



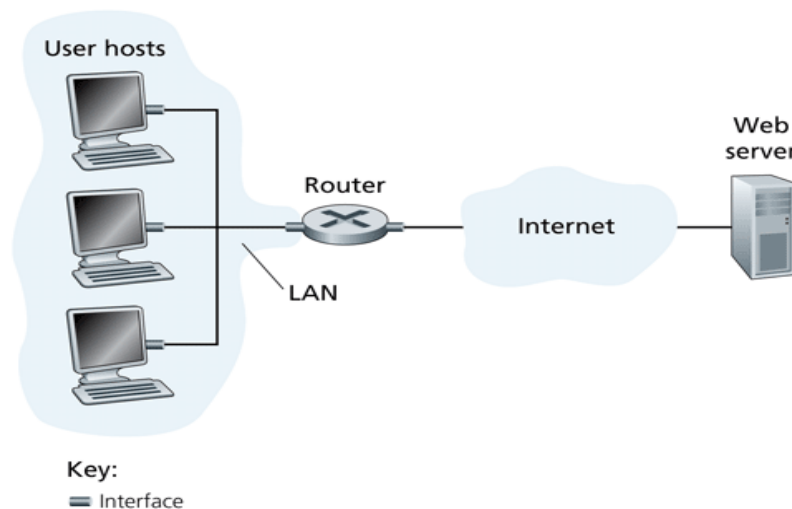
# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Τοπικά δίκτυα



# Πρόσβαση στο διαδίκτυο

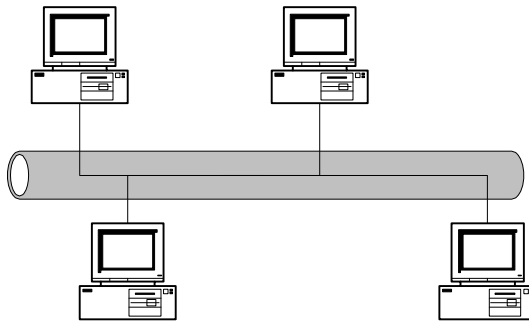
- Τα **τοπικά δίκτυα (Local Area Networks -LANs)** είναι ο συνήθης τρόπος πρόσβασης υπολογιστών στο διαδίκτυο
- Η ζεύξη μεταξύ **υπολογιστών (hosts)** και **δρομολογητή (router)** είναι ένας **διάυλος εκπομπής (broadcast channel)**



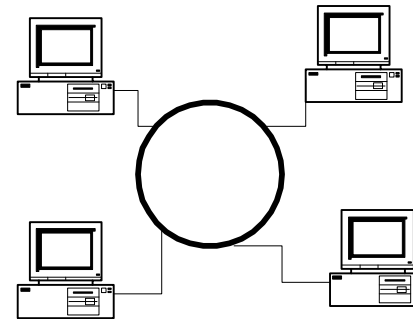


# Local Area Network (LAN)

- Διασυνδέει υπολογιστές μέσα σε ένα κτίριο, πανεπιστημιούπολη ή εταιρικό δίκτυο
- Οι τυπικές τοπολογίες είναι:
  - αρτηρία (bus)
  - δακτύλιος (ring)
  - αστέρας (star)



Bus LAN

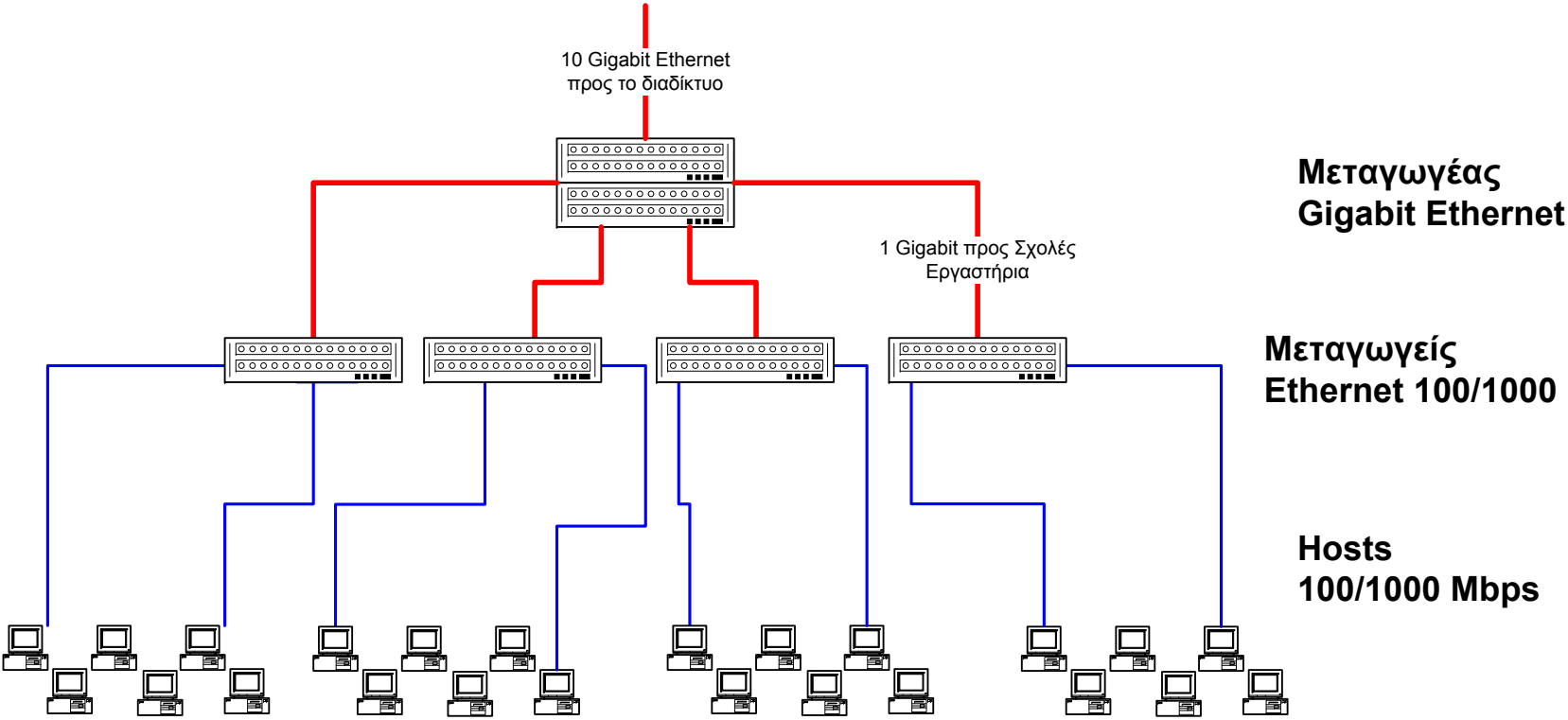


Ring LAN

- Θα ασχοληθούμε μόνο με τα LAN τύπου Ethernet



# Το LAN της Πολυτεχνειούπολης

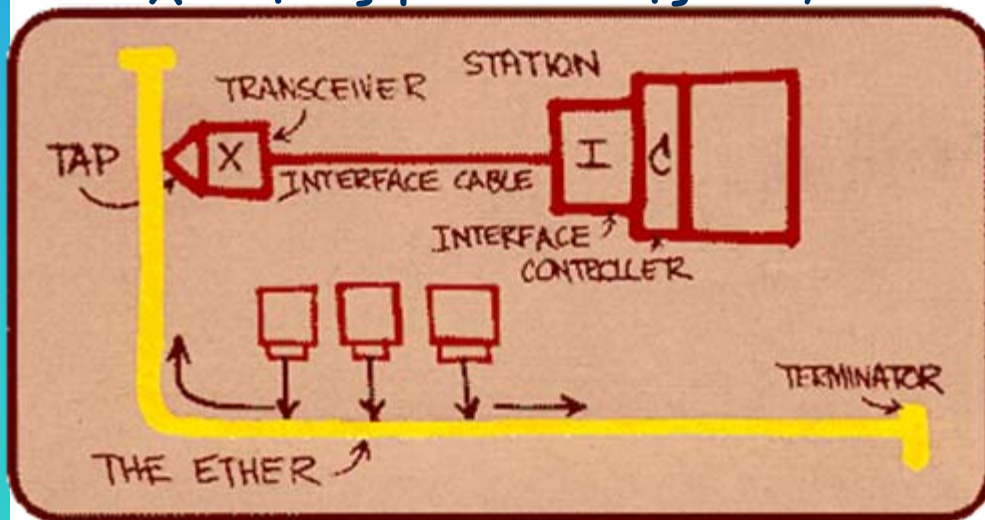




# Ethernet

## Η "επικρατέστερη" τεχνολογία LAN:

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



Το πρώτο σκαρίφημα του Metcalfe που οδήγησε στο Ethernet 10Base5

# Ethernet



- 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 μsec
- για  $m=10$ , δηλαδή  $K=1023$ , ο χρόνος αναμονής είναι περίπου 52.4 msec

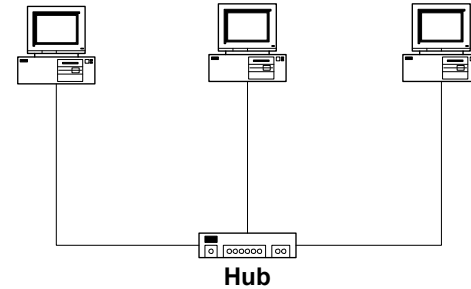
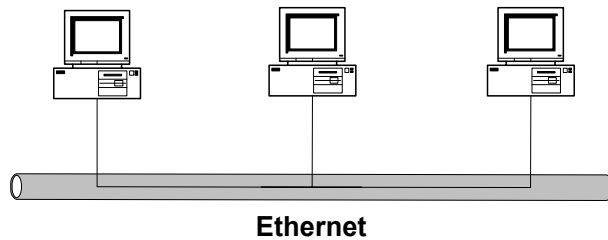
## Εκθετική υποχώρηση:

- **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  $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

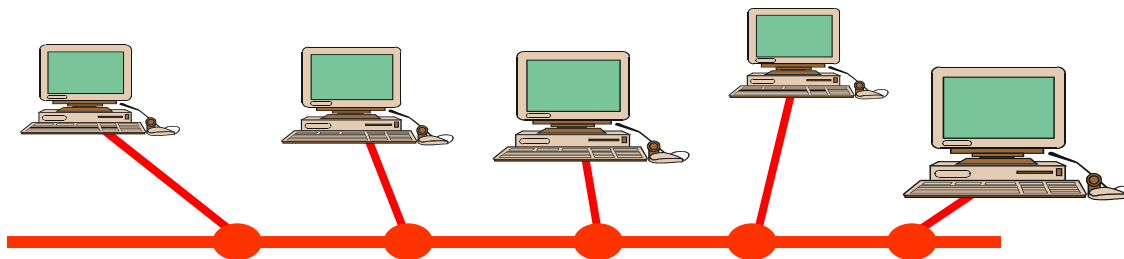


# Τοπολογίες Ethernet

- Το Ethernet έχει τοπολογία αρτηρίας ή αστέρα



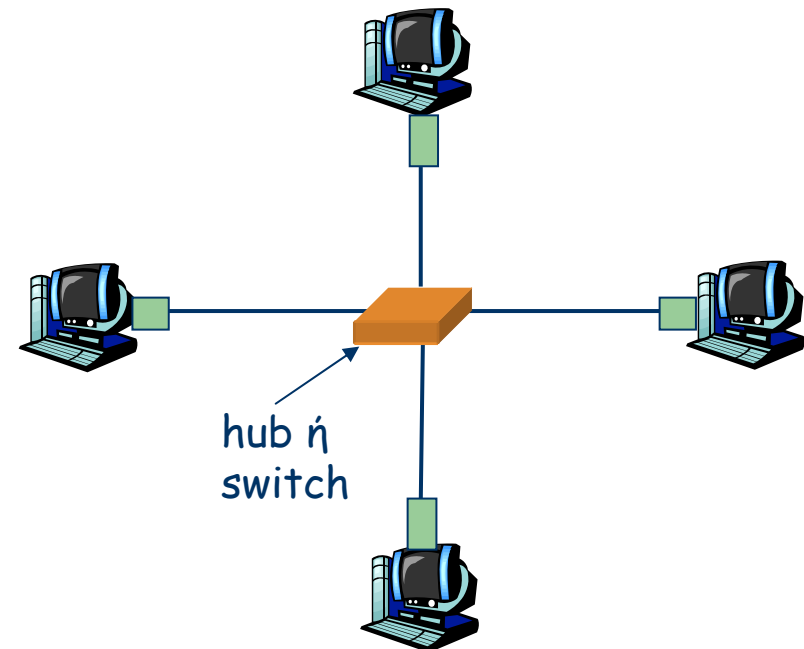
- Η τοπολογία αρτηρίας ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1990
  - Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στην ίδια επικράτεια συγκρούσεων





