



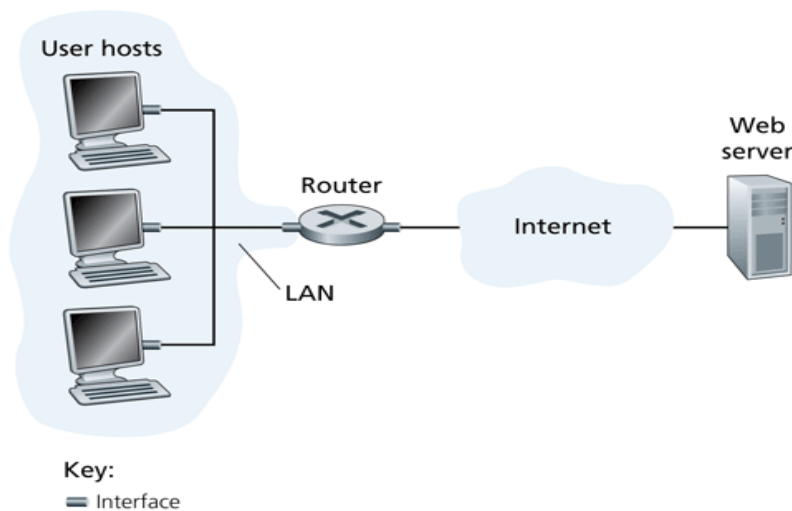
ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τοπικά δίκτυα



Πρόσβαση στο διαδίκτυο

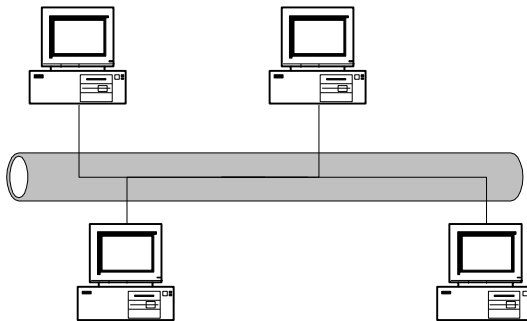
- Τα **τοπικά δίκτυα (Local Area Networks -LANs)** είναι ο συνήθης τρόπος πρόσβασης υπολογιστών στο διαδίκτυο
- Η ζεύξη μεταξύ **υπολογιστών (hosts)** και **δρομολογητή (router)** είναι ένας **διάυλος εκπομπής (broadcast channel)**



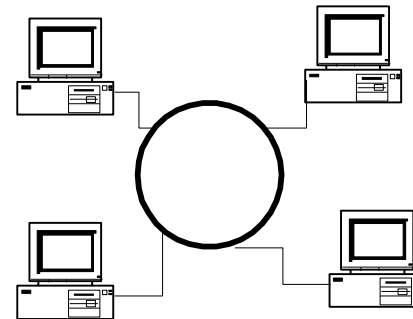
Local Area Network (LAN)



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



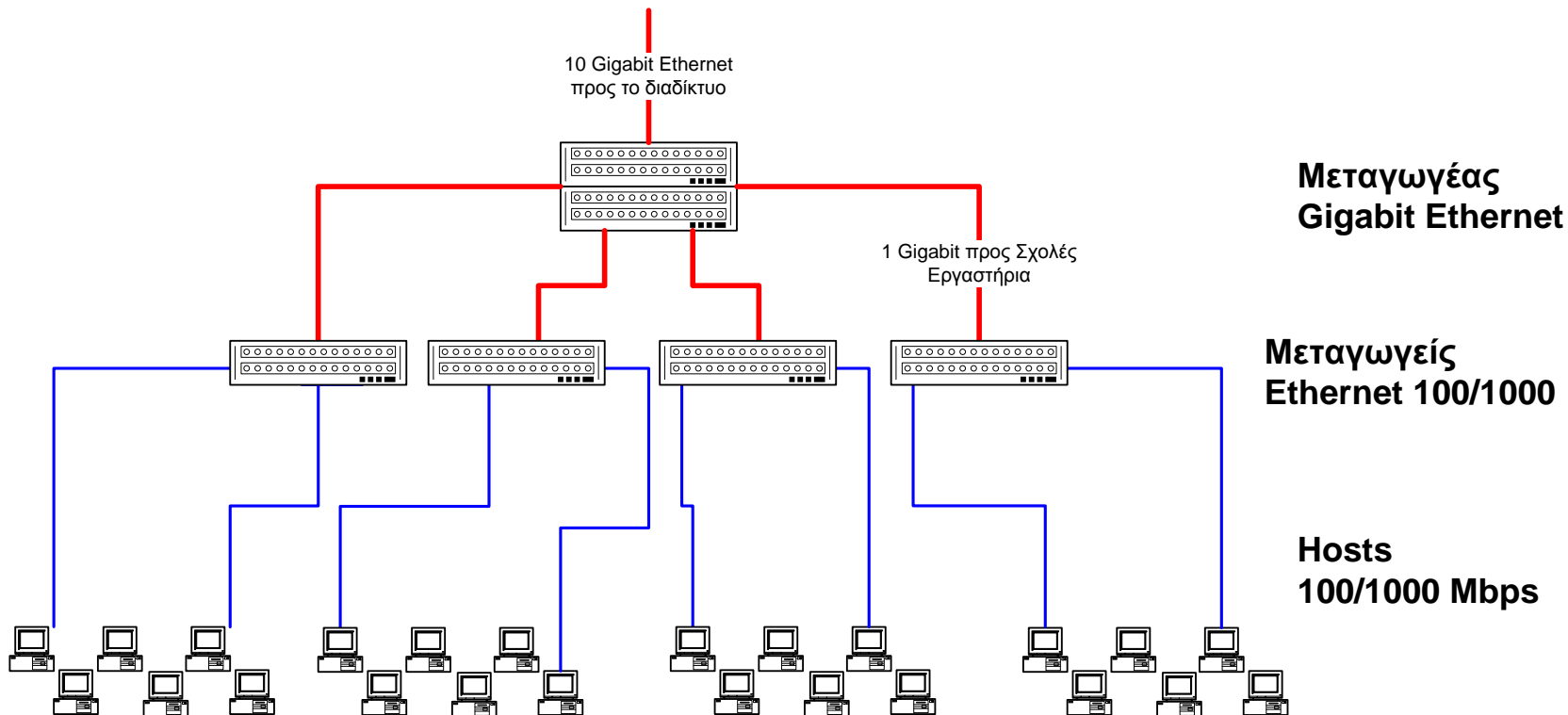
Bus LAN



Ring LAN

- Θα ασχοληθούμε μόνο με τα LAN τύπου Ethernet

Το LAN της Πολυτεχνειούπολης

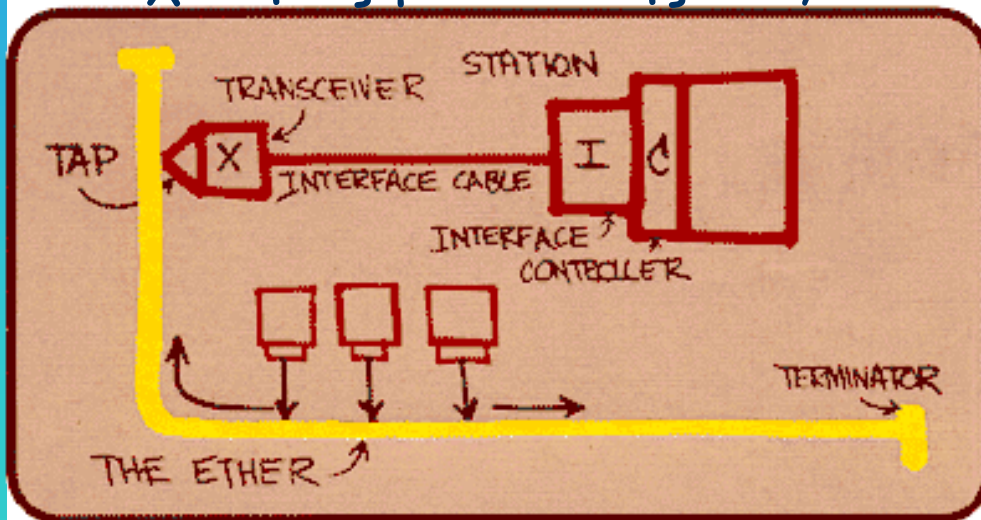




Ethernet

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

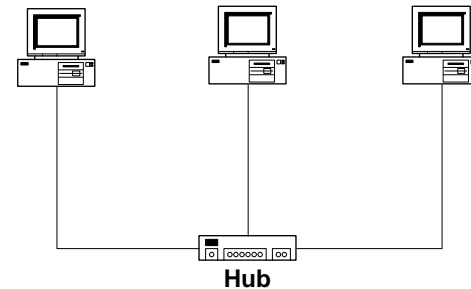
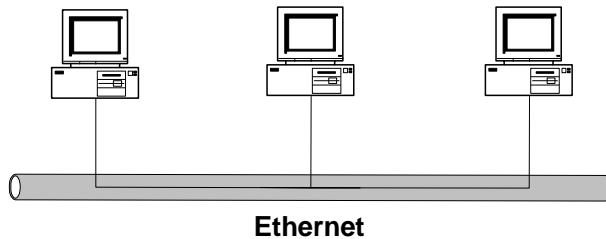
Εκθετική υποχώρηση:

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

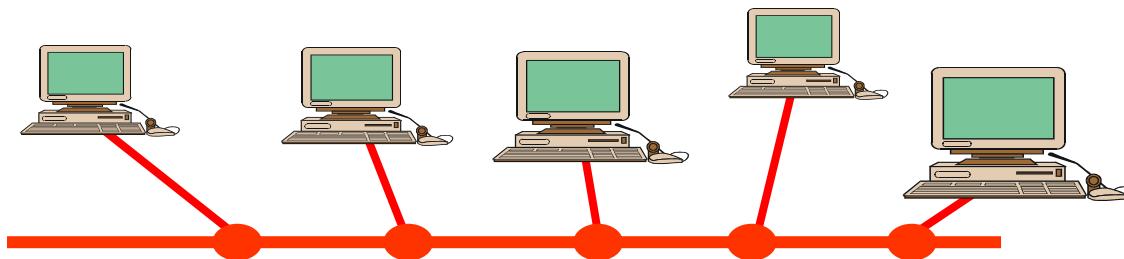


Τοπολογίες Ethernet

- Το Ethernet έχει τοπολογία αρτηρίας ή αστέρα



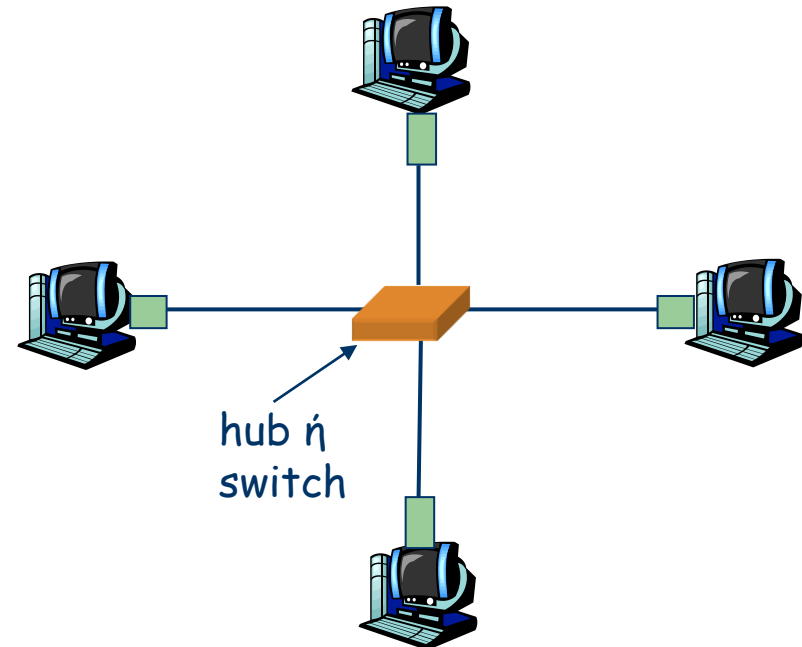
- Η τοπολογία αρτηρίας ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1990
 - Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στην ίδια επικράτεια συγκρούσεων





