφέρει **αναξιόπιστη** υπηρεσία μετάδοσης δεδομενογραμμάτων **χωρίς σύνδεση**
  - **Χωρίς σύνδεση:** δεν ανταλλάσσεται σηματοδοσία μεταξύ των καρτών προσαρμογής εκπομπής και λήψης
  - **Αναξιόπιστη:** η κάρτα προσαρμογής λήψης δεν στέλνει ACK ή NACK στην κάρτα προσαρμογής εκπομπής
    - η ροή των δεδομενογραμμάτων, που διαβιβάζονται στο στρώμα δικτύου, μπορεί να έχει κενά
    - τα κενά θα συμπληρωθούν, αν η εφαρμογή χρησιμοποιεί TCP
    - αλλιώς, τα κενά θα γίνουν αντιληπτά στην εφαρμογή

# Το Ethernet χρησιμοποιεί CSMA/CD



- Όχι χρονοσχισμές
- Η κάρτα προσαρμογής δεν μεταδίδει, όταν ανιχνεύσει ότι κάποια άλλη κάρτα μεταδίδει, δηλαδή, έχουμε **ανίχνευση φέροντος (carrier sense)**
- Η κάρτα προσαρμογής που μεταδίδει σταματά, όταν ανιχνεύσει ότι στέλνει και κάποια άλλη κάρτα, δηλαδή, έχουμε **ανίχνευση σύγκρουσης (collision detection)**
- Η κάρτα προσαρμογής περιμένει για τυχαίο χρονικό διάστημα πριν επιχειρήσει επαναμετάδοση, δηλαδή, έχουμε **τυχαία πρόσβαση (random access)**



# Αλγόριθμος CSMA/CD στο Ethernet

1. Η κάρτα προσαρμογής λαμβάνει το datagram από το στρώμα δικτύου και δημιουργεί ένα πλαίσιο
2. Αν ανιχνεύσει ελεύθερο δίαυλο αρχίζει τη μετάδοση του πλαισίου, αλλιώς, αναστέλλει τη μετάδοση μέχρι να ελευθερωθεί ο δίαυλος
3. Αν μεταδώσει όλο το πλαίσιο χωρίς να ανιχνεύσει άλλη μετάδοση, παύει η ενασχόλησή της με το υπόψη πλαίσιο
4. Αν ανιχνεύσει άλλη μετάδοση, σταματά τη μετάδοση και στέλνει **σήμα συνωστισμού (jam signal)**
5. Μετά την παύση μετάδοσης, πραγματοποιεί **εκθετική υποχώρηση (exponential backoff)**:
  - μετά την  $n$ -στη σύγκρουση, επιλέγει τυχαίο  $K$  από το  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ , όπου  $m = \min(n, 10)$
  - περιμένει  $K \times 512$  διάρκειες bit και επιστρέφει στο Βήμα 2.





# Αλγόριθμος CSMA/CD του Ethernet

## Σήμα συνωστισμού:

- εξασφαλίζει την ενημέρωση όλων των άλλων σταθμών για τη σύγκρουση
- έχει μήκος 48 bit

## Χρόνος αναμονής:

- η διάρκεια bit για Ethernet 10 Mbps είναι 0.1  $\mu$ sec
- για  $m=10$ , δηλαδή  $K=1023$ , ο χρόνος αναμονής είναι περίπου 52.4 msec

## Εκθετική υποχώρηση:

- **Στόχος:** προσαρμογή των προσπαθειών επαναμετάδοσης στο εκτιμώμενο τρέχον φορτίο
  - μεγάλο φορτίο: η τυχαία αναμονή θα είναι μεγαλύτερης διάρκειας
- πρώτη σύγκρουση: επιλογή του  $K$  από  $\{0,1\}$  και καθυστέρηση  $K \times 512$  διάρκειες bit
- μετά τη δεύτερη σύγκρουση: επιλογή του  $K$  από  $\{0,1,2,3\}$
- ...
- μετά 10 συγκρούσεις, επιλογή του  $K$  από  $\{0,1,2,3,4,...,1023\}$

# Απόδοση του CSMA/CD



- PROP = μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 σταθμών στο LAN
- TRANSF = χρόνος για τη μετάδοση πλαισίου μέγιστου μήκους

$$\eta = \frac{1}{1 + 5 \cdot \text{PROP} / \text{TRANSF}}$$

- Πολύ καλύτερη απόδοση από εκείνη του ALOHA, για αποκεντρωμένη πρόσβαση
  - $\eta \rightarrow 1$  καθώς το  $\text{PROP} \rightarrow 0$
  - $\eta \rightarrow 1$  καθώς το  $\text{TRANSF} \rightarrow \infty$

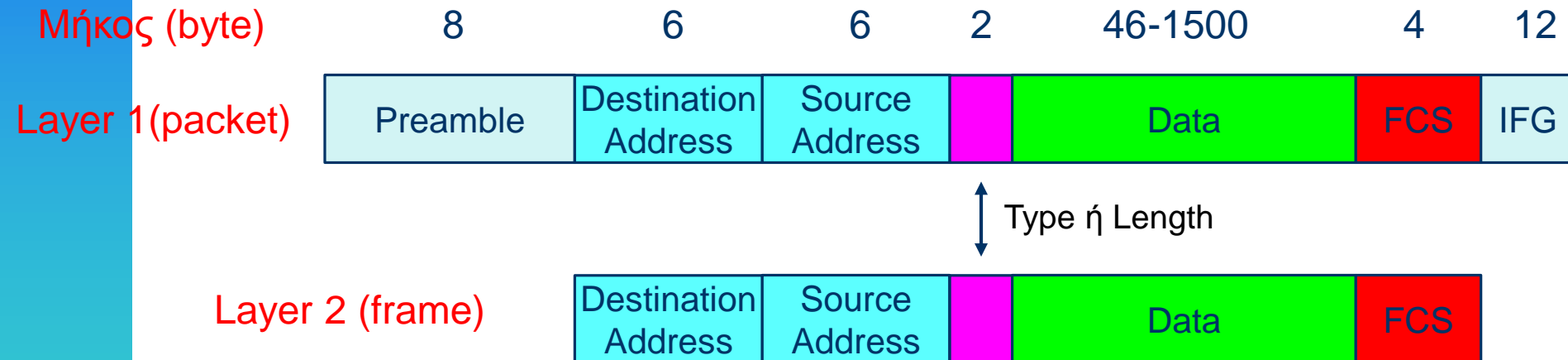


## Το πλαίσιο Ethernet



# Πακέτο και πλαίσιο Ethernet

- Κοινή δομή πλαισίου για όλες τις τεχνολογίες Ethernet
  - Αυτός είναι ο πραγματικός λόγος της επιτυχίας του
  - Ανάλογο της χρήσης του IP στο διαδίκτυο





# Πεδία πλαισίου Ethernet

- **Address:** 6 byte σε κάθε πεδίο
  - Είναι παγκόσμια μοναδικές
  - Κάθε διεύθυνση αντιστοιχεί σε μία κάρτα δικτύου
- **Type:** 2 byte, στην ενθυλάκωση Ethernet II, δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος, π.χ. IP (0x0800)
  - Υποστηρίζονται και άλλα πρωτόκολλα, όπως π.χ. ARP (0x0806), RARP (0x8035), Novell IPX (0x8037)
- **Length:** 2 byte, στην ενθυλάκωση IEEE 802.3, είναι το μήκος του πλαισίου
  - Πώς διακρίνουμε το είδος της ενθυλάκωσης;
- **Data:** 46-1500 byte δεδομένων
- **Frame Check Sequence (FCS):** CRC μήκους 4 byte
  - ελέγχεται στον δέκτη, αν ανιχνευθεί σφάλμα το πλαίσιο απορρίπτεται



# Προοίμιο και διάκενο

- **Preamble:**

- χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του δέκτη με τον αποστολέα και δείχνει την αρχή του πλαισίου
- 7 byte της μορφής 10101010 ακολουθούμενα από 1 byte της μορφής 10101011
- το προοίμιο **δεν είναι μέρος του πλαισίου** και δεν προσμετρείται στο μήκος του
  - Μέγιστο μέγεθος πλαισίου  $6+6+2+1500+4=1518$  byte
  - Ελάχιστο μέγεθος πλαισίου  $6+6+2+46+4=64$  byte

- **Interframe Gap (IFG):**

- διάκενο μεταξύ πλαισίων μήκους 96 bit



- **VLAN Tag:**
  - Πεδίο 4 byte μεταξύ διεύθυνσης πηγής και τύπου πλαισίου, για την υποστήριξη εικονικών τοπικών δικτύων (Virtual LANs)
- **Jumbo frame:**
  - Αύξηση του μήκους δεδομένων από 1500 σε 9000
  - Υποστηρίζεται από πολλούς κατασκευαστές, αλλά δεν αποτελεί πρότυπο
- **Extension bits:**
  - Σειρά bit στο τέλος του πλαισίου το επεκτείνει ώστε να έχει μήκος 512 byte (Gigabit Ethernet, λειτουργία half duplex)
- **Frame busts (ριπές πλαισίων) :**
  - Πολλά πλαίσια στη σειρά μέχρι συνολικά 8192 byte
  - Το διάκενο μεταξύ των πλαισίων γεμίζει με extension bit (σε Gigabit Ethernet και λειτουργία half duplex)



# Ελάχιστο μήκος πλαισίου Ethernet

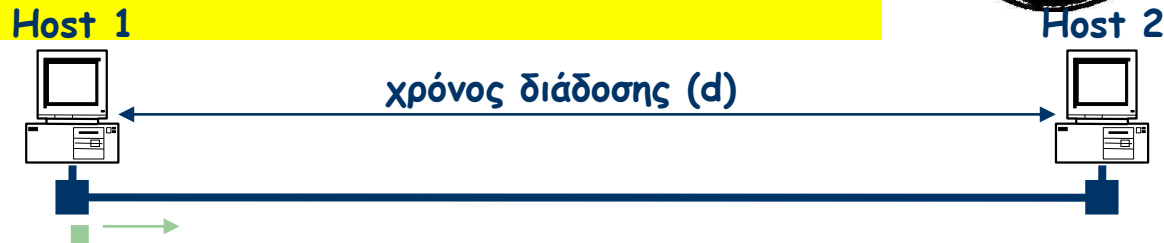
- Επιβάλλεται για να δοθεί στον host εκπομπής επαρκής χρόνος για την ανίχνευση συγκρούσεων
  - Το ελάχιστο μήκος πλαισίου είναι 64 bytes
    - δύο διευθύνσεις MAC των 6 byte, 2 byte για το πεδίο type, 4 byte CRC και 46 byte δεδομένα
- Αν ο host έχει να στείλει λιγότερα από 46 byte, η κάρτα προσαρμογής παραγεμίζει (προσθέτει) byte για να γίνουν 46
- Η αποδοχή ελαχίστου μήκους για τα πλαίσια, λόγω του πρωτοκόλλου CSMA/CD, εισάγει περιορισμούς στο μέγιστο μήκος του δικτύου
  - Ποια είναι η σχέση μεταξύ ελαχίστου μήκους πλαισίου και του μήκους του LAN;



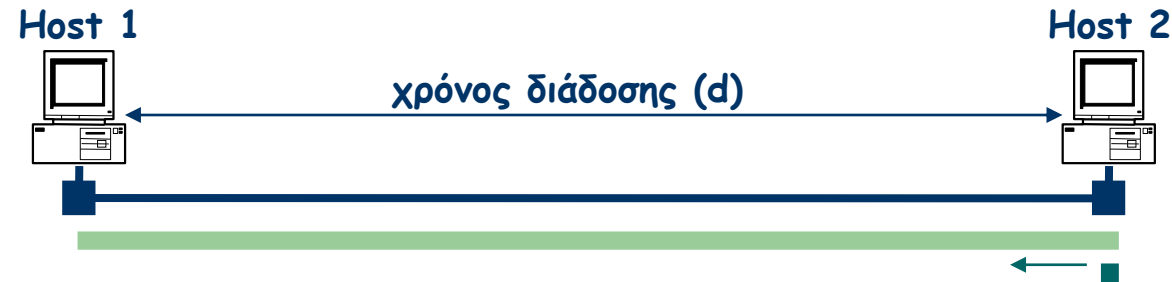


# Μέγιστο μήκος LAN

α) Time = t: ο host 1 αρχίζει τη μετάδοση



β) Time = t+d: ο host 2 αρχίζει τη μετάδοσή του, λίγο πριν αντιληφθεί τη μετάδοση του host 1



γ) Time = t+2d: ο host 1 ακούει τη μετάδοση του host 2



→ ανιχνεύει τη σύγκρουση

$$\frac{\text{πλαίσιο ελάχιστου μήκους}}{\text{ρυθμός μετάδοσης}} \geq 2 \times \frac{\text{Μήκος LAN}}{\text{ταχύτητα διάδοσης}}$$

$$\text{Μήκος LAN} \leq \frac{1}{2} \times \frac{\text{πλαίσιο ελάχιστου μήκους}}{\text{ρυθμός μετάδοσης}} \times \text{ταχύτητα διάδοσης}$$

# Απόδοση του CSMA/CD



- PROP = μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 σταθμών στο LAN
- TRANSF = χρόνος για τη μετάδοση πλαισίου μέγιστου μήκους

$$\eta = \frac{1}{1 + 5 \cdot \text{PROP} / \text{TRANSF}}$$

- Πολύ καλύτερη απόδοση από εκείνη του ALOHA, για αποκεντρωμένη πρόσβαση
  - $\eta \rightarrow 1$  καθώς το  $\text{PROP} \rightarrow 0$
  - $\eta \rightarrow 1$  καθώς το  $\text{TRANSF} \rightarrow \infty$



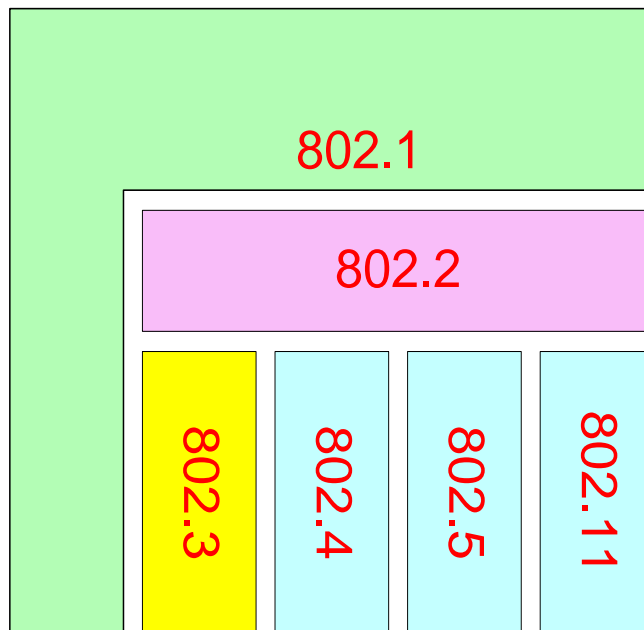
# Τεχνολογίες Ethernet



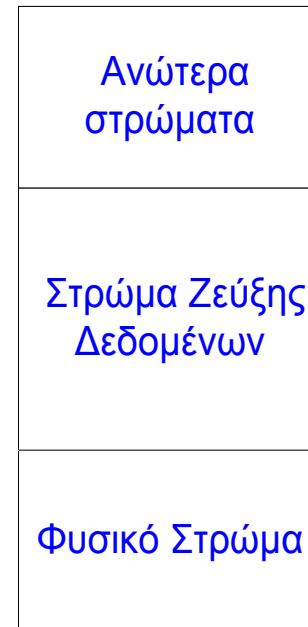
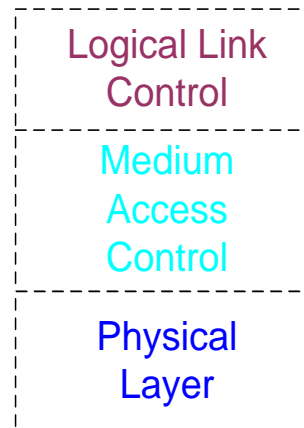
# Τα πρότυπα IEEE 802