# Τοπολογία αστέρα

- 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



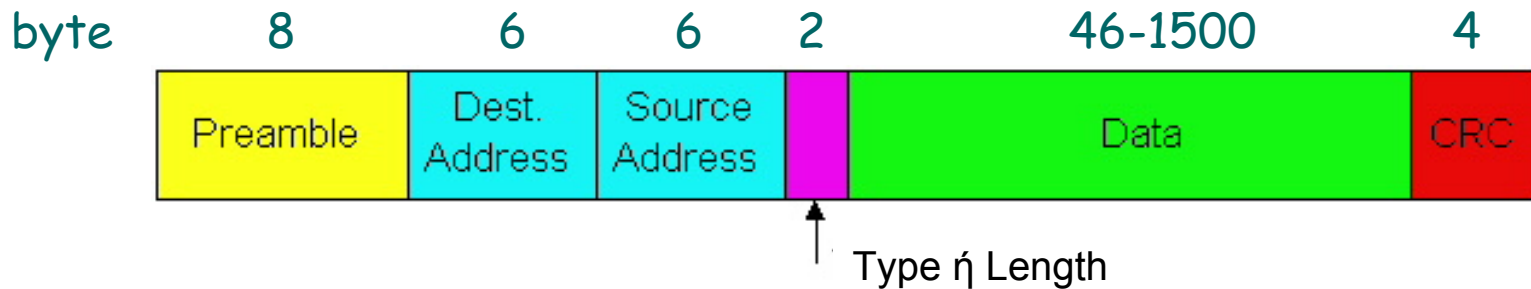


# Το πλαίσιο Ethernet



# Δομή πλαισίου 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

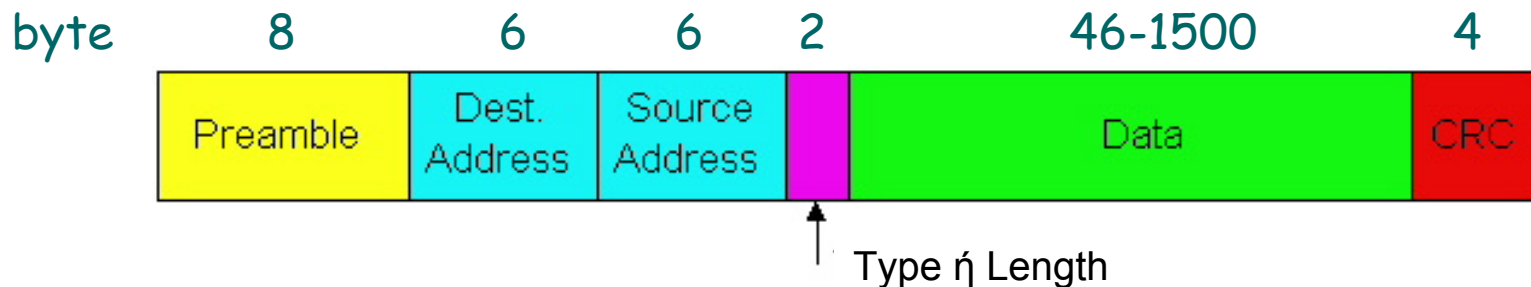
- **Address:** 6 byte σε κάθε πεδίο
  - Είναι παγκόσμια μοναδικές
  - Κάθε διεύθυνση αντιστοιχεί σε μία κάρτα δικτύου
- **Type:** 2 byte, στην ενθυλάκωση Ethernet, δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος, π.χ. IP (0x0800)
  - Υποστηρίζονται και άλλα πρωτόκολλα, όπως π.χ. ARP (0x0806), RARP (0x8035),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



# Το προοίμιο

## ● Preamble:

- 7 byte της μορφής 10101010 ακολουθούμενα από 1 byte της μορφής 10101011
- χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του δέκτη με τον αποστολέα και δείχνει την αρχή του πλαισίου

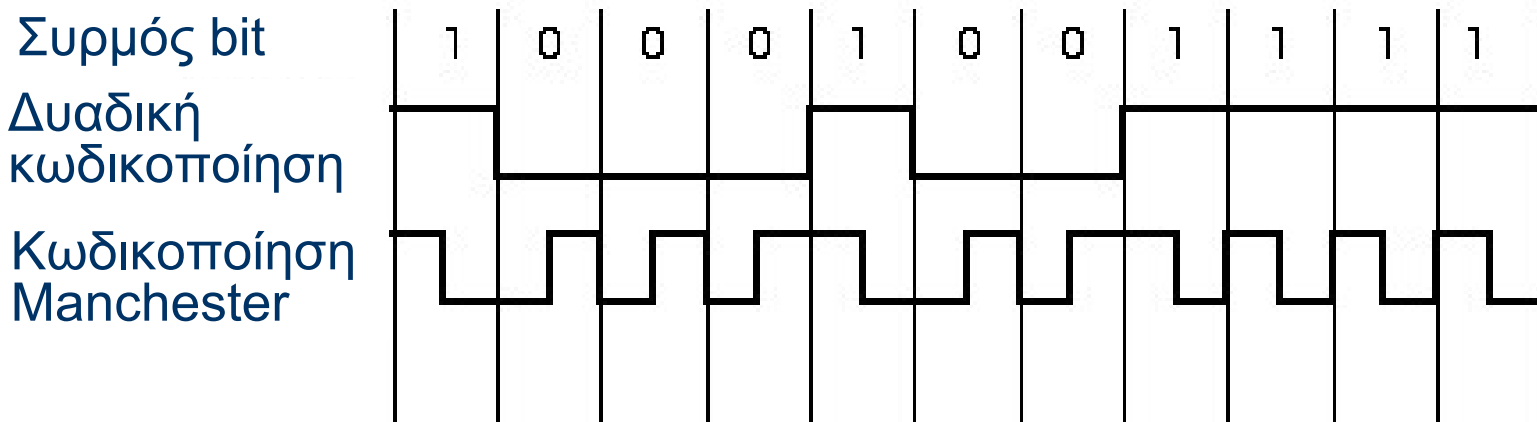


- το προοίμιο δεν προσμετρείται στο μήκος του πλαισίου
  - Μέγιστο μέγεθος πλαισίου  $6+6+2+1500+4=1518$  byte
  - Ελάχιστο μέγεθος πλαισίου  $6+6+2+46+4=64$  byte
- διάκενο μεταξύ πλαισίων 96 bit

# Μετάδοση βασικής ζώνης - Κωδικοποίηση Manchester



- Για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη βοηθά η κωδικοποίηση στο φυσικό στρώμα
- Η αρχική έκδοση του Ethernet χρησιμοποιεί κωδικοποίηση Manchester
  - Μετάβαση στο μέσο κάθε bit
  - δεν απαιτείται κεντρικό ρολόι μεταξύ των κόμβων







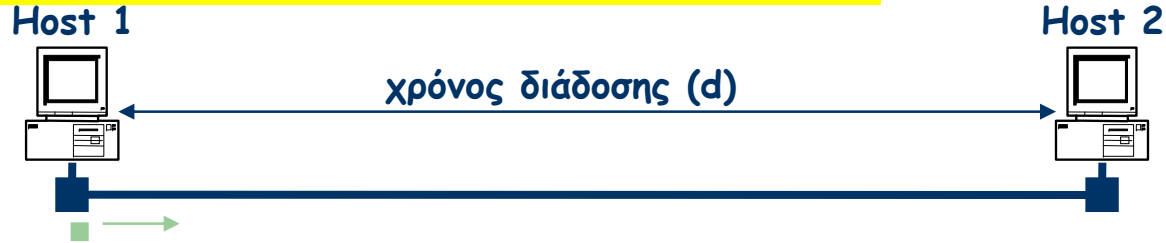
# Ελάχιστο μήκος πλαισίου Ethernet

- 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 ελάχιστου μήκους πλαισίου και του μήκους του LAN;

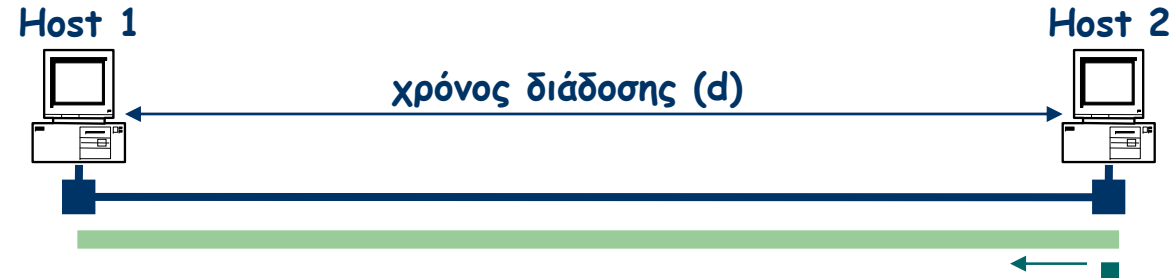


# Μέγιστο μήκος LAN

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



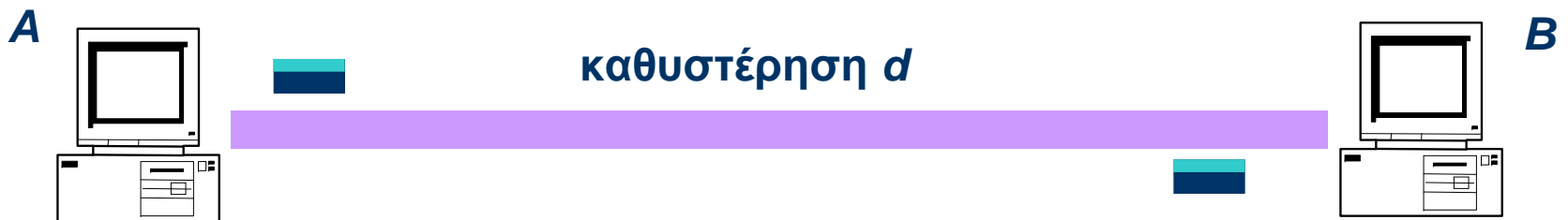
→ ανιχνεύει τη σύγκρουση

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



# Παράδειγμα: Ethernet 10 Mbps

- Μέγιστο μήκος καλωδίου: 2500 m
  - Ελάχιστο μήκος πλαισίου: 512 bit (64 byte)
    - Χρόνος μετάδοσης 512 bit = 51.2  $\mu$ sec (στα 10 Mbps)
    - Για ταχύτητα διάδοσης  $2 \times 10^8$  m/s το σήμα σε 51.2  $\mu$ sec διανύει 10240 m > 5000 m
- 5000 m = "διαδρομή με επιστροφή" που απαιτείται για την ανίχνευση της σύγκρουσης