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



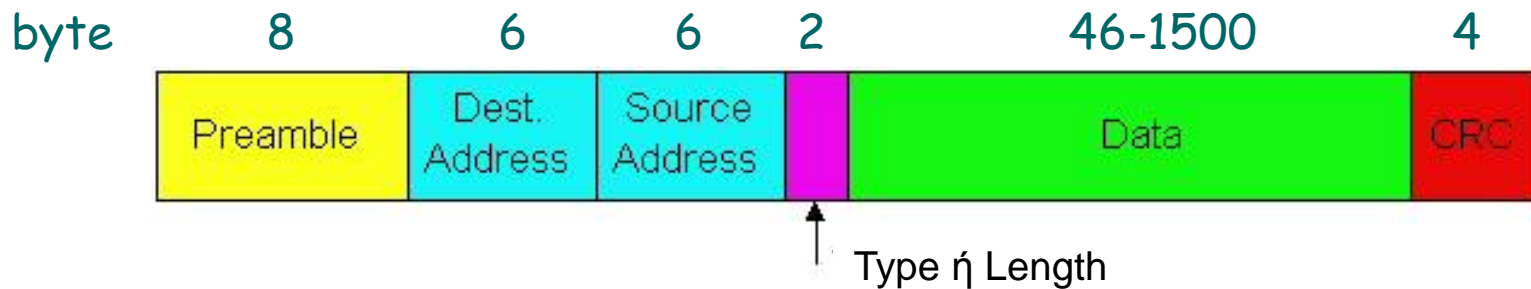


Το πλαίσιο Ethernet



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

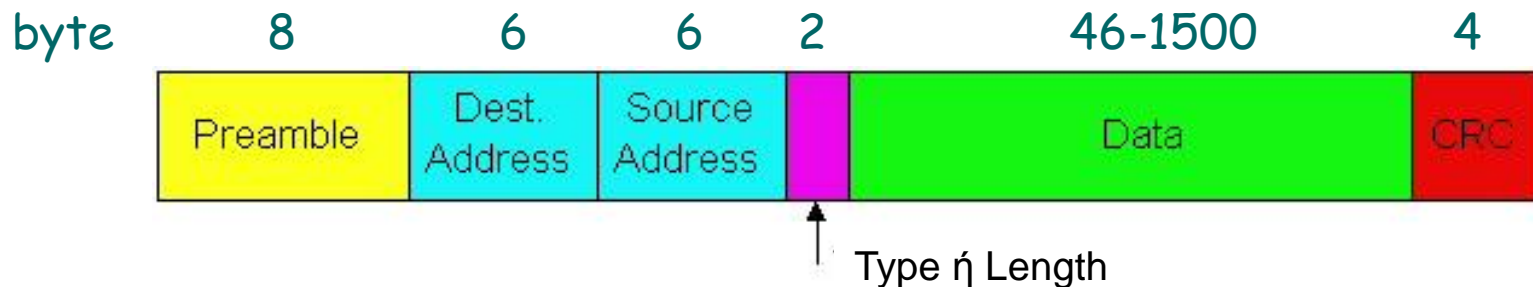
- **Address:** 6 byte σε κάθε πεδίο
 - Είναι παγκόσμια μοναδικές
 - Κάθε διεύθυνση αντιστοιχεί σε μία κάρτα δικτύου
- **Type:** 2 byte, στην ενθυλάκωση Ethernet II, δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος, π.χ. IP (0x0800)
 - Υποστηρίζονται και άλλα πρωτόκολλα, όπως π.χ. ARP (0x0806), RARP (0x8035), Novell IPX (0x8037)
- **Length:** 2 byte, στην ενθυλάκωση IEEE 802.3, είναι το μήκος του πλαισίου
 - Πώς διακρίνουμε το είδος της ενθυλάκωσης;
- **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 (interframe gap) 96 bit

Μετάδοση βασικής ζώνης - Κωδικοποίηση Manchester

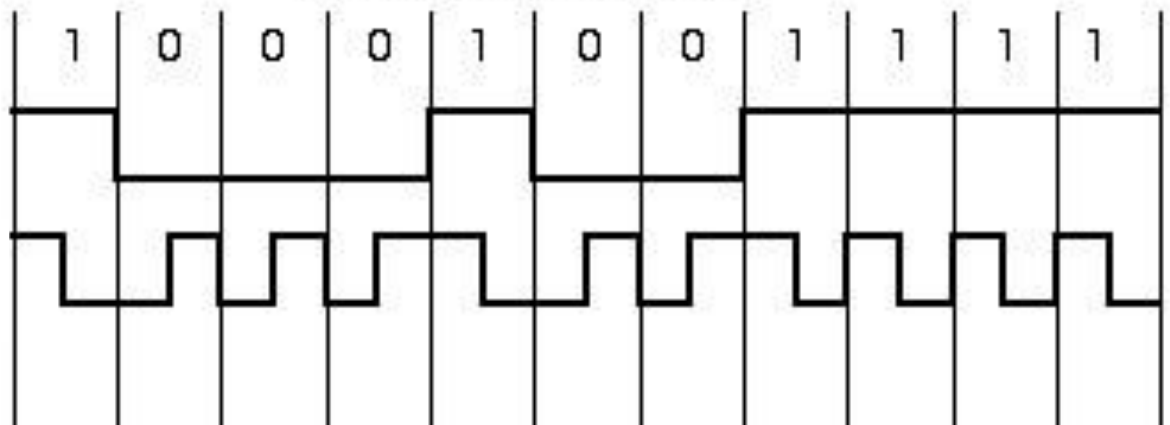


- Για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη βοηθά η κωδικοποίηση στο φυσικό στρώμα
- Η αρχική έκδοση του Ethernet χρησιμοποιεί κωδικοποίηση Manchester
 - Μετάβαση στο μέσο κάθε bit
 - δεν απαιτείται κεντρικό ρολόι μεταξύ των κόμβων

Συρμός bit

Διαδική κωδικοποίηση

Κωδικοποίηση Manchester





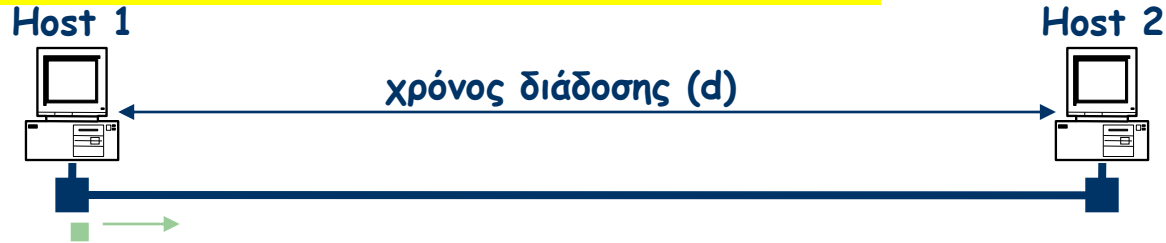
Ελάχιστο μήκος πλαισίου Ethernet

- 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;

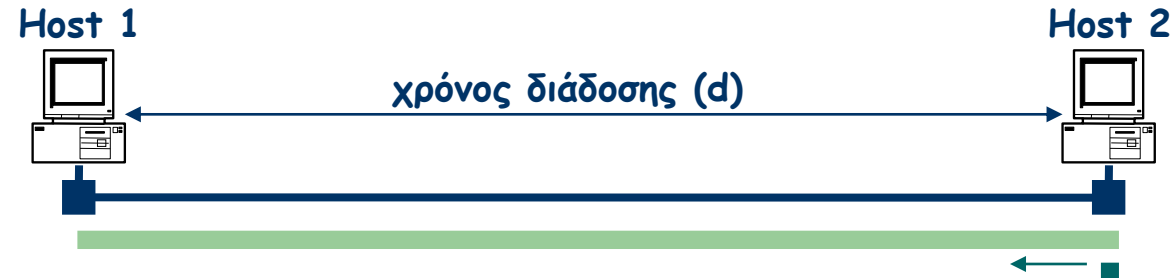


Μέγιστο μήκος LAN

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



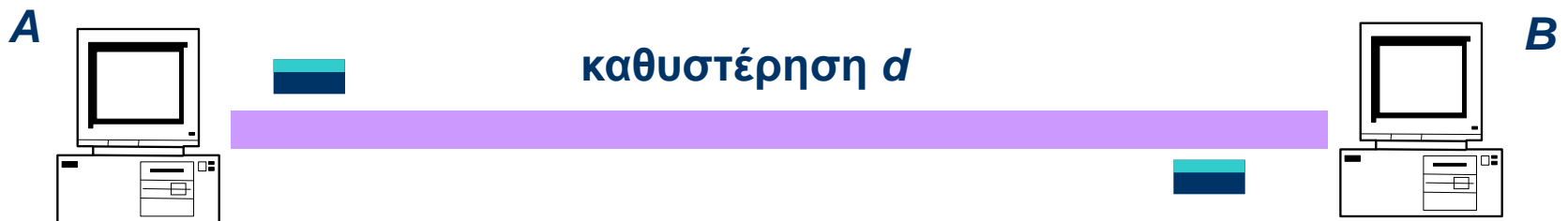
→ ανιχνεύει τη σύγκρουση

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



Παράδειγμα: Ethernet 10 Mbps

- **Μέγιστο μήκος καλωδίου: 2500 m**
 - **Ελάχιστο μήκος πλαισίου: 512 bit (64 byte)**
 - Χρόνος μετάδοσης 512 bit = 51.2 μ sec (στα 10 Mbps)
 - Για ταχύτητα διάδοσης 2×10^8 m/s το σήμα σε 51.2 μ 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 $TRANSF \rightarrow \infty$