- IEEE 802 είναι οικογένεια προτύπων για LAN που προδιαγράφει ένα στρώμα LLC και πολλά υπο-στρώματα MAC
- Το Ethernet (πρωτόκολλο MAC και πρωτόκολλα PHY) προτυποποιούνται από τις ομάδες εργασίας **IEEE 802.3**

## Πρότυπο IEEE 802



## Μοντέλο Αναφοράς IEEE



# Τεχνολογίες Ethernet



- Μερικά δημοφιλή φυσικά στρώματα του Ethernet:

## Ethernet

10Base5	Thick Ethernet: 10 Mbps ομοαξονικό καλώδιο
10Base2	Thin Ethernet: 10 Mbps ομοαξονικό καλώδιο
10Base-T	10 Mbps διπλαγωγός

## Fast Ethernet

100Base-TX	100 Mbps διπλαγωγός Cat. 5 (2 ζεύγη)
------------	--------------------------------------

## Gigabit Ethernet

1000Base-T	1 Gbps διπλαγωγός Cat. 5 (4 ζεύγη)
------------	------------------------------------

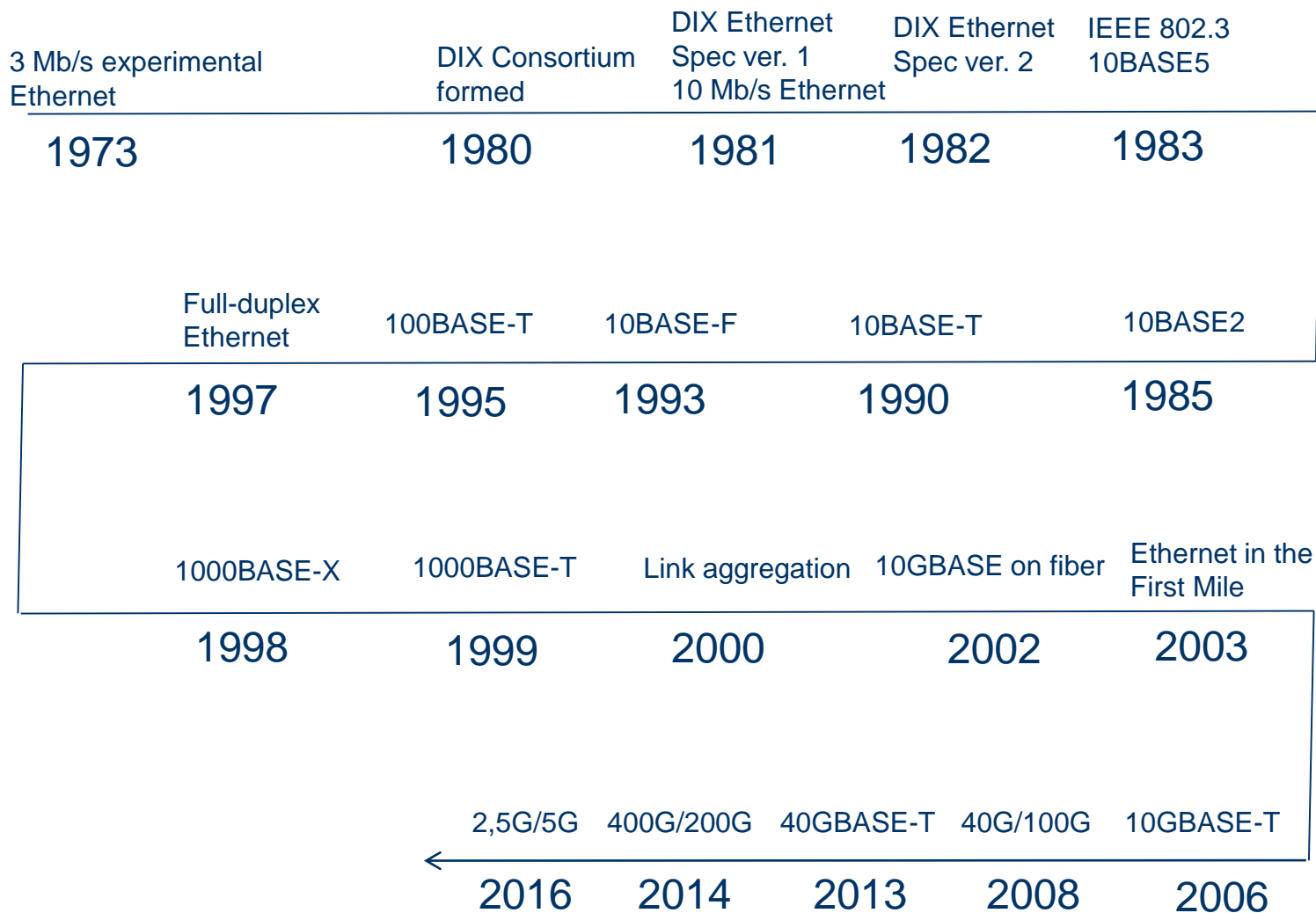
## 10GE ή 10GbE ή 10GigE

10GBase-LR	10 Gbps μονότροπη ίνα (μεγάλες αποστάσεις)
10GBase-T	10 Gbps διπλαγωγός Cat6 (4 ζεύγη)

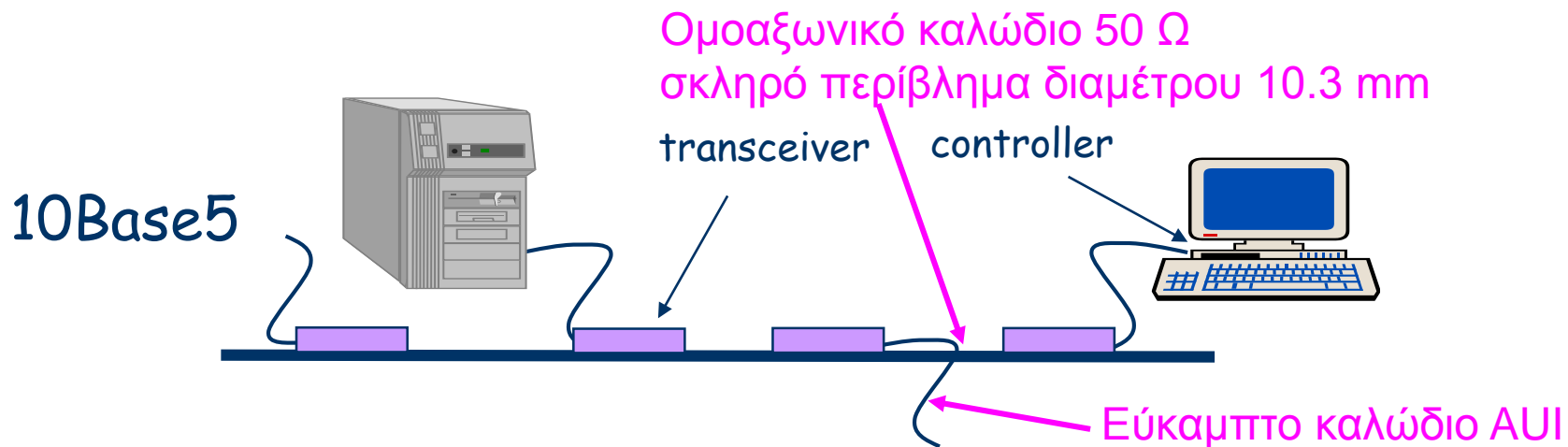
## 40/100 GE

40/100GBase-LR	40/100 Gbps μονότροπη ίνα
----------------	---------------------------

# Εξέλιξη του Ethernet



# Τα πρώτα Ethernet LAN (10Base5)

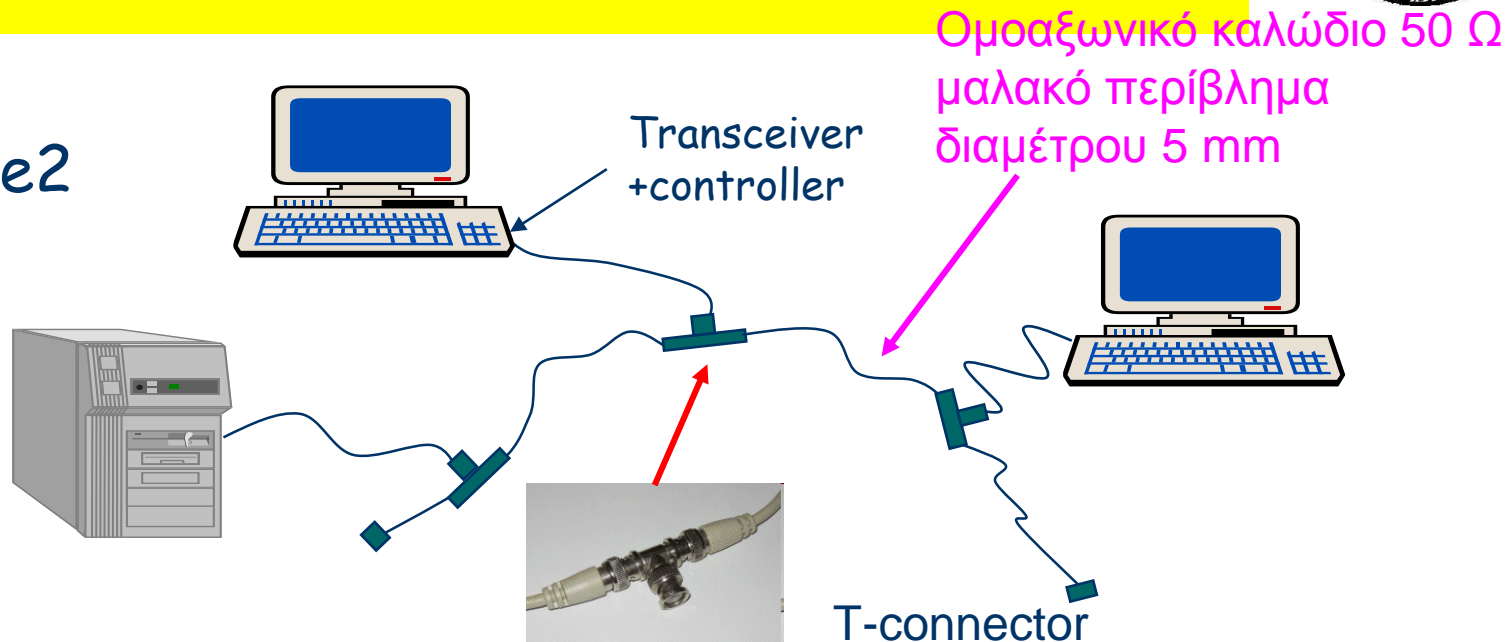


- Στο **thick Ethernet** η ανάπτυξη του ομοαξωνικού καλωδίου σε χώρους γραφείου ήταν προβληματική
  - ο πομποδέκτης καρφώνονταν στο ομοαξωνικό
  - ανάγκη για εύκαμπτα καλώδια προς τους host
- Βραχυκυκλώματα στον πομποδέκτη κατά την εγκατάσταση νέων ήταν συχνά
  - όλο το δίκτυο εκτός λειτουργίας
- Οδήγησε σε αντικατάσταση του άκαμπτου ομοαξωνικού με λεπτότερο

# Τα πρώτα Ethernet LAN (10Base2)



10Base2



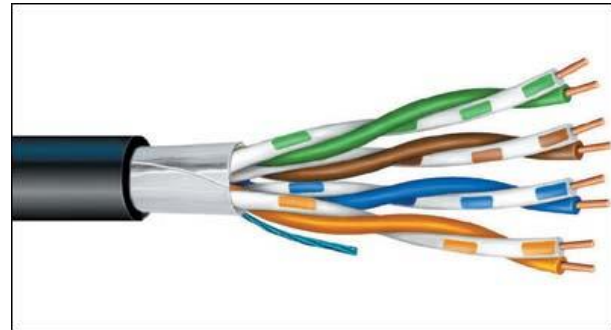
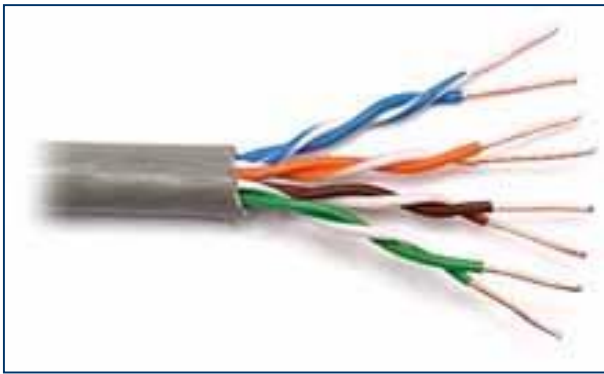
- Στο **thin Ethernet** η αποσύνδεση των καλωδίων ήταν συνηθισμένο φαινόμενο
  - ο εντοπισμός των διακοπών απαιτούσε σημαντικό χρόνο
  - οδήγησε σε διαφορετική σχεδίαση
  - χρήση υπάρχουσας δομημένης καλωδίωσης (για τηλεφωνία)



# Ethernet 10Base-T

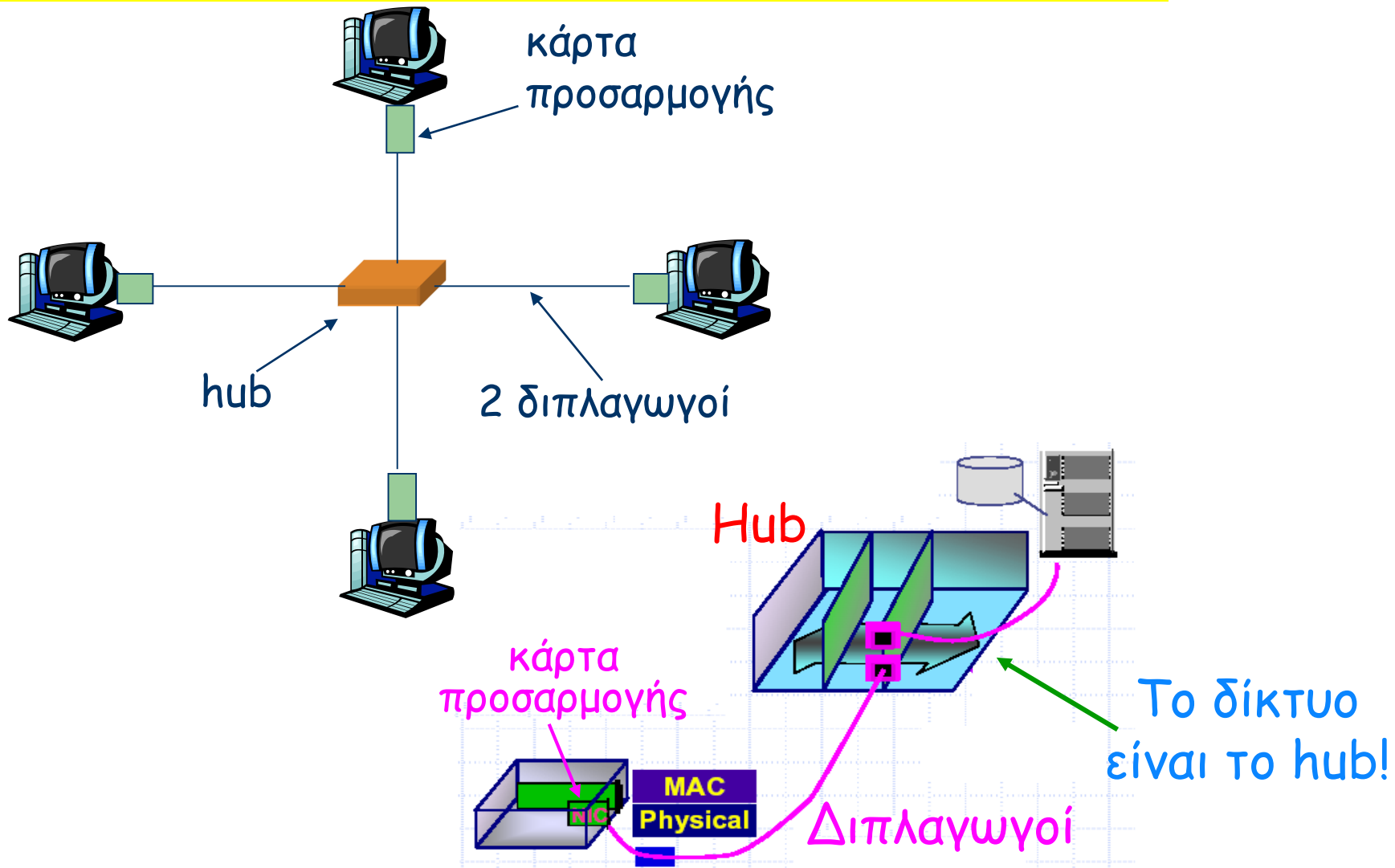


- Εισάγεται ο διπλαγωγός ως νέο φυσικό μέσο
- Όλοι οι σταθμοί συνδέονται σε **ακτινικό επαναλήπτη (hub)**