# Απόδοση του CSMA/CD



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

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

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



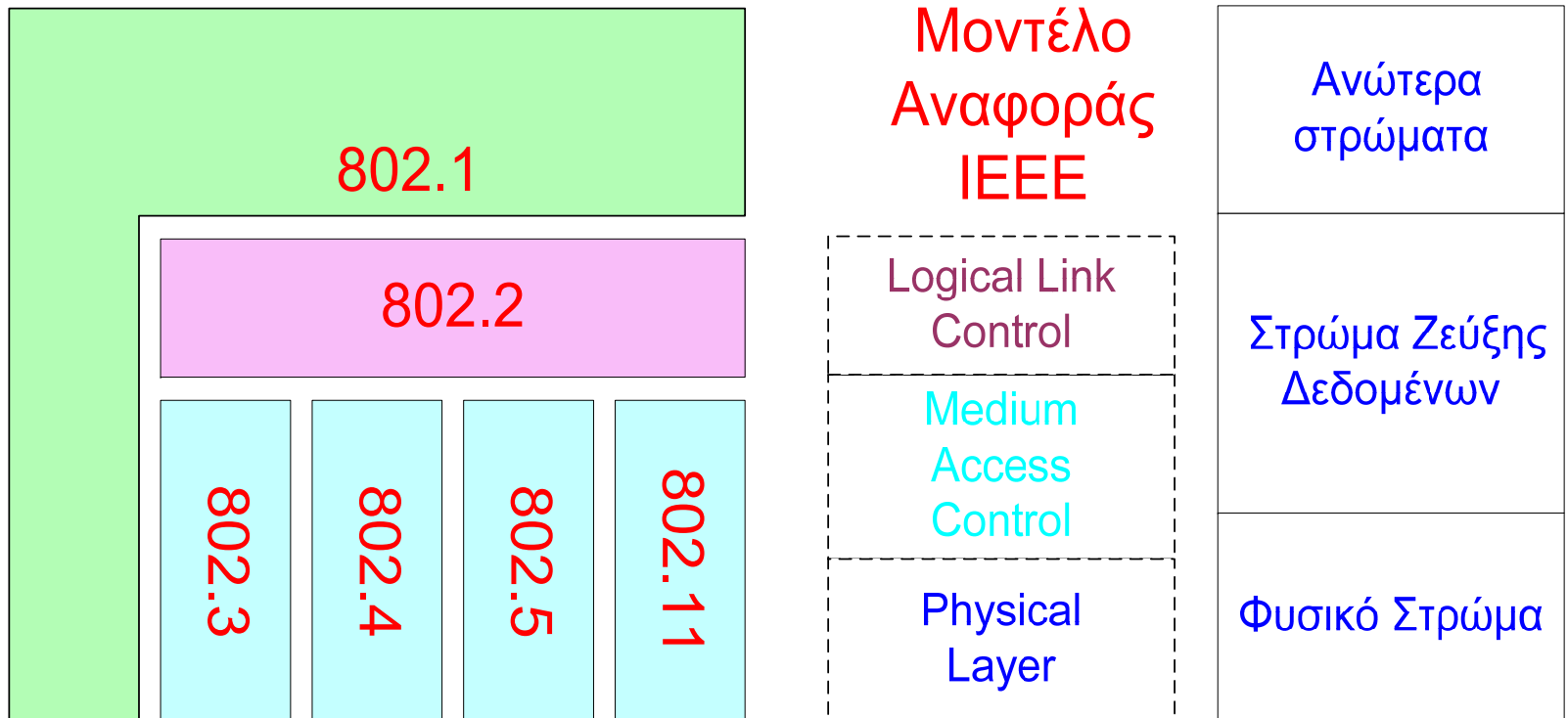
# Τεχνολογίες Ethernet



# Τα πρότυπα ΙΕΕΕ 802

- ΙΕΕΕ 802 είναι οικογένεια προτύπων για LAN που προδιαγράφει ένα στρώμα LLC και πολλά υπο-στρώματα MAC

## Πρότυπο ΙΕΕΕ 802





# Τεχνολογίες Ethernet

- Το Ethernet (πρωτόκολλο MAC και πρωτόκολλα PHY) προτυποποιούνται από τις ομάδες εργασίας **IEEE 802.3**
- Μερικά δημοφιλή φυσικά στρώματα του 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)
  - 100Base-FX 100 Mbps οπτική ίνα

**Gigabit Ethernet**

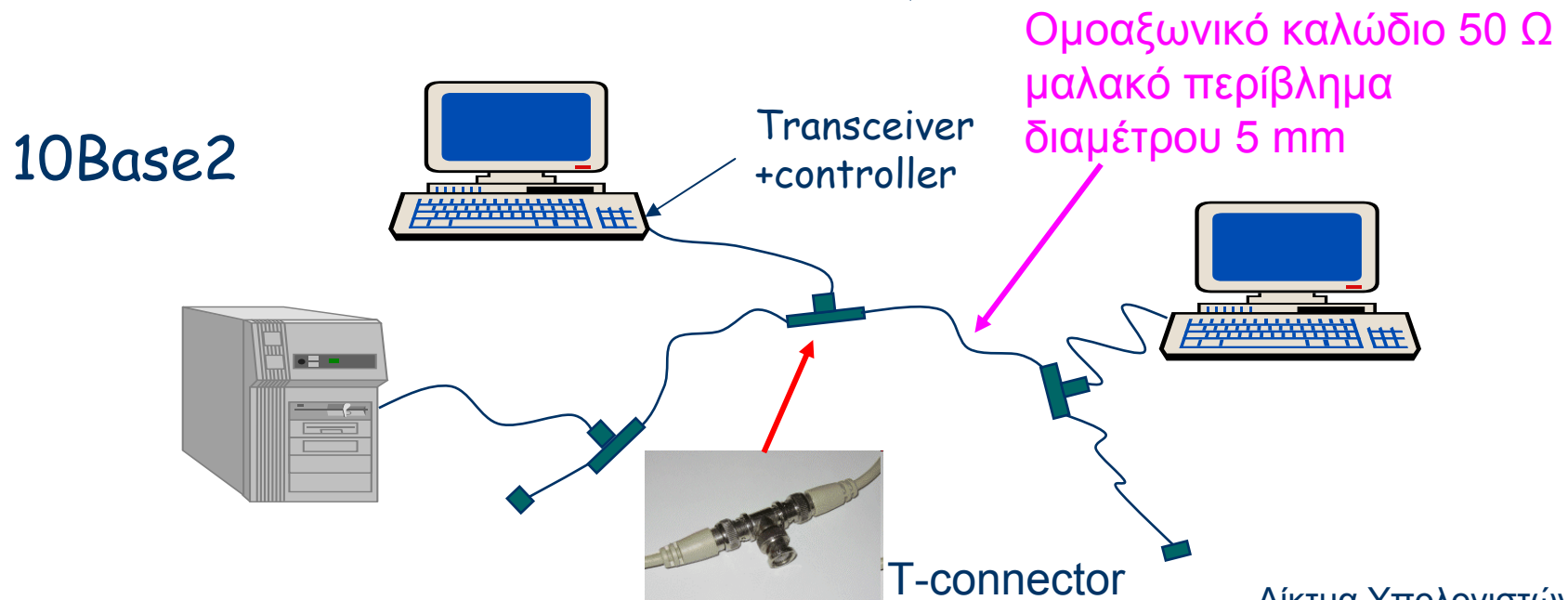
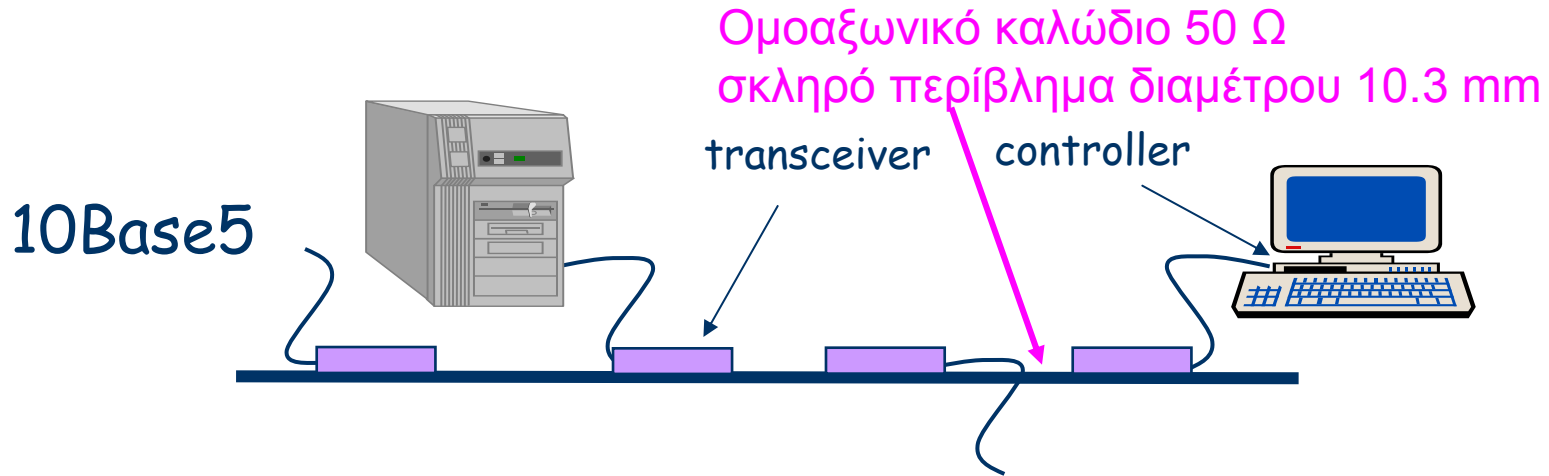
  - 1000Base-T 1 Gbps διπλαγωγός Cat. 5 (4 ζεύγη)
  - 1000Base-SX 1 Gbps πολύτροπη ίνα (μικρές αποστάσεις)

**10GE ή 10GbE ή 10GigE**

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



# Τα πρώτα Ethernet LAN

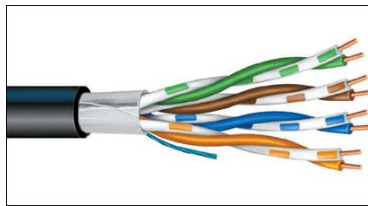
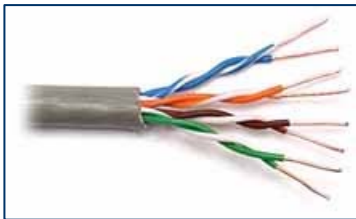






# Ethernet με διπλαγωγούς

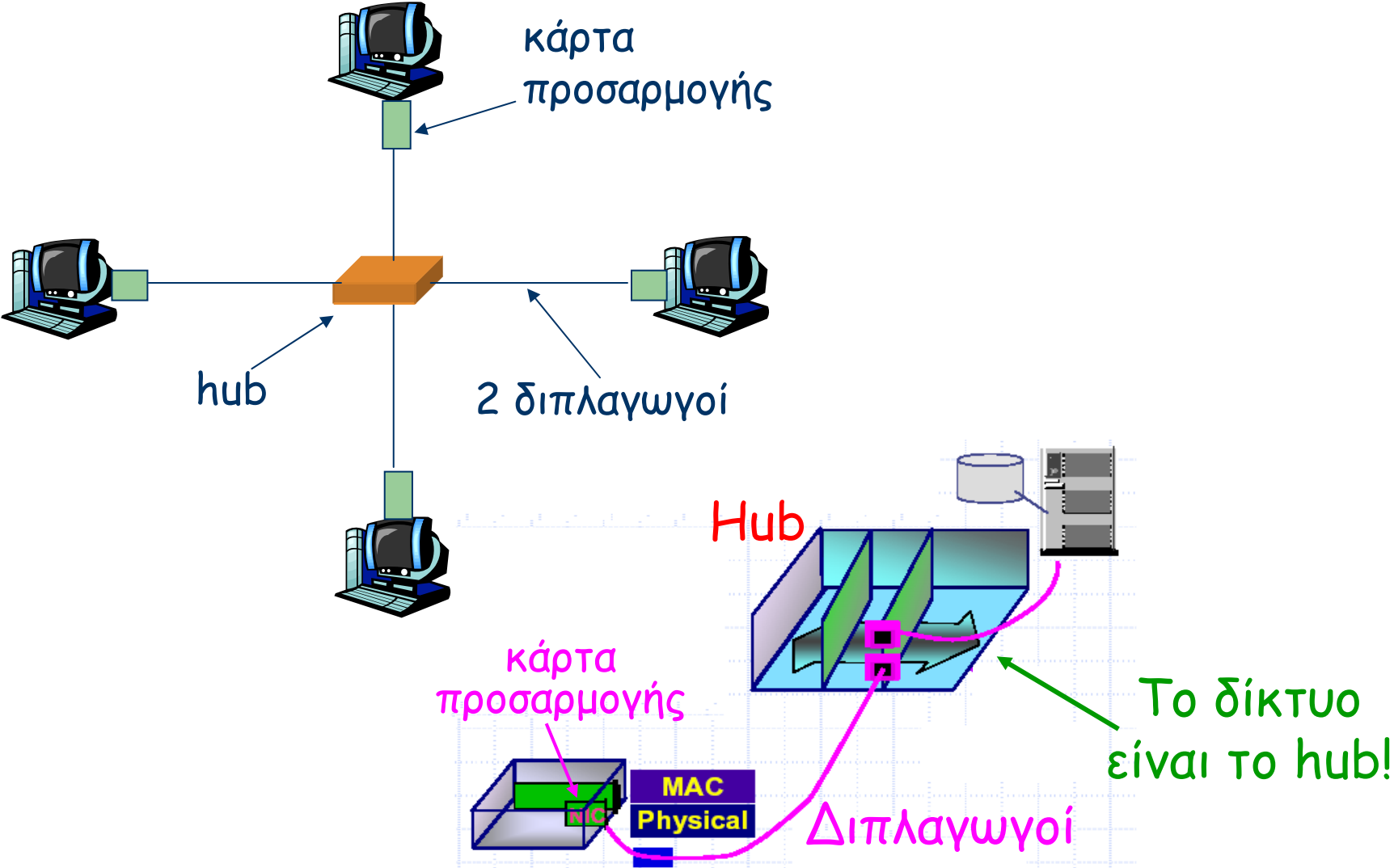
- Στο Thin Ethernet η αποσύνδεση των καλωδίων ήταν συνηθισμένο φαινόμενο
  - ο εντοπισμός των διακοπών απαιτούσε σημαντικό χρόνο
  - οδήγησε σε διαφορετική σχεδίαση
  - χρήση υπάρχουσας δομημένη καλωδίωσης (για τηλεφωνία)
- Όλοι οι σταθμοί συνδέονται σε **ακτινικό επαναλήπτη ή πλήμνη (hub)**
- Εισάγεται ο διπλαγωγός ως νέο φυσικό μέσο



