



ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τοπικά δίκτυα



- Τοπικό δίκτυο Ethernet και οι διάφορες τεχνολογίες υλοποίησής του
- Τρόποι διασύνδεσης τμημάτων LAN
- Εισαγωγή στην ασύρματη δικτύωση
- Περιγραφή δύο από τα σημαντικότερα πρότυπα ασύρματης δικτύωσης



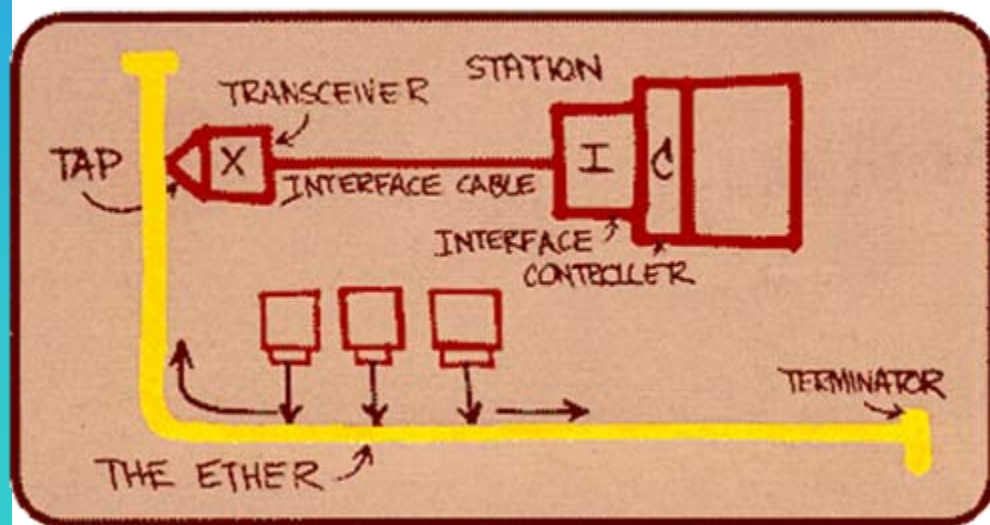
- Ethernet
 - Βασικά στοιχεία
 - Πρωτόκολλο CSMA/CD
 - Τεχνολογίες
- Διασύνδεση τμημάτων LAN
 - Επαναλήπτες
 - Γέφυρες
 - Hub
 - Μεταγωγείς
- Ασύρματα LAN
 - IEEE 802.11b
 - IEEE 802.15 PAN (Bluetooth)



Ethernet

Η “επικρατέστερη” τεχνολογία LAN:

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

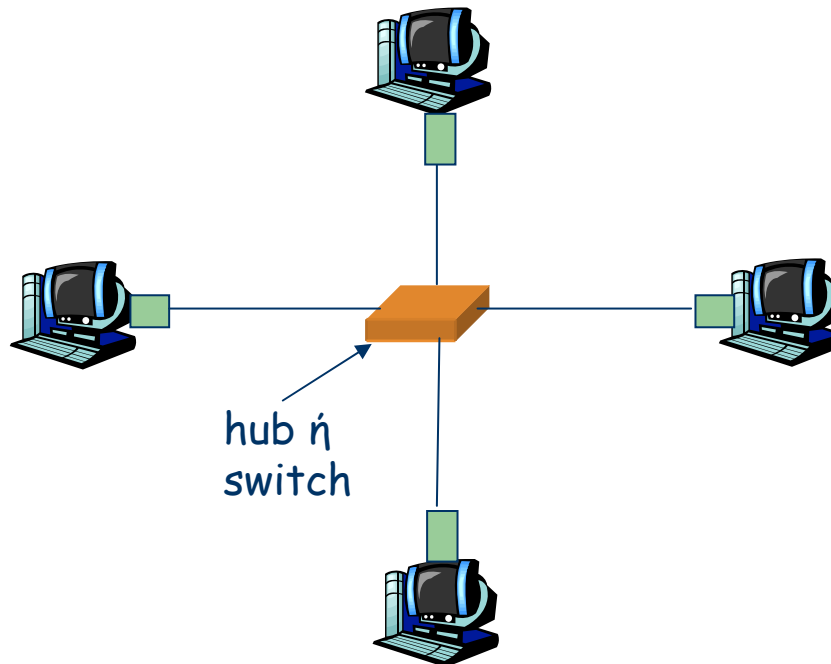


Το πρώτο σκαρίφημα του Metcalfe που οδήγησε στο Ethernet 10Base5

Τοπολογία αστέρα



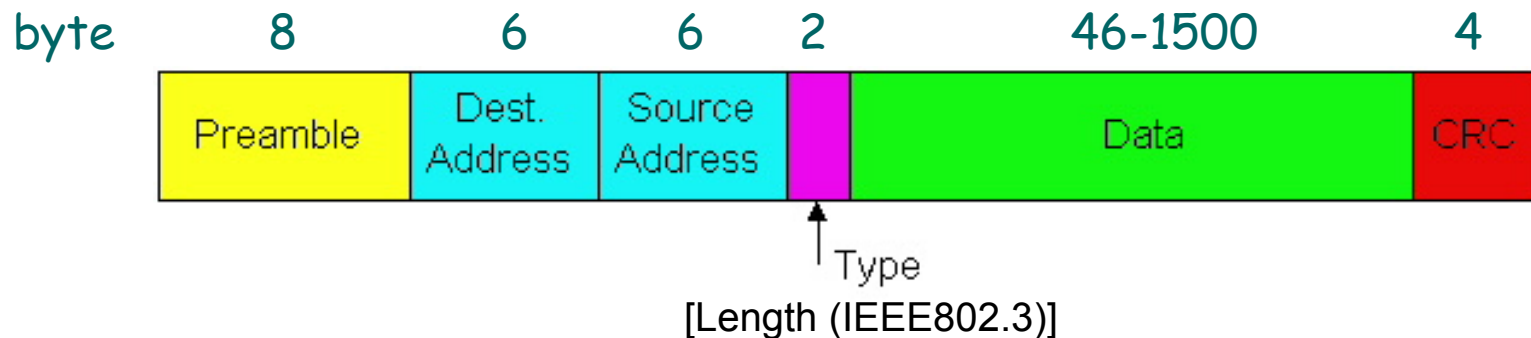
- Η τοπολογία αρτηρίας ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1990
- Τώρα επικρατεί η τοπολογία αστέρα
- Επιλογές διασύνδεσης: hub ή switch





Δομή πλαισίου Ethernet

Κοινή δομή πλαισίου για όλες τις τεχνολογίες Ethernet.



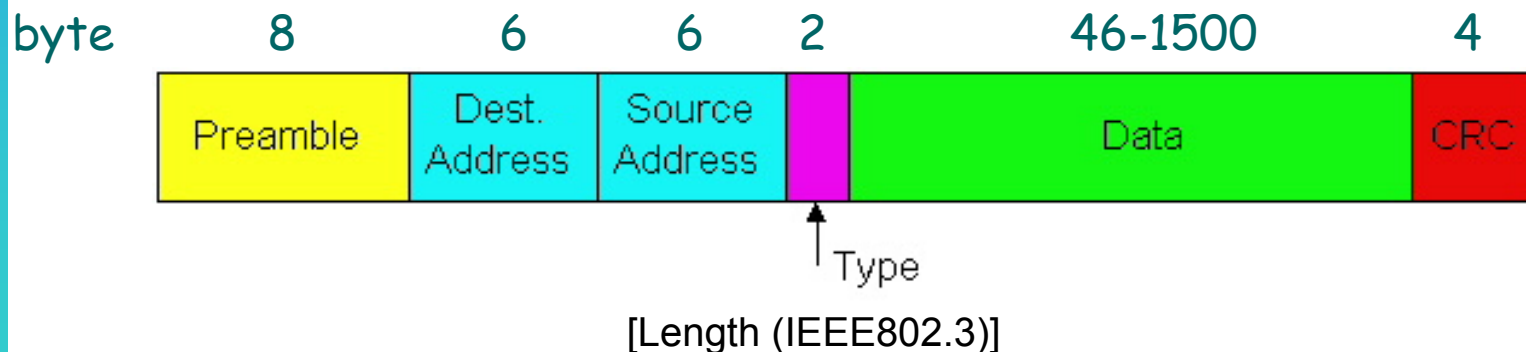
Preamble:

- 7 byte της μορφής 10101010 ακολουθούμενα από 1 byte της μορφής 10101011
- χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του δέκτη με τον αποστολέα

Δομή πλαισίου Ethernet



- **Address:** 6 byte σε κάθε πεδίο
 - πλαίσιο με σωστή διεύθυνση προορισμού ή με διεύθυνση εκπομπής (π.χ. πακέτο ARP) γίνεται δεκτό, αλλιώς απορρίπτεται
- **Type:** δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος, κυρίως IP. Μπορεί να υποστηρίζονται και άλλα πρωτόκολλα, όπως Novell IPX, ARP, RARP.
- **CRC:** ελέγχεται στον δέκτη, αν ανιχνευθεί σφάλμα το πλαίσιο απορρίπτεται.

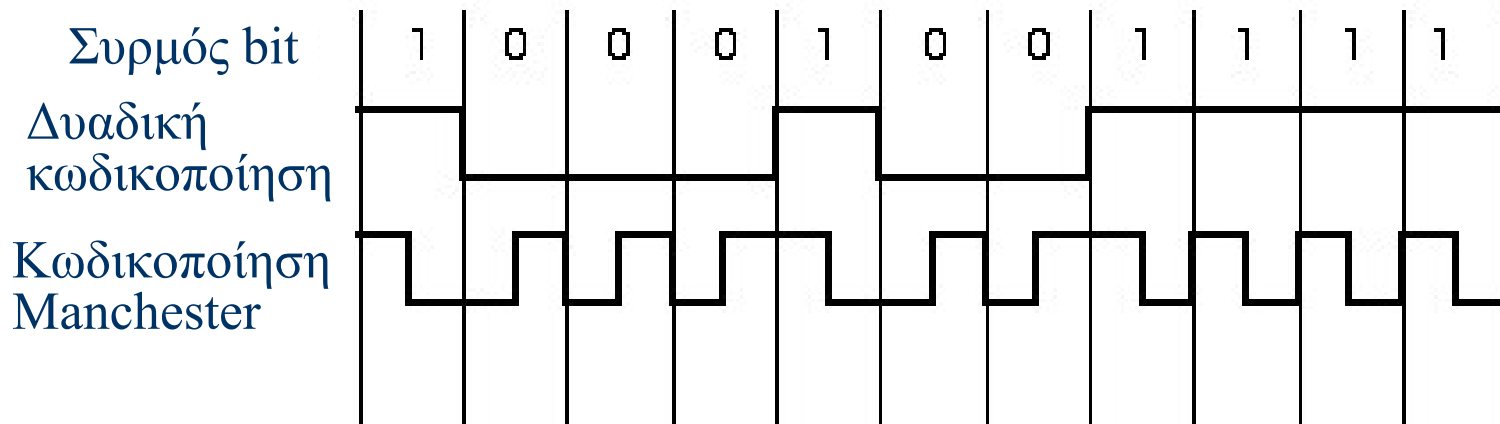


Αναξιόπιστη υπηρεσία χωρίς σύνδεση



- **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

Μετάδοση βασικής ζώνης - Κωδικοποίηση Manchester



- Χρησιμοποιείται στο 10BaseT
- Σε κάθε bit υπάρχει μετάβαση
- Επιτρέπει το συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη
 - δεν απαιτείται κεντρικό ρολόι μεταξύ των κόμβων

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 και κάποια άλλη κάρτα στέλνει, 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 του 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**: μετά την n -στη σύγκρουση, επιλέγει τυχαίο K από το $\{0,1,2,\dots,2^m-1\}$, όπου $m=\min(n,10)$. Περιμένει $K \cdot 512$ 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.