- Η απόσταση των κόμβων από το hub περιορίζεται στα 100 m
- Η σχεδίαση αυτή αναφέρεται ως **10Base-T** (Τ σημαίνει διπλαγωγός: twisted pair)

# Ethernet 10Base-T



# Ethernet 10Base-T



- Το hub είναι **επαναλήπτης** (στο φυσικό στρώμα):
  - τα bit που εισέρχονται στο hub από μια ζεύξη **επαναλαμβάνονται σε όλες τις άλλες ζεύξεις με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης**
    - μπορούμε να έχουμε διαφορετικά φυσικά στρώματα ανά ζεύξη
  - τα πλαίσια **δεν αποθηκεύονται**
  - **δεν γίνεται ανίχνευση συγκρούσεων** στο hub
    - οι κάρτες των σταθμών ανιχνεύουν τις συγκρούσεις
  - όλοι οι σταθμοί ανήκουν στην **ίδια επικράτεια συγκρούσεων** (collision domain)



- **Πλεονεκτήματα**

- Απλοποιημένη και φθηνή καλωδίωση
- Το hub μπορεί να συγκεντρώνει πληροφορίες επίβλεψης και στατιστικά στοιχεία για να τα εμφανίζει στους διαχειριστές του LAN
- Το hub μπορεί να αποσυνδέει σταθμούς με θόρυβο (απενεργοποίηση πόρτας)
- Υποστήριξη πολλών φυσικών μέσων

- **Μειονεκτήματα**

- η μέγιστη απόσταση κόμβου από το hub περιορίζεται
  - τυπικά στα 100 m
  - εφικτή στα 150 m με καλή ποιότητα καλωδίων
- το κόστος (αρχικά, όχι πλέον)



# Πλήρως αμφίδρομο Ethernet

- Το πρότυπο IEEE 802.3x ορίζει ένα δεύτερο τρόπο λειτουργία του Ethernet, τον **πλήρως αμφίδρομο** (Full Duplex - FD)
  - παρακάμπτει το πρωτόκολλο CSMA/CD
    - το CSMA/CD είναι εγγενώς ημι-αμφίδρομο (Half Duplex - HD), ο κόμβος μπορεί είτε να στείλει είτε να λάβει, αλλά ποτέ και τα δύο ταυτόχρονα
- Η λειτουργία FD περιορίζεται σε ζεύξεις από σημείο σε σημείο
  - Το φυσικό στρώμα πρέπει να υποστηρίζει και ο κόμβος να διαθέτει ανεξάρτητες διαδρομές για αποστολή και λήψη



# Πλήρως αμφίδρομο Ethernet

- Πλεονεκτήματα
  - Αύξηση της διέλευσης
  - Κόμβος 10 Mbps σε πλήρως αμφίδρομη λειτουργία χρησιμοποιεί όλο το εύρος ζώνης
  - **Εξαλείφονται οι συγκρούσεις στο μέσο!**
  - Οι αποστάσεις κόμβων δεν εξαρτώνται από χρονικούς περιορισμούς (διάδοση της σύγκρουσης)



# Fast Ethernet

# Το ταχύ Ethernet



- Πρότυπο IEEE 802.3u
  - αποτελεί προσθήκη στο υπάρχον πρότυπο 802.3, για να δοθεί έμφαση στην προς τα πίσω συμβατότητα
- Βασική ιδέα:
  - Διατήρηση της μορφής των πλαισίων
  - Διατήρηση του CSMA/CD
  - Μείωση της διάρκειας των bit από 0.1  $\mu$ sec σε 10 nsec
  - Χρήση της ίδιας καλωδίωσης με το 10Base-T
  - Περιορισμός της απ' άκρη σ' άκρη απόστασης (επικράτεια συγκρούσεων) για να διατηρείται η κανονικοποιημένη καθυστέρηση διάδοσης μικρή





# Φυσικό στρώμα

## ● 100Base-T4

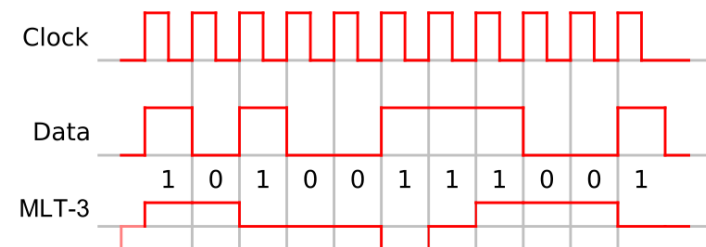
- 4 διπλαγωγοί UTP Cat.3
- Ένας διπλαγωγός για εκπομπή, ένας για λήψη και οι άλλοι δύο έχουν τη δυνατότητα να μεταχθούν προς την τρέχουσα κατεύθυνση μετάδοσης
- Εγγενώς ημι-αμφίδρομο (half duplex)
- Κωδικοποίηση 8B6T στα 25 Mbaud,  $25 \times (8/6) = 33.3$  Mbps ανά ζεύγος, με διαμόρφωση PAM-3 (pulse-amplitude modulation με 3 στάθμες)

## ● 100Base-TX

- 2 διπλαγωγοί STP ή 2 διπλαγωγοί UTP Cat.5
- Ένας διπλαγωγός προς το hub και ένας από αυτό
- Κωδικοποίηση 4B5B στα 125 Mbaud,  $125 \times (4/5) = 100$  Mbps με διαμόρφωση MLT-3
- Πλήρως αμφίδρομο σύστημα
- Απόσταση μεταξύ σταθμού και hub 100 m

## ● 100Base-FX

- 2 πολύτροπες οπτικές ίνες,  $\lambda = 1330$  nm
- Ίδια κωδικοποίηση και διαμόρφωση με το 100Base-TX
- Μέγιστο μήκος τμήματος 400 m για hub και 2 km για switch

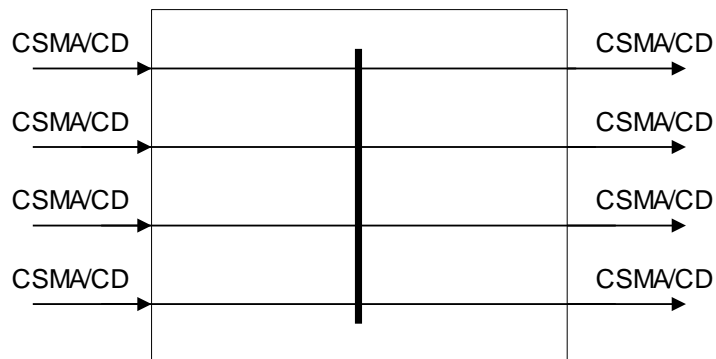


# Ethernet switch

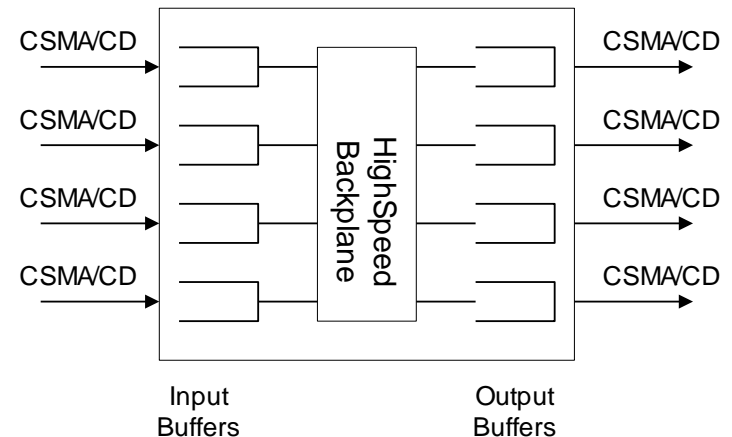


- Το ταχύ Ethernet μπορεί να λειτουργήσει με hub ή switch

## Hub



## Switch





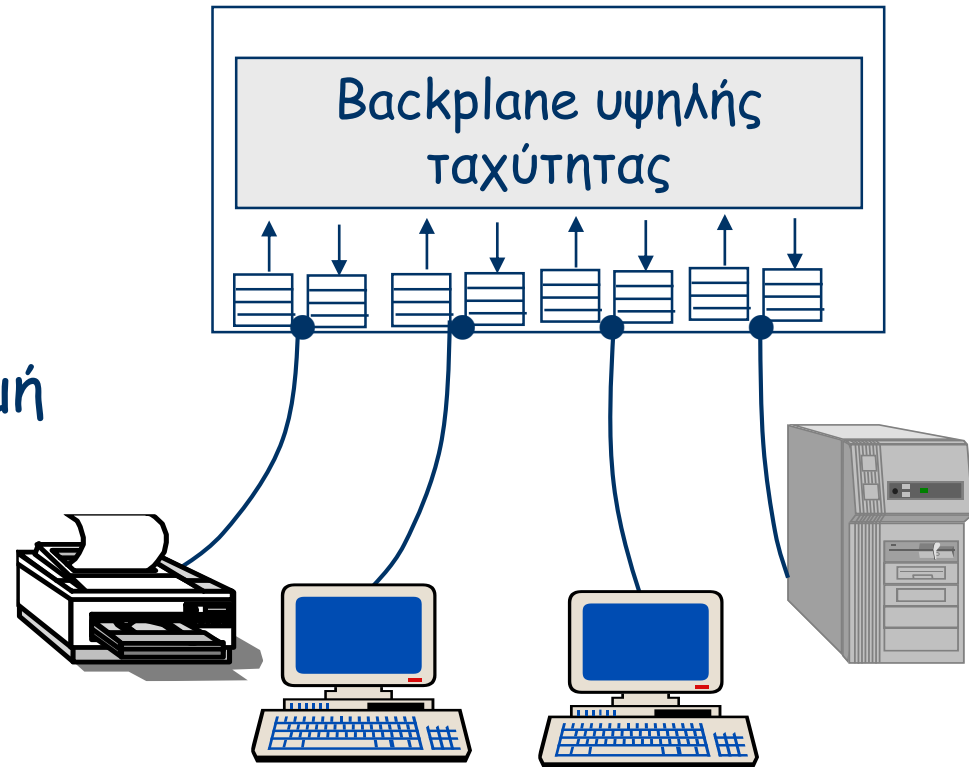
# Ethernet Hub ή Ethernet Switch

- Το **Ethernet switch** είναι μεταγωγέας πακέτων
  - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet
  - backplane υψηλής ταχύτητας
  - κάθε θύρα είναι απομονωμένη και δημιουργεί τη δική της επικράτεια συγκρούσεων
  - μπορεί να εξυπηρετήσει μίγμα σταθμών των 10 και 100 Mbps
  - είναι δυνατή η αναβάθμιση (συμβατότητα προς τα πίσω)
- Το **Ethernet Hub** είναι επαναλήπτης
  - δεν αποθηκεύει
  - δημιουργούνται συγκρούσεις εάν δύο πλαίσια φτάσουν την ίδια στιγμή



# Μεταγωγέας Ethernet

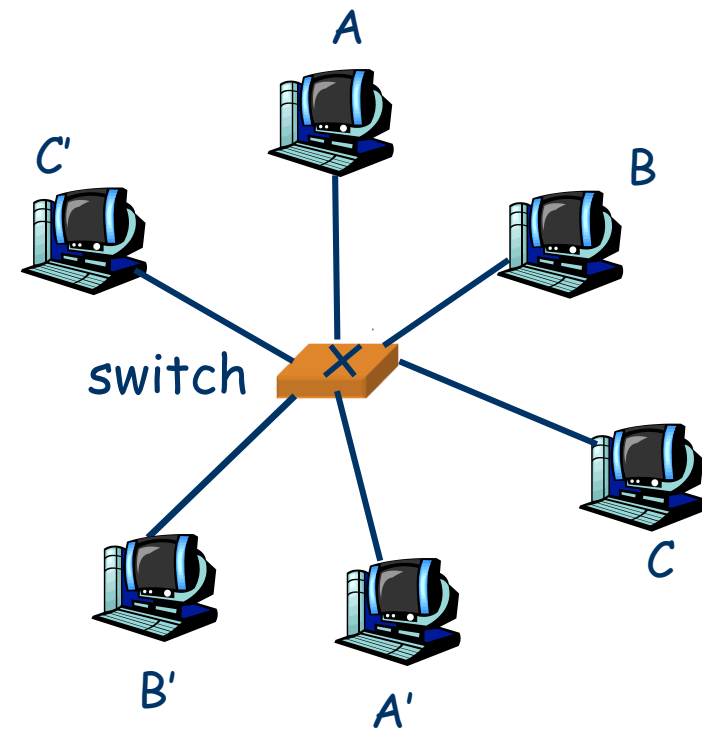
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης
- Υπάρχουν συγκρούσεις;





# Μεταγωγέας Ethernet

- Κάθε host έχει δική του σύνδεση στον μεταγωγέα
- Οι μεταγωγείς αποθηκεύουν και προωθούν
  - ο μεταγωγέας μεταδίδει το πολύ ένα πλαίσιο τη φορά προς κάθε υπολογιστή
- Με ξεχωριστή γραμμή για κάθε κατεύθυνση - αμφίδρομο (full duplex) τρόπο λειτουργίας - **δεν υπάρχουν πλέον συγκρούσεις**
- **Δεν χρειάζεται CSMA/CD!**





# Gigabit Ethernet

# Gigabit Ethernet



- Πρότυπα IEEE 802.3z και IEEE 802.3ab
  - IEEE 802.3z (χαλκός STP, πολύτροπη, μονότροπη ίνα)
  - IEEE 802.3ab (χαλκός UTP)
- Υποστηρίζονται δύο τρόποι λειτουργίας
  - αμφίδρομη (full-duplex), ημιαμφίδρομη (half-duplex)
- **Αμφίδρομη μετάδοση**
  - μεταγωγέας **χωρίς** το CSMA/CD
- **Ημιαμφίδρομη μετάδοση** (ασυνήθης πλέον)
  - hub και CSMA/CD
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet, προσθέτει
  - Carrier extension: bit επέκτασης του πλαισίου στα 512 byte για διατήρηση περιορισμών ελαχίστης διάρκειας μετάδοσης
  - Frame bursting: αποστολή πολλών πλαισίων σε κάθε μετάδοση