- 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 στην ουσία 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 προσωρινά
  - δεν γίνεται ανίχνευση συγκρούσεων στο hub
    - οι κάρτες των σταθμών ανιχνεύουν τις συγκρούσεις
  - όλοι οι σταθμοί ανήκουν στην ίδια επικράτεια συγκρούσεων (collision domain)
- Το hub μπορεί να παρέχει λειτουργίες διαχείρισης δικτύου



- **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)



# 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

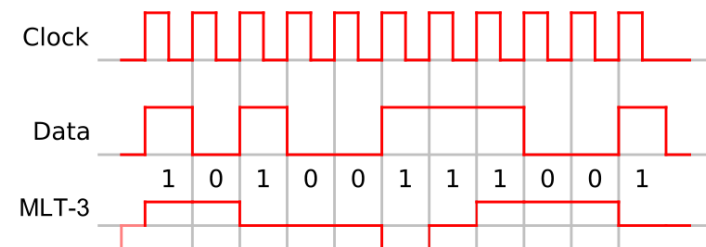
- 4 διπλαγωγοί UTP Cat.3
- Ένας διπλαγωγός για εκπομπή, ένας για λήψη και οι άλλοι δύο έχουν τη δυνατότητα να μεταχθούν προς την τρέχουσα κατεύθυνση μετάδοσης
- Εγγενώς ημι-αμφίδρομο
- Κωδικοποίηση 8B6T στα 25 Mbaud,  $25 \times (8/6) = 33.3$  Mbps ανά ζεύγος, με διαμόρφωση PAM-3 (pulse-amplitude modulation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

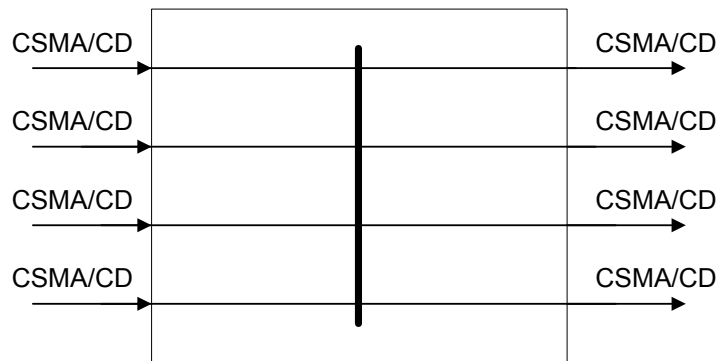




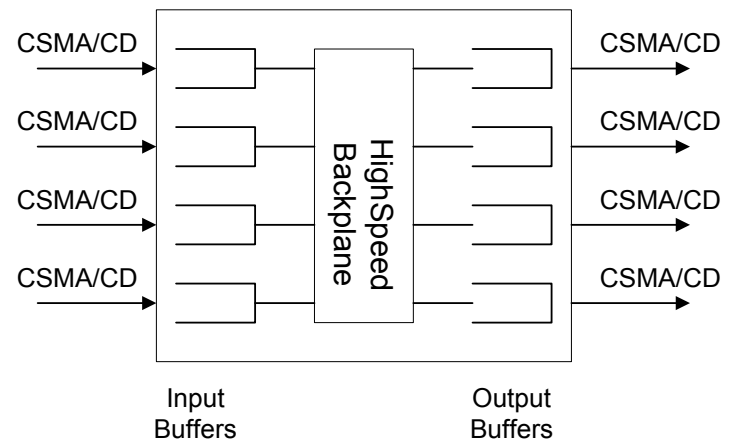
# Ethernet switch

- Το ταχύ Ethernet μπορεί να λειτουργήσει με hub ή switch

## Hub



## Switch







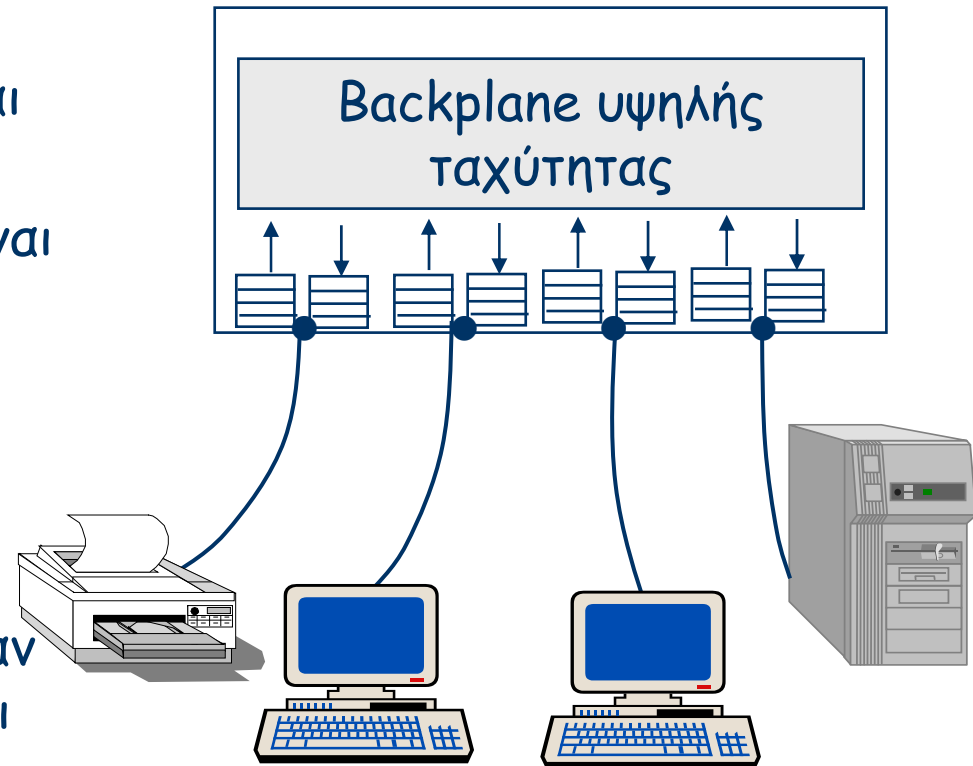
# Ethernet Hub ή Ethernet Switch

- 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 Mbps 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

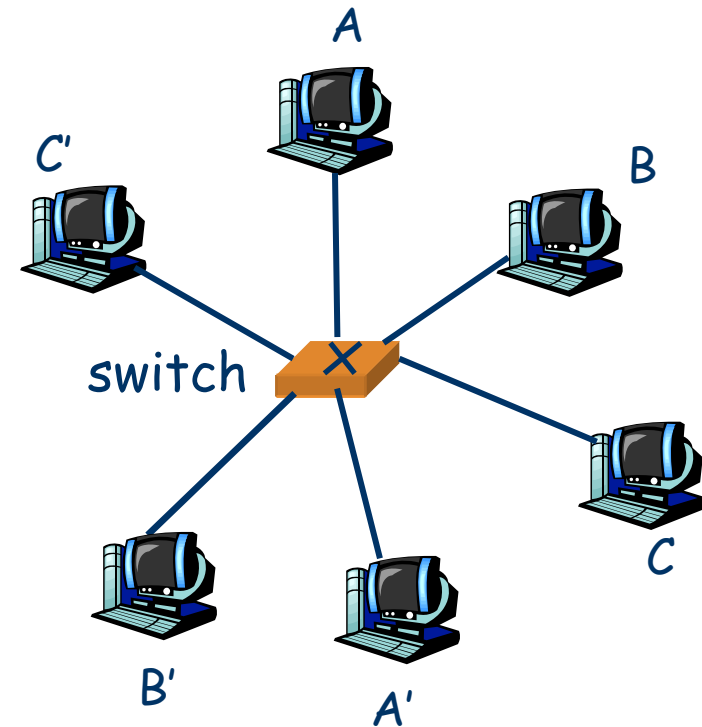
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης
- Αν αφιερωθεί ξεχωριστή γραμμή για κάθε κατεύθυνση έχουμε αμφίδρομο τρόπο λειτουργίας
- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις αν μόνο ένας σταθμός συνδέεται σε κάθε είσοδο





# Μεταγωγέας Ethernet

- Κάθε host έχει δική του σύνδεση στον μεταγωγέα
- Αν υπάρχει αμφίδρομη λειτουργία για κάθε host, δεν υπάρχει περίπτωση σύγκρουσης εξερχόμενου και εισερχόμενου πλαισίου
- Επειδή οι μεταγωγείς αποθηκεύουν και προωθούν, ο μεταγωγέας θα μεταδίδει το πολύ ένα πλαίσιο τη φορά προς κάθε υπολογιστή
- **Δεν χρειάζεται CSMA/CD!**





# Gigabit Ethernet

# Gigabit Ethernet



- Πρότυπο ΙΕΕΕ 802.3z
- Υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας
  - αμφίδρομη (full-duplex)
  - ημιαμφίδρομη (half-duplex)
- Με τον πρώτο τρόπο λειτουργεί με μεταγωγέα και δεν χρησιμοποιεί το CSMA/CD
- Με τον δεύτερο τρόπο (ασυνήθης πλέον) λειτουργεί με hub και εφαρμόζεται το πρωτόκολλο CSMA/CD
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet
  - Carrier extension: επέκταση του πλαισίου στα 512 byte για διατήρηση περιορισμών ελαχίστης διάρκειας μετάδοσης
  - Frame bursting: αποστολή πολλών πλαισίων ελαχίστου μήκους 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
  - Μέχρι 25m (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 ΙΕΕΕ 802.3ae
- Υποστηρίζει μόνο αμφίδρομη (full-duplex) μετάδοση
  - ημιαμφίδρομη (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 και 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





# Διασύνδεση LAN

# Διασύνδεση LAN

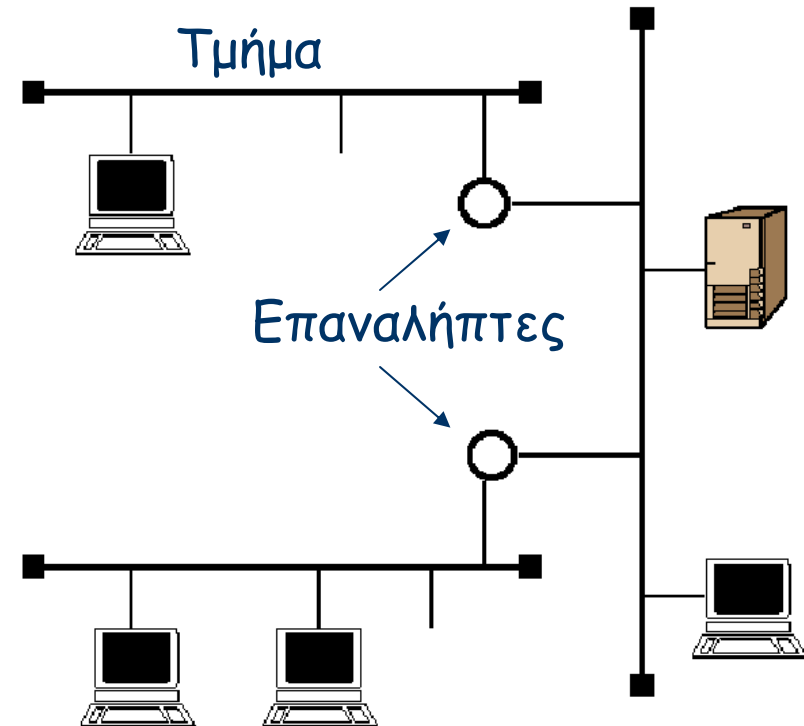


- Συχνά υπάρχει ανάγκη να διασυνδεθούν πολλά LAN και να σχηματισθεί ένα επεκτεταμένο LAN
- Η διασύνδεση μπορεί να γίνει στο
  - Φυσικό στρώμα
    - Επαναλήπτες (Repeaters)
    - Hubs
  - Στρώμα ζεύξης δεδομένων
    - Γέφυρες (Bridges)
    - Μεταγωγείς (Switches)
      - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία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