Διάρκεια bit: είναι 0.1 μsec για Ethernet 10 Mbps. Για $m=10$, δηλαδή $K=1023$, ο χρόνος αναμονής είναι περίπου 52.4 msec

Εκθετική υποχώρηση (Exponential Backoff):

- **Στόχος:** προσαρμογή των προσπαθειών επαναμετάδοσης στο εκτιμώμενο τρέχον φορτίο
 - μεγάλο φορτίο: η τυχαία αναμονή θα είναι μεγαλύτερης διάρκειας
- πρώτη σύγκρουση: επιλογή του K από $\{0,1\}$. Η καθυστέρηση είναι $K \times 512$ 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

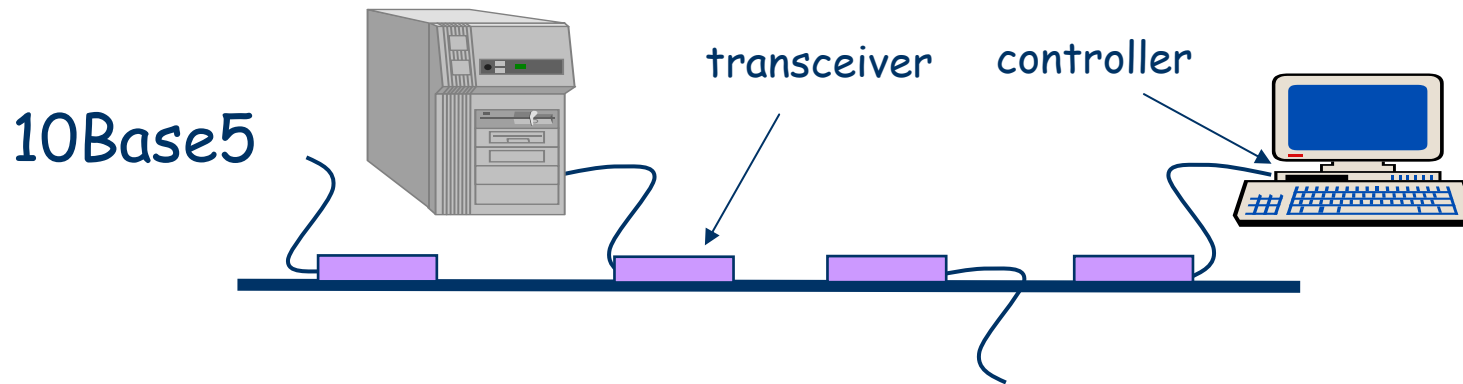


- PROP = μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 σταθμών στο LAN
- TRANSF = χρόνος για τη μετάδοση πλαισίου μέγιστου μήκους

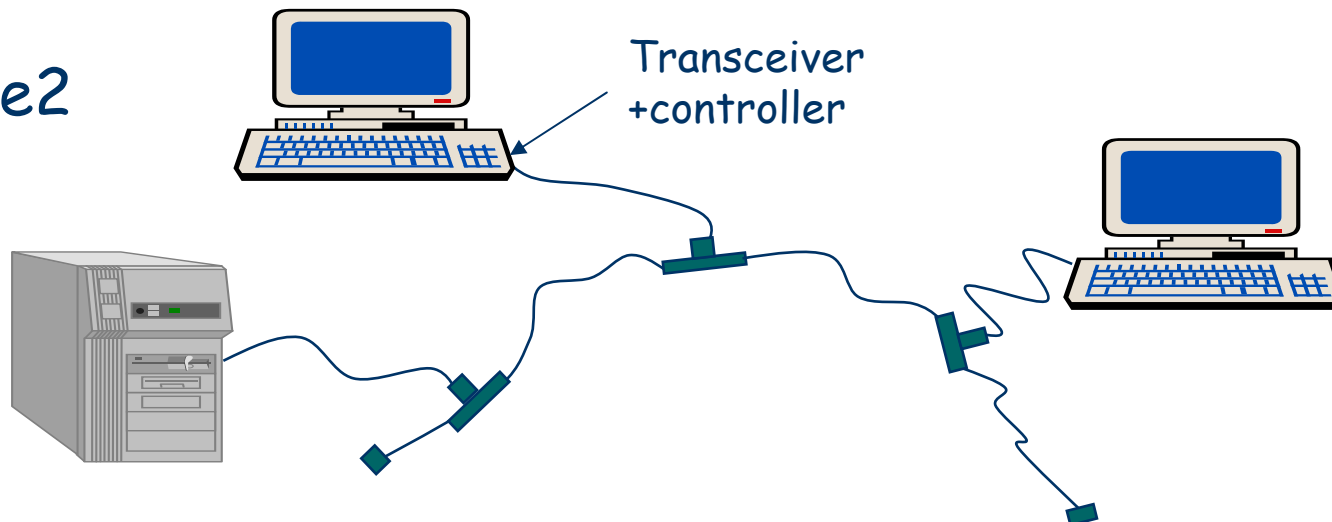
$$\eta = \frac{1}{1 + 5PROP / TRANSF}$$

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

Τεχνολογίες του Ethernet



10Base2

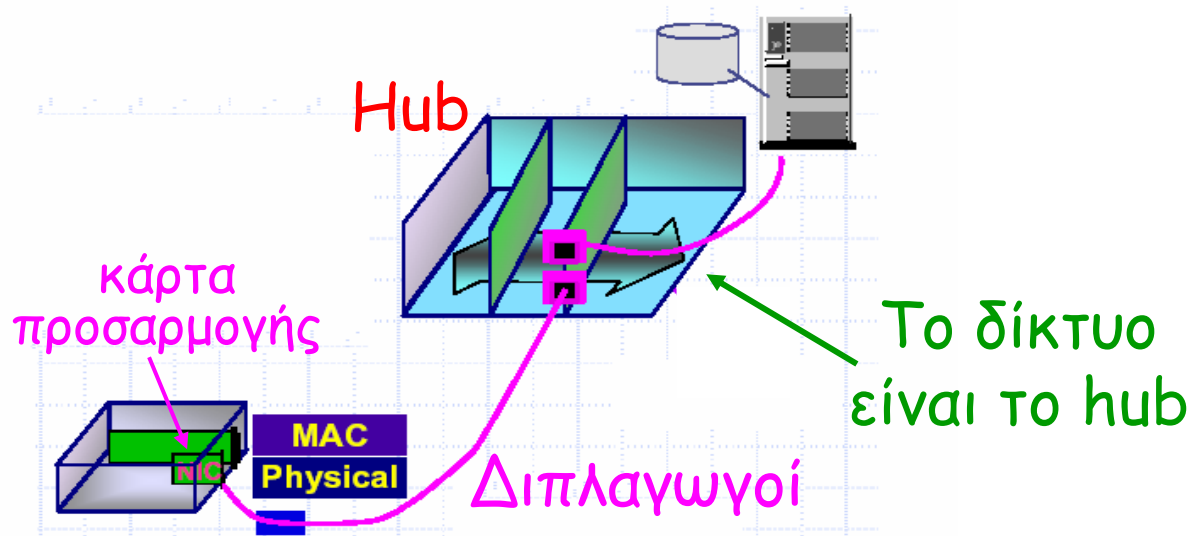
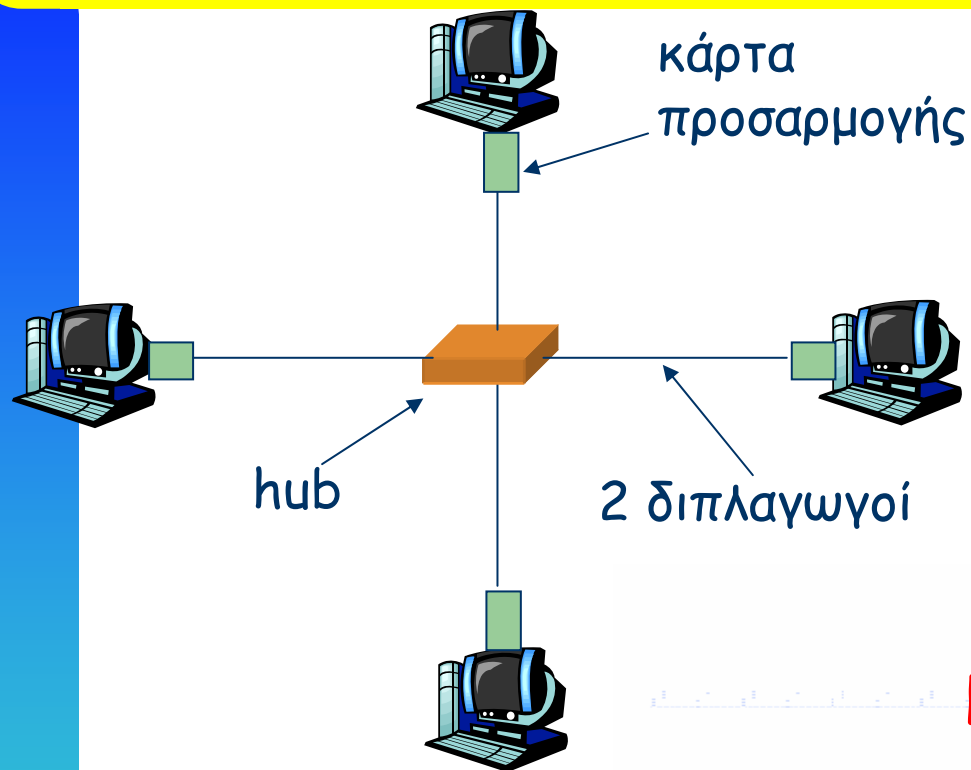


Τεχνολογίες του Ethernet



- Τα προβλήματα του εντοπισμού των διακοπών του καλωδίου Ethernet, οδήγησαν σε διαφορετική σχεδίαση της καλωδίωσης
- Όλοι οι σταθμοί συνδέονται με καλώδιο στον **ακτινικό επαναλήπτη ή πλήμνη (hub)**
- Η σχεδίαση αυτή ονομάζεται **10BaseT** (Τ σημαίνει διπλαγωγός: twisted pair).
 - Για ταχύτητα 100 Mbps έχουμε το **100 BaseT**
 - Η απόσταση των κόμβων από το hub δεν υπερβαίνει τα 100 m
- Το Gigabit Ethernet (1 Gbps) χρησιμοποιεί και διπλαγωγούς και οπτικές ίνες.
- Οι τεχνολογίες Ethernet προτυποποιούνται από τις ομάδες εργασίας IEEE 802.3

Ethernet 10BaseT και 100BaseT



Ethernet 10BaseT και 100BaseT



Τα hub είναι στην ουσία επαναλήπτες στο φυσικό στρώμα:

- τα bit που εισέρχονται στο hub από μια ζεύξη επαναλαμβάνονται σε όλες τις άλλες ζεύξεις με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης
- 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
- τα hub παρέχουν λειτουργίες διαχείρισης δικτύου



- **Πλεονεκτήματα**

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

- **Μειονεκτήματα**

- η μέγιστη απόσταση κόμβου από το hub είναι 100 m (150 m με UTP κατηγορίας 5)
- το κόστος (όχι πλέον)

100BaseT: Ταχύ Ethernet



- Πρότυπο IEEE 802.3u
- Δεν είναι νέο πρότυπο αλλά προσθήκη στο υπάρχον πρότυπο 802.3, για να δοθεί έμφαση στην προς τα πίσω συμβατότητα
- Βασική ιδέα:
 - Διατήρηση της μορφής των πακέτων
 - Διατήρηση του CSMA/CD
 - Μείωση της διάρκειας των bit από 100 nsec σε 10 nsec
 - Δεν χρησιμοποιούνται 10Base5 ή 10Base2 με μειωμένο μέγιστο μήκος κατά ένα παράγοντα 10
 - Χρησιμοποιείται καλωδίωση 10Base-T. Περιορίζονται τα μήκη απ' άκρη σ' άκρη (επικράτεια συγκρούσεων) για να διατηρείται η κανονικοποιημένη καθυστέρηση διάδοσης μικρή