# Φυσικό στρώμα

- **1000Base-SX**
  - Μικρό μήκος, πολύτροπη ίνα,  $\lambda = 770-860 \text{ nm}$
  - Μέγιστο τμήμα 220~550 m (FD), κωδικοποίηση 8B/10B
- **1000Base-LX**
  - Μεγάλο μήκος, μονότροπη ίνα,  $\lambda = 1270-1335 \text{ nm}$
  - Μέγιστο τμήμα 5000 m (FD), κωδικοποίηση 8B/10B
- **1000Base-CX**
  - Χάλκινες συνδέσεις, θωρακισμένος διπλαγωγός STP
  - Μέχρι 25 m (HD ή FD), κωδικοποίηση 8B/10B
- **1000Base-T ή IEEE 802.3ab**
  - 4 ζεύγη, UTP Cat.5, πλήρως αμφίδρομη μετάδοση στα 125 Mbaud με ακυρωτή ηχούς και διαμόρφωση PAM-5





# 10GigE

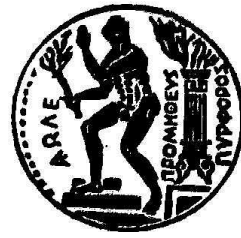
- Πρότυπο IEEE 802.3ae, υποστηρίζει **μόνο** αμφίδρομη (full-duplex) μετάδοση
  - Ημι-αμφίδρομη (half-duplex) μετάδοση, hub και CSMA/CD δεν υπάρχουν
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet και σχετικούς περιορισμούς μήκους



# 10GigE: Φυσικό στρώμα

- **10GBASE-SR** (short range) πολύτροπη ίνα με 850 nm laser
  - Κωδικοποίηση 64B/66B, ρυθμός μετάδοσης 10.3125 Gbps
  - Απόσταση περί τα 26~33 m σε παλαιές ίνες 300~400 m σε καλύτερης ποιότητας ίνες
- **10GBASE-LR** (long reach) για μονότροπη ίνα με 1310 nm laser
  - Κωδικοποίηση 64B/66B, ρυθμός μετάδοσης 10.3125 Gbps
  - Απόσταση τυπικά 10 km και συχνά μέχρι 25 km
- **10GBASE-T ή IEEE 802.3an** για διπλαγωγούς
  - 4 πλήρως αμφίδρομα ζεύγη με ακυρωτή ηχούς
  - Μετάδοση στα 800 Mbaud με διαμόρφωση PAM-16
  - Απόσταση τουλάχιστον 100 m σε UTP Cat.7
  - τουλάχιστον 55 m μέχρι 100 m σε UTP Cat. 6
- **2.5/5GBASE-T ή IEEE 802.3bz** για διπλαγωγούς
  - τουλάχιστον 100 m σε UTP Cat. 5 ή 6

# 40/100GigE



- Πρότυπο IEEE 802.3ba
- Πρώτη φορά που ένα πρότυπο ορίζει δύο ταχύτητες
- 40 Gbps
  - Εφαρμογή σε τοπικούς εξυπηρετητές
- 100 Gbps
  - Για τον κορμό του Internet
- Υποστηρίζει **μόνο** αμφίδρομη (full-duplex) μετάδοση
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet και σχετικούς περιορισμούς μήκους
- Υποστηρίζει ρυθμό λαθών (BER) καλύτερο από  $10^{-12}$

# 40/100GigE: Φυσικό στρώμα



- **40GBASE-CR4, 100GBASE-CR10** για χαλκό
  - Απόσταση μέχρι 7 m
  - Κωδικοποίηση 64B/66B, ρυθμός μετάδοσης 10.3125 Gbps ανά λωρίδα (lane)
  - 4 ή 10 λωρίδες μετάδοσης με διπλό ομοαξονικό καλώδιο
- **40GBASE-LR4, 100GBASE-LR4** για ίνα
  - Μονότροπη οπτική ίνα μέχρι 10 km
  - Κωδικοποίηση 64B/66B, ρυθμός μετάδοσης 10.3125 Gbps ανά λωρίδα (lane)
  - 4 ή 10 λωρίδες μετάδοσης
- **40GBASE-T ή IEEE 802.3bq** για διπλαγωγούς
  - 4 πλήρως αμφίδρομα ζεύγη
  - Μετάδοση στα 3200 Mbaud με διαμόρφωση PAM-16
  - Απόσταση μέχρι 30 m σε UTP Cat.8

# 200/400GigE



- Πρότυπο IEEE 802.3bs
- Ορίζει δύο ταχύτητες
- 200 Gbps και 400 Gbps
- Υποστηρίζει **μόνο** αμφίδρομη (full-duplex) μετάδοση
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet και σχετικούς περιορισμούς μήκους
- Υποστηρίζει ρυθμό λαθών (BER) καλύτερο από  $10^{-13}$



# 200/400GigE: Φυσικό στρώμα

- **200 GBASE-LR4** για ίνα
  - Μονότροπη οπτική ίνα μέχρι 10 km
  - Διαμόρφωση PAM4, ρυθμός μετάδοσης 26.5625 Gbps ανά λωρίδα (lane)
  - 4 λωρίδες μετάδοσης σε ένα ζεύγος με χρήση WDM
- **400 GBASE-LR8** για ίνα
  - Μονότροπη οπτική ίνα μέχρι 10 km
  - Διαμόρφωση PAM4, ρυθμός μετάδοσης 26.5625 Gbps ανά λωρίδα (lane)
  - 8 λωρίδες μετάδοσης σε ένα ζεύγος με χρήση WDM
- **200GBASE-CR4 ή 802.3cd** για χαλκό
  - Απόσταση μέχρι 3 m
  - Διαμόρφωση PAM4, ρυθμός μετάδοσης 26.5625 Gbps ανά λωρίδα (lane)
  - 4 λωρίδες μετάδοσης με διπλό ομοαξονικό καλώδιο



# Ethernet in the First Mile

- Πρότυπο IEEE 802.3ah
- Ethernet πάνω από τον συνδρομητικό βρόχο (last mile)
  - Αντίθετα με τα άλλα φυσικά μέσα ο ρυθμός μετάδοσης δεν είναι σταθερός
  - Εξαρτάται από την απόσταση και ποιότητα του καλωδίου χαλκού
- **2 BASE-TL** σε χαλκό για μετάδοση φωνής
  - Μέχρι 2700 m
  - Ταχύτητα τουλάχιστον 2 Mbps (μέγιστη 5,69 Mbps)
  - Τεχνολογία S.HDSL
- **10 PASS-TS** σε χαλκό για μετάδοση φωνής
  - Μέχρι 750 m
  - Ταχύτητα τουλάχιστον 10 Mbps
  - Τεχνολογία VDSL
- **100/1000 BASE-LX10** για οπτική ίνα Point to point
- **100/1000 BASE-PX10** για οπτική ίνα GPON



## Διασύνδεση LAN



# Διασύνδεση LAN

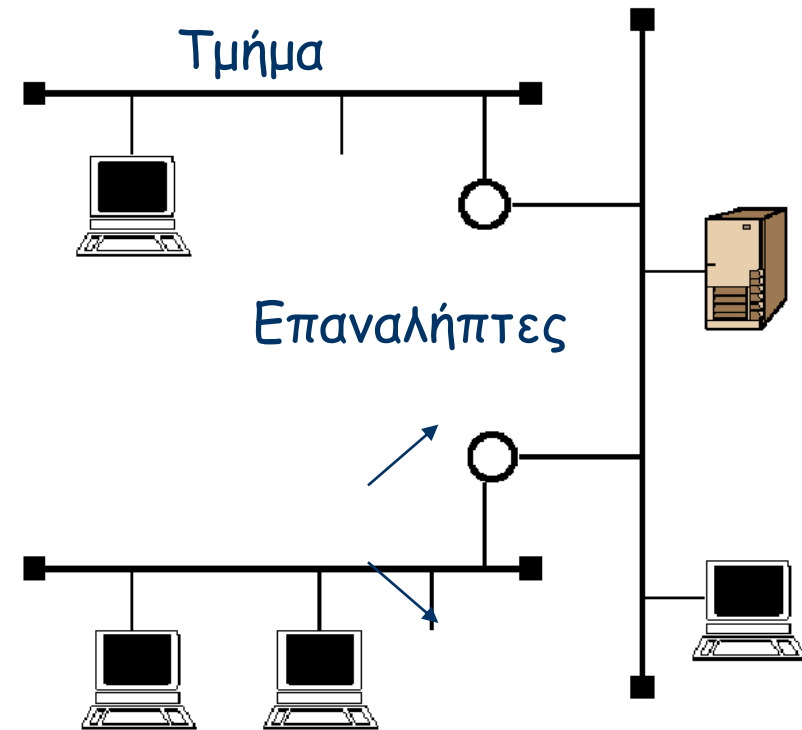


- Συχνά υπάρχει ανάγκη να διασυνδεθούν πολλά LAN και να σχηματισθεί ένα εκτεταμένο LAN
- Η διασύνδεση μπορεί να γίνει στο
  - Φυσικό στρώμα
    - Επαναλήπτες (Repeaters)
    - Hubs
  - Στρώμα ζεύξης δεδομένων
    - Γέφυρες (Bridges)
    - Μεταγωγείς (Switches)
      - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες
      - Ό,τι αναφερθεί για τις γέφυρες ισχύει επίσης και για τους μεταγωγείς
- Εικονικά LAN (VLANs)



# Επαναλήπτες

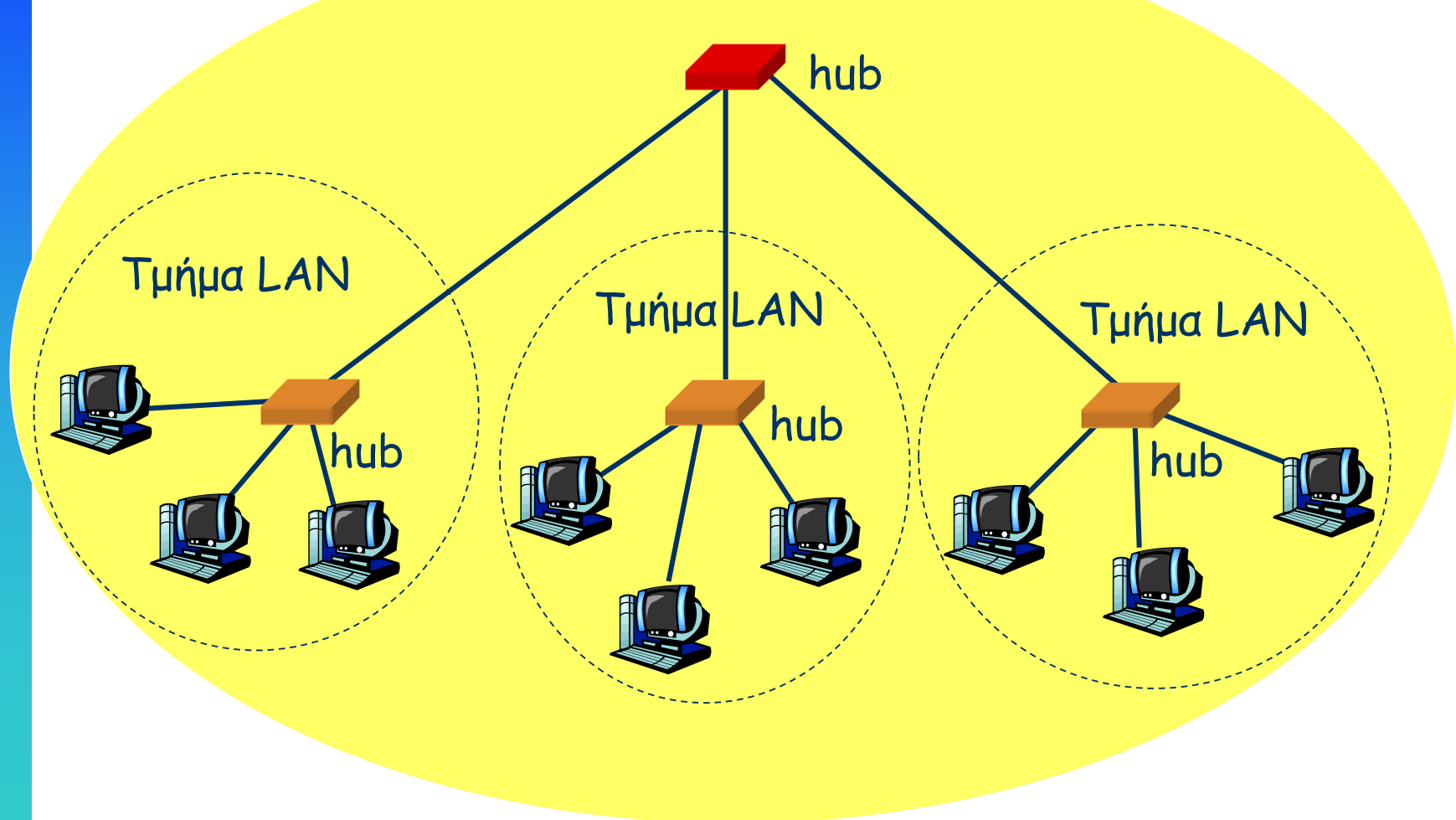
- Λειτουργούν στο φυσικό στρώμα
- Μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Ενώνουν δύο τμήματα καλωδίου
- Δεν έχουν χώρο προσωρινής αποθήκευσης
- Δεν υπάρχει λογική απομόνωση των τμημάτων
- Αν δύο σταθμοί σε διαφορετικά τμήματα στείλουν ταυτόχρονα, τα πακέτα συγκρούονται
- Μόνο μία διαδρομή τμημάτων και επαναληπτών μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σταθμών



# Διασύνδεση με Hub



Ενιαία επικράτεια  
συγκρούσεων





# Διασύνδεση με Hub

- Κάθε συνδεδεμένο LAN αναφέρεται ως **τμήμα (segment)** του LAN
- Τα hub **δεν απομονώνουν** τις επικράτειες σύγκρουσης
  - Ένας κόμβος μπορεί να συγκρούεται με οιονδήποτε κόμβο που βρίσκεται σε οποιοδήποτε τμήμα του LAN
- Πλεονεκτήματα των hub:
  - απλές, φθηνές διατάξεις
  - τα πολλαπλά επίπεδα σύνδεσης παρέχουν "ευγενική" υποβάθμιση λειτουργίας
    - τα τμήματα του LAN συνεχίζουν να λειτουργούν εάν κάποιο hub πάθει βλάβη
  - επεκτείνουν τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων (100m ανά hub)



# Περιορισμοί στη χρήση των hub

- το ενιαίο πεδίο συγκρούσεων έχει ως αποτέλεσμα το να μην αυξάνει η μέγιστη διέλευση
  - η διέλευση στα πολλαπλά τμήματα είναι η ίδια με εκείνη του ενός τμήματος
- κάθε τεχνολογία Ethernet έχει περιορισμούς ως προς
  - μέγιστο αριθμό κόμβων ανά επικράτεια συγκρούσεων
  - μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων ανά επικράτεια συγκρούσεων
  - μέγιστο αριθμός επιπέδων σε πολυεπίπεδη αρχιτεκτονικήοι οποίοι θέτουν φραγμούς και στον συνολικό αριθμό host και στη γεωγραφική κάλυψη ενός πολυεπίπεδου LAN

# Διασύνδεση με γέφυρα



- Διασυνδέει δύο τμήματα LAN στο στρώμα ζεύξης δεδομένων
  - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια
    - εξετάζει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου
    - συμβουλεύεται τον πίνακα προώθησης
    - προωθεί το πλαίσιο στο κατάλληλο τμήμα LAN
  - μπορεί να συνδέει LAN διαφορετικών τεχνολογιών
- διαφανής
  - οι host αγνοούν την ύπαρξη της γέφυρας
- συνδέεται και λειτουργεί αμέσως (plug-and-play)
- είναι αυτοεκπαιδευόμενη
  - η γέφυρα δεν χρειάζεται καμιά αρχική ρύθμιση