# Επαναλήπτες

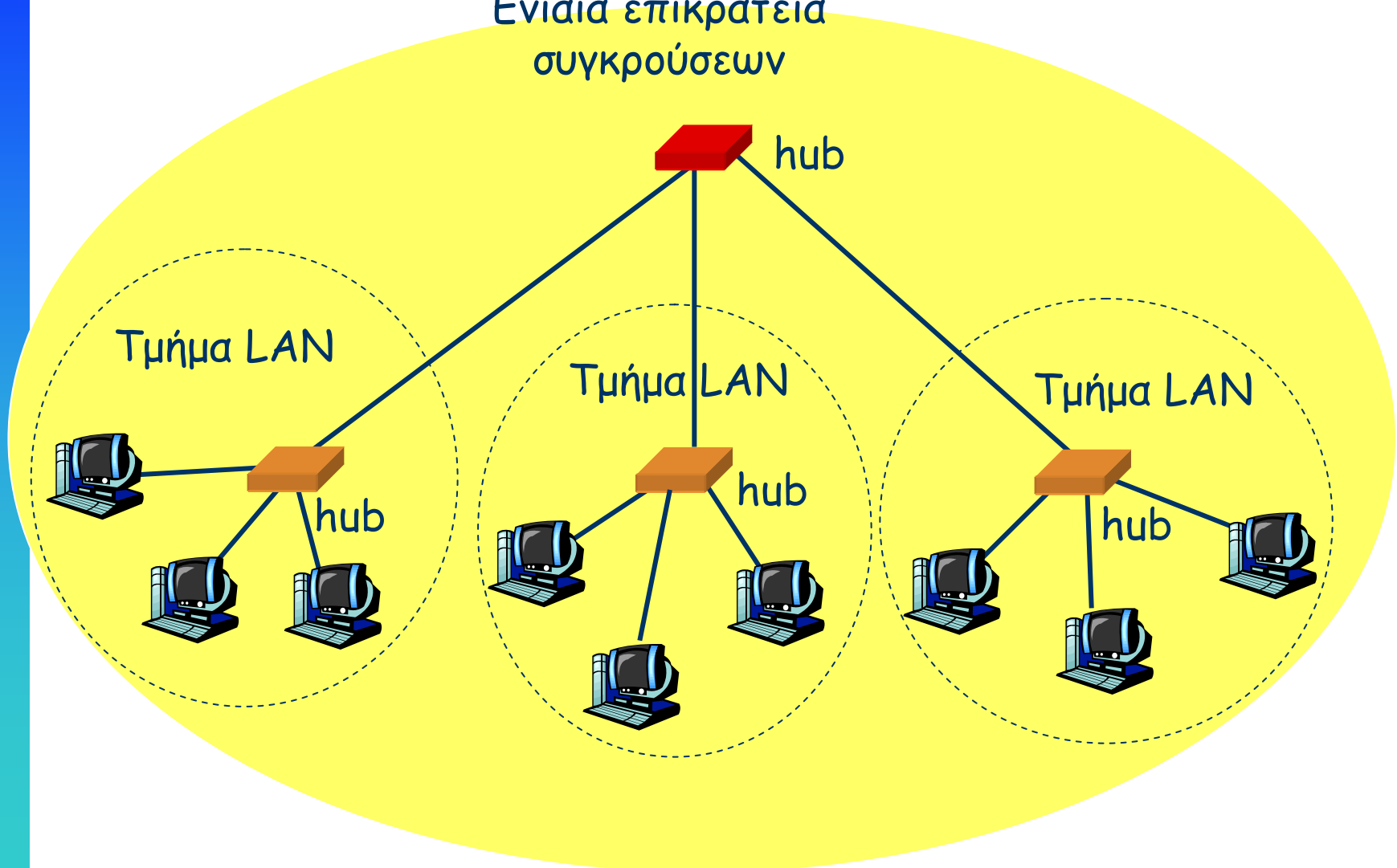
- Λειτουργούν στο φυσικό στρώμα
- Μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Ενώνουν δύο τμήματα καλωδίου
- Δεν έχουν χώρο προσωρινής αποθήκευσης
- Δεν υπάρχει λογική απομόνωση των τμημάτων
- Αν δύο σταθμοί σε διαφορετικά τμήματα στείλουν ταυτόχρονα, τα πακέτα συγκρούονται
- Μόνο μία διαδρομή τμημάτων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





# Hub

Ενιαία επικράτεια  
συγκρούσεων





- 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 στρώματα 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 αρχιτεκτονική

οι οποίοι θέτουν φραγμούς και στον συνολικό αριθμό host και στη γεωγραφική κάλυψη ενός πολυεπίπεδου LAN

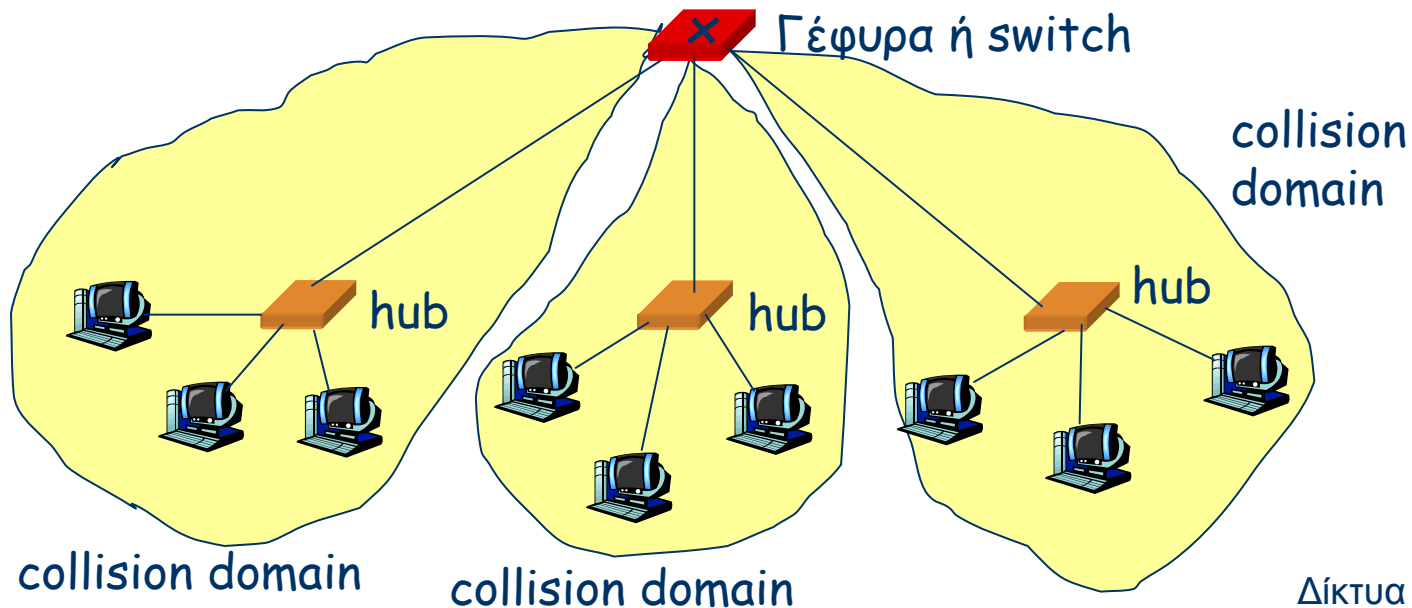


- Διασυνδέει δύο ή περισσότερα τμήματα LAN στο στρώμα ζεύξης δεδομένων
  - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια
    - εξετάζει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου
    - συμβουλεύεται τον πίνακα προώθησης
    - προωθεί το πλαίσιο στο κατάλληλο τμήμα LAN
  - μπορεί να συνδέει LAN διαφορετικών τεχνολογιών
-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



# Γέφυρα: απομόνωση κίνησης

- Η εγκατάσταση γέφυρας χωρίζει το LAN σε τμήματα LAN
  - τα τμήματα αποτελούν ξεχωριστές **επικράτειες συγκρούσεων** (collision domains)
- οι γέφυρες φιλτράρουν τα πλαίσια:
  - τα πλαίσια κάποιου τμήματος LAN δεν προωθούνται εν γένει σε άλλα τμήματα LAN





# Γέφυρα: 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**



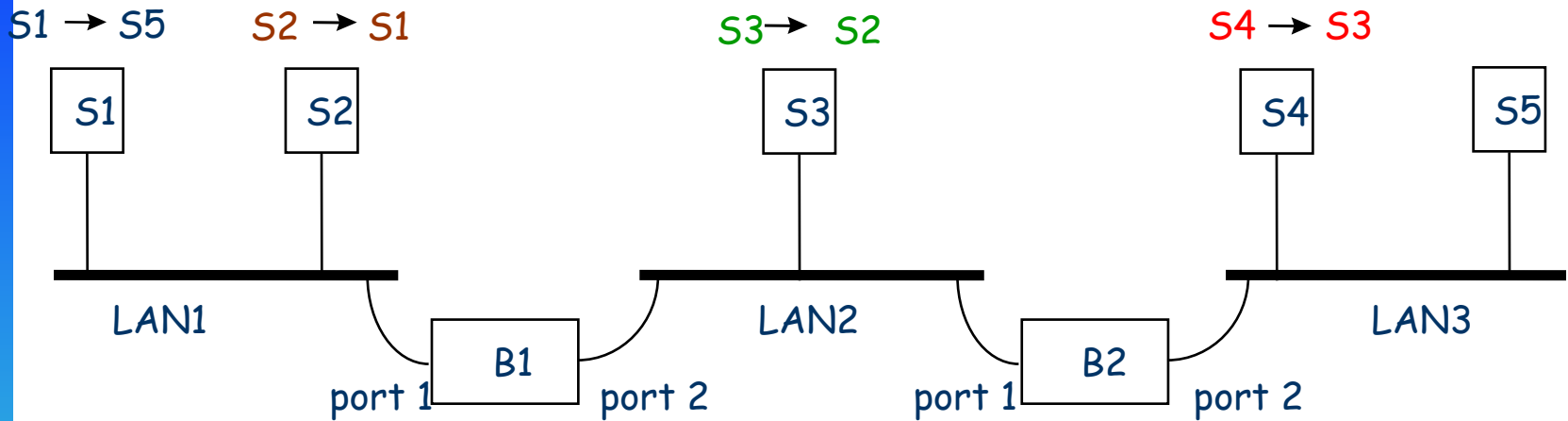
# Αυτοεκπαίδευση γέφυρας

- 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 (ο χρόνος διατήρησης μπορεί να είναι 60 min)