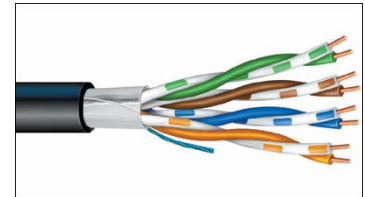
Ταχύ Ethernet



- Με καλώδιο 3 UTP, 100Base-T4



- Με καλώδιο 5 UTP, 100Base-TX

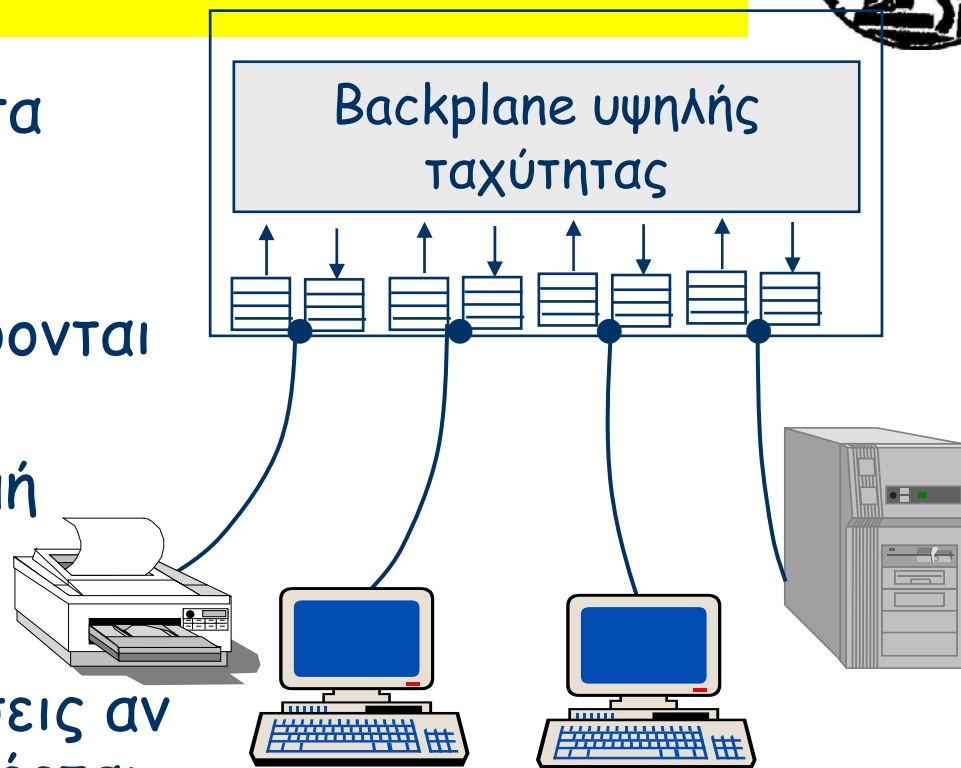


- Λειτουργεί και ως hub και ως μεταγωγέας
- Hub: μοναδική επικράτεια συγκρούσεων
- Μεταγωγέας Ethernet
 - backplane υψηλότερης ταχύτητας
 - αμφίδρομη μετάδοση χωρίς συγκρούσεις
 - μπορεί να εξυπηρετήσει μίγμα σταθμών των 10 Mbps και 100 Mbps, ώστε να είναι δυνατή η αναβάθμιση

Μεταγωγέας Ethernet



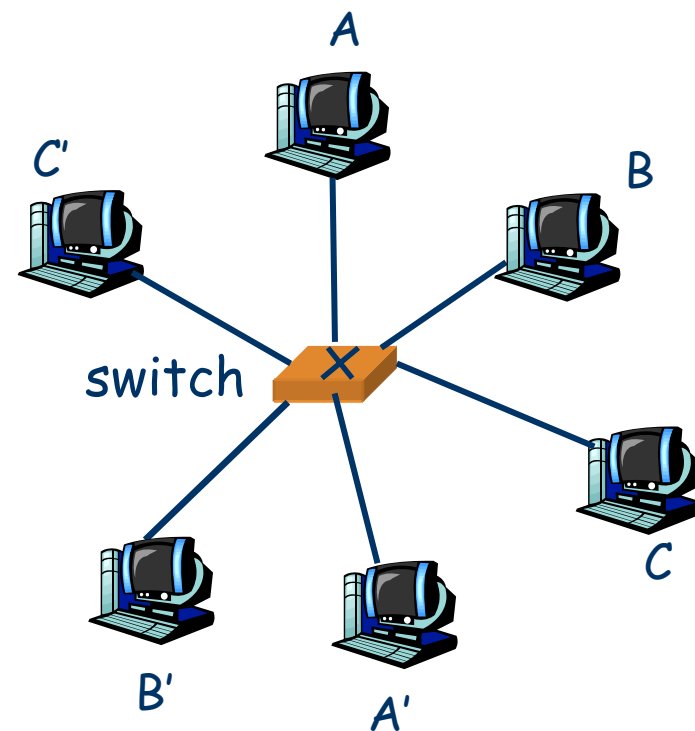
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης
- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις αν μόνο ένας σταθμός συνδέεται σε κάθε είσοδο
- Αν αφιερωθεί ξεχωριστή γραμμή για κάθε κατεύθυνση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



Μεταγωγέας Ethernet



- Λόγω των πολλών διεπαφών οι host συνδέονται άμεσα
- 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



Ταχύ Ethernet: Φυσικό στρώμα



100BaseT4

- 4 διπλαγωγοί cat 3
- Ένας διπλαγωγός προς το hub, ένας από αυτό και οι άλλοι δύο έχουν τη δυνατότητα να μεταχθούν προς την τρέχουσα κατεύθυνση μετάδοσης
- Κωδικοποίηση MLT-3: 25MHz και 8B6T, $25 \times (8/6) = 33.3 \text{ Mbps}$

100BaseTX

- 2 διπλαγωγοί STP ή 2 διπλαγωγοί UTP cat 5
- Ένας διπλαγωγός προς το hub και ένας από αυτό
- Κωδικοποίηση 4B5B στα 125 MHz, $125 \times (4/5) = 100 \text{ Mbps}$
- Πλήρως αμφίδρομο σύστημα
- Απόσταση μεταξύ σταθμού και hub 100 m

100BaseFX

- 2 πολύτροπες οπτικές ίνες
- Κωδικοποίηση 4B5B
- Μέγιστο μήκος τμήματος 400 m για hub και 2 km για switch

Gigabit Ethernet



- IEEE 802.3z
- Υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας
 - αμφίδρομη (full-duplex)
 - ημιαμφίδρομη (half-duplex)
- Με τον πρώτο τρόπο λειτουργεί ως μεταγωγέας, οπότε το πρωτόκολλο CSMA/CD δεν χρησιμοποιείται
- Με τον δεύτερο τρόπο λειτουργεί ως hub και εφαρμόζεται το πρωτόκολλο CSMA/CD
- Διατηρεί τη μορφή πλαισίου Ethernet
 - Carrier extension (επέκταση του πλαισίου στα 512 byte)
 - Frame bursting (αποστολή πολλών πλαισίων ελαχίστου μήκους σε κάθε μετάδοση)
- Υπάρχει τώρα και 10 Gigabit Ethernet (802.3ae)

Gigabit Ethernet: Φυσικό στρώμα



- **1000BaseSX**
 - Μικρό μήκος κύματος, πολύτροπη ίνα
 - Μέγιστο τμήμα 550 m
- **1000BaseLX**
 - Μεγάλο μήκος κύματος, μονότροπη ίνα
 - Μέγιστο τμήμα 2000 m
- **1000BaseCX**
 - Χάλκινες συνδέσεις <25m, θωρακισμένος διπλαγωγός
- **1000BaseT**
 - 4 ζεύγη, κατηγορίας 5 UTP, πλήρως αμφίδρομα με ακυρωτή ηχούς και διαμόρφωση PAM-5

Διασύνδεση LAN

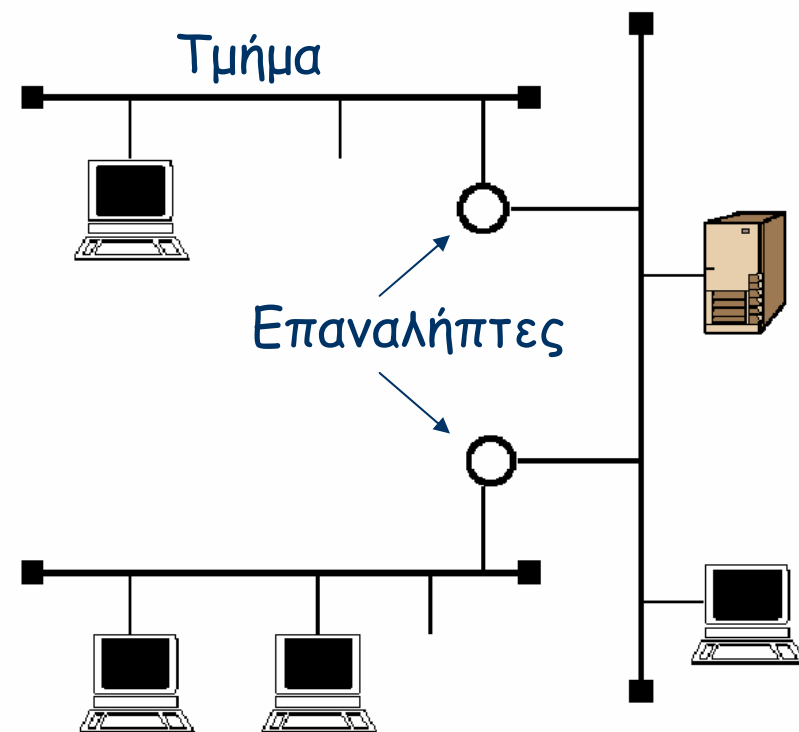


- Επαναλήπτες (Repeaters)
- Hubs
- Γέφυρες (Bridges)
- Μεταγωγείς (Switches)
 - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες.
 - Ό,τι αναφερθεί για τις γέφυρες ισχύει επίσης και για τους μεταγωγείς.

Επαναλήπτες



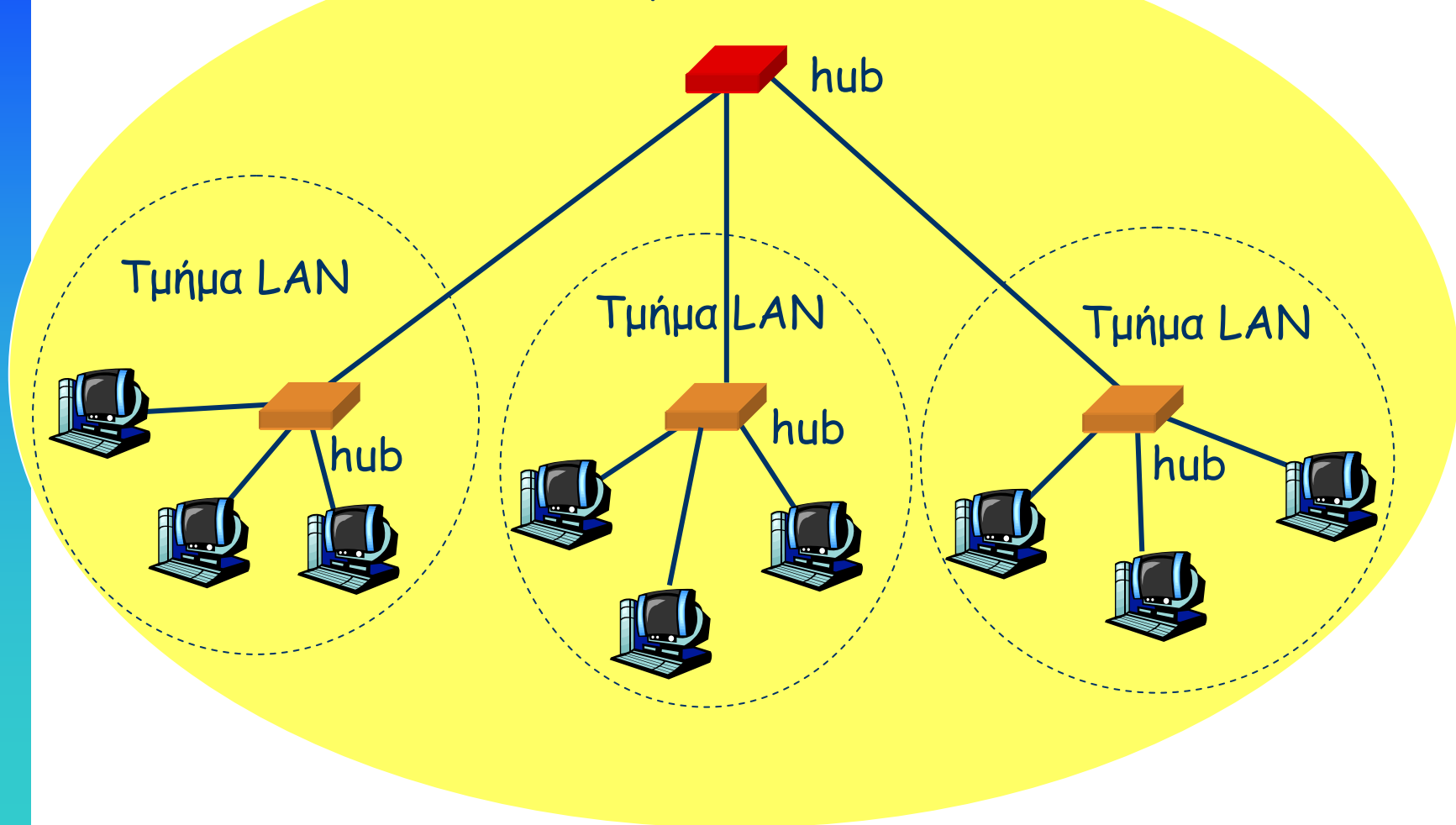
- Λειτουργούν στο φυσικό στρώμα
- Μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Ενώνουν δύο τμήματα καλωδίου
- Δεν έχουν χώρο προσωρινής αποθήκευσης
- Δεν υπάρχει λογική απομόνωση των τμημάτων
- Αν δύο σταθμοί σε διαφορετικά τμήματα στείλουν ταυτόχρονα, τα πακέτα συγκρούονται
- Μόνο μία διαδρομή τμημάτων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