# Φιλτράρισμα, προώθηση



- **φιλτράρισμα**: η ικανότητα μια γέφυρας να καθορίζει το κατά πόσο ένα πλαίσιο πρέπει να προωθηθεί ή όχι μέσω κάποιας διεπαφής
- **προώθηση**: η ικανότητα να προσδιορίζει τις διεπαφές προς τις οποίες πρέπει να κατευθυνθεί ένα πλαίσιο και στη συνέχεια να προωθεί το πλαίσιο στις διεπαφές αυτές
- Το φιλτράρισμα και η προώθηση γίνονται με τη βοήθεια του **πίνακα προώθησης της γέφυρας**

# Φιλτράρισμα/Πρωώθηση πλαισίων



Όταν η γέφυρα λαμβάνει ένα πλαίσιο :

Συμβουλευέται τον πίνακα χρησιμοποιώντας την MAC dest. address

if υπάρχει εγγραφή για τον προορισμό  
then {

if ο προορισμός είναι στο τμήμα από όπου ήρθε το πλαίσιο  
then απορρίπτει το πλαίσιο

else προωθεί το πλαίσιο στην έξοδο που αναφέρει ο πίνακας

}

else χρησιμοποιεί **πλημμύρα**

προωθεί το πλαίσιο σε όλες τις εξόδους  
εκτός εκείνης από την οποία ήρθε





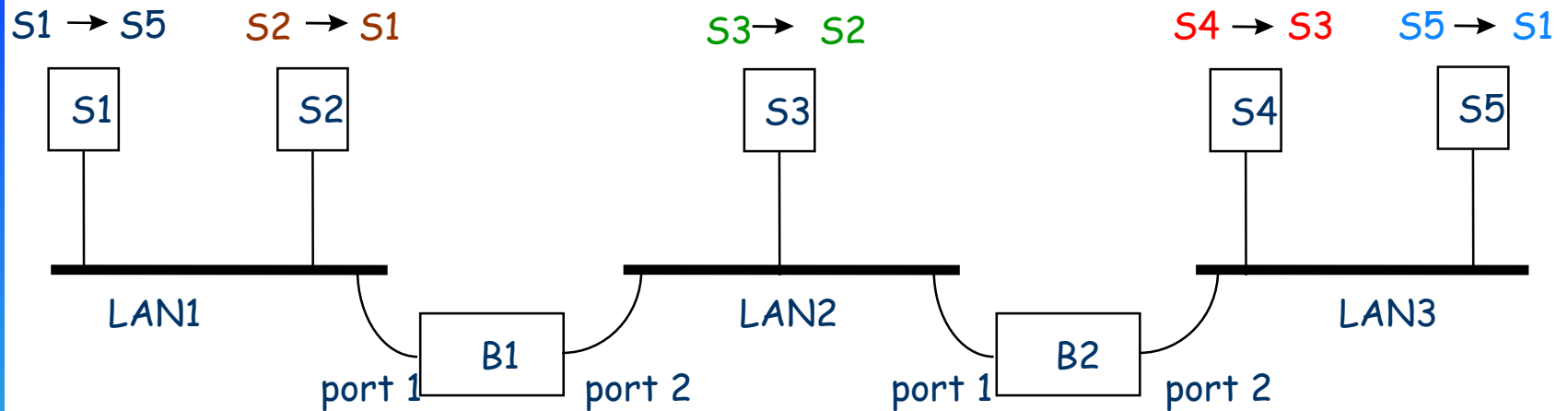
# ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

- η γέφυρα **μαθαίνει** ποιοι host είναι προσβάσιμοι και από ποιες διεπαφές
- διατηρεί πίνακα προώθησης
  - όταν λαμβάνεται ένα πλαίσιο, η γέφυρα **"μαθαίνει"** τη θέση του αποστολέα, δηλαδή το LAN εισόδου
  - καταγράφει τη θέση του αποστολέα στον **πίνακα προώθησης**
- καταχώρηση στον πίνακα προώθησης:
  - (Node MAC Address, Bridge Interface, Time Stamp)
  - οι παλιές καταχωρήσεις στον πίνακα προώθησης διαγράφονται (χρόνος διατήρησης π.χ. 60 min)

Διεύθυνση MAC	Διεπαφή	Χρόνος
00-30-05-59-8C-1C	1	10:43
00-15-58-09-2E-EF	3	10:45



# Αυτοεκπαίδευση γέφυρας



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1
S5	2

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2
S5	2

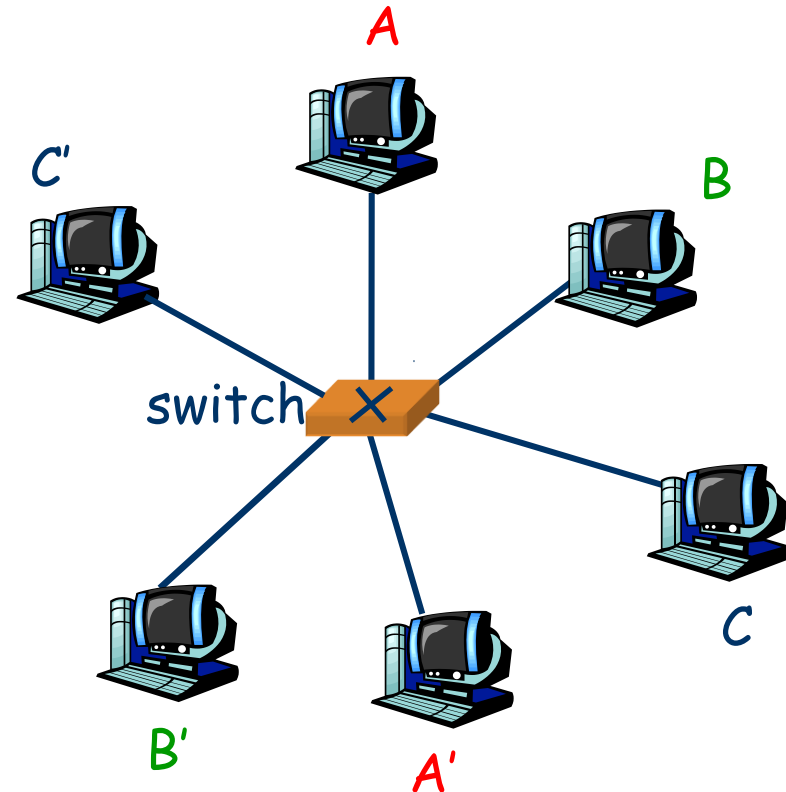


## LAN με μεταγωγή



# Μεταγωγέας Ethernet

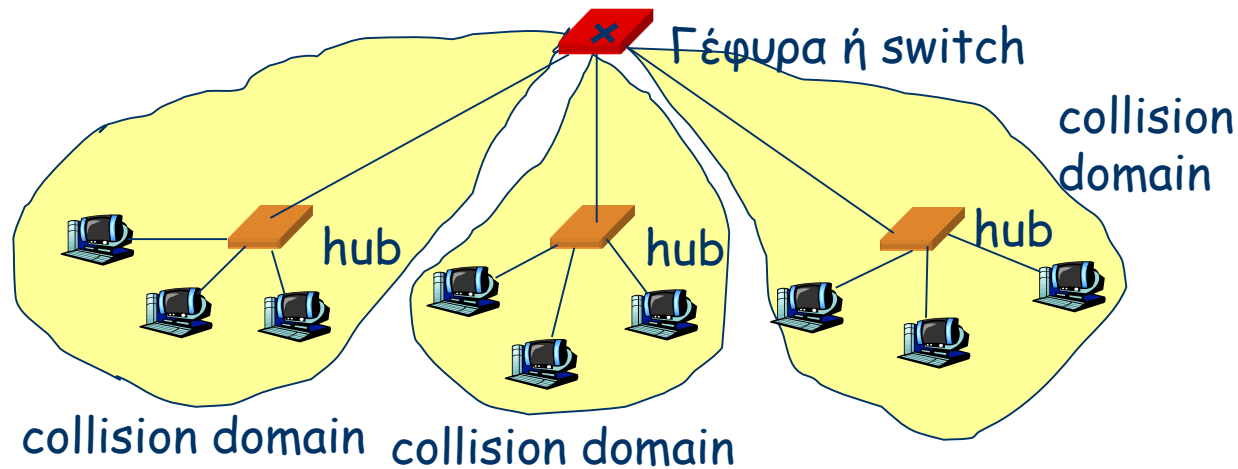
- Ο μεταγωγέας Ethernet γενικεύει τη λειτουργία των γεφυρών
  - Ουσιαστικά, είναι γέφυρα με πολλές πόρτες
- Προωθεί πλαίσια (στρώμα 2) και φιλτράρει χρησιμοποιώντας διευθύνσεις LAN
  - Η προσωρινή αποθήκευση αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό
- **Μεταγωγή:** Α-προς-Α' και Β-προς-Β' ταυτόχρονα
  - Ethernet, αλλά δίχως συγκρούσεις
- **συνήθης χρήση:** ανεξάρτητοι host, συνδέονται στον μεταγωγέα με τοπολογία αστέρα





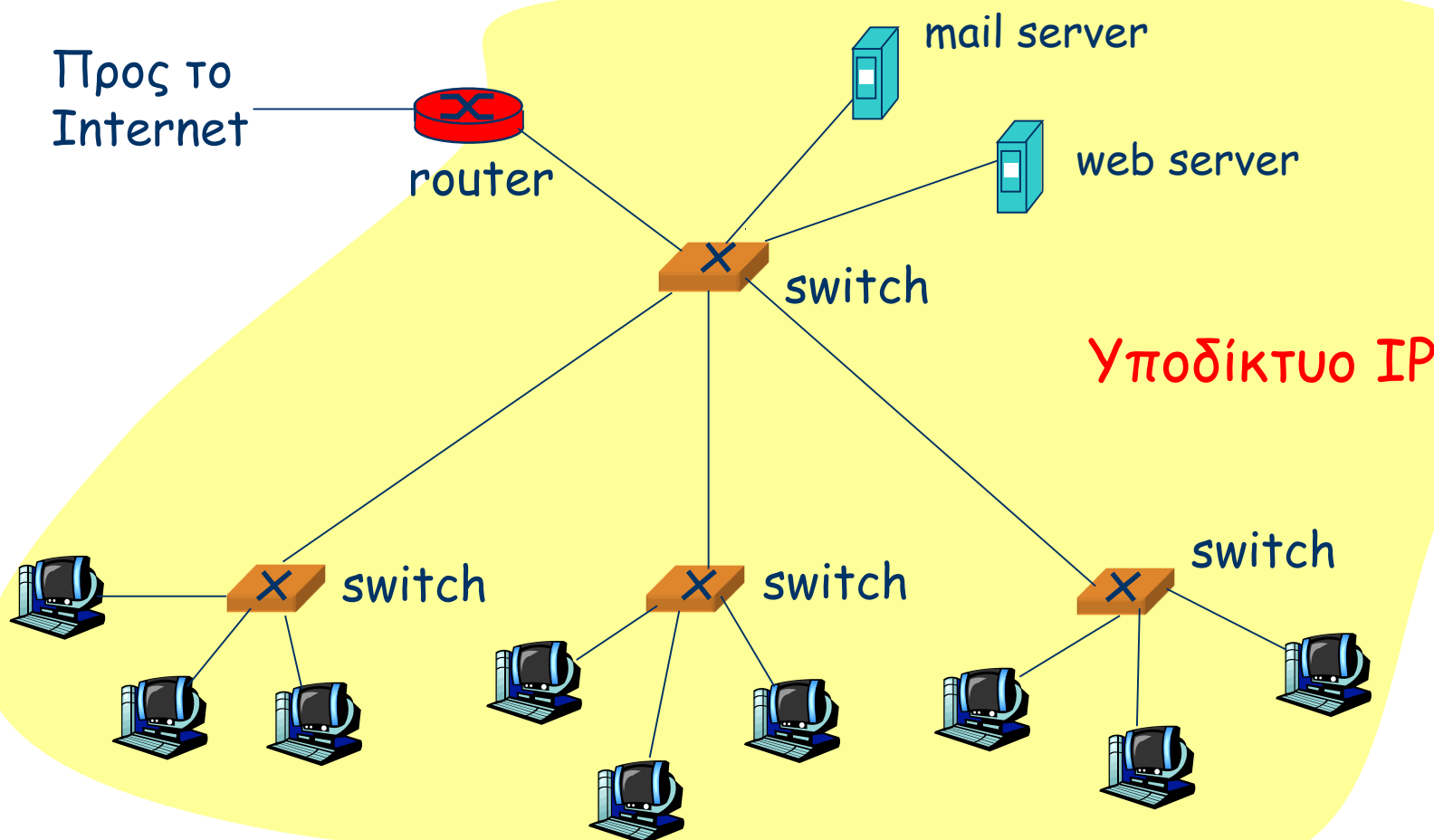
# Απομόνωση κίνησης

- Η εγκατάσταση γέφυρας ή μεταγωγέα χωρίζει το δίκτυο σε τμήματα LAN
  - τα τμήματα αποτελούν ξεχωριστές **επικράτειες συγκρούσεων** (collision domains)