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



# ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ γέφυρας



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2



# Φιλτράρισμα/Προώθηση 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*

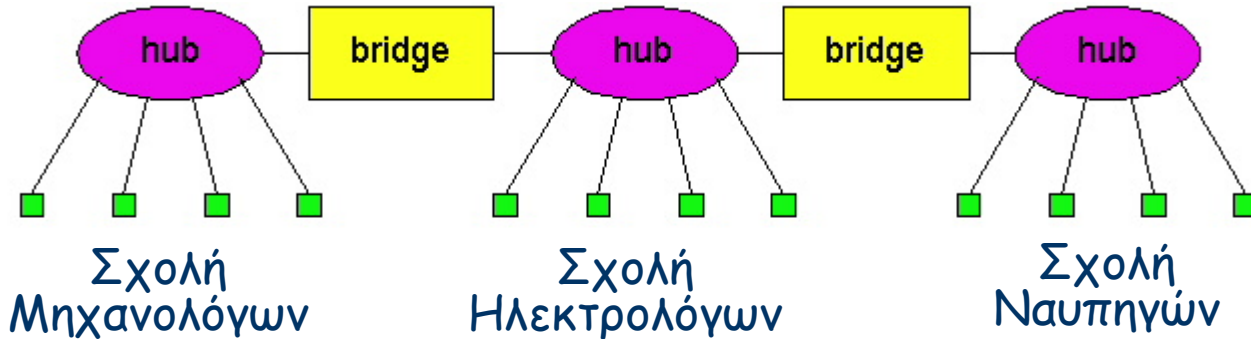


# Διασύνδεση με γέφυρες

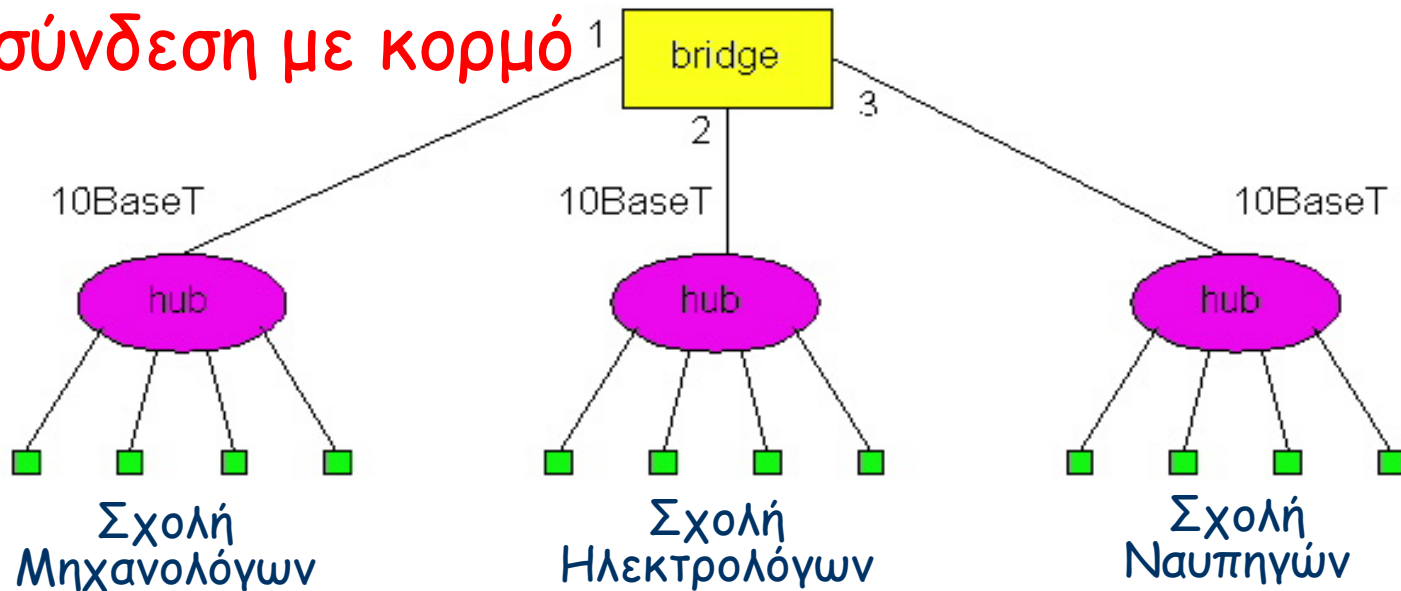


# Διασύνδεση LAN μέσω γεφυρών

## Διασύνδεση χωρίς κορμό



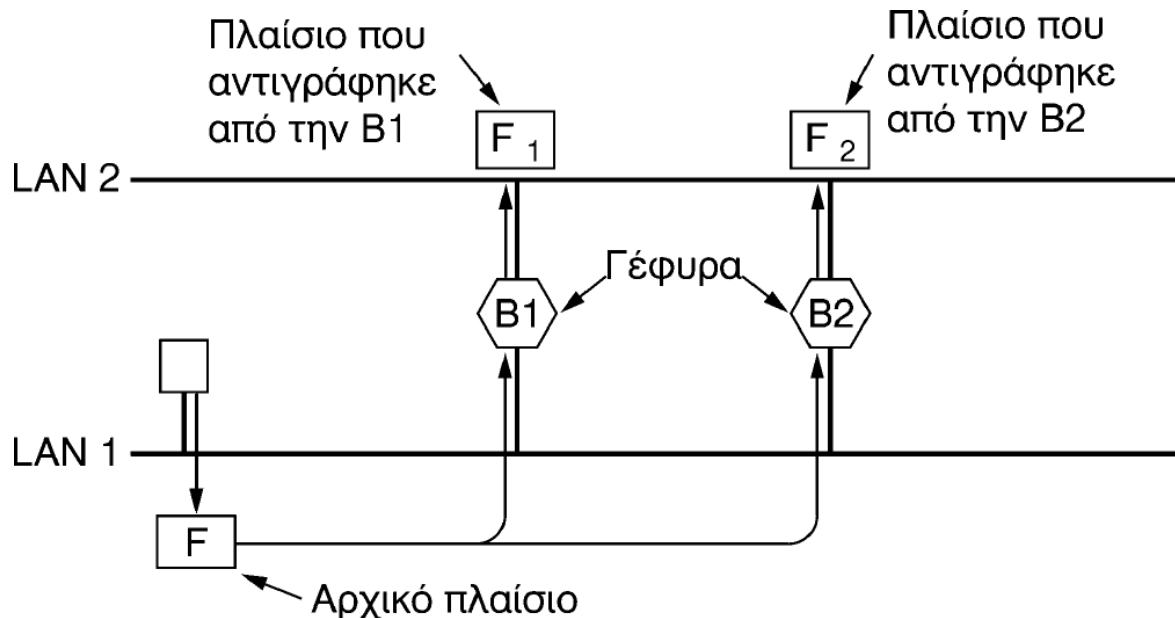
## Διασύνδεση με κορμό





# Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών

- για μεγαλύτερη αξιοπιστία στην ιεραρχική σχεδίαση, είναι επιθυμητό να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές από την πηγή στον προορισμό
- με πολλές ταυτόχρονες διαδρομές, δημιουργούνται **βρόχοι** και οι γέφυρες μπορεί να πολλαπλασιάζουν και να προωθούν ένα πλαίσιο για πάντα

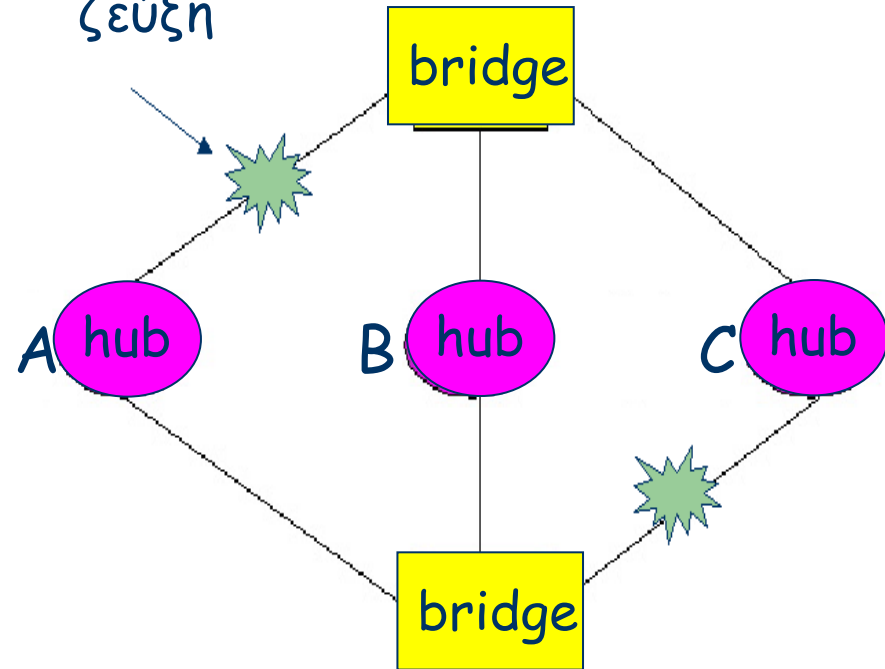




# Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών

- **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







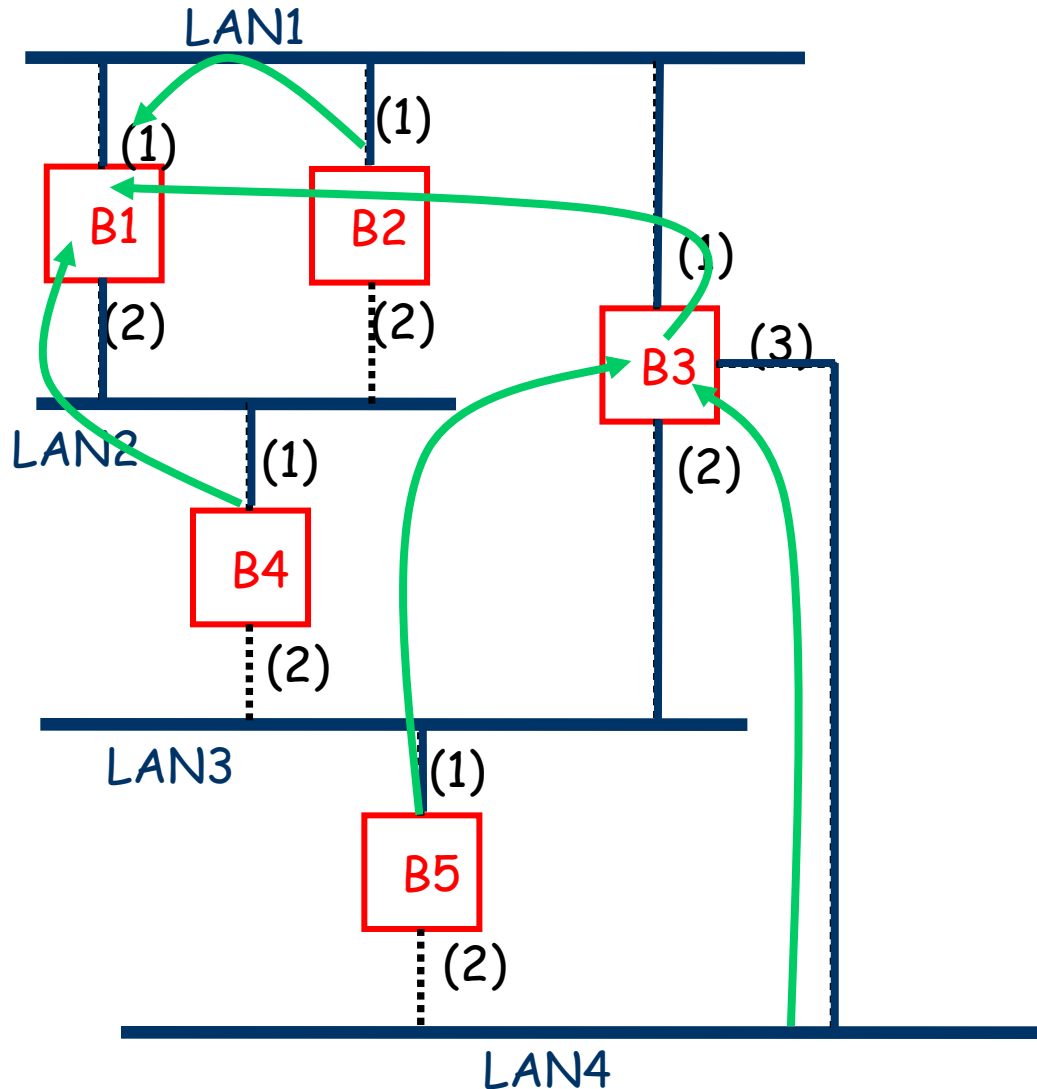
# Οργάνωση δικτύων σε δέντρα

Πώς οι γέφυρες εγκαθιστούν επικαλύπτον δέντρο;

- Κατανεμημένο πρωτόκολλο επικαλύπτοντος δέντρου (spanning tree protocol)
  - Επιλέγεται πρώτα η γέφυρα ρίζα του δέντρου
    - Η γέφυρα με τον μικρότερο σειριακό αριθμό γίνεται η ρίζα
  - Υπολογίζονται οι αποστάσεις των ελάχιστων διαδρομών προς τη ρίζα
  - Για κάθε LAN προσδιορίζεται η επιλεγμένη γέφυρα και επιλεγμένη θύρα
    - Η γέφυρα που είναι πιο κοντά στη ρίζα είναι η επιλεγμένη και η θύρα μέσω της οποίας φτάνουμε εκεί η επιλεγμένη
  - Για κάθε γέφυρα προσδιορίζεται η ριζική πόρτα
    - Η πόρτα με την καλύτερη διαδρομή προς τη ρίζα
  - Σχηματισμός του επικαλύπτοντος δένδρου