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

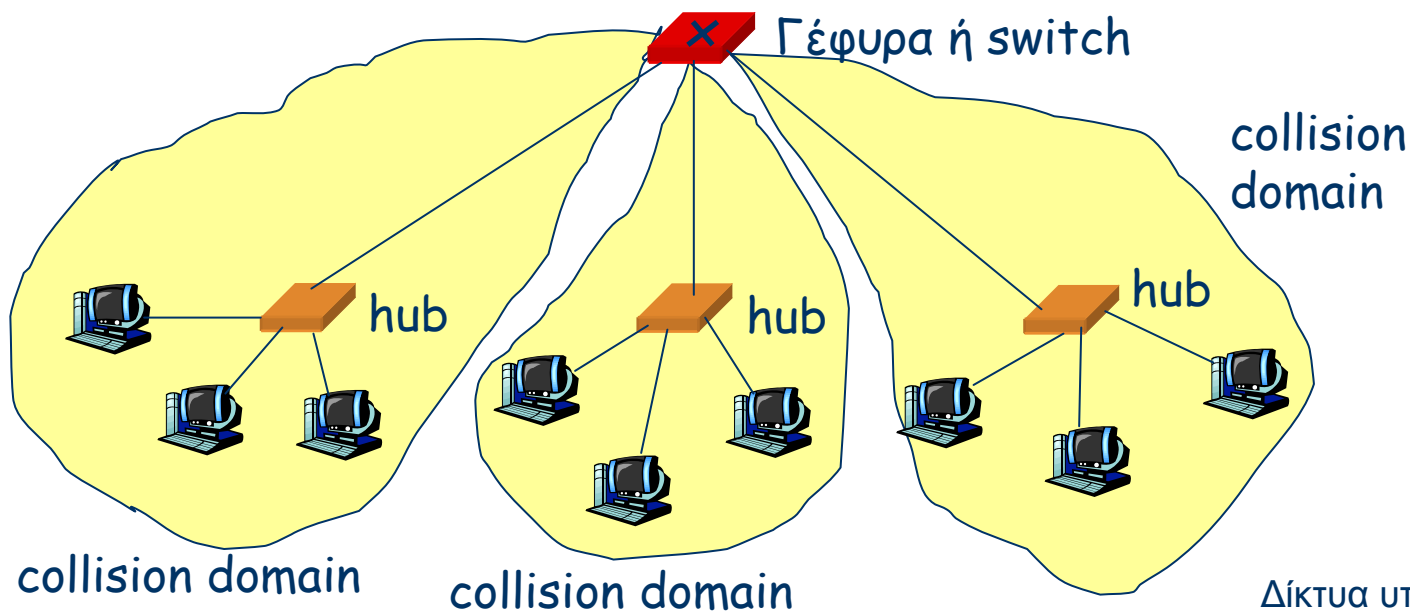


- **Συσκευή στρώματος ζεύξης δεδομένων**
 - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet
 - εξετάζει την επικεφαλίδα του πλαισίου και το προωθεί **επιλεκτικά** βάσει της διεύθυνσης MAC του προορισμού
 - όταν το πλαίσιο πρόκειται να προωθηθεί σε κάποιο τμήμα, χρησιμοποιεί CSMA/CD για την πρόσβαση στο τμήμα αυτό
 - μπορεί να συνδέει Ethernet διαφορετικού τύπου
- **διαφανής**
 - οι host αγνοούν την ύπαρξη της γέφυρας
- **συνδέεται αμέσως και λειτουργεί (plug-and-play), είναι αυτοεκπαιδευόμενη**
 - η γέφυρα δεν χρειάζεται καμιά αρχική ρύθμιση



Γέφυρες: απομόνωση κίνησης

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



Γέφυρες: Φιλτράρισμα, προώθηση



- **φιλτράρισμα**: η ικανότητα μια γέφυρας να καθορίζει 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 της γέφυρας**

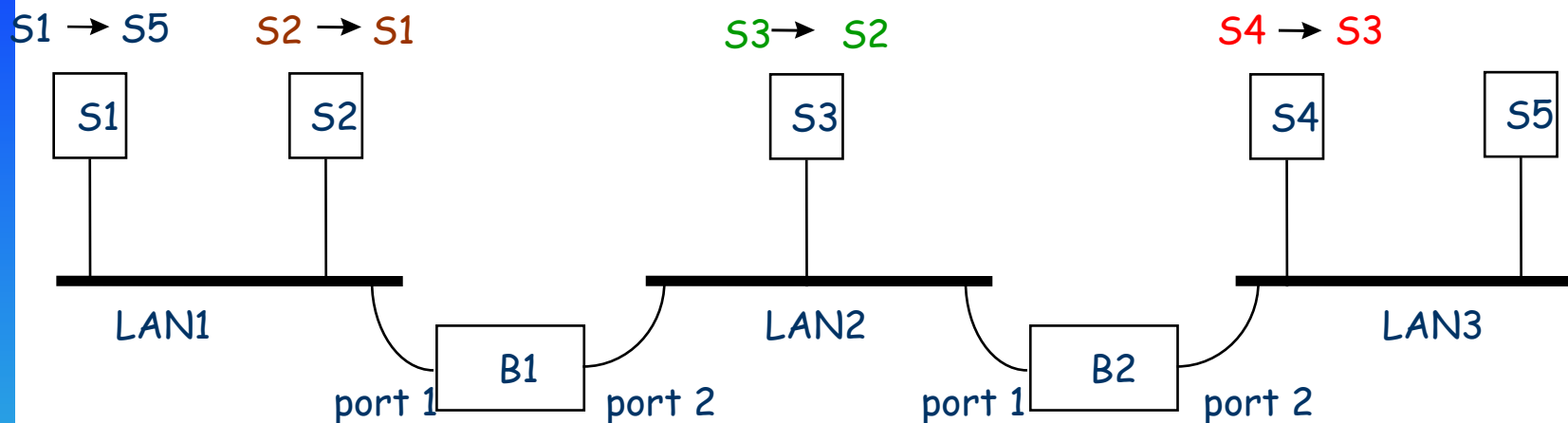
ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ



- οι γέφυρες **μαθαίνουν** ποιοι host είναι προσβάσιμοι και από ποιες διεπαφές: διατηρούν πίνακες 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 ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ



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

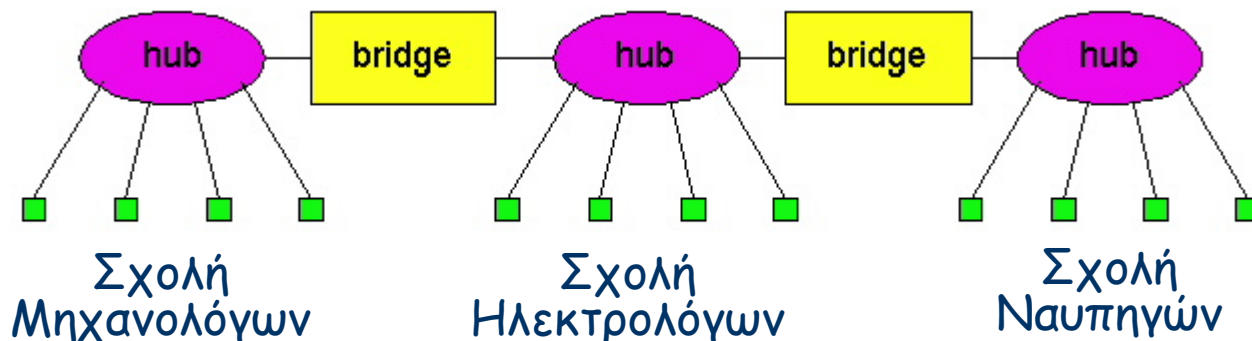
```
if υπάρχει εγγραφή για τον προορισμό
then{
    if ο προορισμός είναι στο τμήμα από όπου ήρθε το πλαίσιο
    then απορρίπτει το πλαίσιο
    else προωθεί το πλαίσιο στην έξοδο που αναφέρει ο πίνακας
}
else χρησιμοποιεί πλημμύρα
```