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



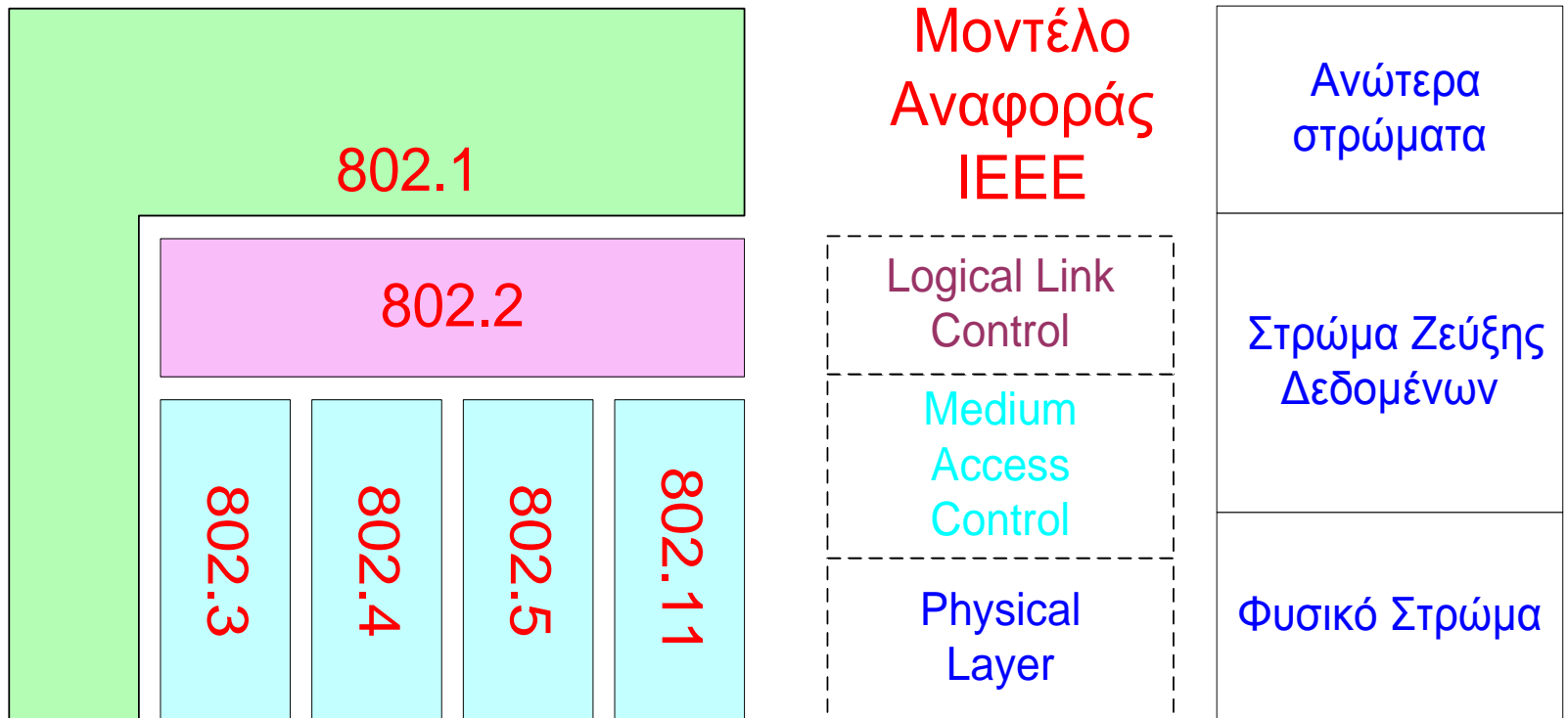
Τεχνολογίες Ethernet



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

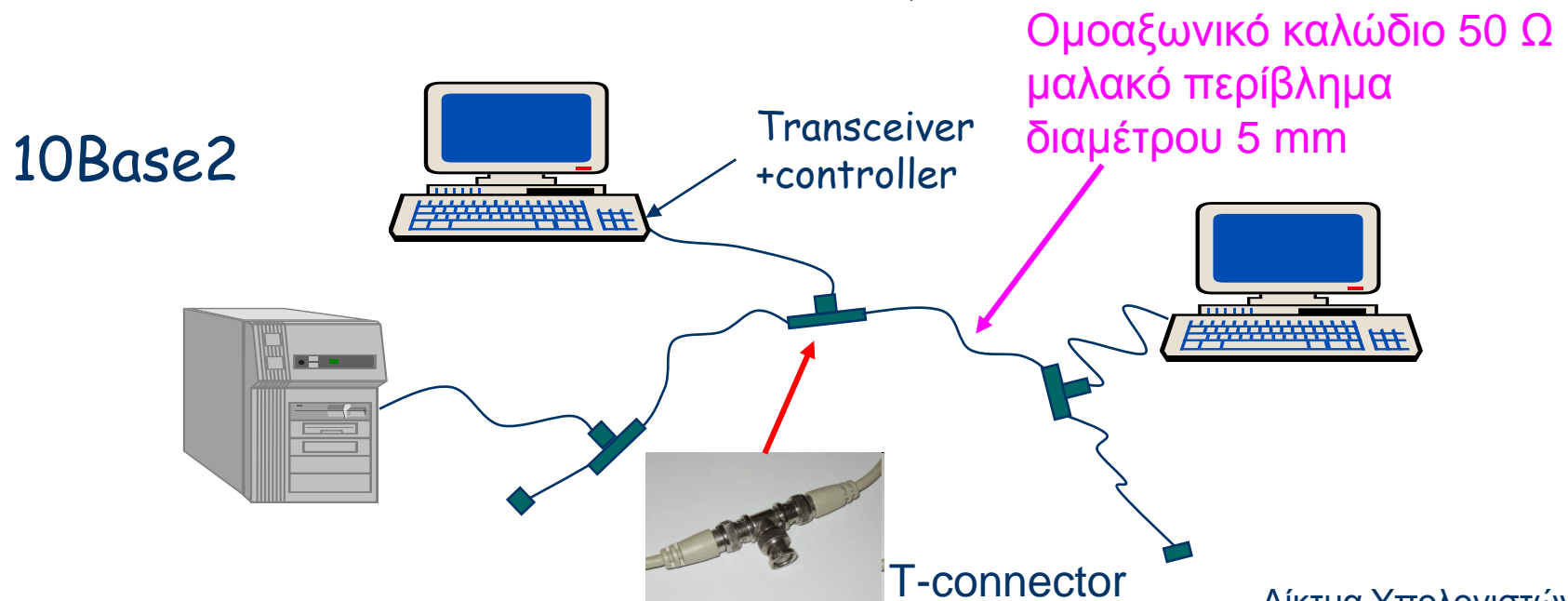
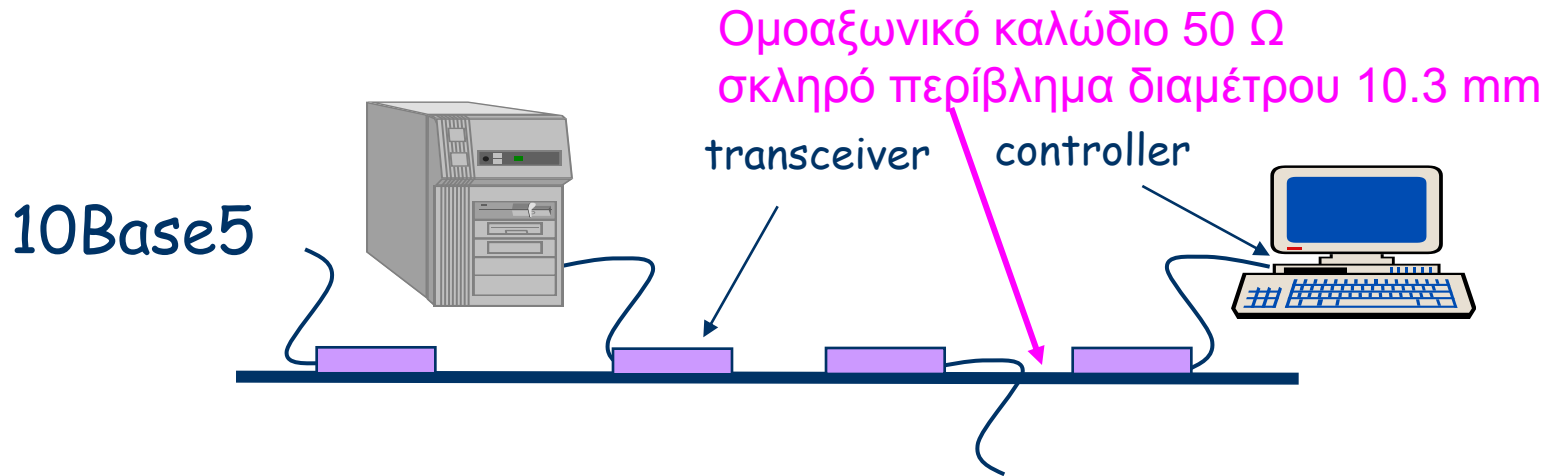
 - 1000Base-T 1 Gbps διπλαγωγός Cat. 5 (4 ζεύγη)
 - 1000Base-SX 1 Gbps πολύτροπη ίνα (μικρές αποστάσεις)

10GE ή 10GbE ή 10GigE

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



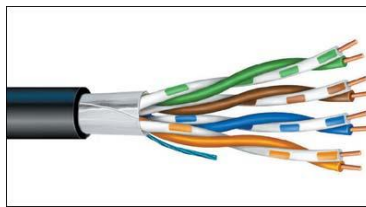
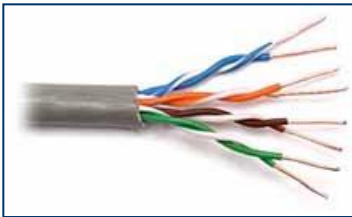
Τα πρώτα Ethernet LAN





Ethernet με διπλαγωγούς

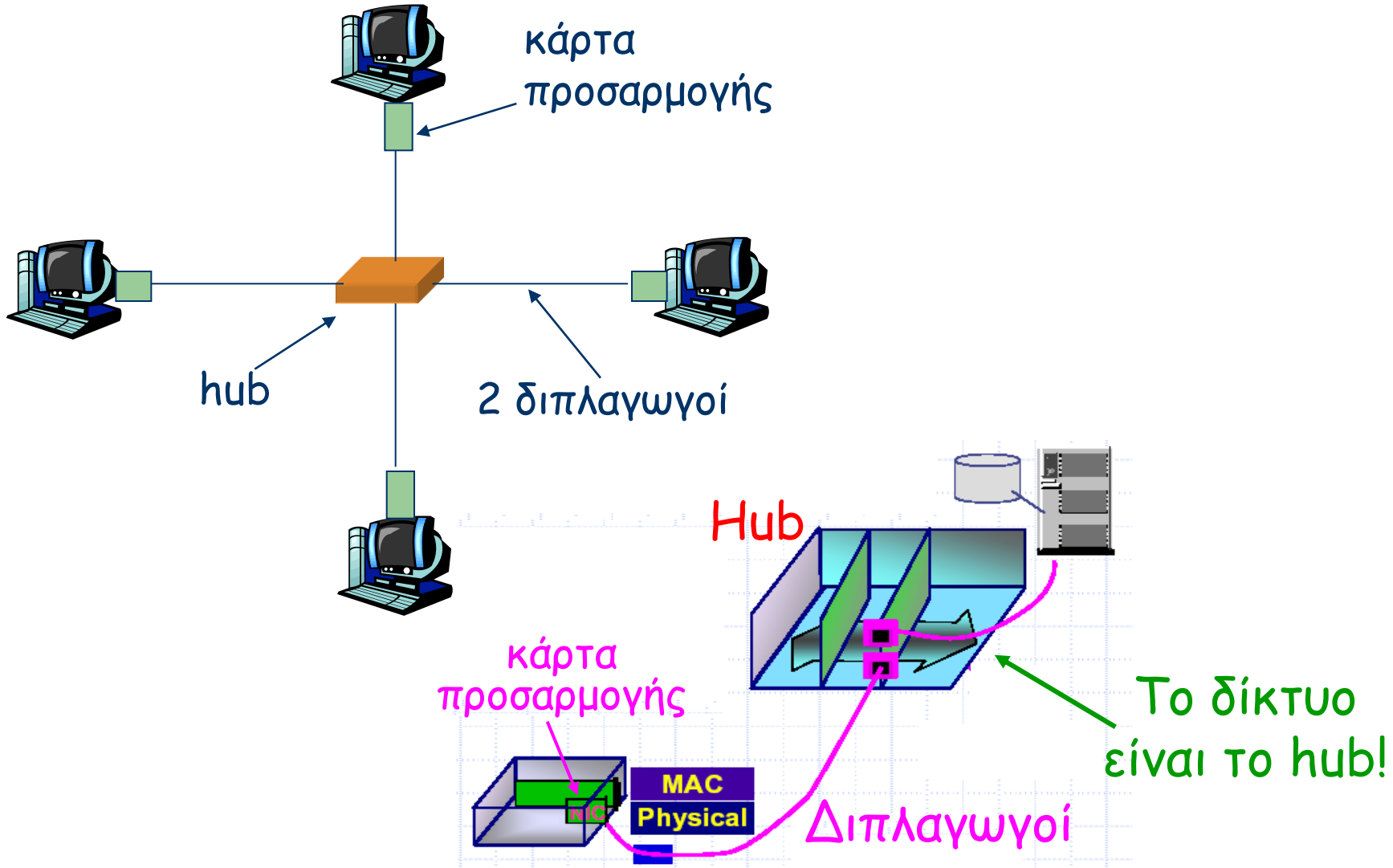
- Στο Thin Ethernet η αποσύνδεση των καλωδίων ήταν συνηθισμένο φαινόμενο
 - ο εντοπισμός των διακοπών απαιτούσε σημαντικό χρόνο
 - οδήγησε σε διαφορετική σχεδίαση
 - χρήση υπάρχουσας δομημένη καλωδίωσης (για τηλεφωνία)
- Όλοι οι σταθμοί συνδέονται σε **ακτινικό επαναλήπτη ή πλήμνη (hub)**
- Εισάγεται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