# Οργάνωση δικτύων σε δέντρα





## LAN με μεταγωγή

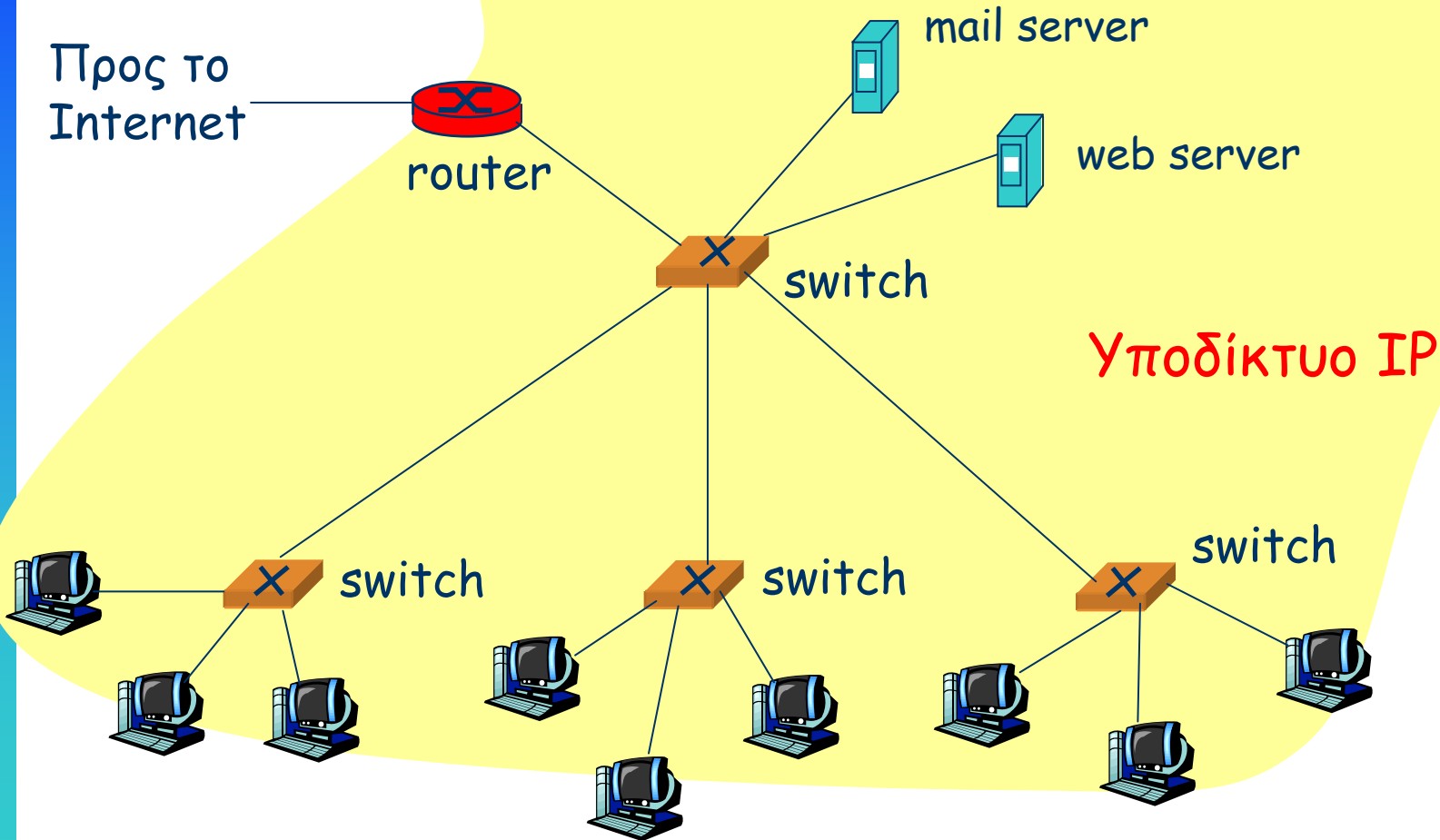
# Διασύνδεση με μεταγωγέα



- Ο μεταγωγέας πλαισίων Ethernet γενικεύει τη λειτουργία των γεφυρών
  - Η μεταγωγή απαλείφει τις συγκρούσεις
  - Η προσωρινή αποθήκευση αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό
  - Δεν απαιτείται πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης



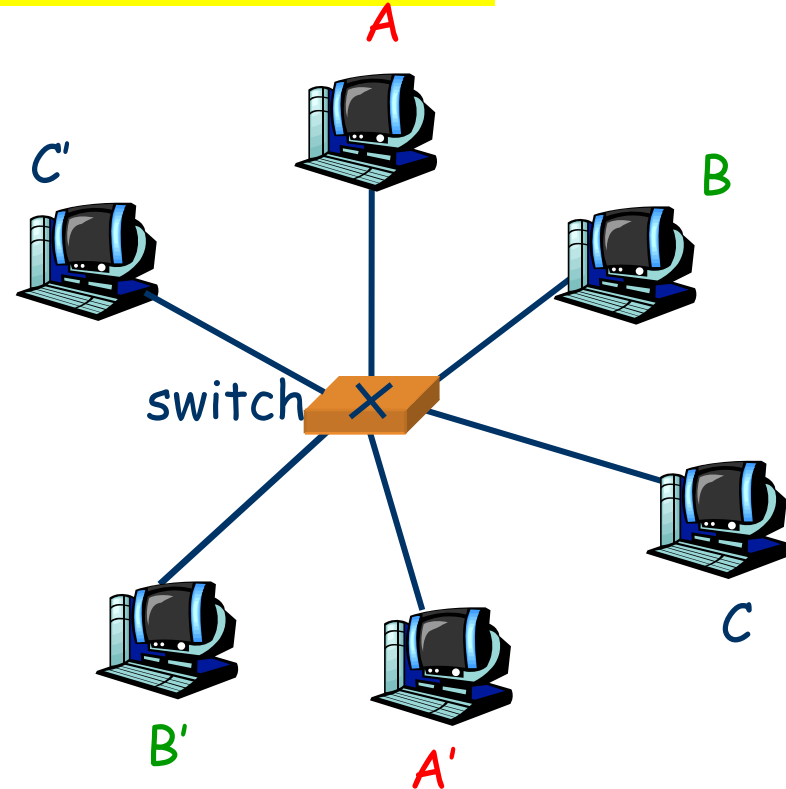
# LAN με μεταγωγή





# Μεταγωγέας Ethernet

- Ουσιαστικά, είναι γέφυρα με πολλές πόρτες
- Προωθεί πλαίσια (στρώμα 2) και φιλτράρει χρησιμοποιώντας διευθύνσεις LAN
- **Μεταγωγή:** A-προς-A' και B-προς-B' ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις
- μεγάλος αριθμός διεπαφών
- **συνήθης χρήση:** ανεξάρτητοι host, συνδέονται στον μεταγωγέα με τοπολογία αστέρα
  - Ethernet, αλλά δίχως συγκρούσεις



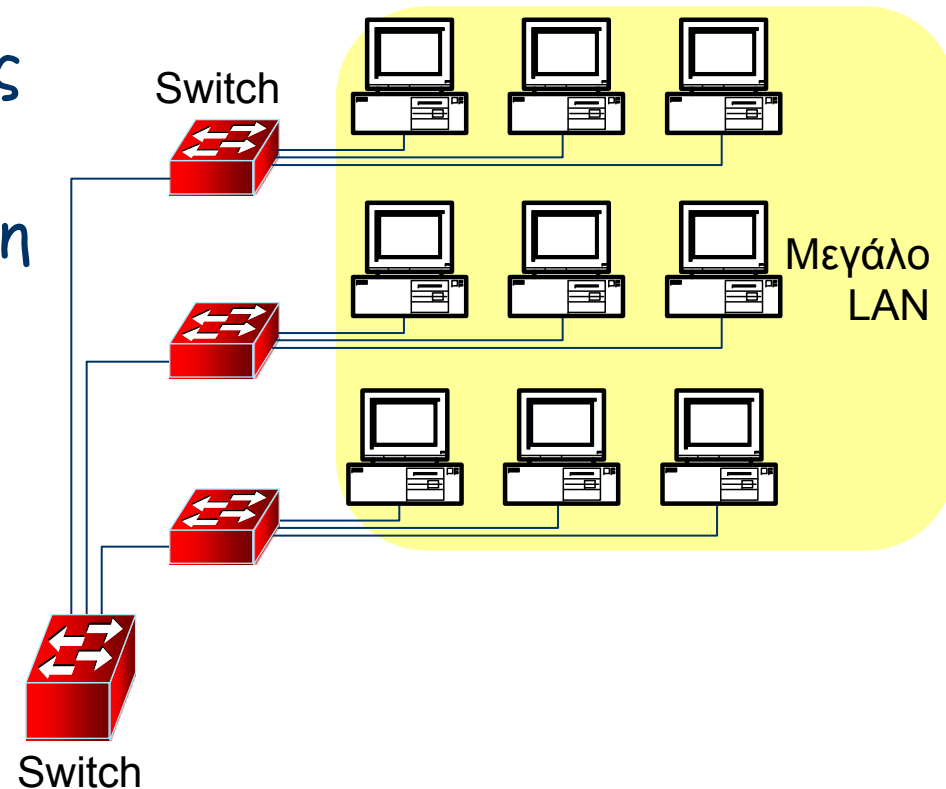


# Virtual LANs



# Μεγάλα LANs

- Η κίνηση εκπομπής (broadcast) στα LAN αποστέλλεται προς όλους τους κόμβους
- Για μεγάλα LAN η αύξηση της κίνησης εκπομπής αποτελεί πρόβλημα



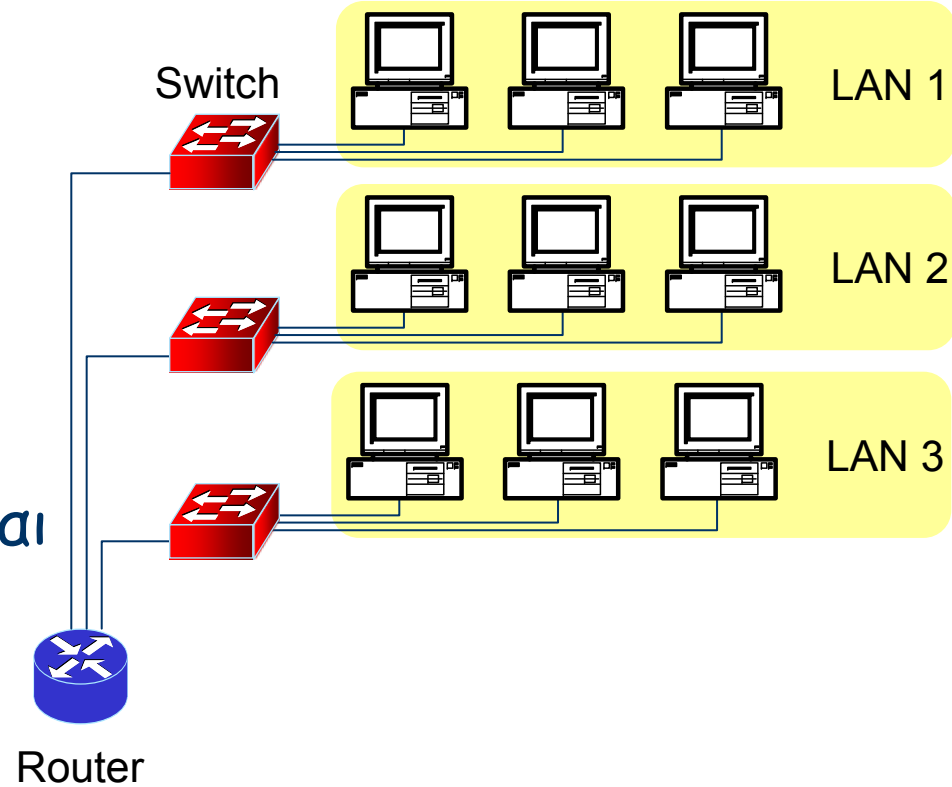




# Διαχωρισμός με υποδίκτυα

## Η παραδοσιακή λύση:

- Διαχωρισμός των περιοχών εκπομπής με διασύνδεση των μικρότερων LAN μέσω δρομολογητών IP
- Κάθε μικρότερο LAN είναι ένα υποδίκτυο
- Μειονέκτημα: Η συμμετοχή host σε ένα LAN συνδέεται με τη θέση του