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

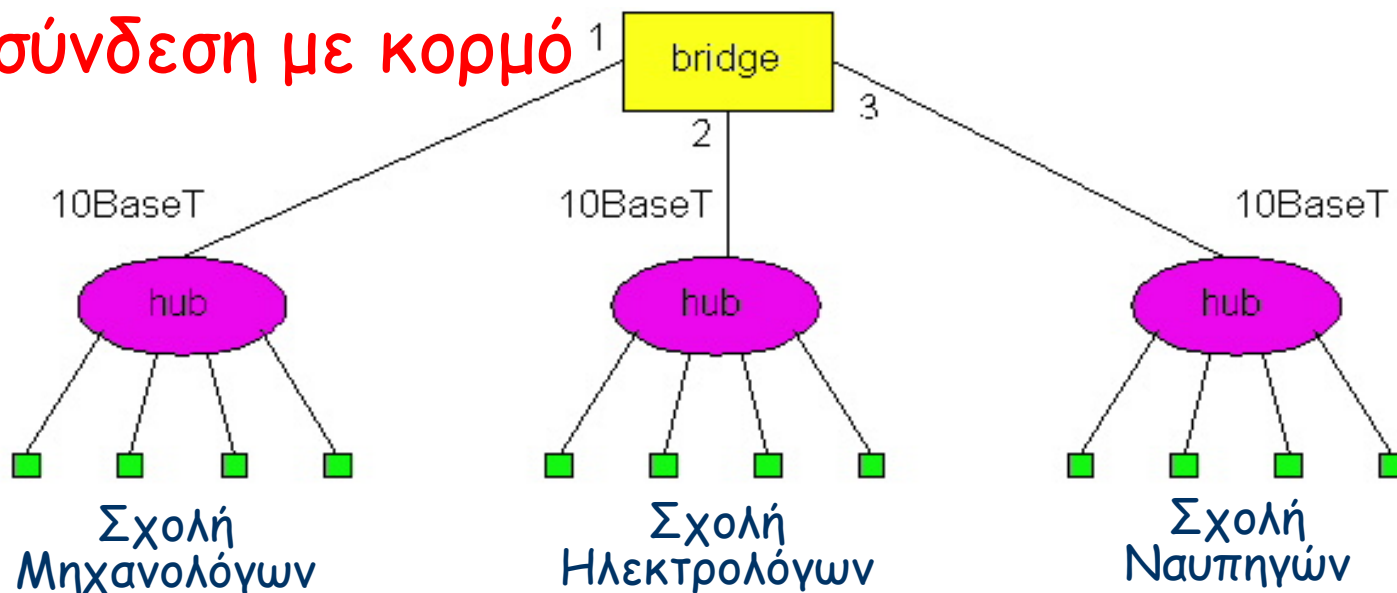
Διασύνδεση LAN μέσω γεφυρών



Διασύνδεση χωρίς κορμό



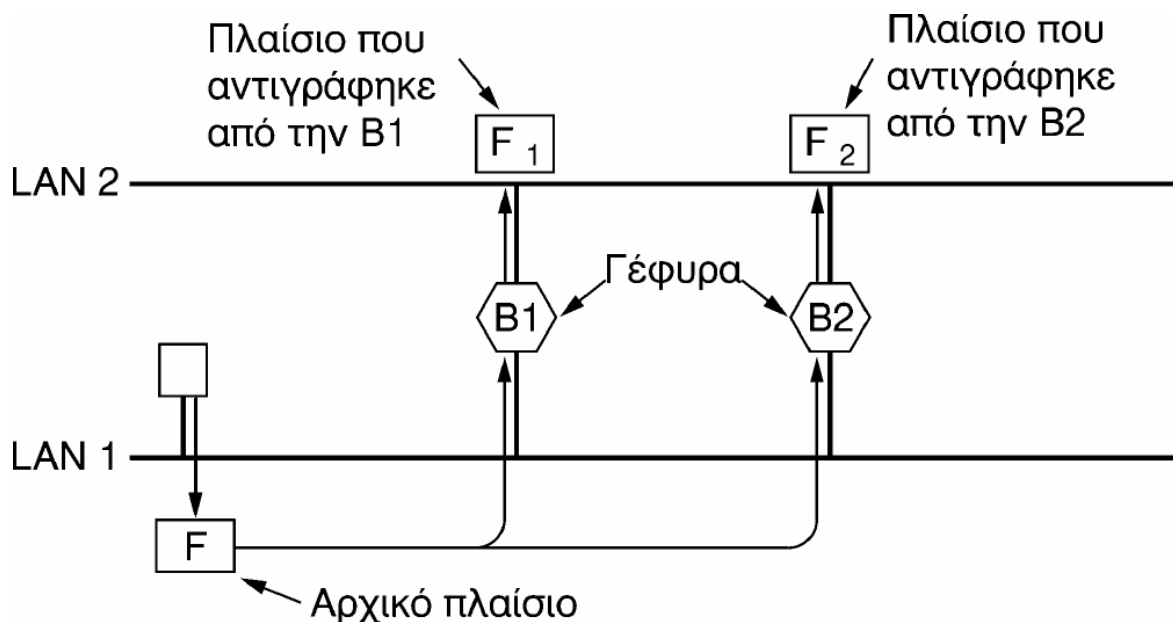
Διασύνδεση με κορμό



Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών



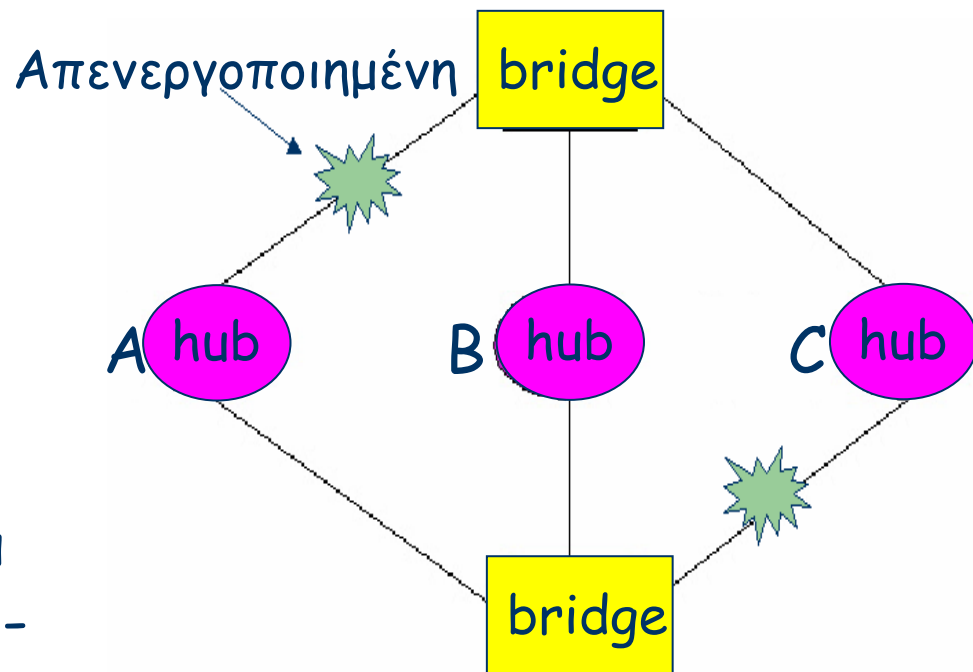
- για μεγαλύτερη αξιοπιστία στην ιεραρχική σχεδίαση, είναι επιθυμητό να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές από την πηγή στον προορισμό
- με πολλές ταυτόχρονες διαδρομές, δημιουργούνται βρόχοι και οι γέφυρες μπορεί να πολλαπλασιάζουν και να προωθούν ένα πλαίσιο για πάντα



Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών



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



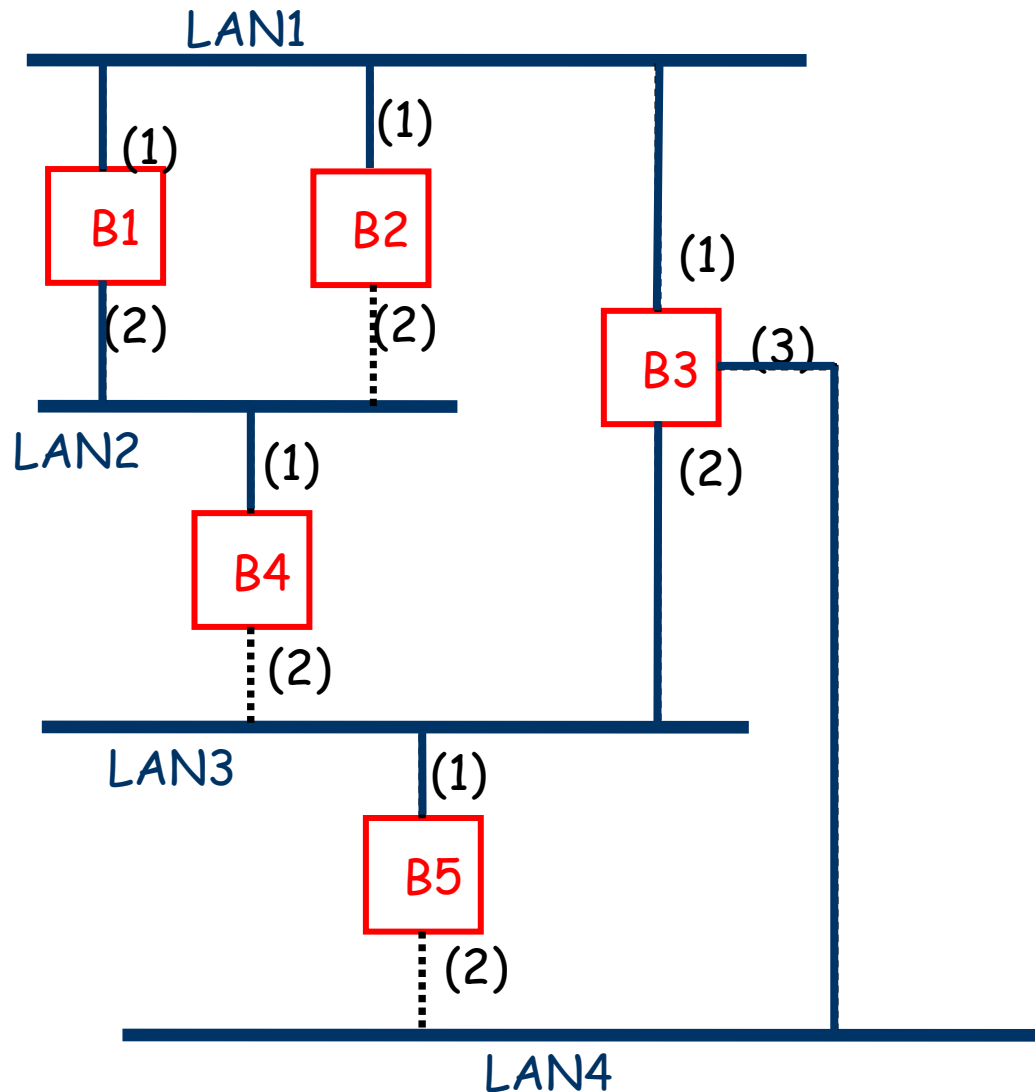
Οργάνωση δικτύων σε δέντρα



Πώς οι γέφυρες εγκαθιστούν επικαλύπτον δέντρο;

- Κατανεμημένο πρωτόκολλο επικαλύπτοντος δέντρου
 - Αποφασίζεται πρώτα ποια γέφυρα είναι η ρίζα του δέντρου
 - Η γέφυρα με τον μικρότερο σειριακό αριθμό γίνεται η ρίζα
 - Κατασκευάζεται ένα δέντρο με τα συντομότερα μονοπάτια από τη ρίζα προς κάθε γέφυρα και κάθε LAN
 - Αν μια γέφυρα ή ένα LAN αποτύχει, υπολογίζεται νέο δέντρο

Οργάνωση δικτύων σε δέντρα



Διασύνδεση με μεταγωγέα



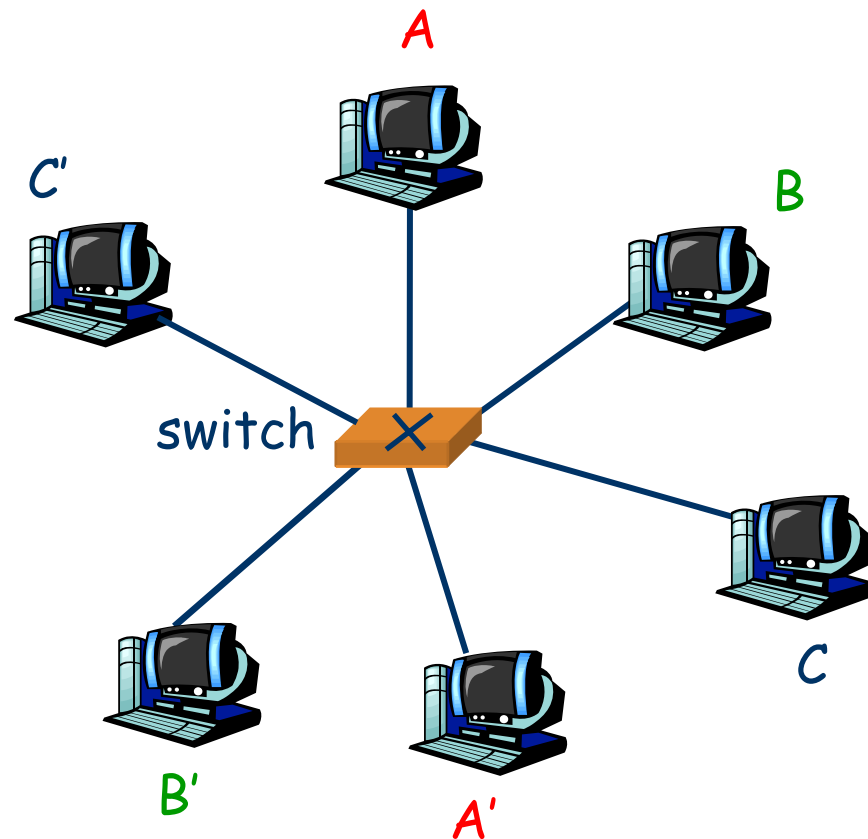
Ο μεταγωγέας πακέτων Ethernet γενικεύει τις γέφυρες