Πλήρως αμφίδρομο Ethernet

- Το πρότυπο IEEE 802.3x ορίζει ένα δεύτερο τρόπο λειτουργία του Ethernet, τον πλήρως αμφίδρομο (Full Duplex - FD), ο οποίος 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
- Πλεονεκτήματα
 - Αύξηση του εύρους ζώνης. Κόμβος 10 Mbps σε πλήρως αμφίδρομη λειτουργία παρέχει διέλευση 20 Mbps
 - **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 μ 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

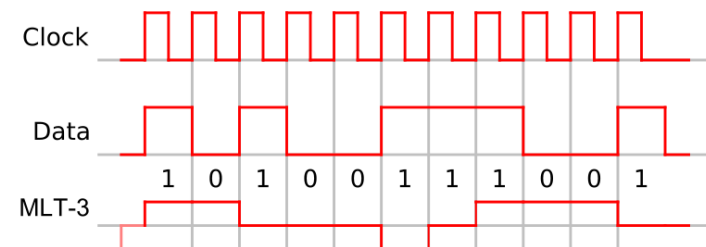
- 4 διπλαγωγοί UTP Cat.3
- Ένας διπλαγωγός για εκπομπή, ένας για λήψη και οι άλλοι δύο έχουν τη δυνατότητα να μεταχθούν προς την τρέχουσα κατεύθυνση μετάδοσης
- Εγγενώς ημι-αμφίδρομο (half duplex)
- Κωδικοποίηση 8B6T στα 25 Mbaud, $25 \times (8/6) = 33.3$ Mbps ανά ζεύγος, με διαμόρφωση PAM-3 (pulse-amplitude 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
- Ιδία κωδικοποίηση και διαμόρφωση με το 100Base-TX
- Μέγιστο μήκος τμήματος 400 m για hub και 2 km για switch

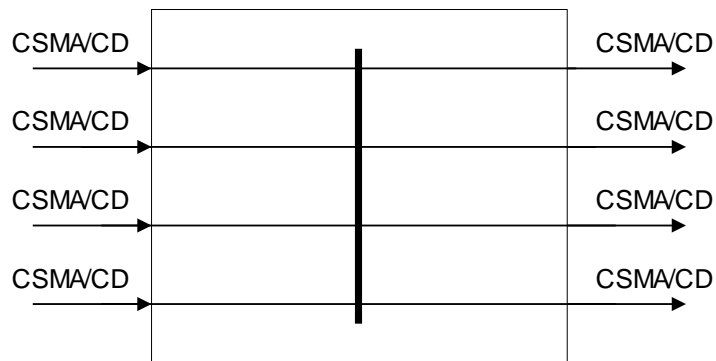




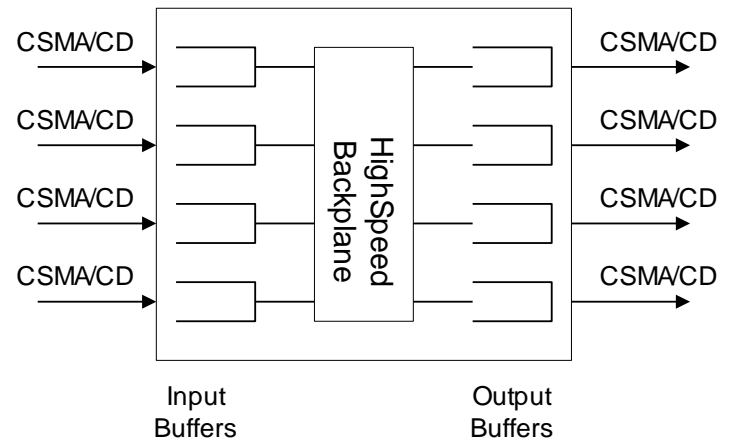
Ethernet switch

- Το ταχύ Ethernet μπορεί να λειτουργήσει με hub ή switch

Hub



Switch





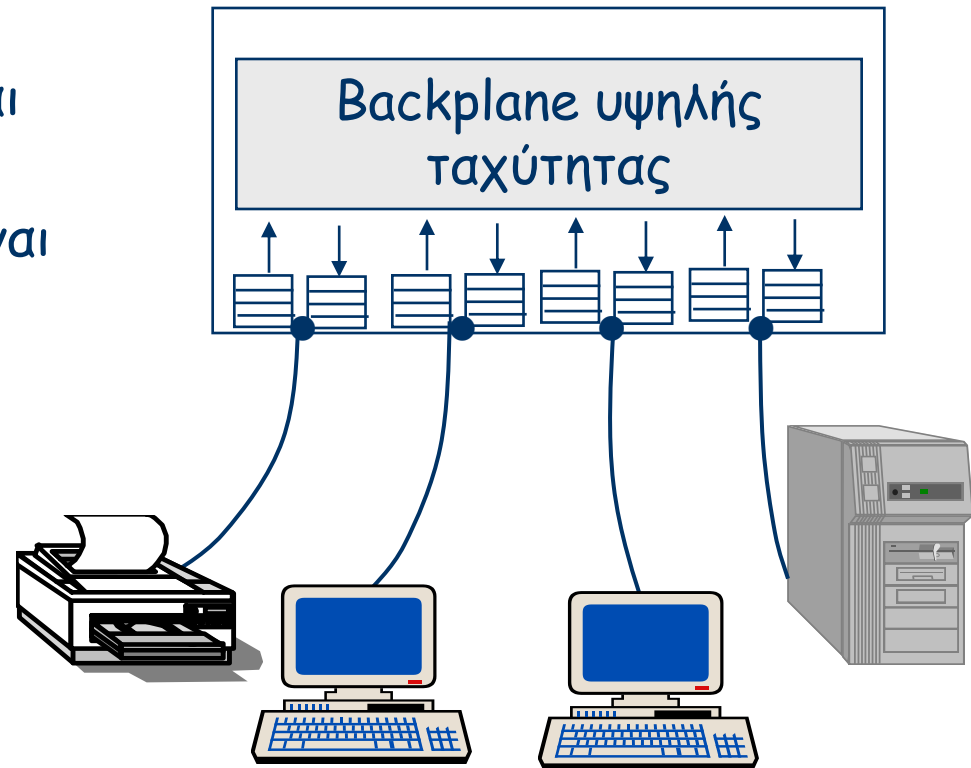
Ethernet Hub ή Ethernet Switch

- 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

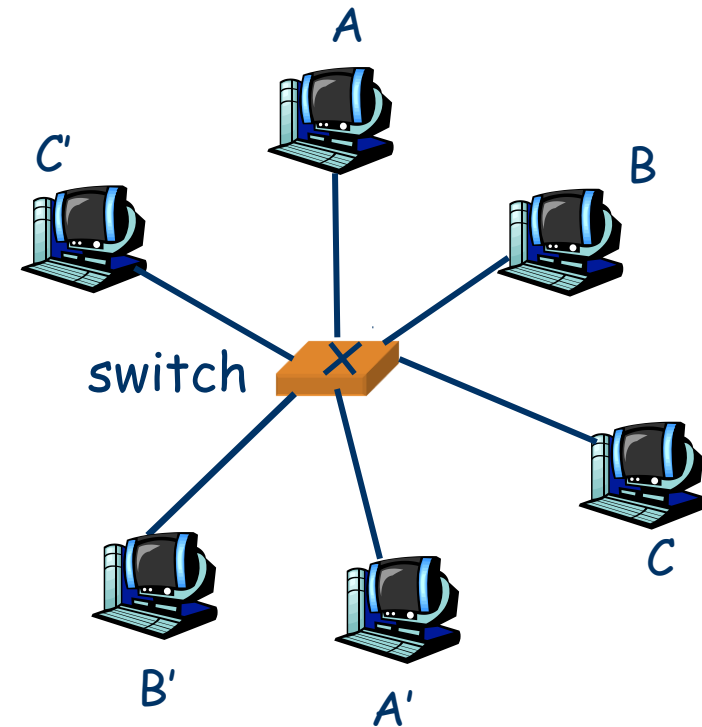
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης
- **Υπάρχουν συγκρούσεις;**





Μεταγωγέας Ethernet

- Κάθε host έχει δική του σύνδεση στον μεταγωγέα
- Επειδή οι μεταγωγείς αποθηκεύουν και προωθούν, ο μεταγωγέας θα 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**;
 - Εάν έχουμε ημι-αμφίδρομη μετάδοση μπορεί να συμβούν συγκρούσεις
- **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: 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
 - 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 ΙΕΕΕ 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 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

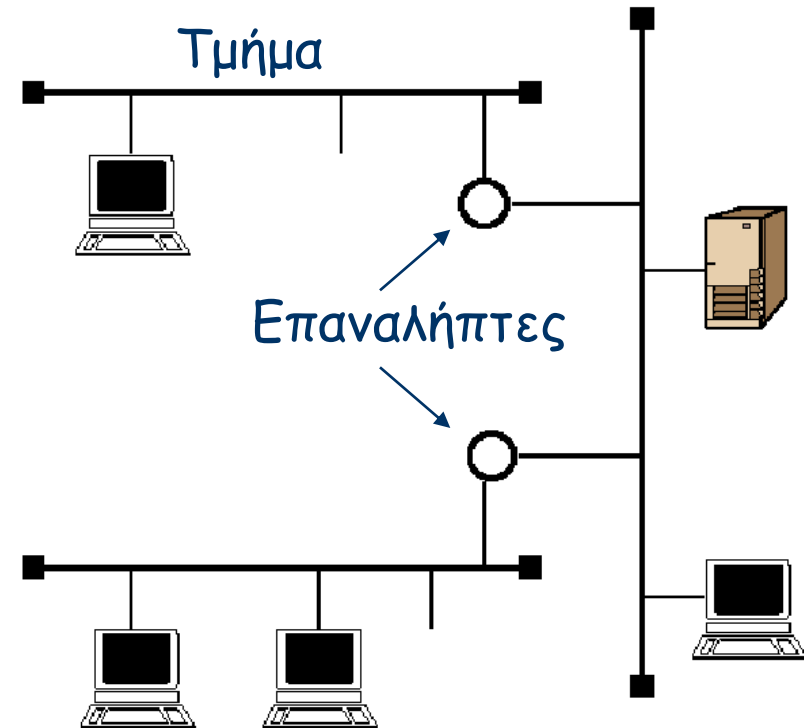


- Συχνά υπάρχει ανάγκη να διασυνδεθούν πολλά LAN και να σχηματισθεί ένα εκτεταμένο LAN
- Η διασύνδεση μπορεί να γίνει στο
 - Φυσικό στρώμα
 - Επαναλήπτες (Repeaters)
 - Hubs
 - Στρώμα ζεύξης δεδομένων
 - Γέφυρες (Bridges)
 - Μεταγωγείς (Switches)
 - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες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