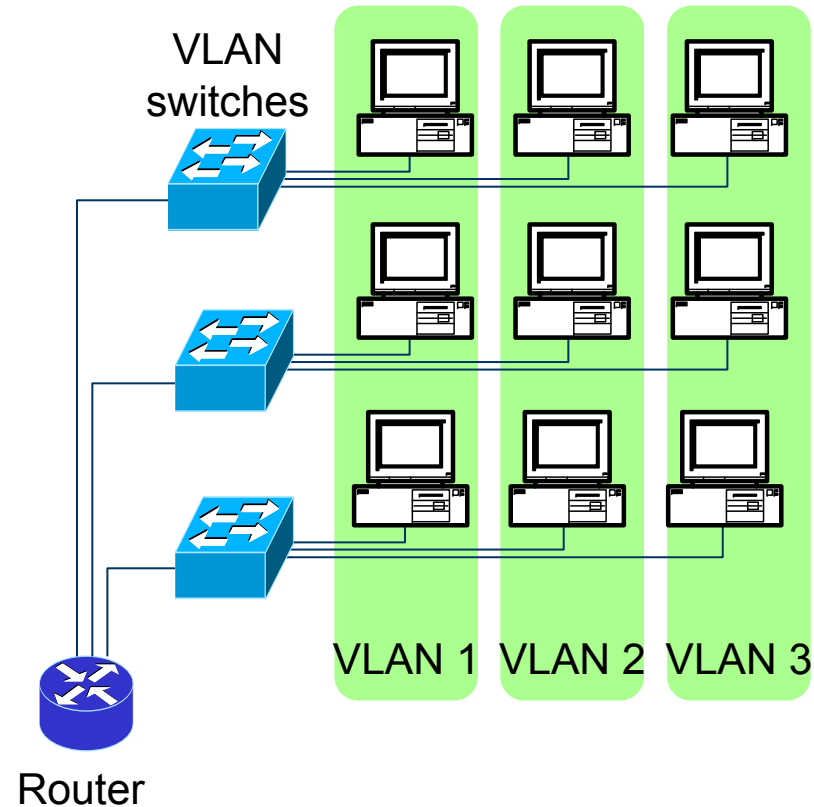




# Virtual Local Area Networks

## Καλύτερη λύση: VLANs

- Τα VLAN ξεχωρίζουν την περιοχή εκπομπής από τη θέση των host
- Χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν μεγάλα LAN
- Διασυνδέονται με δρομολογητές IP
- Μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά επικαλύπτοντα δένδρα ανά VLAN

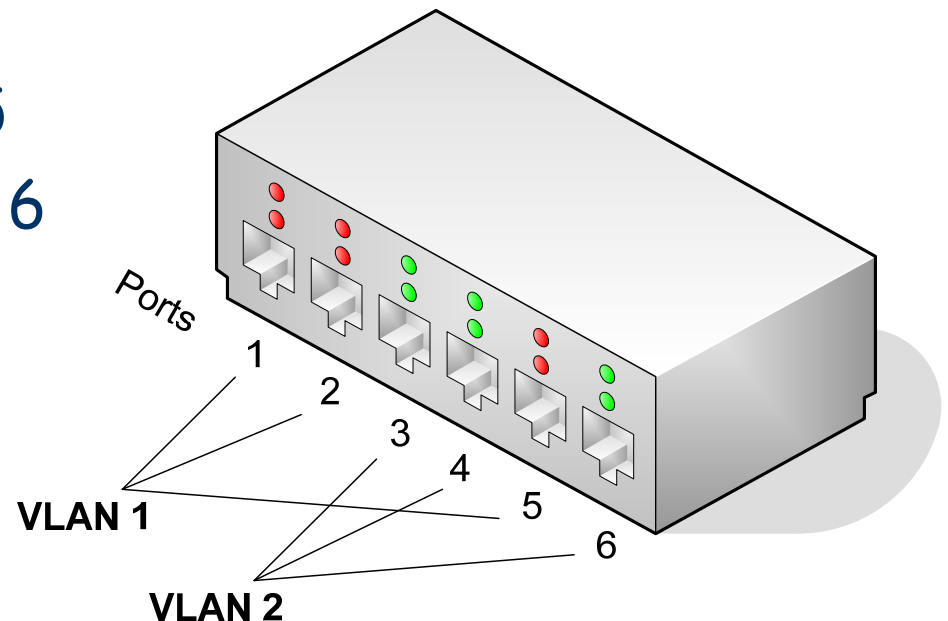




# Διάρθρωση των VLAN

- Οι θύρες ενός μεταγωγέα Ethernet μπορούν να αντιστοιχισθούν (χειροκίνητα) σε διαφορετικά VLAN

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

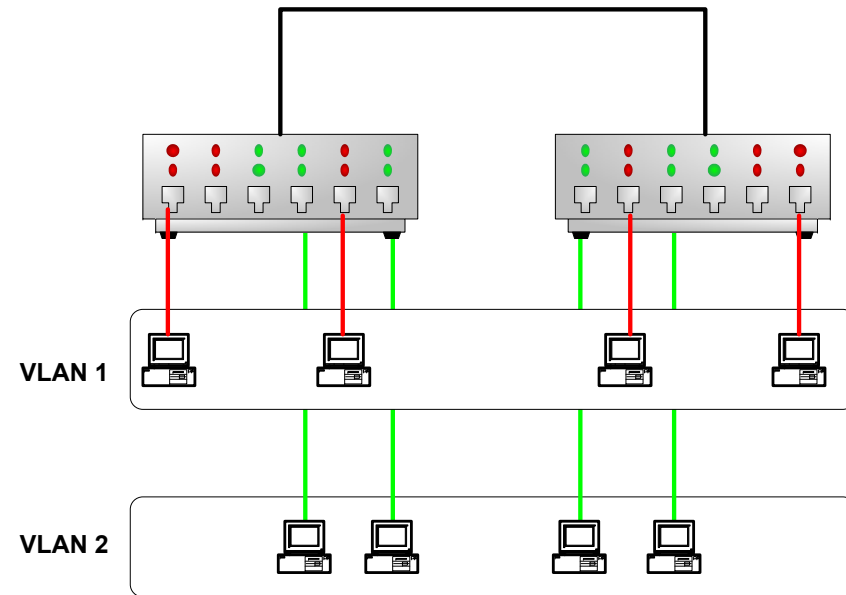


- Ο μεταγωγέας διαχωρίζει πλήρως την κίνηση από διαφορετικά VLAN
  - Ένας μοναδικός μεταγωγέας εμφανίζεται ως πολλοί μεταγωγείς



# VLAN με πολλαπλούς 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

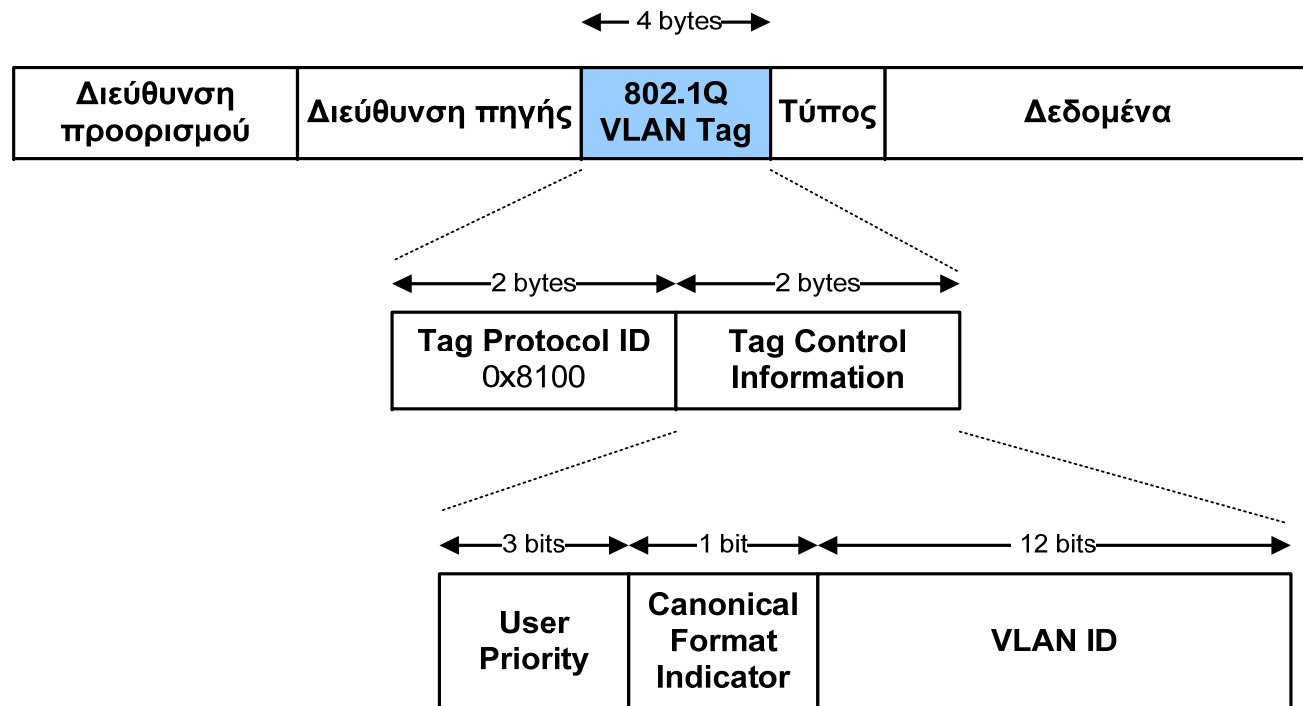


→ VLAN tags (ετικέτες)



# 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

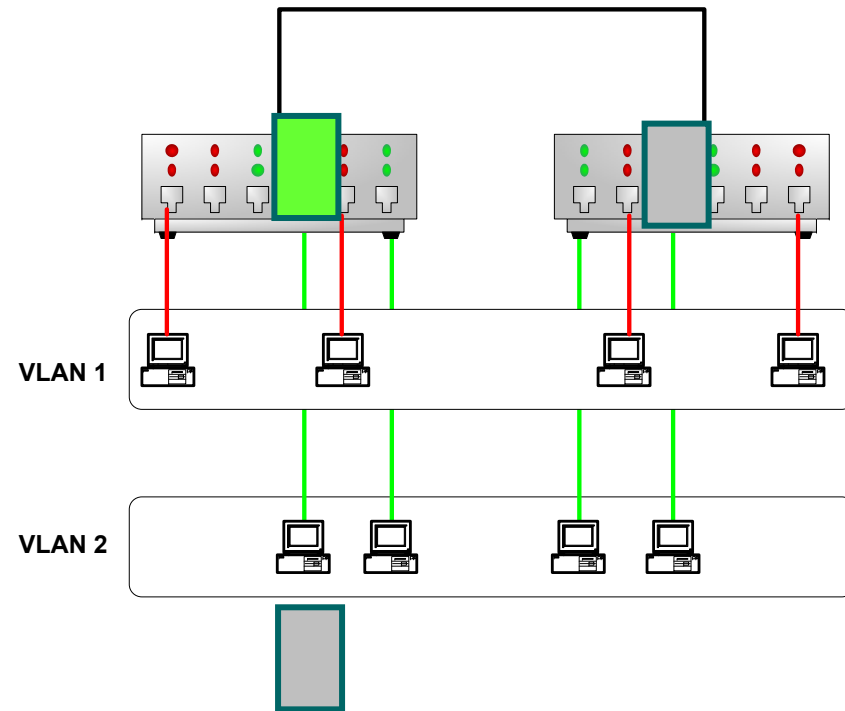
- **Tag Protocol Identifier:**
  - Η τιμή 0x8100 δηλώνει ετικέτα 802.1Q
  - Βρίσκεται στη θέση του πεδίου τύπος και τα πλαίσια με ετικέτες ξεχωρίζουν εύκολα
- **User Priority:**
  - Τίθεται από τον αποστολέα για να δώσει προτεραιότητες σε διαφορετικά είδη κίνησης (π.χ., φωνή, δεδομένα)
  - Το 0 αντιστοιχεί σε κίνηση best effort
  - Το 1 αντιστοιχεί στη χαμηλότερη προτεραιότητα και το 7 στην μεγαλύτερη
- **Canonical Format Indicator:**
  - Είναι 0 για μεταγωγείς Ethernet
  - Τίθεται 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

- Τα προηγούμενα αναφέρονται σε VLAN ανά θύρα
  - 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