- Η μεταγωγή απαλείφει τις συγκρούσεις
- Η προσωρινή αποθήκευση αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό
- Δεν απαιτείται πρόσβαση στο μέσο

Μεταγωγέας Ethernet



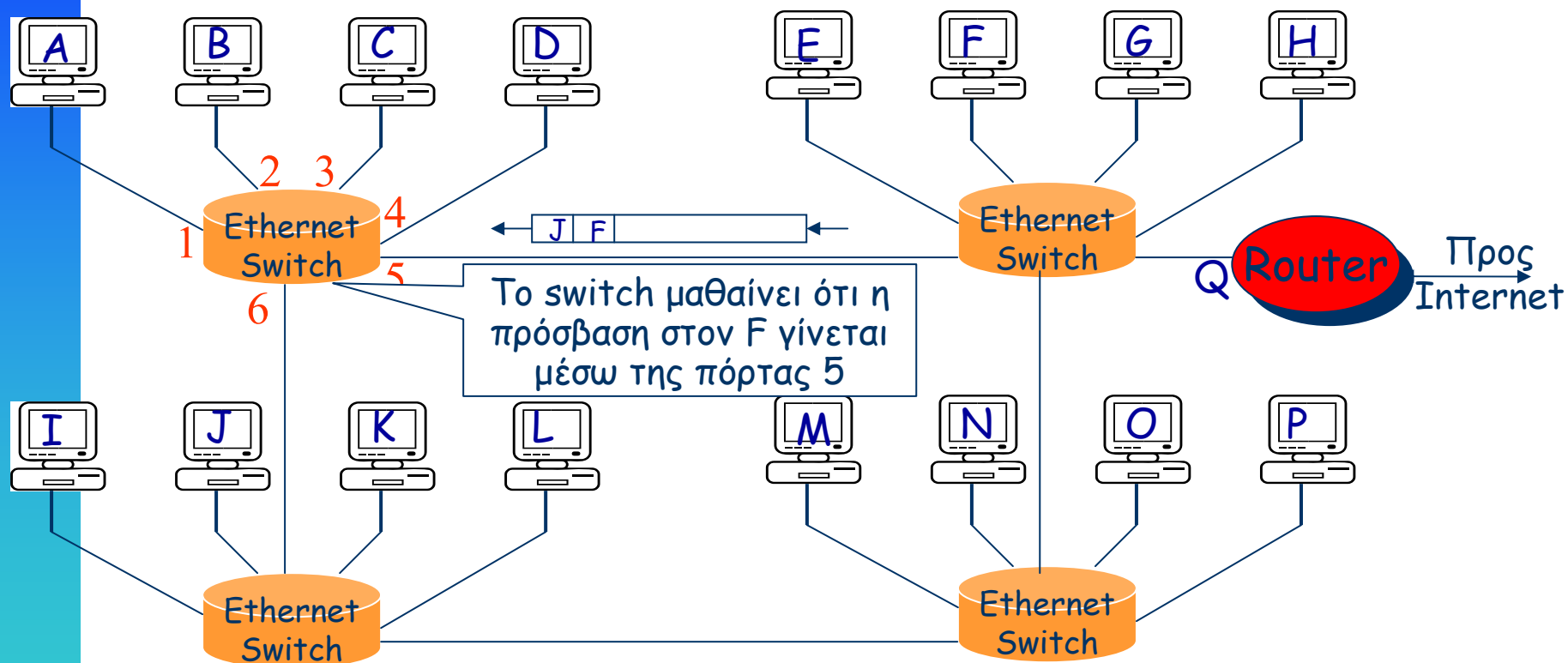
- Ουσιαστικά, είναι γέφυρα με πολλές πόρτες
- Προωθεί πλαίσια (στρώμα 2), φιλτράρει χρησιμοποιώντας διευθύνσεις LAN
- **Μεταγωγή:** A-προς-A' και B-προς-B' ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις
- μεγάλος αριθμός διεπαφών
- **συνήθης χρήση:** ανεξάρτητοι host, συνδέονται στον μεταγωγέα με τοπολογία αστέρα
 -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



Μεταγωγέας Ethernet

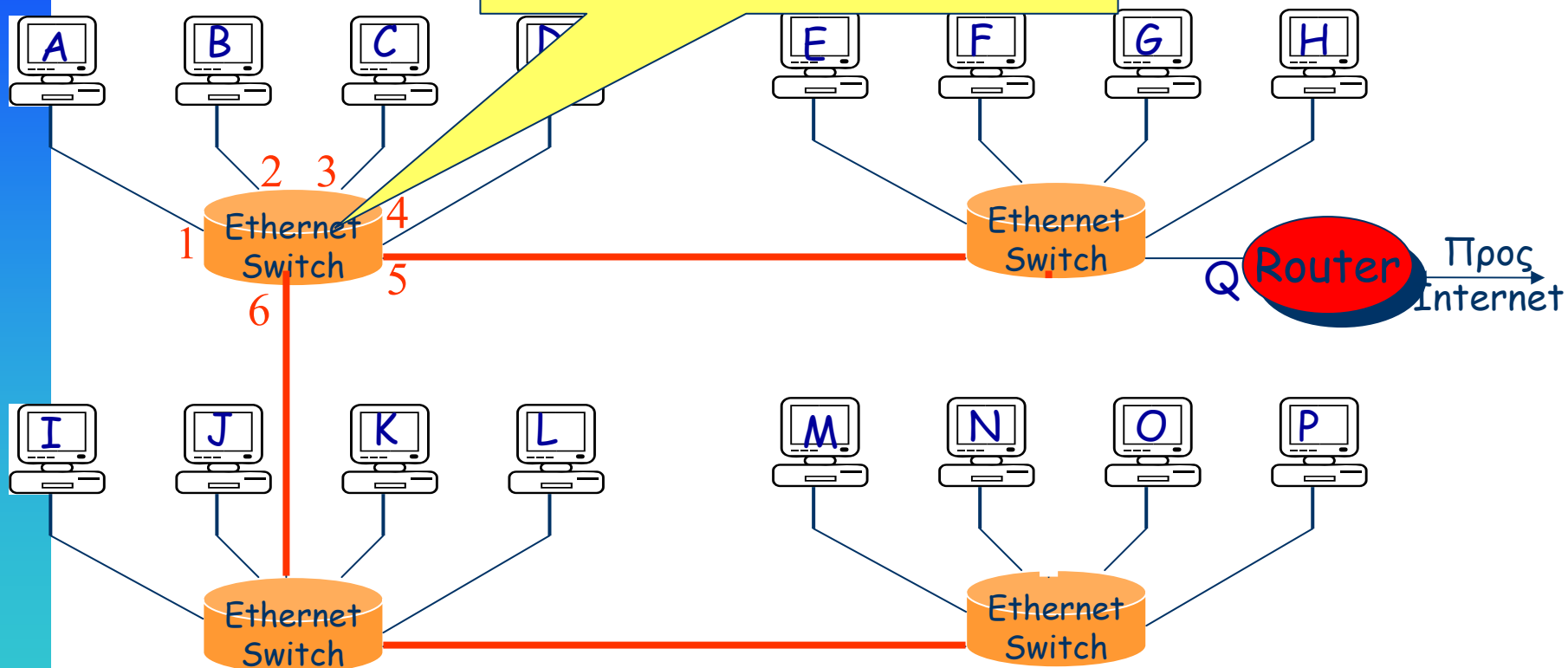


ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



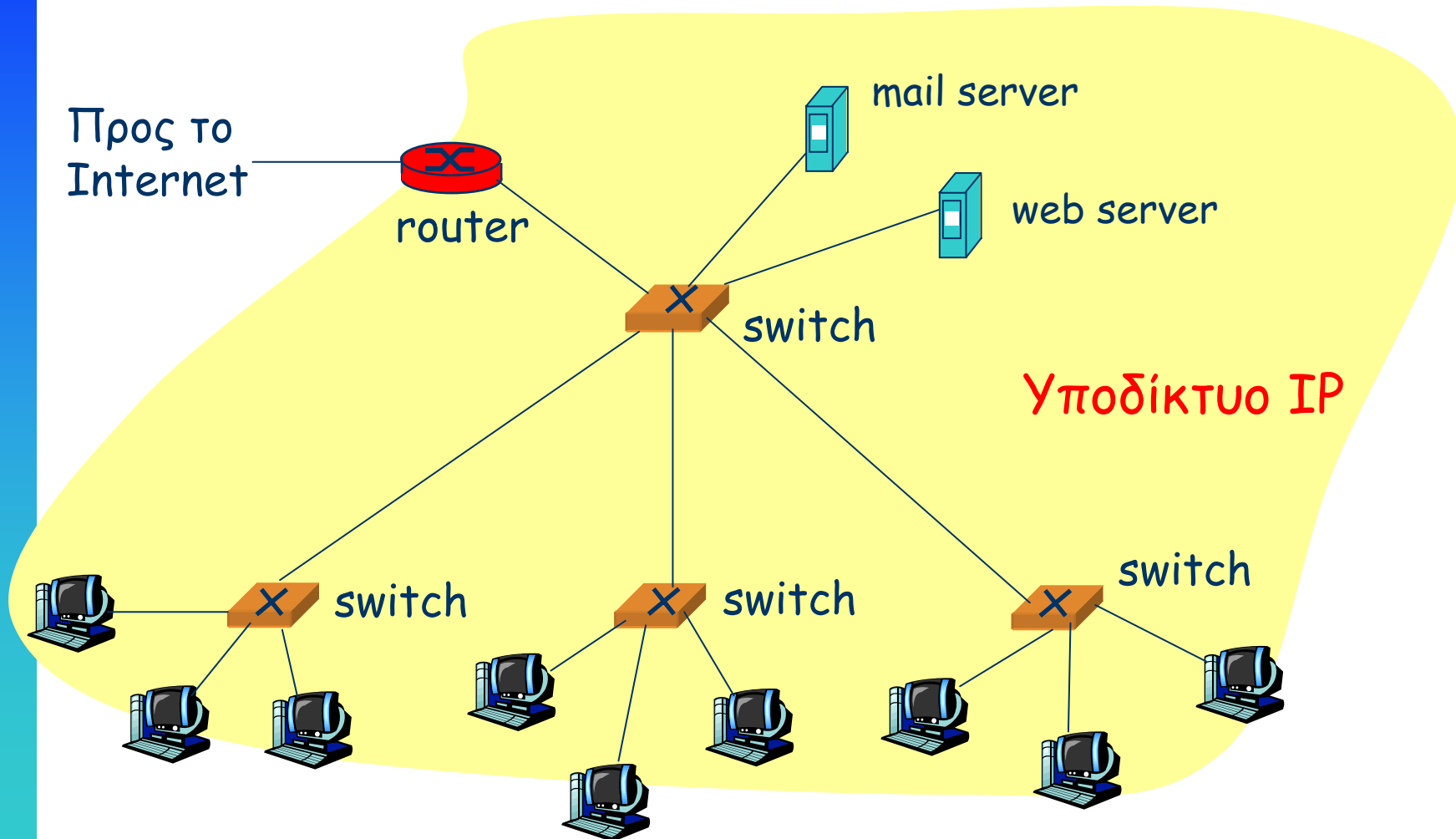


Ethernet address	Port
A	1
B	2
C	3
D	4
E, F, G, H, Q	5
I, J, K, L, M, N, O, P	6



Οι βρόχοι αποφεύγονται με επικαλύπτον δέντρο

LAN με μεταγωγή



Ασύρματα LAN



- Εξασφαλίζουν απαιτήσεις:
 - Κινητικότητας
 - Μετεγκατάστασης
 - Δικτύωσης Ad hoc
- Παρέχουν τρόπο κάλυψης σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία καλωδίωσης
- Παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (αρκετά Mbps) σε φορητά τερματικά, που μετακινούνται σε περιορισμένες περιοχές (π.χ. μέσα σε μεγάλα κτίρια, σε πανεπιστημιούπολεις, νοσοκομειακούς χώρους, εμπορικά κέντρα)