Επαναλήπτες

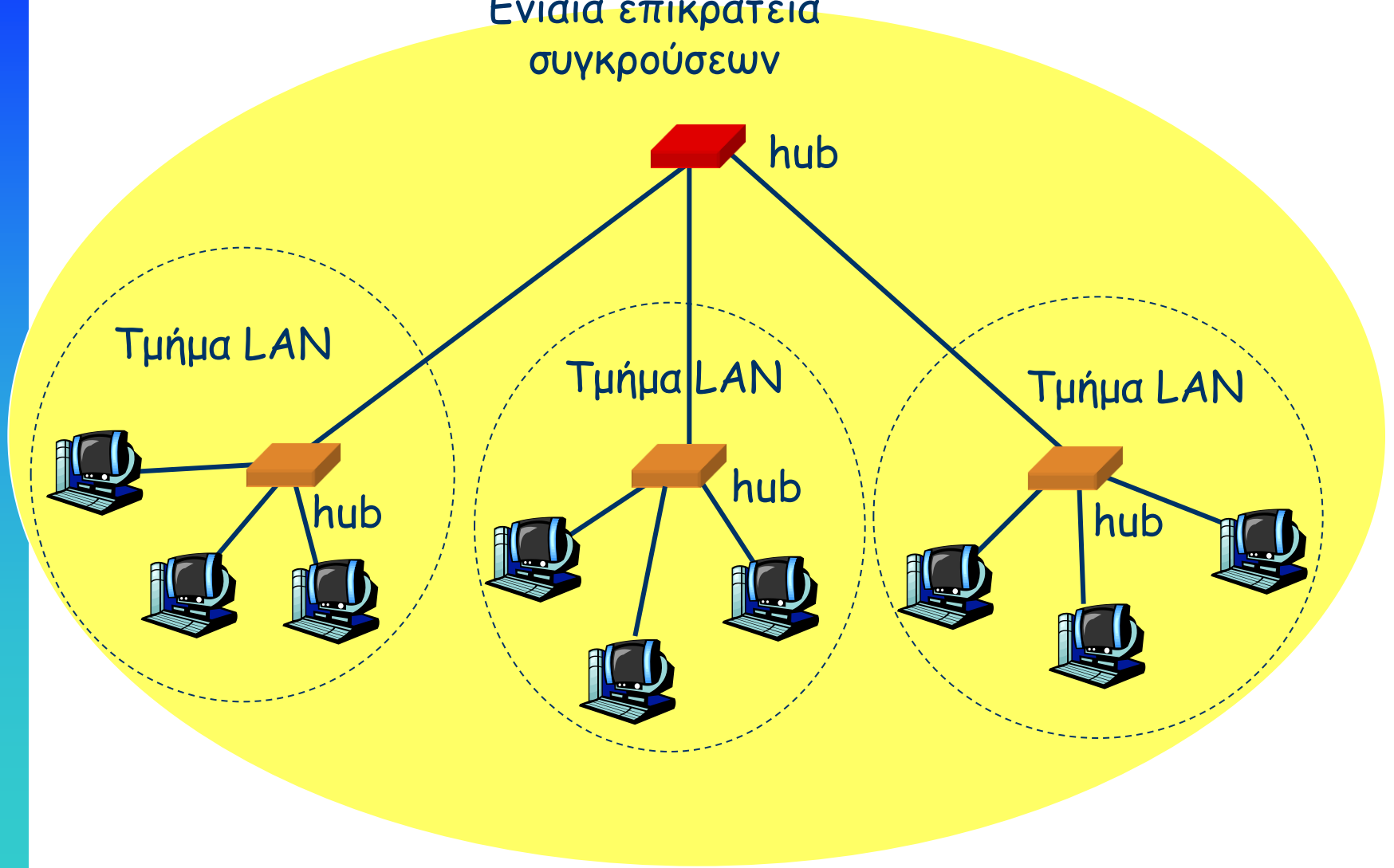
- Λειτουργούν στο φυσικό στρώμα
- Μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Ενώνουν δύο τμήματα καλωδίου
- Δεν έχουν χώρο προσωρινής αποθήκευσης
- Δεν υπάρχει λογική απομόνωση των τμημάτων
- Αν δύο σταθμοί σε διαφορετικά τμήματα στείλουν ταυτόχρονα, τα πακέτα συγκρούονται
- Μόνο μία διαδρομή τμημάτων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

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

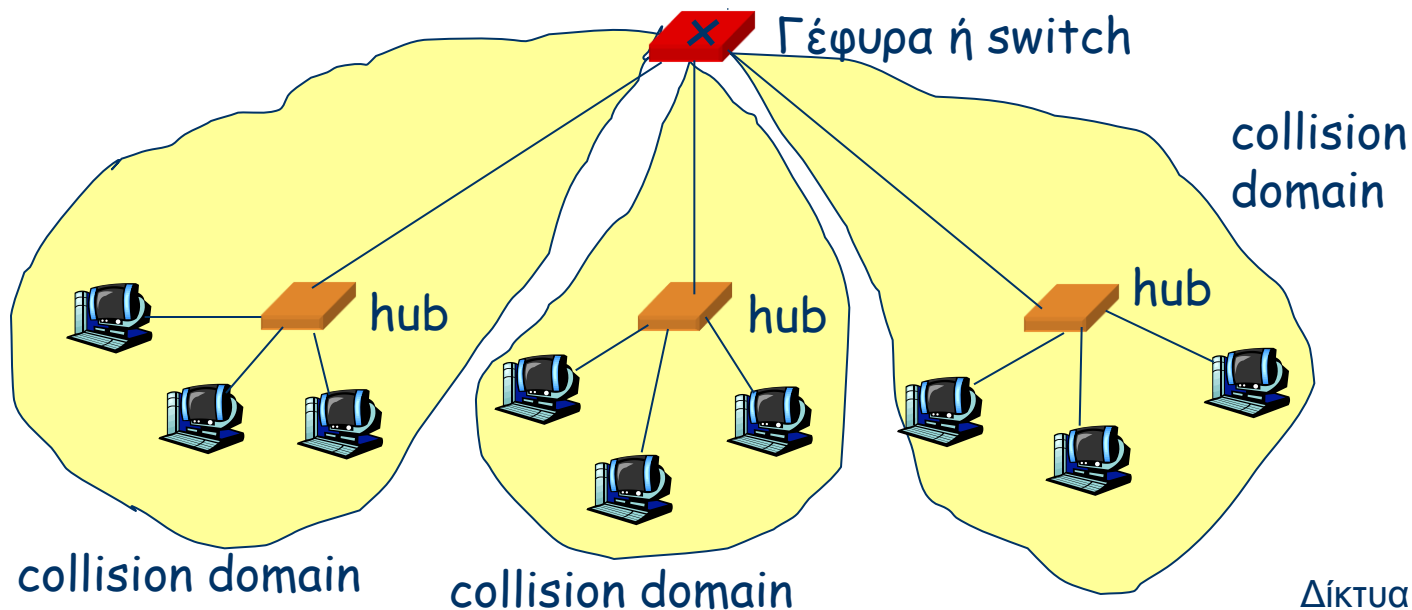


- Διασυνδέει δύο ή περισσότερα τμήματα LAN στο στρώμα ζεύξης δεδομένων
 - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια
 - εξετάζει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου
 - συμβουλεύεται τον πίνακα προώθησης
 - προωθεί το πλαίσιο στο κατάλληλο τμήμα LAN
 - μπορεί να συνδέει LAN διαφορετικών τεχνολογιών
- διαφανής
 - 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