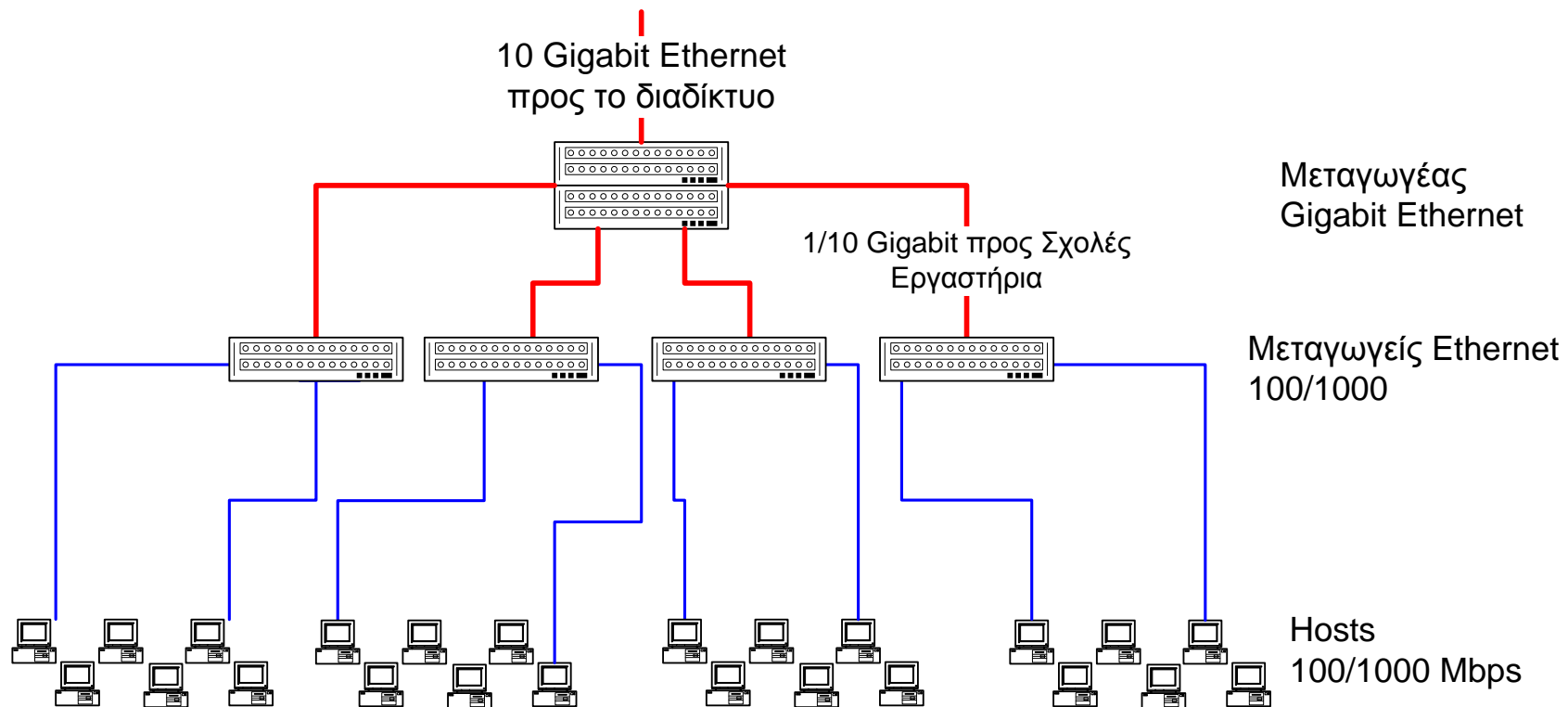


- Η μεταγωγή απαλείφει τις συγκρούσεις

# LAN με μεταγωγή



# Το LAN της Πολυτεχνειούπολης





# Επικαλύπτον δένδρο



# Τοπολογίες διασύνδεσης

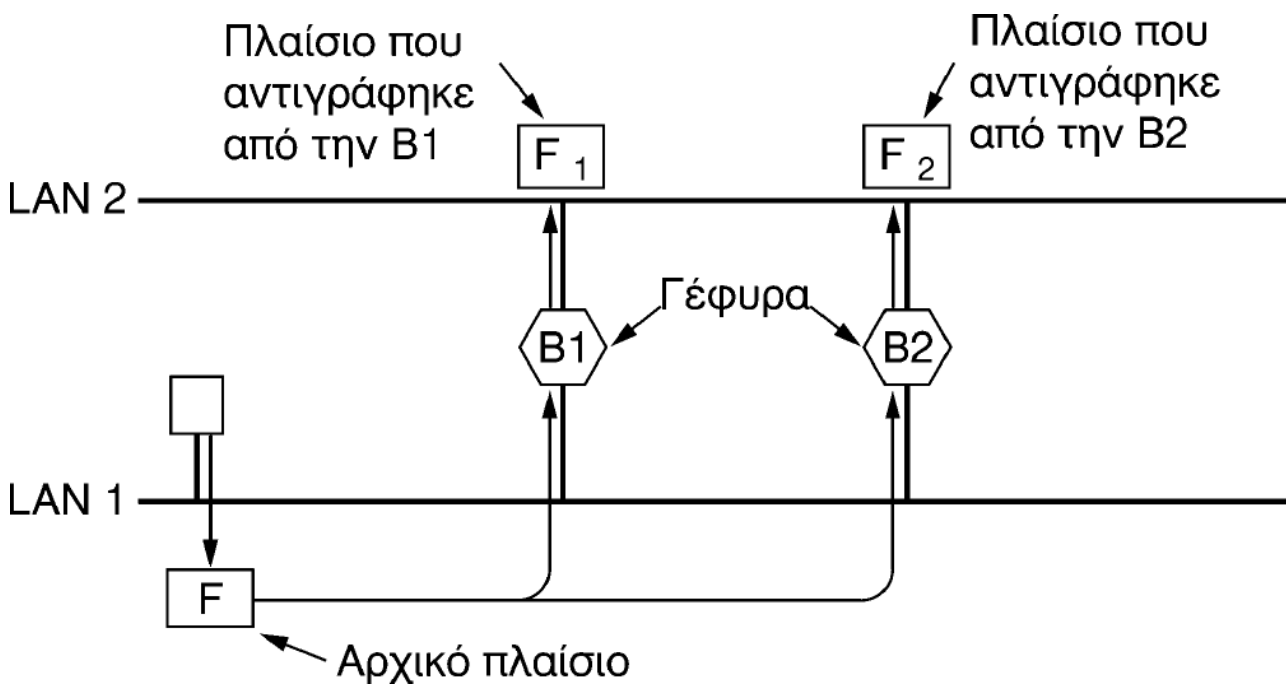


- Σε τοπικά δίκτυα που διασυνδέονται με γέφυρες, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι μεταξύ δύο host υπάρχει μία μόνο διαδρομή
- Όμως για μεγαλύτερη αξιοπιστία είναι επιθυμητό να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές από την πηγή στον προορισμό

# Τοπολογίες διασύνδεσης



- Με πολλές ταυτόχρονες διαδρομές, δημιουργούνται **βρόχοι** και οι γέφυρες μπορεί να πολλαπλασιάζουν και να προωθούν ένα πλαίσιο για πάντα

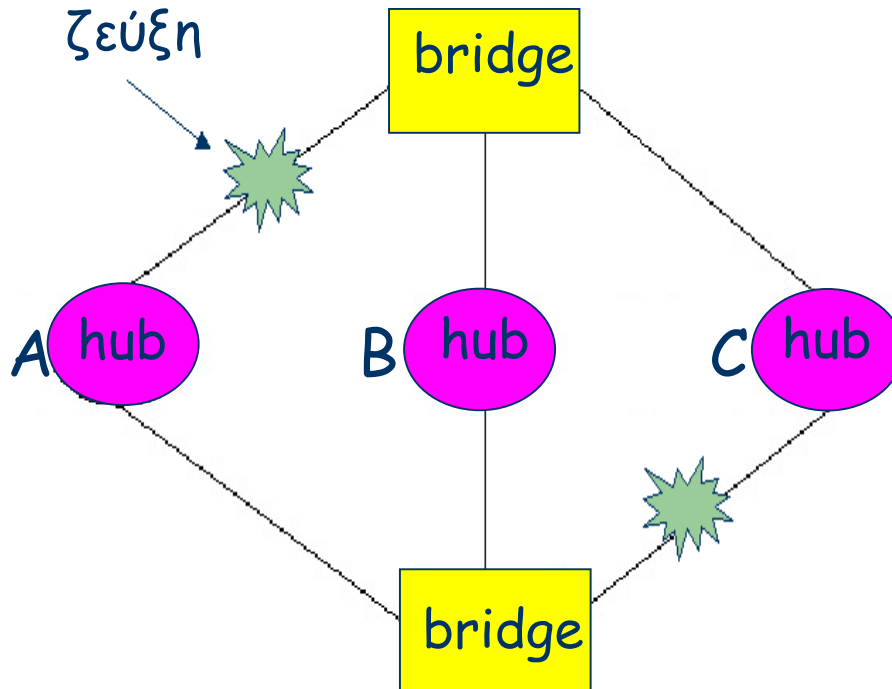




# Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών

- **Λύση:** οι γέφυρες οργανώνονται σε ένα επικαλύπτον δέντρο απομονώνοντας ένα υποσύνολο των διεπαφών
- Το επικαλύπτον δέντρο μπορεί να βελτιστοποιήσει τα κόστη (π.χ., μεγιστοποίηση του εύρους ζώνης)

Απενεργοποιημένη  
ζεύξη





# Οργάνωση δικτύων σε δέντρα

Πώς οι γέφυρες εγκαθιστούν επικαλύπτον δέντρο;

- Κατανεμημένο πρωτόκολλο επικαλύπτοντος δέντρου (spanning tree protocol)
- Οι γέφυρες ανταλλάσσουν μηνύματα ( BPDUs) της μορφής  $(R,c,S,p)$  όπου:
  - $R$  η ταυτότητα της ρίζας
  - $c$  το κόστος της συντομότερης διαδρομής ...
  - ... από τη γέφυρα  $S$  που στέλνει το μήνυμα
  - και  $p$  ο αριθμός της θύρας από την οποία στάλθηκε το μήνυμα
- Οι θύρες των γεφυρών έχουν μια από τις καταστάσεις:
  - επιλεγμένη (designated)
  - ριζική (root)
  - απομονωμένες (blocked)



# Ο αλγόριθμος

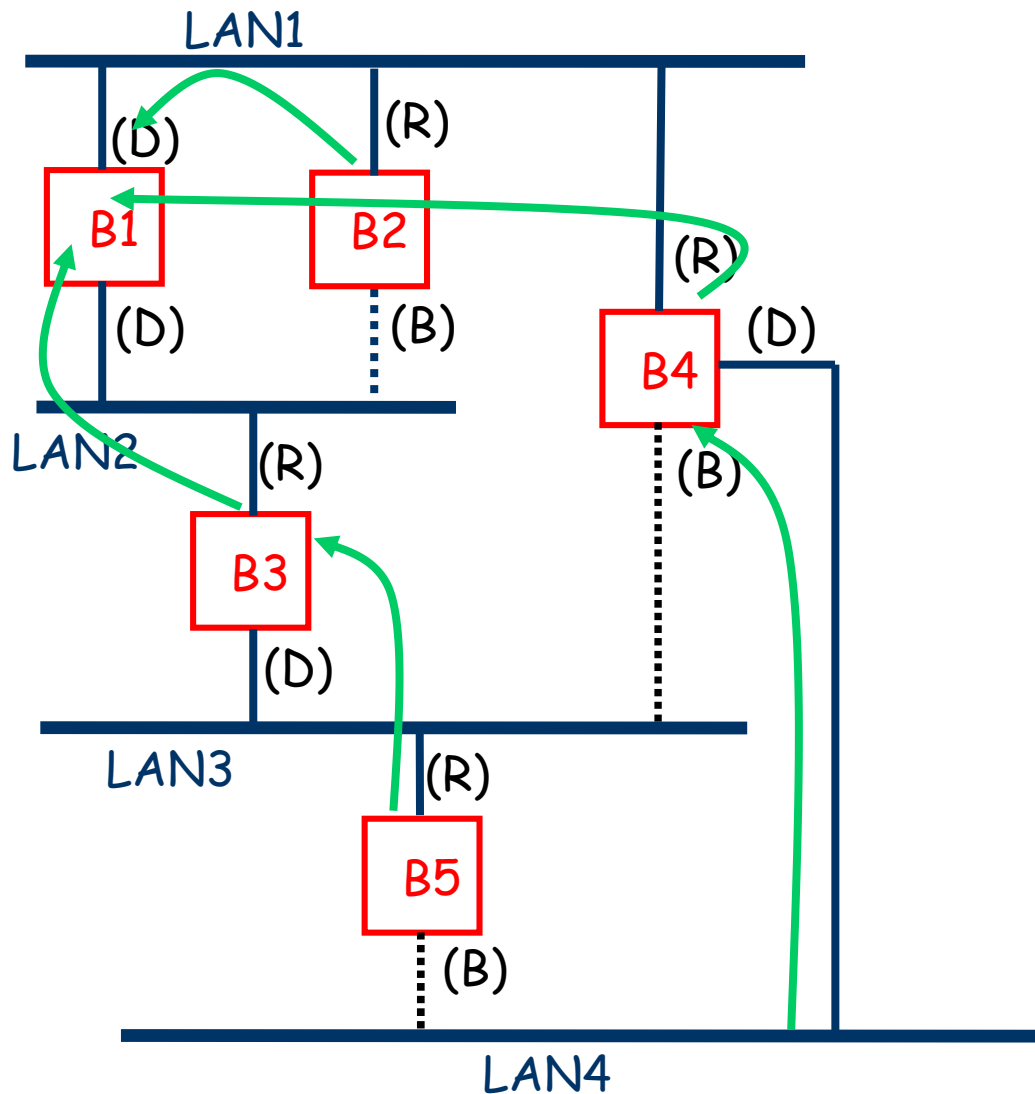
- Επιλέγεται η γέφυρα **ρίζα (root)** του δέντρου
  - Αρχικά όλες οι γέφυρες θεωρούν ότι είναι ρίζες ( $S, 0, S, p$ )
  - Η γέφυρα με τον μικρότερο σειριακό αριθμό  $R$  γίνεται η ρίζα
  - Όλες οι θύρες της ρίζας είναι **επιλεγμένες (designated)**
  - Στέλνουν την BPDU ( $R, 0, R, p$ )
- Επιλογή της **ριζικής θύρας (root port)**
  - Όλες οι γέφυρες υπολογίζουν για κάθε θύρα την απόσταση προς τη ρίζα προσθέτοντας στο κόστος των BPDU που λαμβάνουν το κόστος της ζεύξης από την οποία φτάνουν οι BPDU
  - Η θύρα με τη μικρότερη απόσταση είναι η ριζική (root)
  - Υπάρχει **μόνο μία** ριζική θύρα για κάθε γέφυρα
  - Η γέφυρα διαφημίζει πλέον την ελάχιστη απόσταση προς τη ρίζα



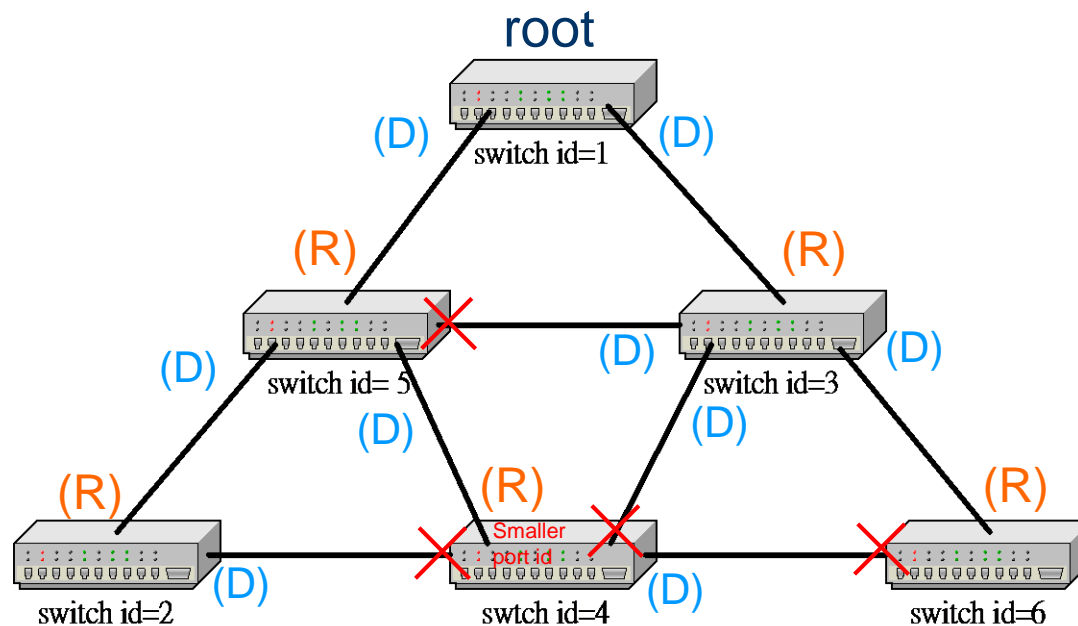
# Ο αλγόριθμος

- Προσδιορισμός επιλεγμένων θυρών (designated port)
  - Οι θύρες όπου το κόστος της γέφυρας είναι μικρότερο από το κόστος των BPDUs που αυτή ακούει
  - Στις επιλεγμένες θύρες η γέφυρα προωθεί κίνηση
- Πόρτες που δεν είναι επιλεγμένες ή ριζικές είναι απομονωμένες (blocked)
- Το επικαλύπτον δένδρο σχηματίζεται ενώνοντας τις επιλεγμένες θύρες με τη ριζική
  - Οι επιλεγμένες θύρες και η ριζική θύρα προωθούν πλαίσια
  - Οι απομονωμένες δεν προωθούν κίνηση, λαμβάνουν BPDUs
  - Οι επιλεγμένες θύρες στέλνουν και λαμβάνουν BPDUs
  - Η ριζική θύρα λαμβάνει μόνο BPDUs