Χρήσεις ασύρματων LAN



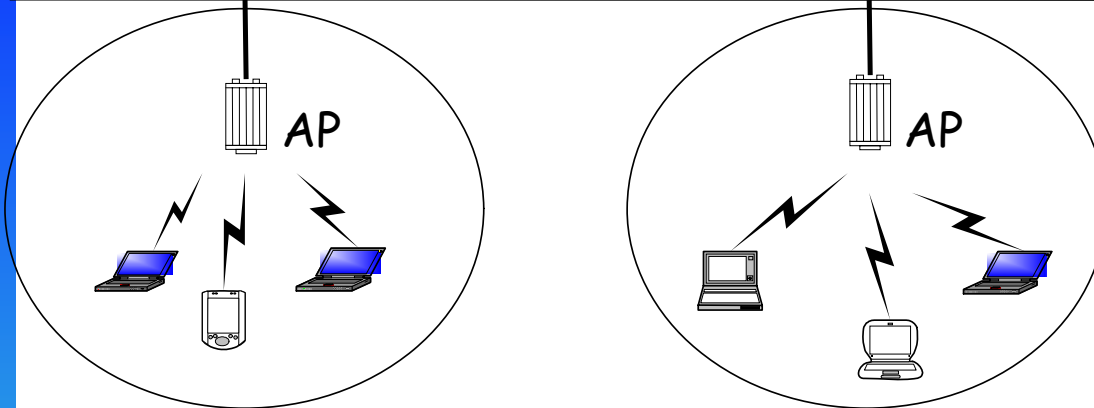
- Εναλλακτική λύση στα ενσύρματα LAN
 - χώροι με μεγάλες ανοικτές επιφάνειες (εργοτάξια, αποθήκες, κλπ.)
 - ιστορικά κτίρια
 - μικρά γραφεία
- Διασύνδεση μεταξύ κτιρίων
- Νομαδική πρόσβαση
- Δίκτυα Ad hoc

Μπορεί να συνυπάρχουν με ενσύρματα συστήματα

Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN

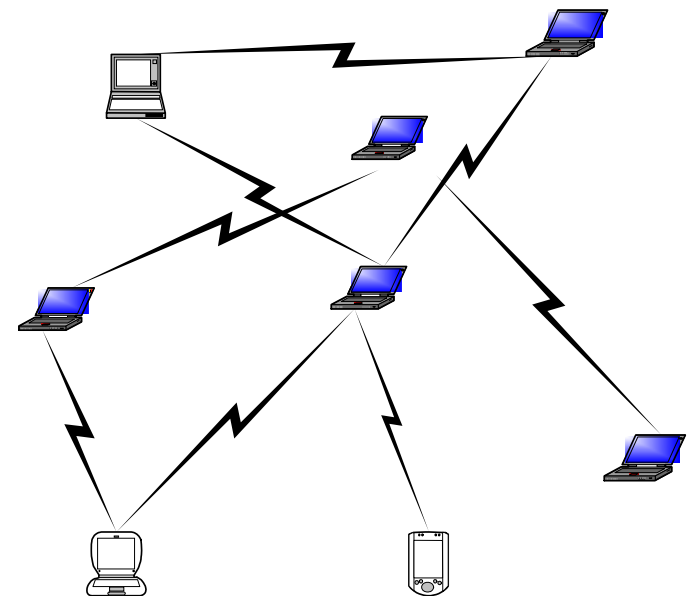


Ενσύρματο LAN κορμού, υψηλής ταχύτητας



Ασύρματο LAN με υποδομή

Ad Hoc LAN



Δίκτυα υπολογιστών

Σχεδιαστικοί στόχοι



- Διέλευση
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού σταθμών
- Επικοινωνία με σταθμούς ενσύρματων LAN
- Περιοχή κάλυψης ακτίνας $50 \div 150$ m
- Περιορισμένη κατανάλωση ισχύος από τους κινητούς host
- Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια επικοινωνίας
- Λειτουργία χωρίς άδεια
- Κινητικότητα (διαπομπή/περιαγωγή)
- Δυναμική αναδιάρθρωση

IEEE 802.11: Φυσικό στρώμα



- OFDM (IEEE 802.11a)
 - 5 GHz
 - 54 Mbps
- High Rate DSSS (IEEE 802.11b, Wi-Fi)
 - 2.4GHz ISM band
 - Μέχρι 7 δίαυλοι
 - Κάθε δίαυλος 11Mbps
- OFDM (IEEE 802.11g)
 - 2.4GHz ISM band
 - 54 Mbps

IEEE 802.11



	802.11a	802.11b	802.11g	802.11
Έγκριση προτύπου	Σεπτ. 1999	Σεπτ. 1999	Ιούνιος 2003	Ιούλιος 1997
Διαθέσιμο εύρος ζώνης	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
Συχνότητα λειτουργίας	5.15-5.35G 5.725-5.825G	2.4-2.4835G	2.4-2.4835G	2.4-2.4835G
Αριθμός μη επικαλ. διαύλων	4	3	3	3
Ρυθμός μετάδοσης ανά δίαυλο (Mbps)	6,12,24,36,48, 54	1, 2, 5.5, 11	1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2
Ακτίνα κάλυψης	~50 μέτρα (εσωτ.) 100 (εξωτερικά)	~100 μέτρα	~100 μέτρα	
Διαμόρφωση	OFDM	DSSS/CCK	DSSS/CCK; DSSS/OFDM	DSSS, FHSS

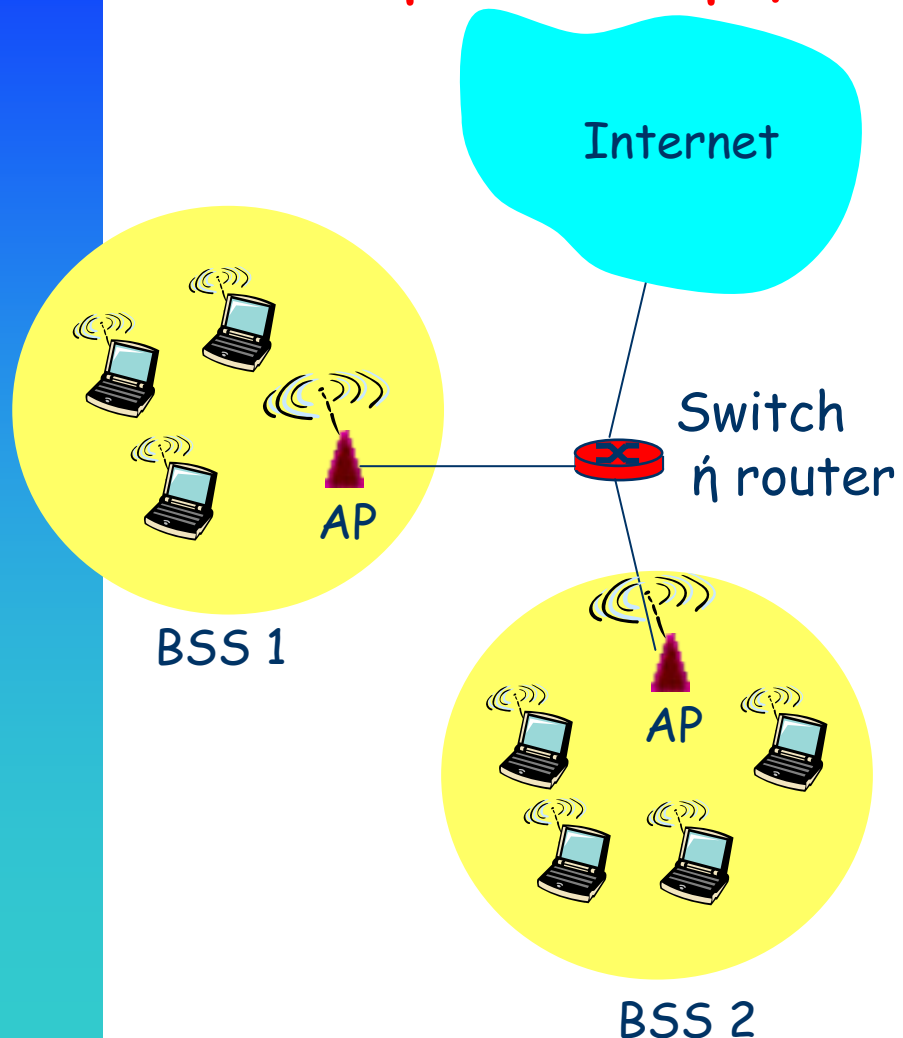
FHSS: frequency hopping spread spectrum DSSS: direct sequence spread spectrum

OFDM: orthogonal frequency division multiplexing

Αρχιτεκτονική IEEE 802.11b



- **Δίκτυο με υποδομή**

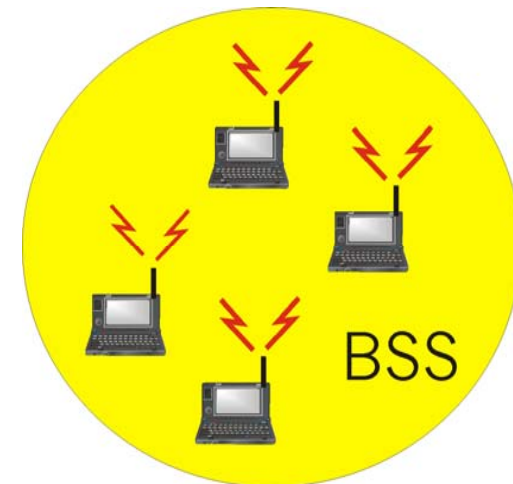


- Ο κινητός host επικοινωνεί με έναν σταθμό βάσης
 - **σταθμός βάσης = access point (AP)**
- **Basic Service Set (BSS)** περιέχει:
 - ασύρματους host
 - σταθμό βάσης = AP
- τα BSS μπορεί να συνδυάζονται ώστε να σχηματίζουν ένα **Extended service set, (ESS)**

Δίκτυα Ad Hoc



- **Δίκτυο Ad hoc:** οι σταθμοί IEEE 802.11 μπορεί να σχηματίζουν δυναμικά ένα δίκτυο **χωρίς** AP
- οι κινητοί host επικοινωνούν μεταξύ τους
 - η μεταφορά πακέτου από έναν κινητό host σε άλλον μπορεί να πρέπει να δρομολογηθεί μέσω άλλων κινητών host
- Εφαρμογές:
 - συνάντηση με "φορητούς υπολογιστές" σε αίθουσα συνεδρίασης
 - διασύνδεση "προσωπικών" συσκευών



802.11b: Δίαυλοι, συσχέτιση



- 802.11b: το φάσμα 2.4GHz-2.485GHz διαιρείται σε 11 διαύλους διαφορετικών συχνοτήτων
 - ο administrator του AP επιλέγει συχνότητα για το AP
 - πιθανότητα παρεμβολής: κάποιος δίαυλος μπορεί να είναι κοινός με δίαυλο γειτονικού AP
- host: πρέπει να **συσχετισθεί** με ένα AP
 - σαρώνει τους διαύλους, ακούει για πιλοτικά (beacon) πλαίσια που περιέχουν την ταυτότητα του AP (SSID) και τη διεύθυνση MAC
 - επιλέγει AP
 - μπορεί να γίνει πιστοποίηση αυθεντικότητας
 - τρέχει το DHCP για να αποκτήσει ο host διεύθυνση IP στο υποδίκτυο του AP

IEEE 802.11: Πολλαπλή πρόσβαση



- Αν δύο σταθμοί μεταδίδουν ταυτόχρονα, υπάρχει σύγκρουση
- Το CSMA έχει λόγο εφαρμογής:
 - εάν μεταδίδει μόνο ένας σταθμός έχει διαθέσιμο όλο το εύρος ζώνης
 - εάν ακούσει άλλη μετάδοση, δεν θα προκαλέσει σύγκρουση
- Δεν εφαρμόζεται ανίχνευση σύγκρουσης (CD)
 - Η αμφίδρομη μετάδοση κοστίζει περισσότερο
 - Όλοι οι σταθμοί μπορεί να μην ακούγονται μεταξύ τους (βασική προϋπόθεση για την CD)