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

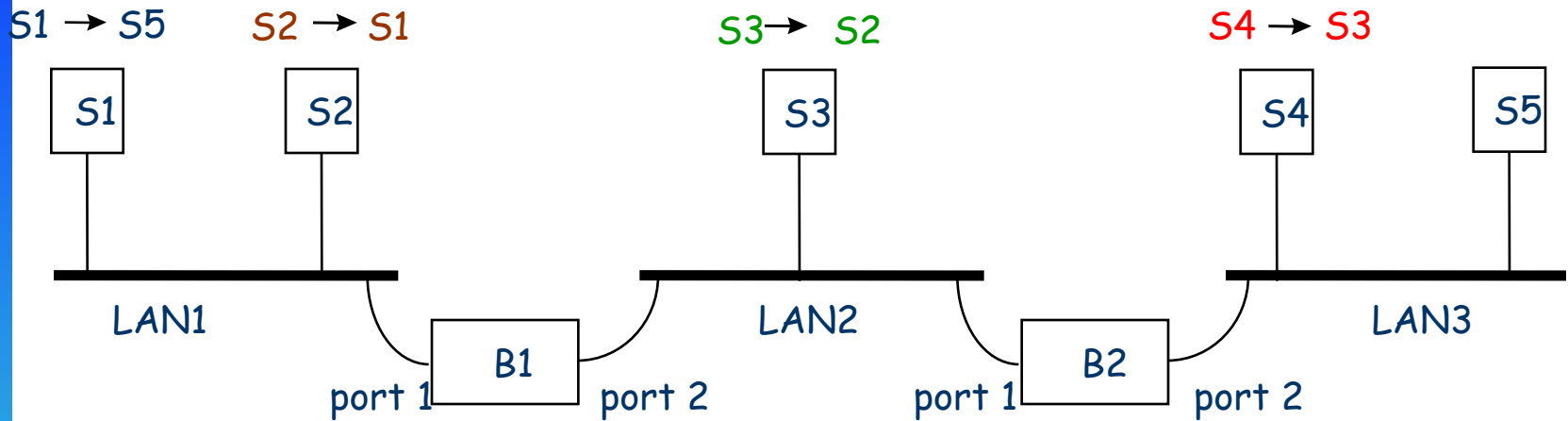
}

else χρησιμοποιεί **πλημμύρα**

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



ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ γέφυρας



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2

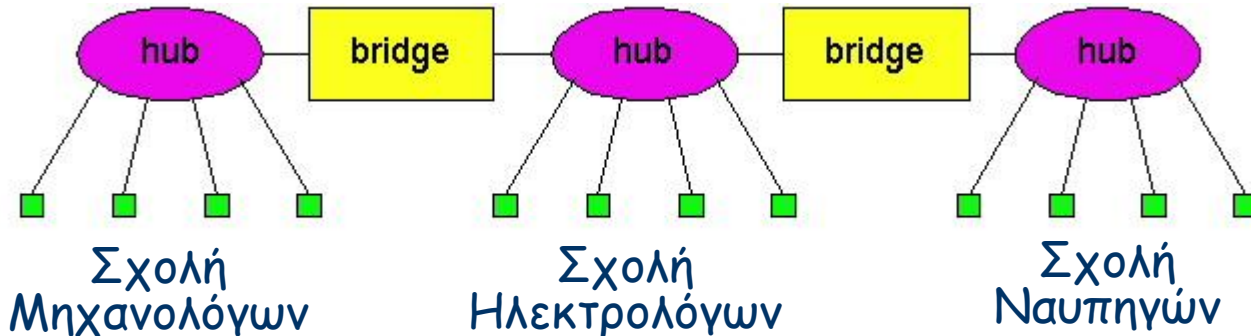


Διασύνδεση με γέφυρες

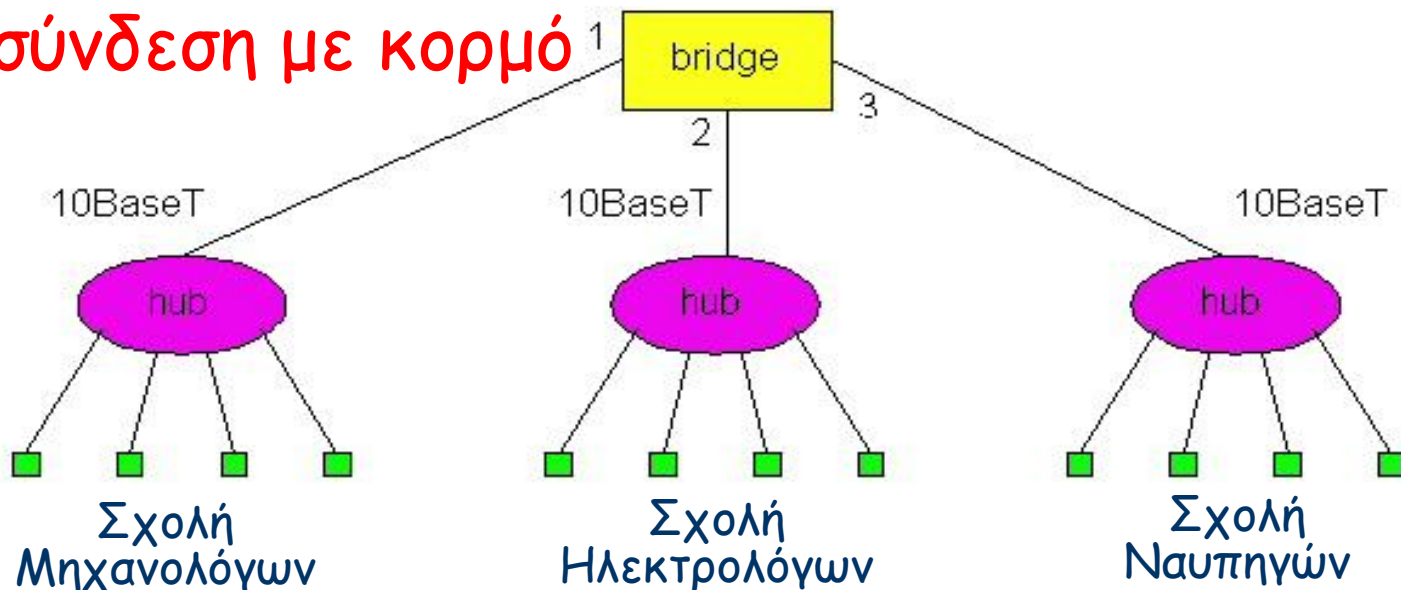


Διασύνδεση LAN μέσω γεφυρών

Διασύνδεση χωρίς κορμό



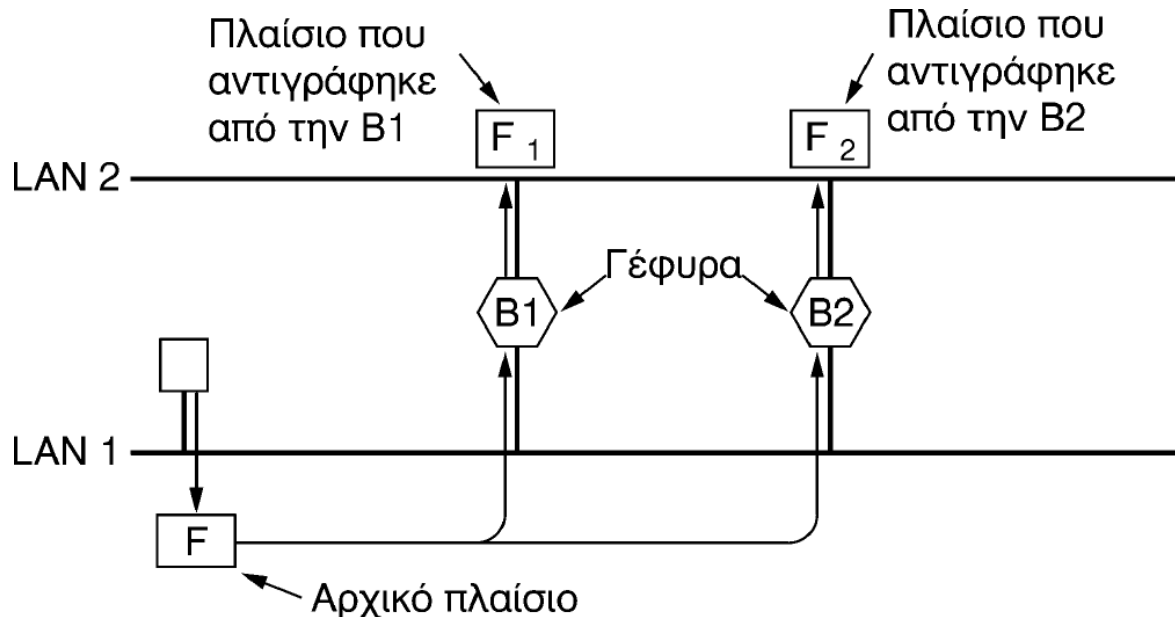
Διασύνδεση με κορμό





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

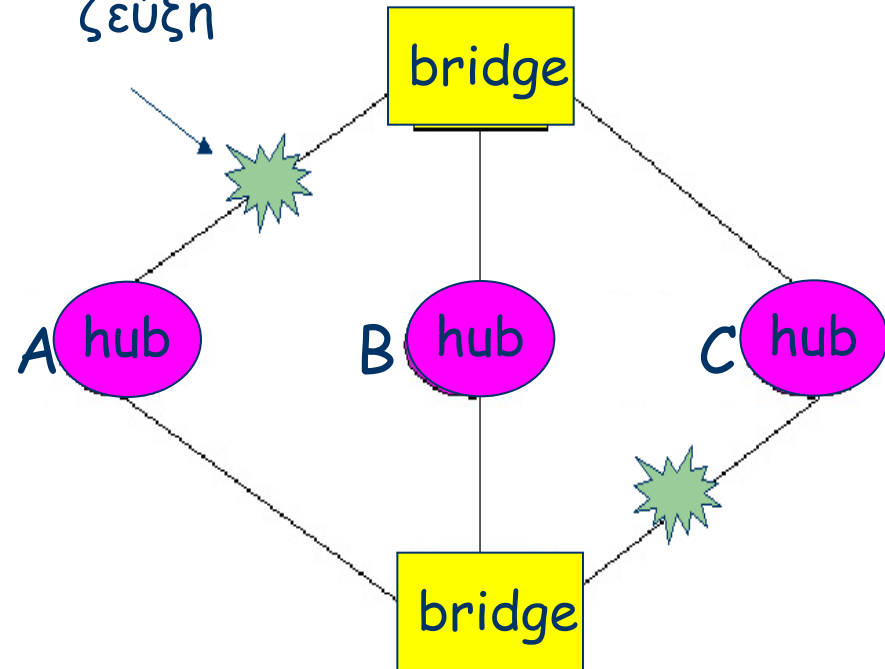




Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών

- **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





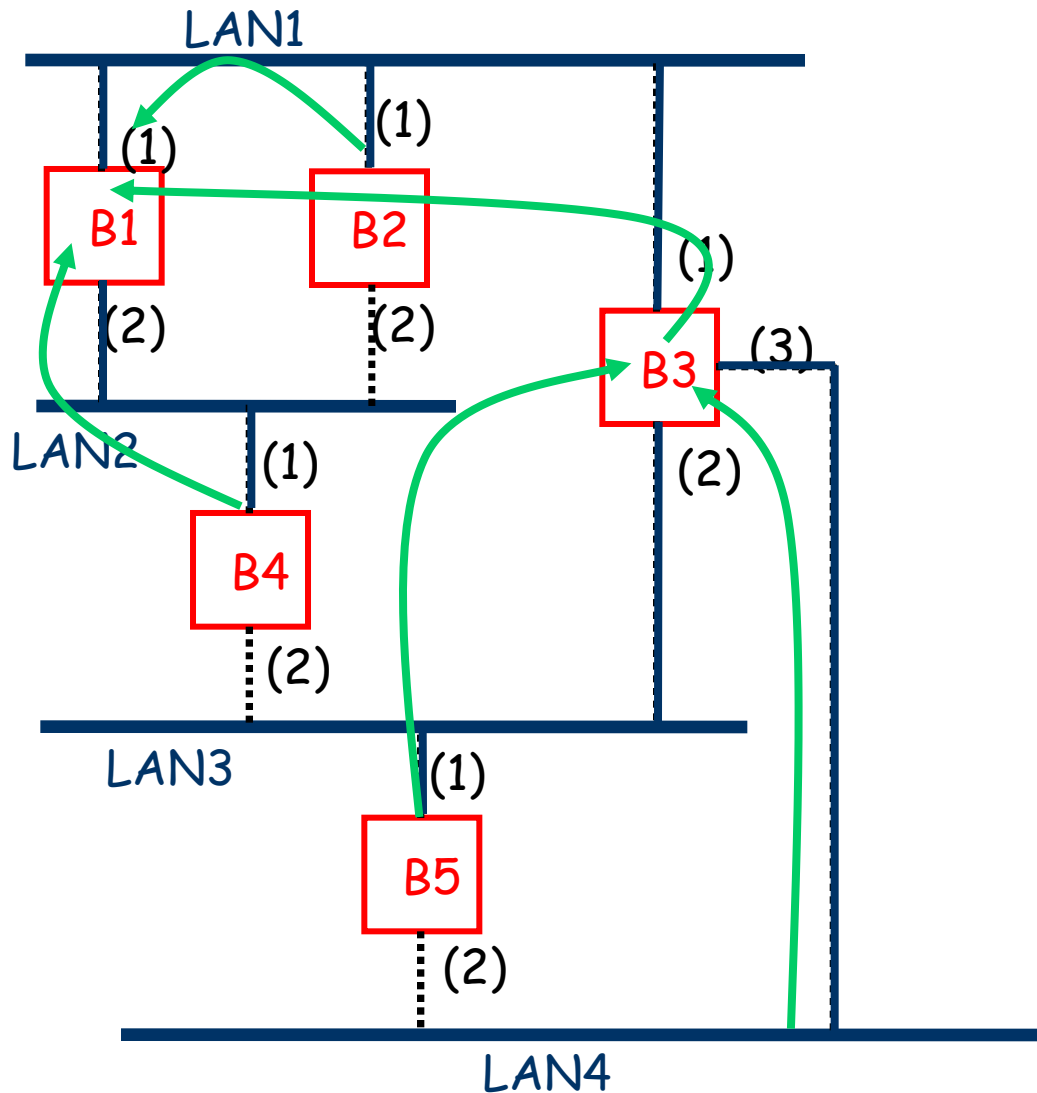
Οργάνωση δικτύων σε δέντρα