# Παράδειγμα



# Παράδειγμα







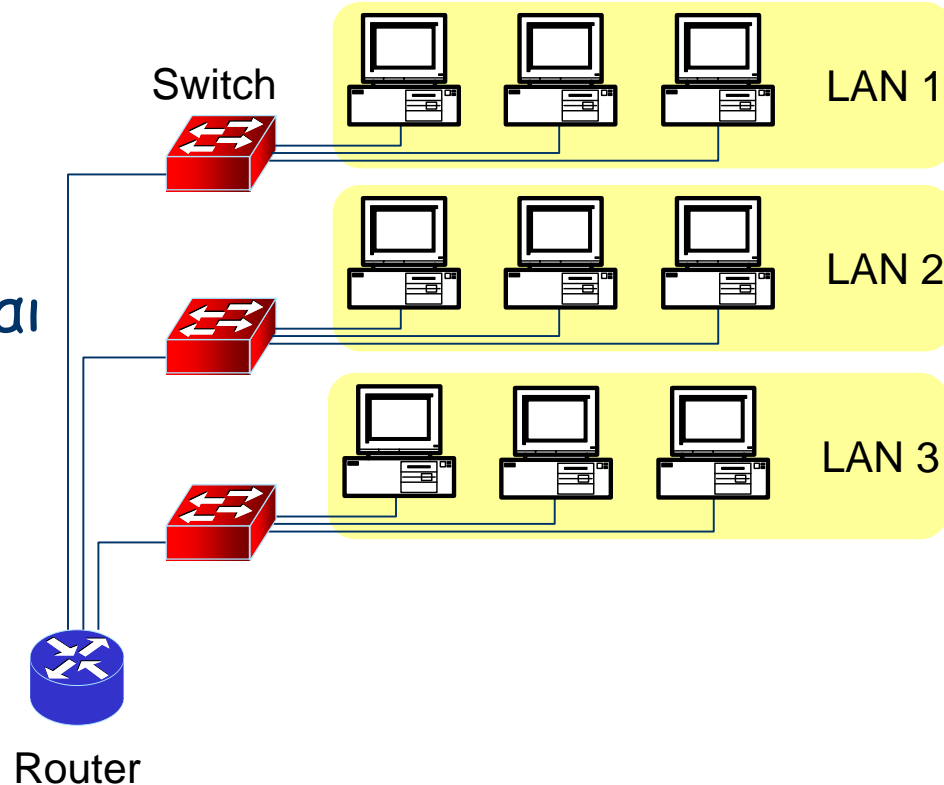
# Virtual LANs

# Διαχωρισμός σε υποδίκτυα



## Η παραδοσιακή λύση:

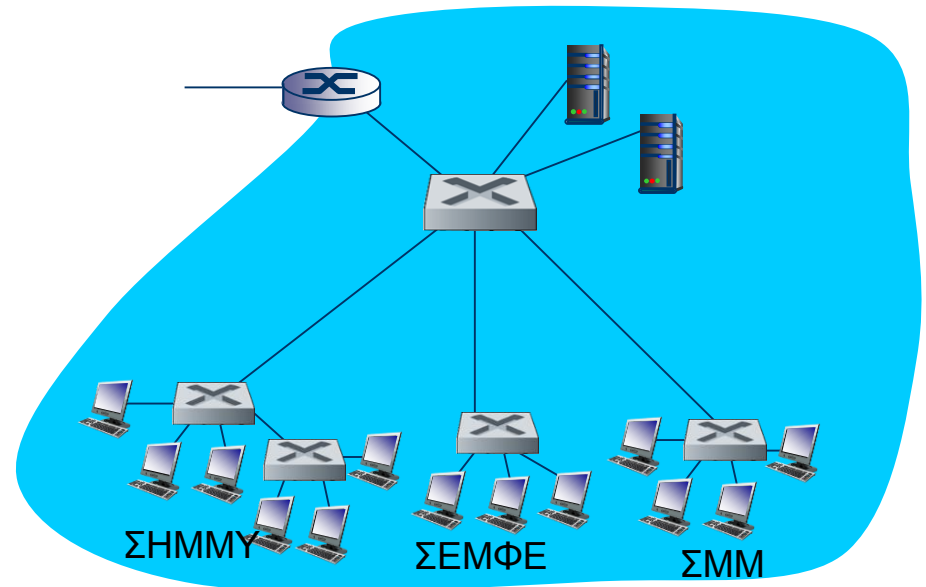
- Διαχωρισμός των περιοχών εκπομπής
- Κάθε μικρότερο LAN είναι ένα υποδίκτυο IP
- Διασύνδεση των LAN με δρομολογητές
- Μειονέκτημα: Η συμμετοχή host σε ένα LAN συνδέεται με τη θέση του





# Εικονικά LAN. Γιατί;

- Ένας χρήστης από την ΣΕΜΦΕ μετακινείται σε γραφείο στην ΣΗΜΜΥ, αλλά θέλει να μείνει στο δίκτυο της ΣΕΜΦΕ
- Μία περιοχή εκπομπής:
  - Όλη η κίνηση εκπομπής στο στρώμα 2 (άγνωστη θέση προορισμού) διασχίζει όλο το LAN

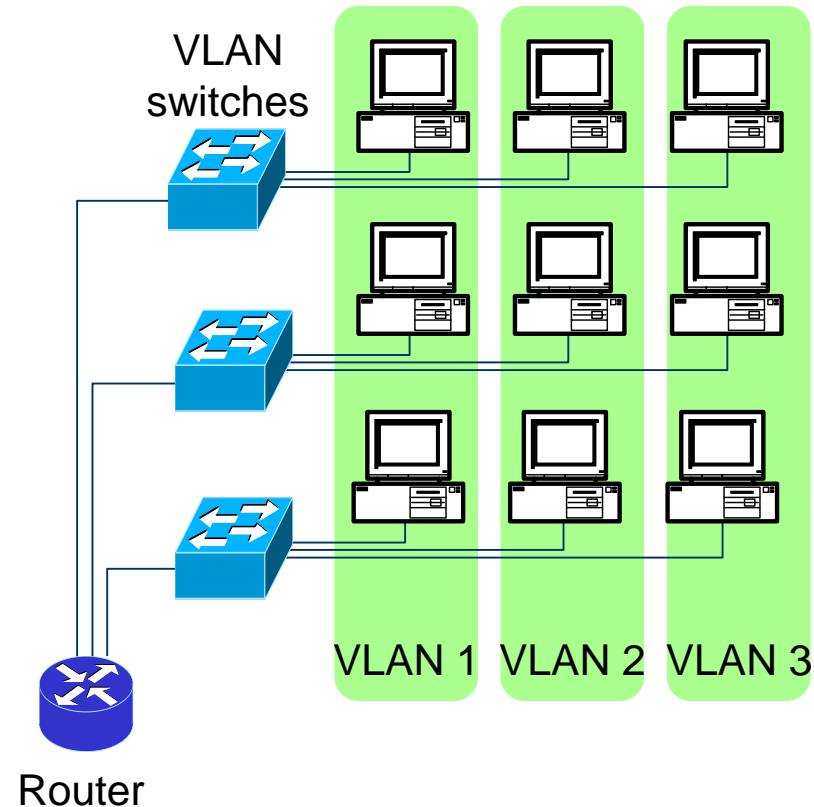




# Virtual Local Area Networks

## Καλύτερη λύση: VLANs

- Χρησιμοποιούνται σε μεγάλα LAN
- Διαχωρίζουν την περιοχή εκπομπής από τη θέση των host
- Οι μεταγωγείς χειρίζονται την κίνηση εντός των VLAN
- η κίνηση μεταξύ VLAN προωθείται μέσω δρομολόγησης

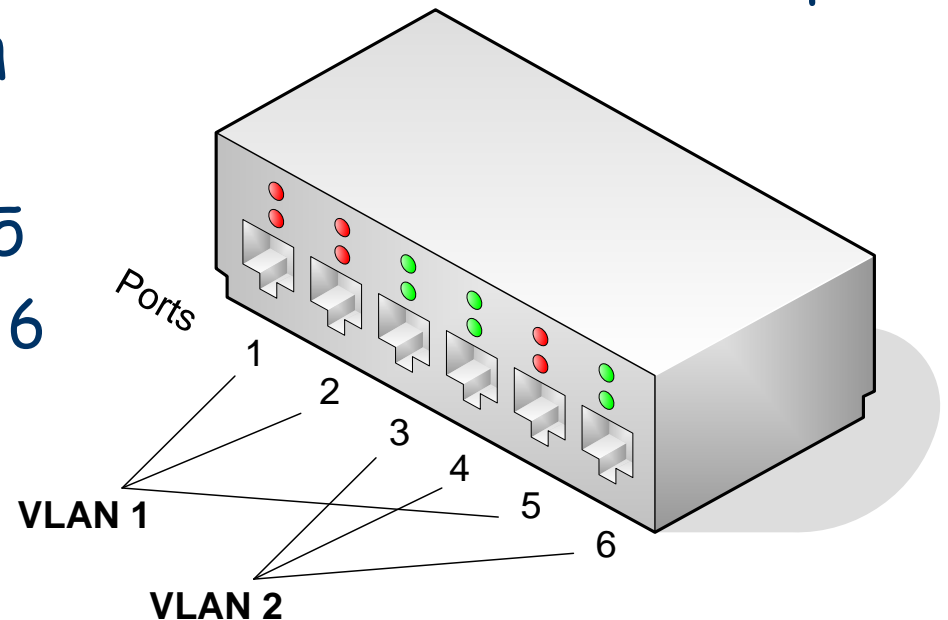




# Διάρθρωση των VLAN

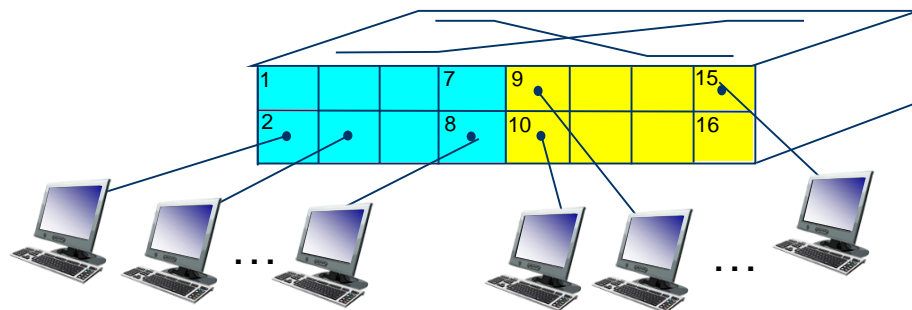
- Οι θύρες ενός μεταγωγέα Ethernet μπορούν να αντιστοιχισθούν (χειροκίνητα) σε διαφορετικά VLAN
- Έτσι ορίζουμε πολλαπλά εικονικά LAN πάνω από μία κοινή φυσική υποδομή

- VLAN 1: Θύρες 1, 2, 5
- VLAN 2: Θύρες 3, 4, 6



- Τα VLAN μπορούν να ορισθούν και με βάση τη διεύθυνση MAC, αντί της θύρας

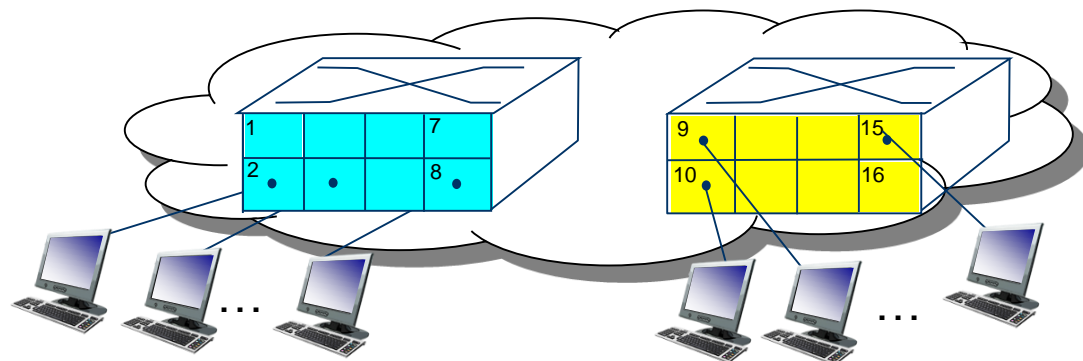
# VLAN ανά Θύρα (Port-based VLAN)



Electrical Engineering  
(VLAN ports 1-8)

Computer Science  
(VLAN ports 9-15)

Ένας μοναδικός μεταγωγέας εμφανίζεται ως  
πολλοί εικονικοί μεταγωγείς



Electrical Engineering  
(VLAN ports 1-8)

Computer Science  
(VLAN ports 9-16)



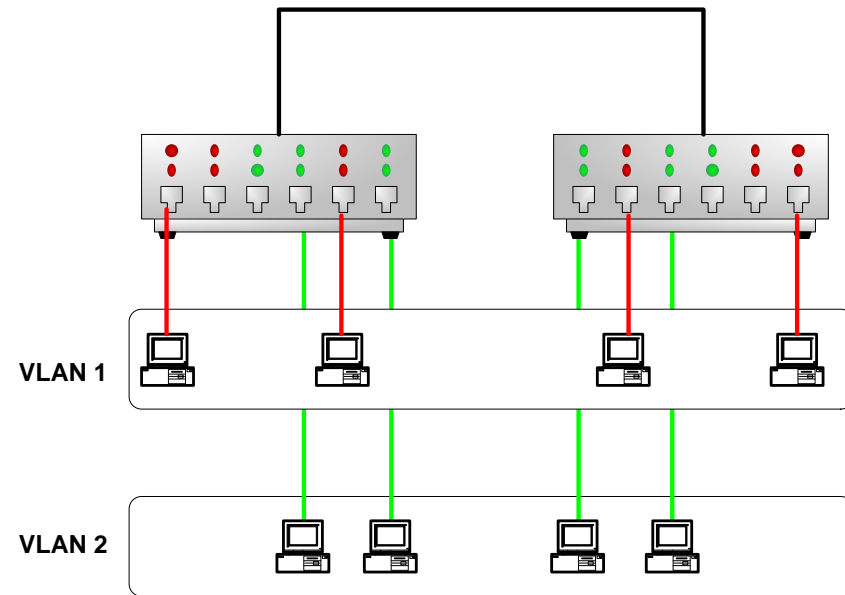
# Πρωώθηση μεταξύ VLAN

- Ο μεταγωγέας διαχωρίζει πλήρως την κίνηση από διαφορετικά VLAN (απομόνωση κίνησης)
  - Κίνηση από τις θύρες 1,2,5 μπορεί να φτάσει μόνο σε αυτές
- Μεταξύ VLAN η κίνηση προωθείται μέσω δρομολόγησης (ως εάν ήταν διαφορετικοί μεταγωγείς)
  - Στην πράξη οι κατασκευαστές πωλούν συσκευές που συνδυάζουν τη λειτουργία μεταγωγέα και δρομολογητή



# VLAN με πολλούς μεταγωγείς

- Εάν το VLAN εκτείνεται σε πολλούς μεταγωγείς, η κίνηση μεταξύ των μεταγωγέων ανήκει σε διαφορετικά VLAN
- Οι μεταγωγείς πρέπει να είναι σε θέση να αποπολυπλέκουν την κίνηση των διαφορετικών VLAN