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

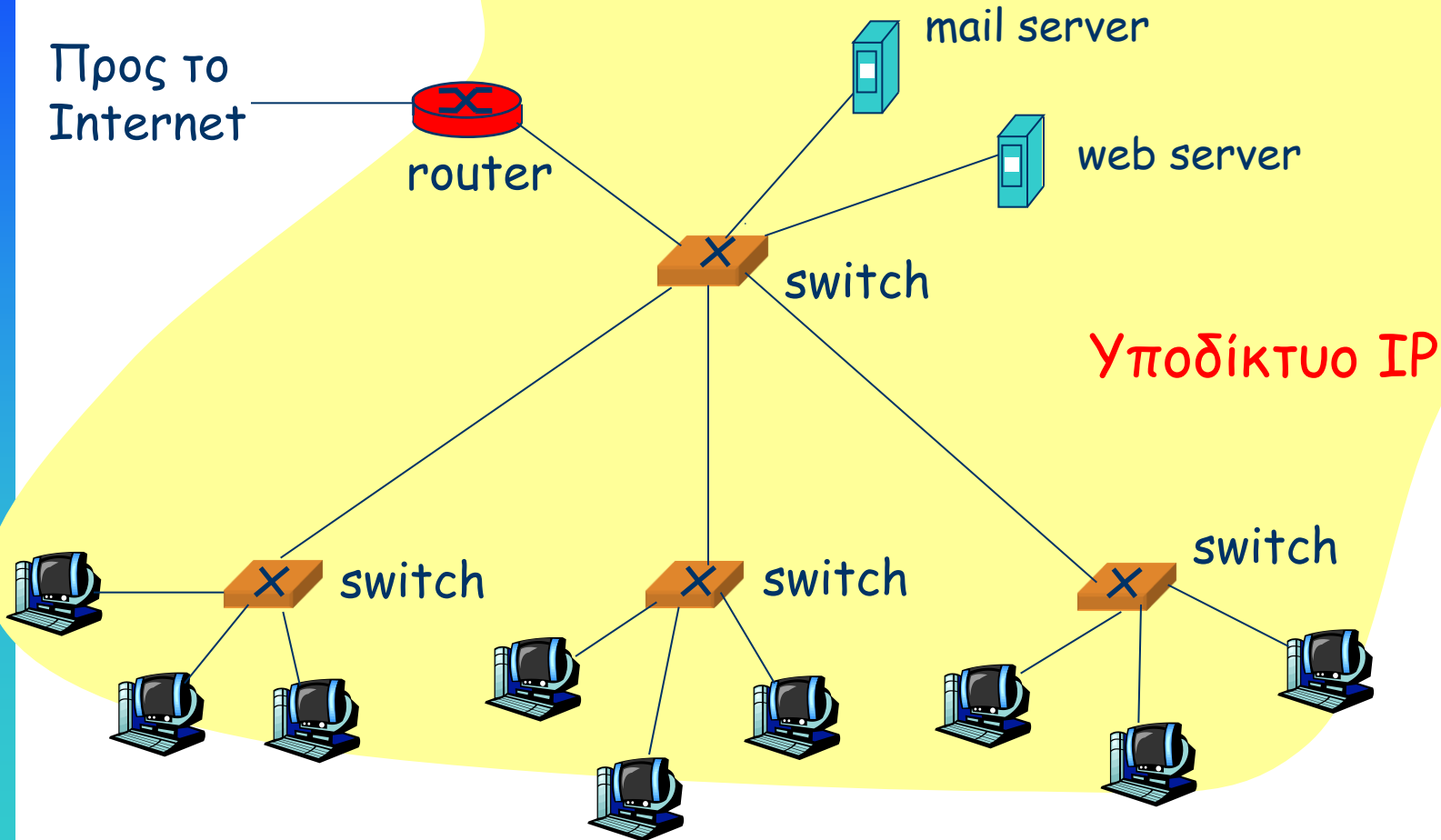
Διασύνδεση με μεταγωγέα



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



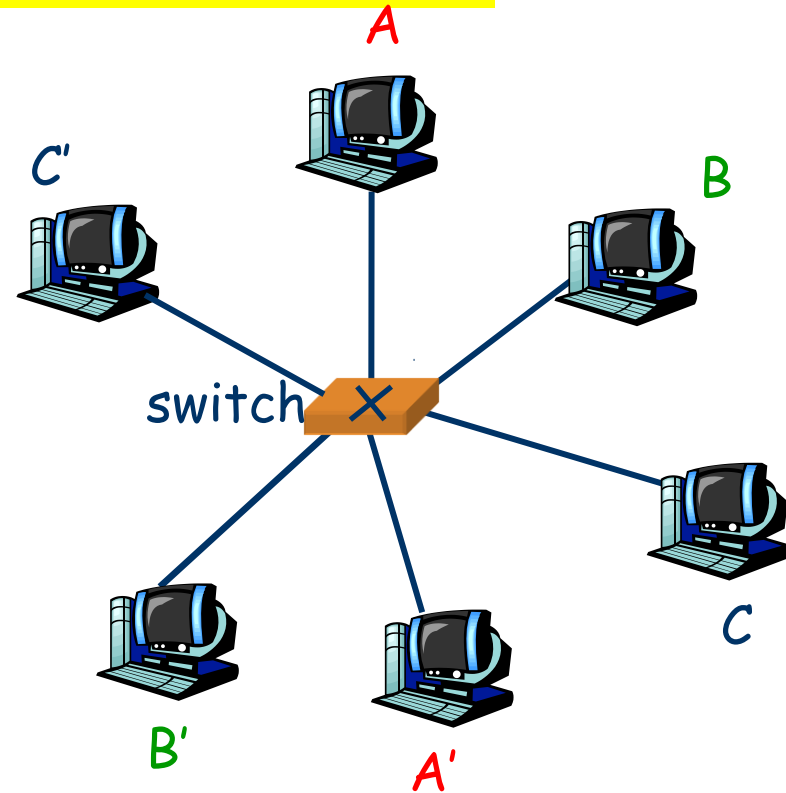
LAN με μεταγωγή





Μεταγωγέας Ethernet

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



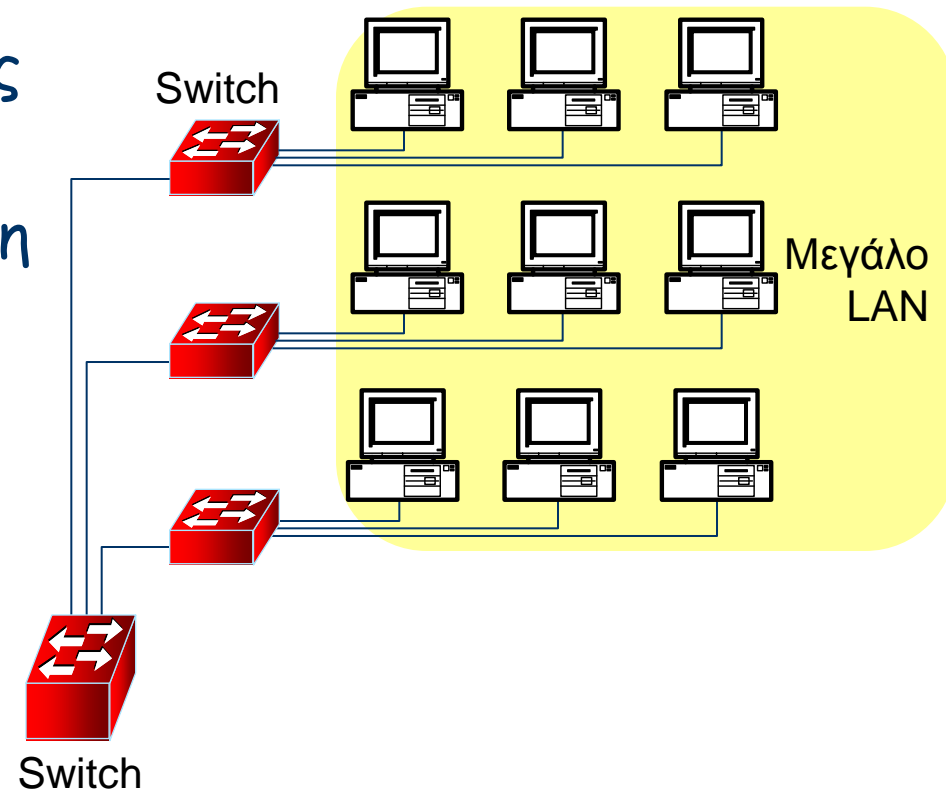


Virtual LANs



Μεγάλα LANs

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

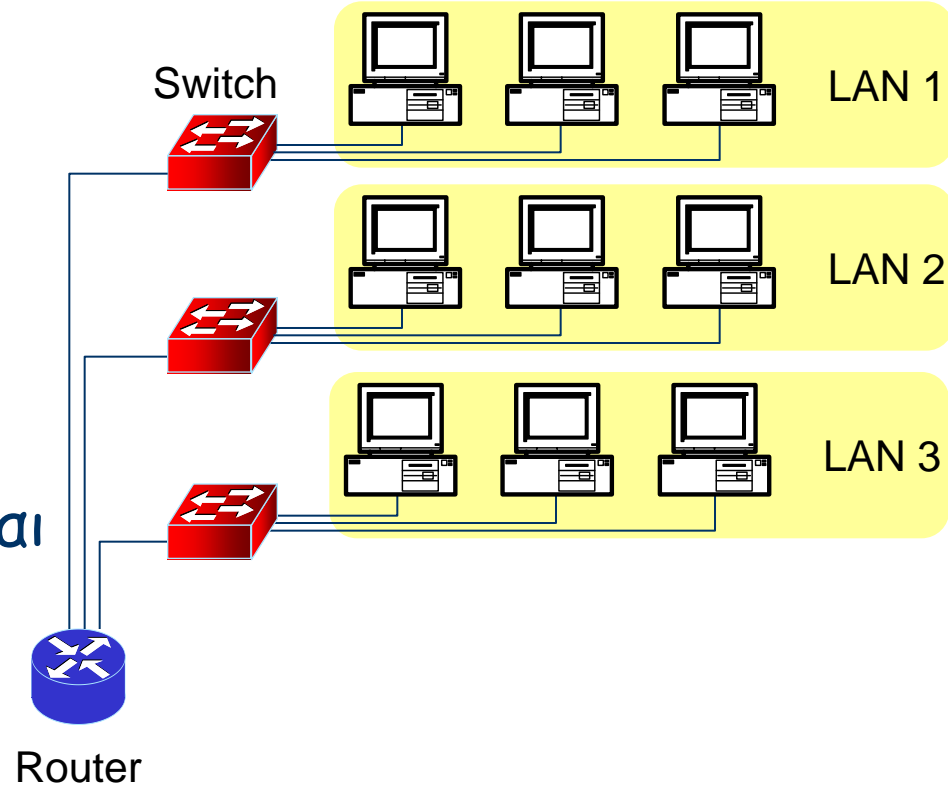




Διαχωρισμός με υποδίκτυα

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

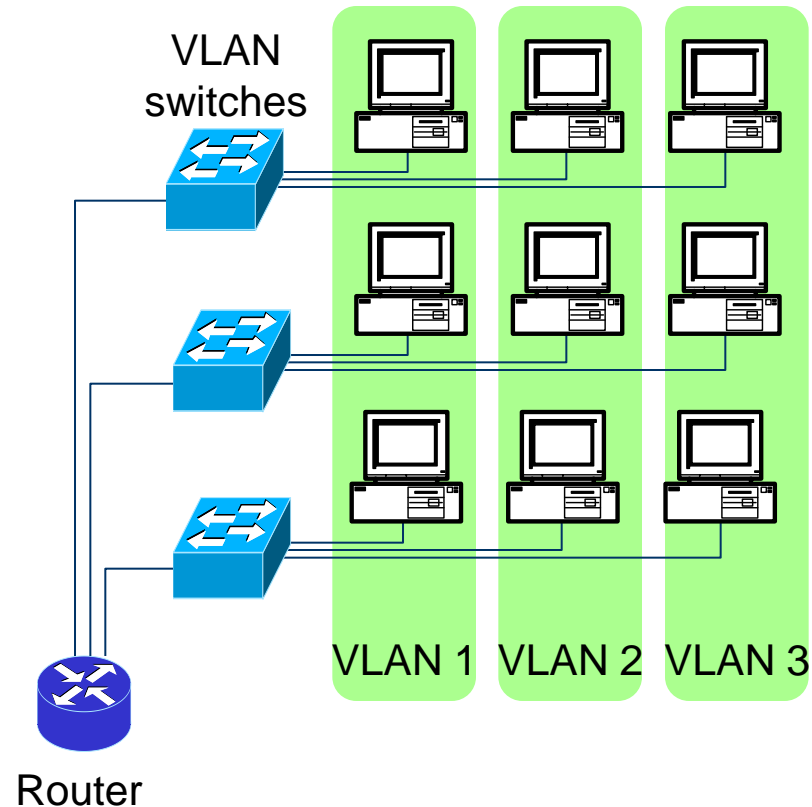




Virtual Local Area Networks

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

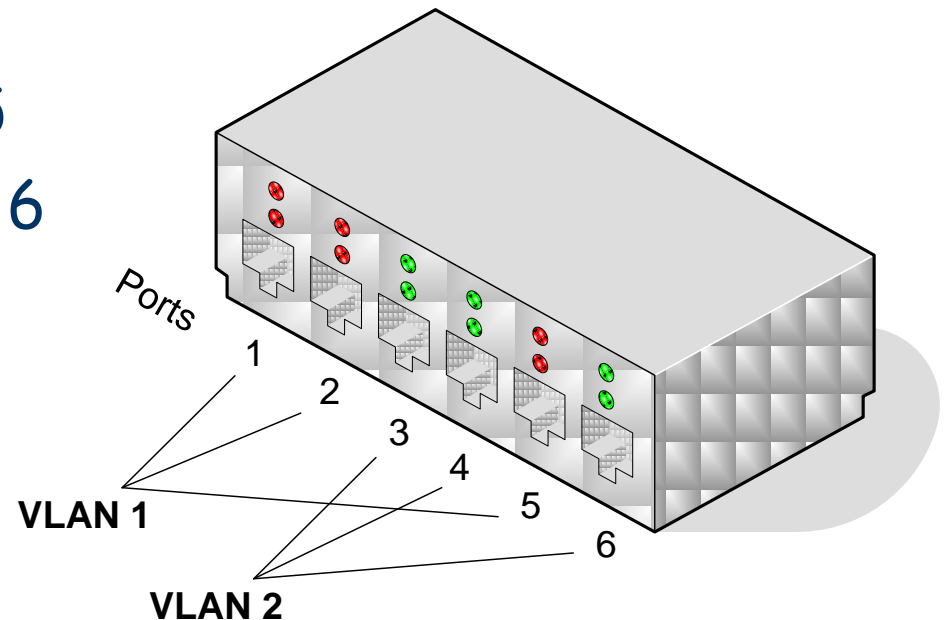




Διάρθρωση των VLAN

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

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

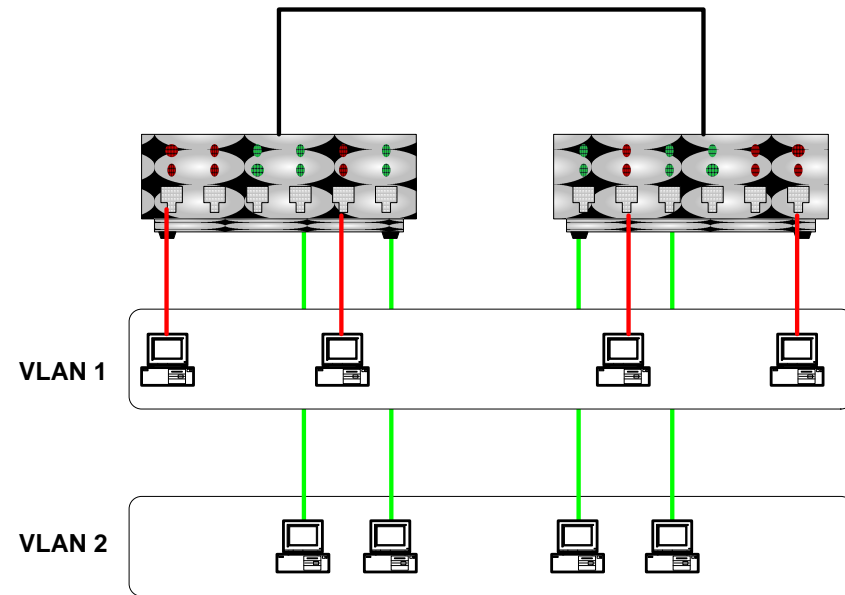


- Ο μεταγωγέας διαχωρίζει πλήρως την κίνηση από διαφορετικά VLAN
 - Ένας μοναδικός μεταγωγέας εμφανίζεται ως πολλοί μεταγωγείς



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

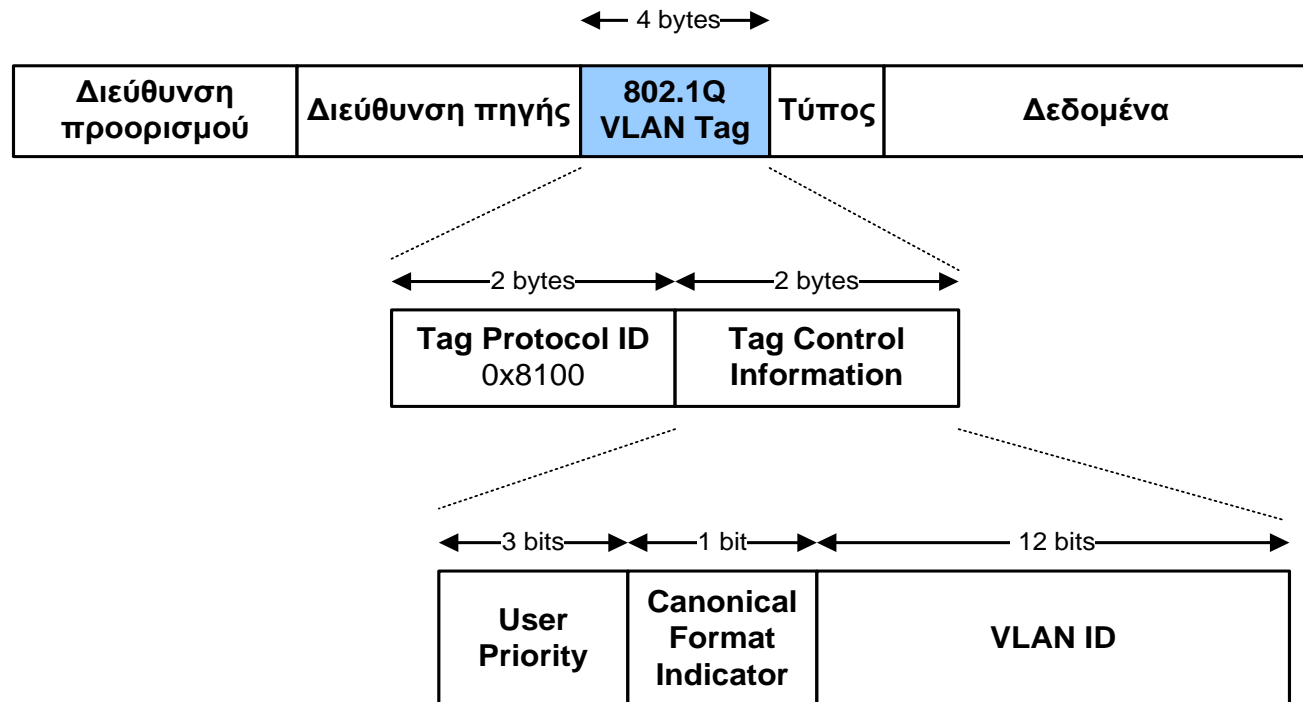


→ VLAN tags (ετικέτες)



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

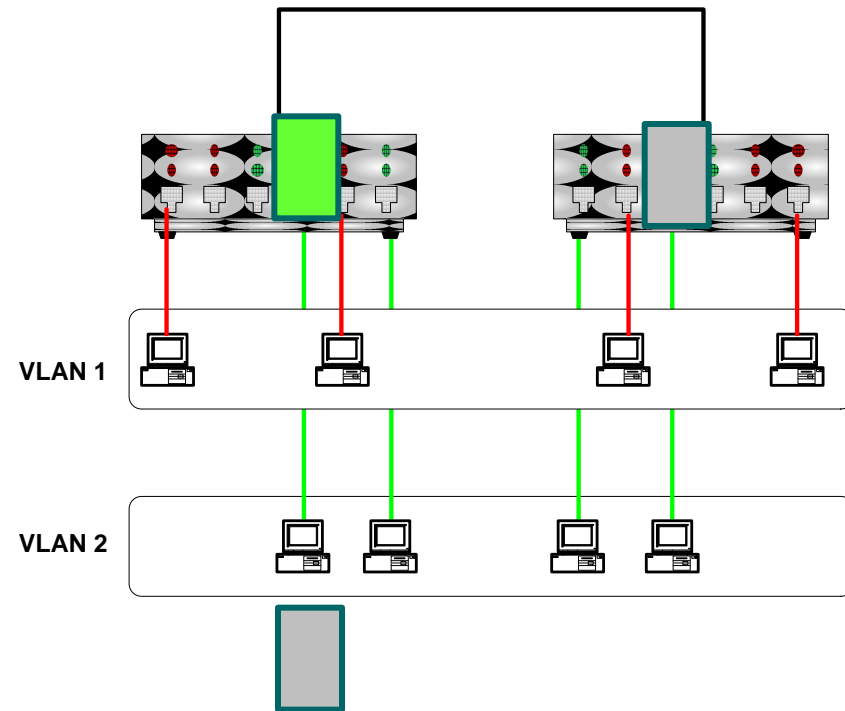
- **Tag Protocol Identifier:**
 - Η τιμή 0x8100 δηλώνει ετικέτα 802.1Q
 - Βρίσκεται στη θέση του πεδίου τύπος
 - τα πλαίσια με ετικέτες ξεχωρίζουν εύκολα
- **User Priority:**
 - Τίθεται από τον αποστολέα για να δώσει προτεραιότητες σε διαφορετικά είδη κίνησης (π.χ., φωνή, δεδομένα)
 - Το 0 αντιστοιχεί 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

- 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