→ Trunk ports

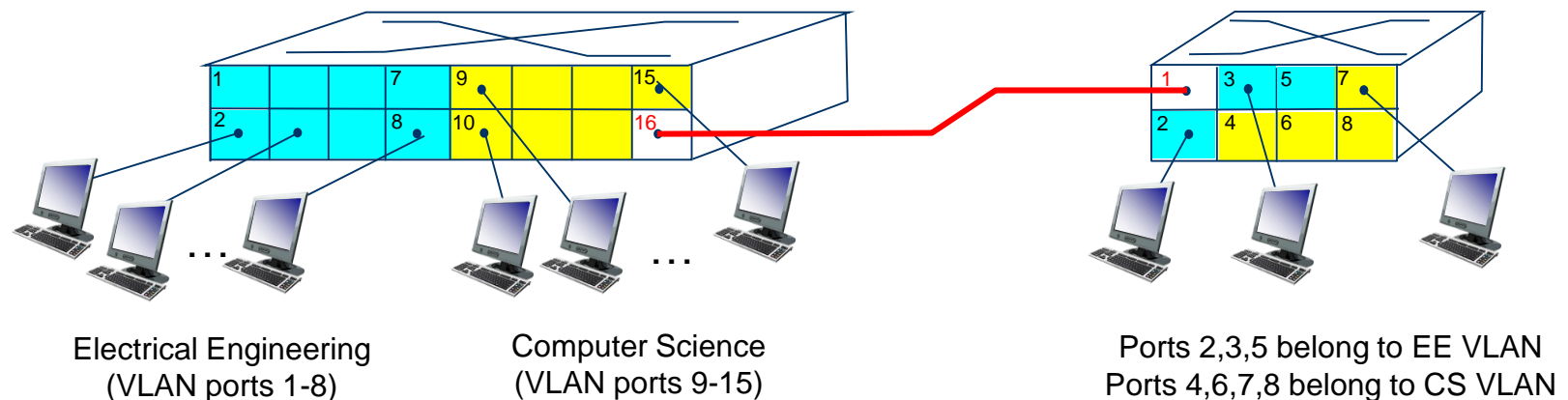
→ VLAN tags





# Θύρες κορμού (Trunk ports)

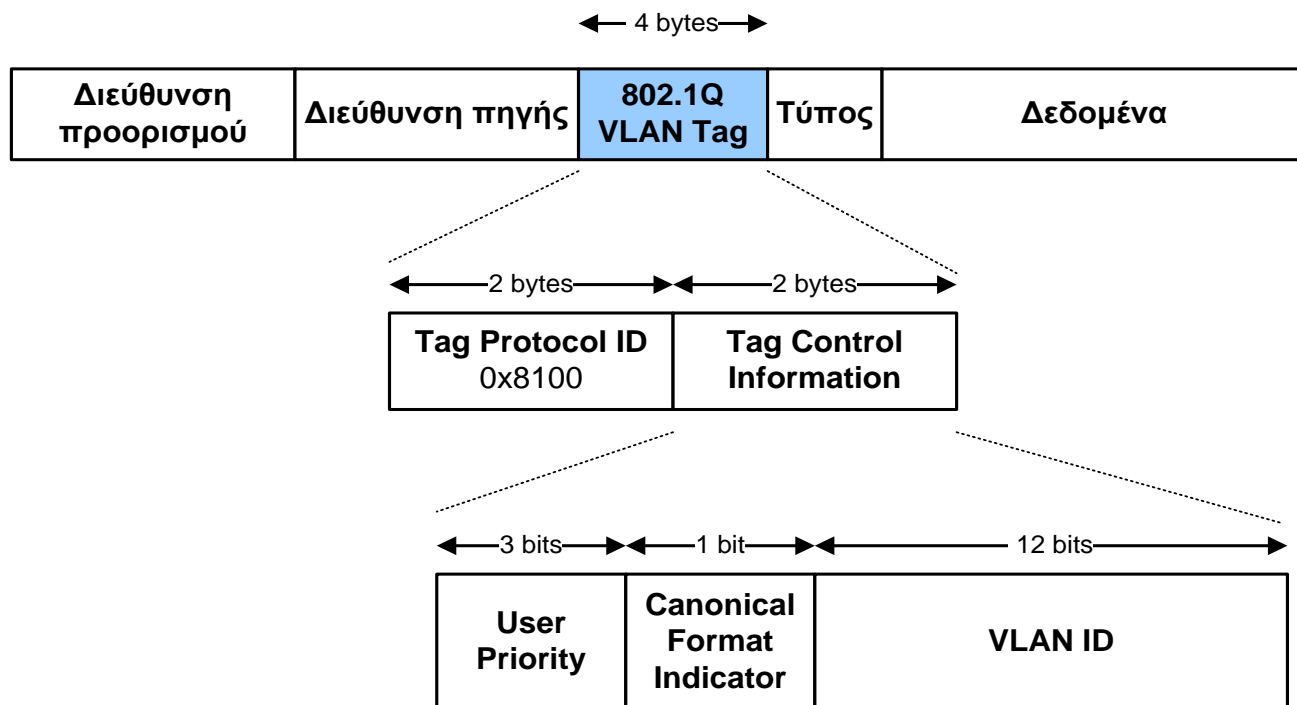
- Οι θύρες κορμού μεταφέρουν πλαίσια διαφορετικών VLAN που ορίζονται πάνω από πολλαπλούς φυσικούς μεταγωγείς
  - Τα πλαίσια ενός VLAN μεταξύ μεταγωγέων έχουν τις ετικέτες **VLAN tags 802.1Q**



# IEEE 802.1Q: Ετικέτες VLAN



- Για κίνηση VLAN μεταξύ μεταγωγέων προστίθεται στα πλαίσια Ethernet μια ετικέτα που προσδιορίζει το LAN
- Οι ετικέτες μπορεί να γίνουν διαφανείς για τα ακραία συστήματα (αφαίρεση κατά την παράδοση)





# Τα πεδία της ετικέτας 802.1Q

- **Tag Protocol Identifier:**

- Η τιμή 0x8100 δηλώνει ετικέτα 802.1Q
- Βρίσκεται στη θέση του πεδίου τύπος
- τα πλαίσια με ετικέτες ξεχωρίζουν εύκολα

- **User Priority:**

- Τίθεται από τον αποστολέα για να δώσει προτεραιότητες σε διαφορετικά είδη κίνησης (π.χ., φωνή, δεδομένα)
- Το 0 αντιστοιχεί σε κίνηση best effort
- Το 1 αντιστοιχεί στη χαμηλότερη προτεραιότητα και το 7 στην μεγαλύτερη

- **Canonical Format Indicator:**

- 0 για μεταγωγείς Ethernet
- 1 εάν η διεύθυνση πρωτοκόλλου MAC δεν είναι στην κανονική μορφή (π.χ. δακτύλιος με σκυτάλη)

- **VLAN Identifier (VID):**

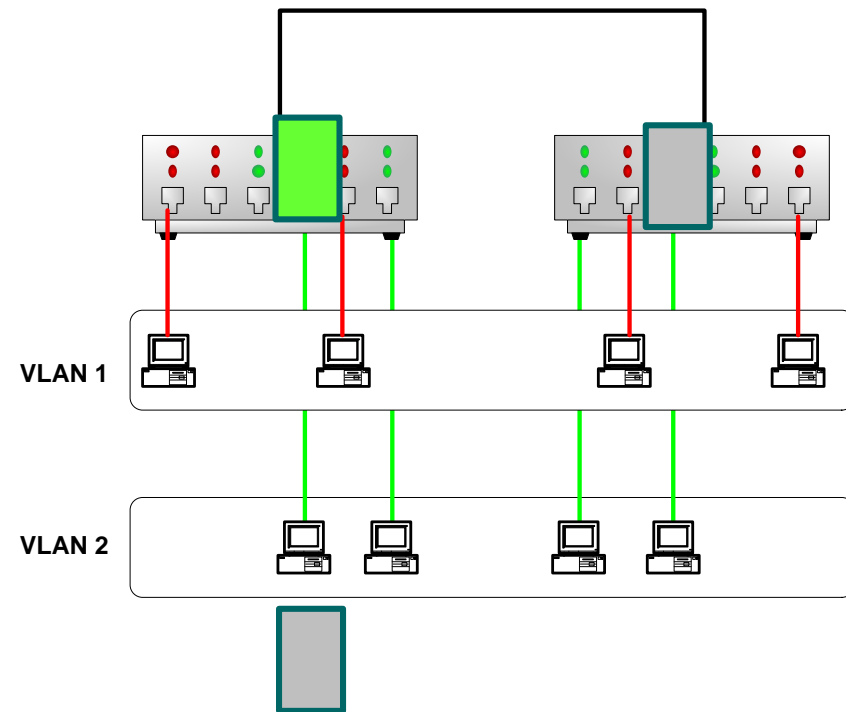
- Προσδιορίζει το VLAN (1 - 4094)
- Η τιμή 0x000 δείχνει πλαίσιο που δεν ανήκει σε κανένα VLAN (priority tag)
- Η τιμή 0xffff δεν έχει χρήση



# Ετικέτες VLAN

## Κανονική λειτουργία:

- Ο αποστολέας στέλνει ένα πλαίσιο
- Ο πρώτος μεταγωγέας προσθέτει την ετικέτα
- Ο τελευταίος μεταγωγέας την αφαιρεί





# Περισσότερα για τα VLAN

- Οι θύρες μπορεί να αντιστοιχούνται δυναμικά σε VLAN (**δυναμική συμμετοχή**)
  - Η συμμετοχή σε VLAN μπορεί να βασισθεί στη διεύθυνση MAC, το πρωτόκολλο (π.χ., IPv4, IPv6), το υποδίκτυο, τη θύρα TCP/UDP ή άλλη πληροφορία του πακέτου
- Επιτρέπονται πολλαπλά VLAN ανά θύρα μεταγωγέα (trunking)
  - Βρίσκει χρήση σε εξυπηρετητές
- Η φυσιολογική λειτουργία είναι να υπάρχει ένα επικαλύπτον δένδρο για όλα τα VLAN
  - Υπάρχουν επιπλέον πρωτόκολλα για την υποστήριξη πολλαπλών δένδρων



# Δίκτυα Καθοριζόμενα από Λογισμικό

# Τυπικός Μεταγωγέας



Ethernet Switch/Router



Έλεγχος (Λογισμικό)

Δεδομένα (Υλικό)

# Software Defined Networks (SDN)



- Διαχωρισμός της ευφυΐας του δικτύου από τη λειτουργία της προώθησης.
- **Data plane:** προώθηση πακέτων
  - Βάση τοπικής πληροφορίας κατάστασης
    - MAC προορισμού, VLAN tag, διεύθυνση IP, θύρα TCP κλπ
- **Control plane:** προσδιορισμός της πληροφορίας κατάστασης
  - Επικοινωνία με το υπόλοιπο δίκτυο
- Το SDN απαιτεί μια μέθοδο ώστε το control plane να επικοινωνεί με το data plane
  - Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι το **OpenFlow**





- Μια προγραμματιστική διεπαφή (API)
  - Έλεγχος της προώθησης πακέτων
  - Υλοποίηση σε εμπορικούς μεταγωγείς
- Καθιστά τα δίκτυα προγραμματιζόμενα μέσω λογισμικού, όχι απλώς διαχειρίσιμα
- Αποτέλεσμα:
  - Μεγαλύτερη ευελιξία, νέες εφαρμογές
  - Μειωμένο κόστος



# Μεταγωγέας OpenFlow

Ελεγκτής OpenFlow

Πρωτόκολλο OpenFlow (SSL/TCP)



Έλεγχος

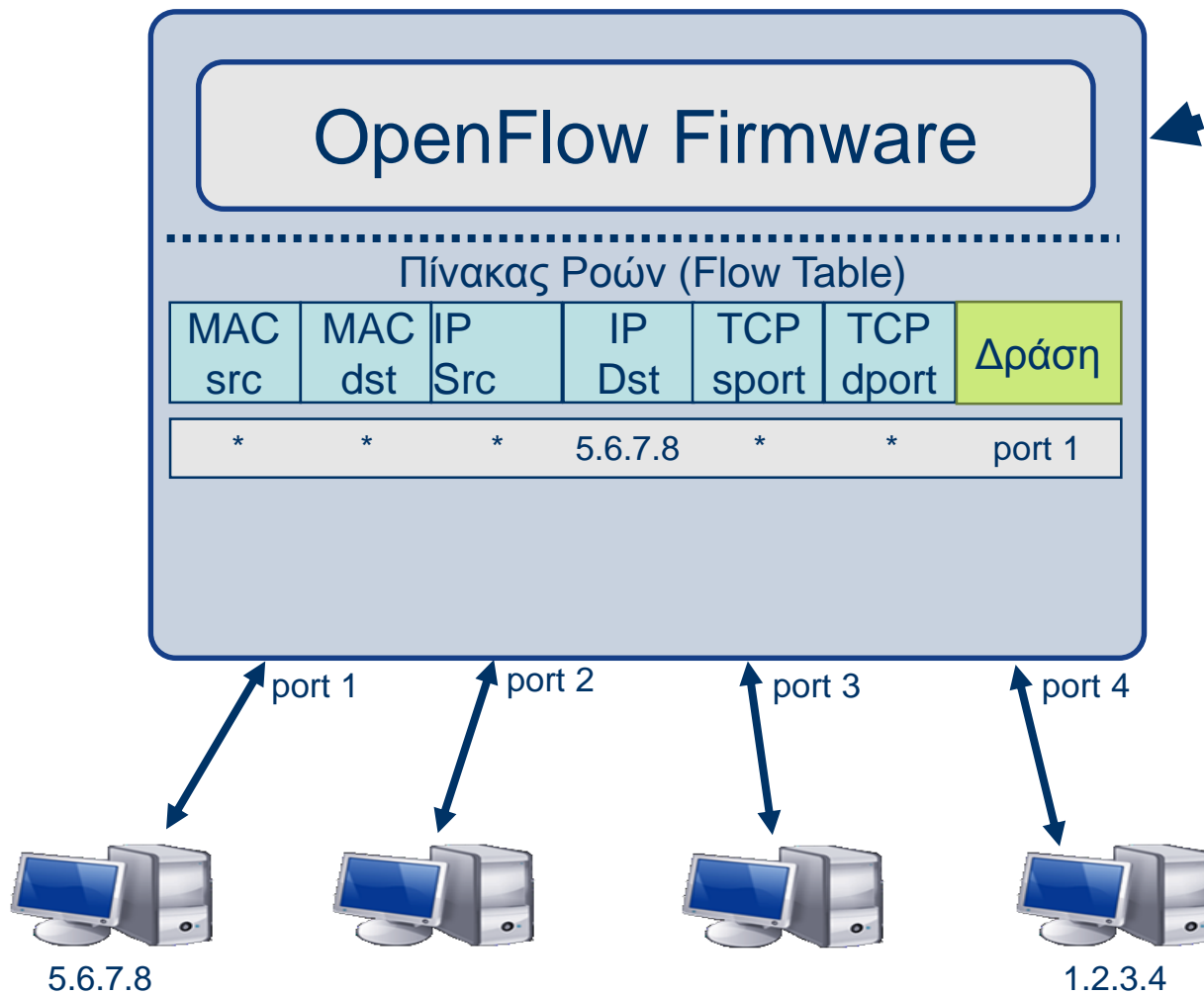
OpenFlow

Δεδομένα (Υλικό)

# Πίνακες OpenFlow



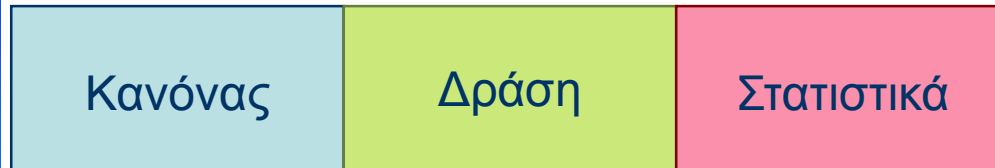
Ελεγκτής



Δίκτυα Υπολογιστών



# Πίνακες OpenFlow



Απαριθμητές πακέτων, byte, κλπ

1. Προώθηση σε θύρα (-ες)
2. Ενθυλάκωση και προώθηση στον ελεγκτή
3. Απόρριψη
4. Κανονική επεξεργασία
5. Τροποποίηση πεδίων

Switch Port	VLAN ID	MAC src	MAC dst	Eth type	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport
-------------	---------	---------	---------	----------	--------	--------	---------	-----------	-----------

+ μάσκα για τα πεδία που πρέπει να ταιριάζουν



Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Δράση
*	*	00:1f:...	*	*	*	*	*	*	*	port6

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Δράση
port3	00:20:..	00:1f:..	0800	vlan1	1.2.3.4	5.6.7.8	4	17264	80	port6

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Δράση
*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	forward drop

# Παραδείγματα



## Δρομολόγηση

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Δράση
*	*	*	*	*	*	5.6.7.8	*	*	*	port6

## Μεταγωγή VLAN

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Δράση
*	*	00:1f..	*	vlan1	*	*	*	*	*	port6, port7, port9