IEEE 802.11 MAC: CSMA/CA

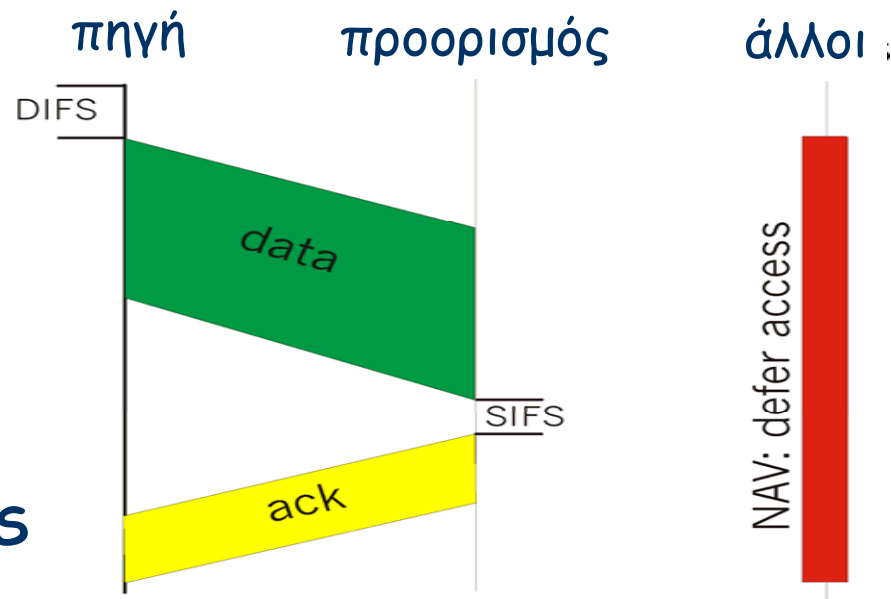


802.11 CSMA: εκπομπή

- εάν ο δίαυλος είναι αδρανής για **DIFS** sec.
τότε στέλνεται ένα πλαίσιο (δεν ανιχνεύονται συγκρούσεις)
- αν ο δίαυλος είναι κατειλημμένος τότε γίνεται εκθετική οπισθοχώρηση

802.11 CSMA λήψη:

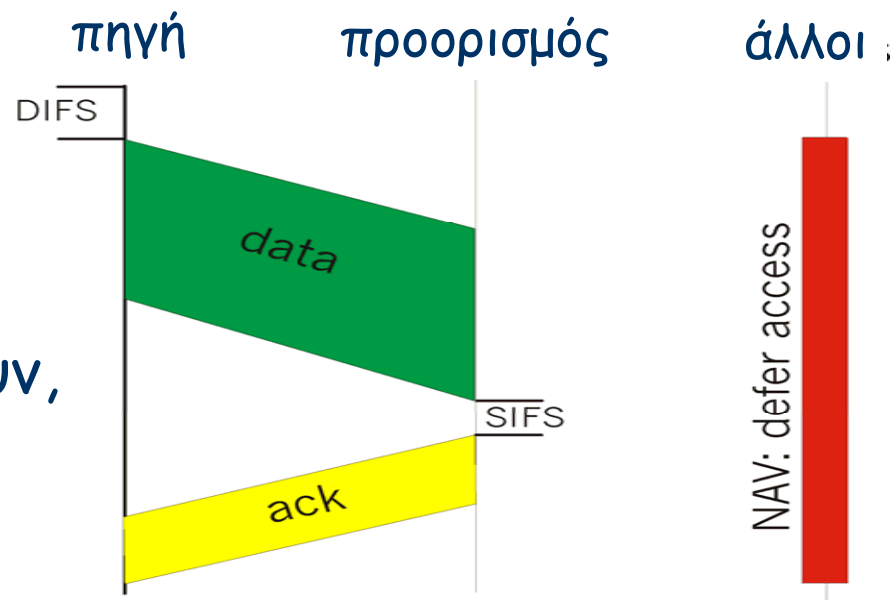
- αν το πλαίσιο ληφθεί σωστά αποστέλλεται ACK μετά από **SIFS** sec.
(απαιτείται ACK λόγω του κρυμμένου τερματικού)



IEEE 802.11 MAC: CSMA/CA



- το πλαίσιο 802.11 έχει πεδίο που δείχνει τη διάρκεια μετάδοσης
- τούτο επιτρέπει στους άλλους σταθμούς να καθορίζουν τον ελάχιστο χρόνο αποχής **NAV** (Network Allocation Vector)
- οι υπόλοιποι σταθμοί που ακούν, δεν επιχειρούν πρόσβαση για χρονικό διάστημα NAV

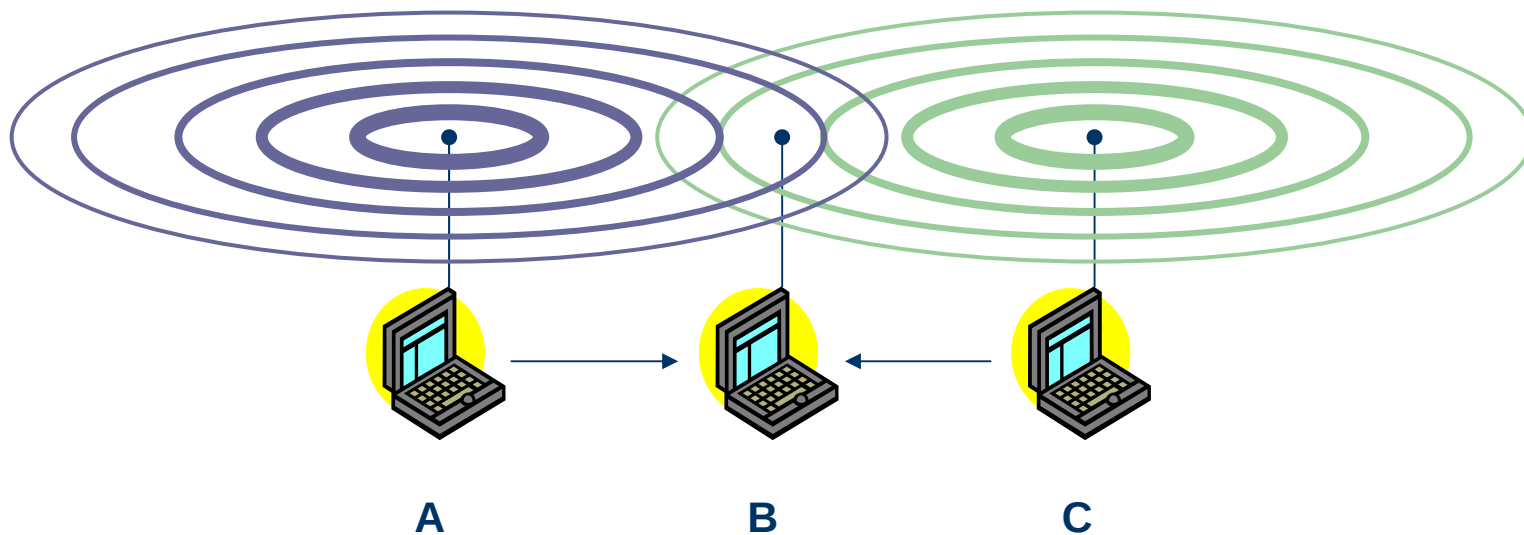


Αποφυγή συγκρούσεων



- **πρόβλημα κρυμμένου τερματικού:** τα A , C δεν μπορεί να ακούσουν το ένα το άλλο
 - εμπόδια, εξασθένηση σήματος
 - συγκρούσεις στον B

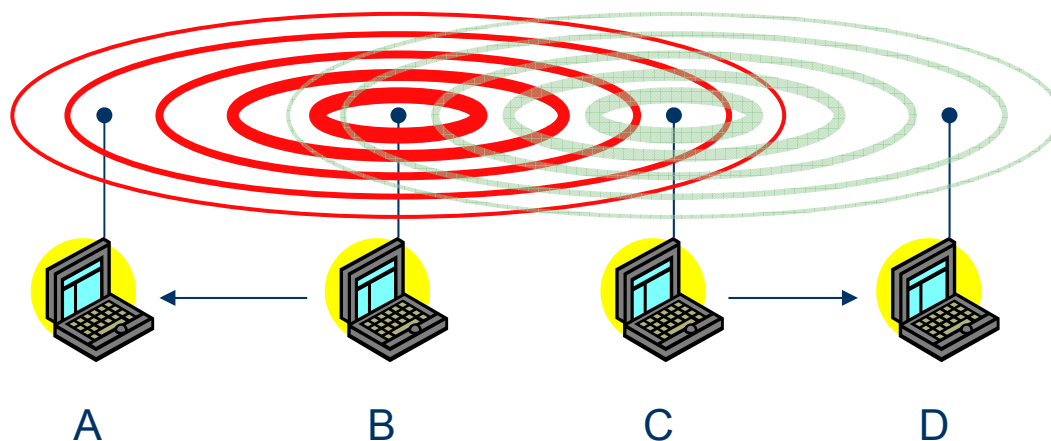
στόχος: αποφυγή συγκρούσεων στο B



Αποφυγή συγκρούσεων



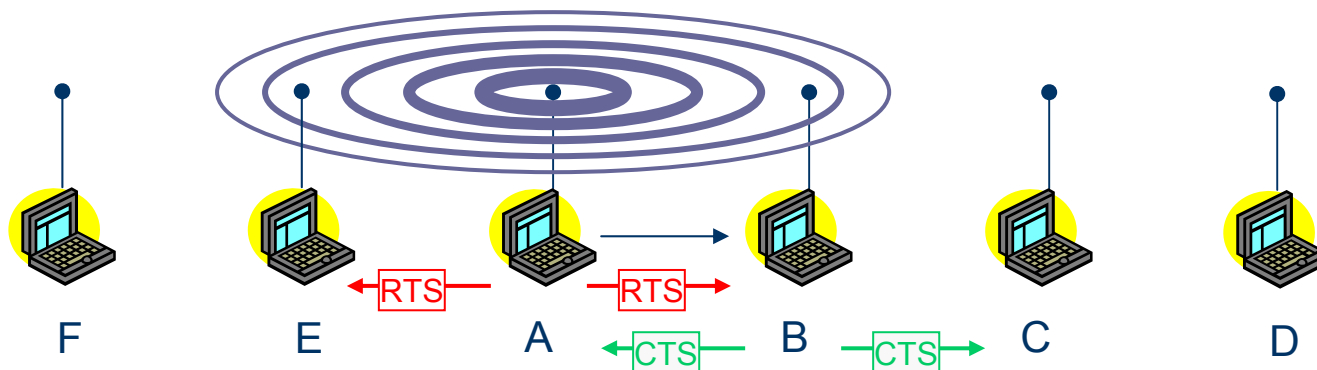
- **Πρόβλημα εκτεθειμένου τερματικού**
 - Το B στέλνει στο A και το C θέλει να στείλει στο D
 - Το C ξέρει ότι το μέσο είναι κατειλημμένο και περιμένει
 - Το A, όμως, είναι εκτός της ραδιοκάλυψης του C, οπότε η αναμονή του δεν είναι αναγκαία
 - Το C, δηλαδή, είναι "εκτεθειμένο" στο B
 - Συνέπεια: λανθασμένη ανίχνευση μετάδοσης



Αποφυγή συγκρούσεων: ανταλλαγή RTS-CTS



- Μικρά πλαίσια σηματοδότησης---**virtual carrier sense**
 - RTS (request to send) και CTS (clear to send)
 - για αποφυγή σύγκρουσης στον δέκτη, οποιοσδήποτε σταθμός ακούει ένα CTS δεν πρέπει να μεταδώσει
 - τα πλαίσια πρέπει να περιέχουν διεύθυνση αποστολέα, διεύθυνση δέκτη, διάρκεια μετάδοσης



Παράδειγμα: το A στέλνει στο B

Αποφυγή συγκρούσεων: ανταλλαγή RTS-CTS

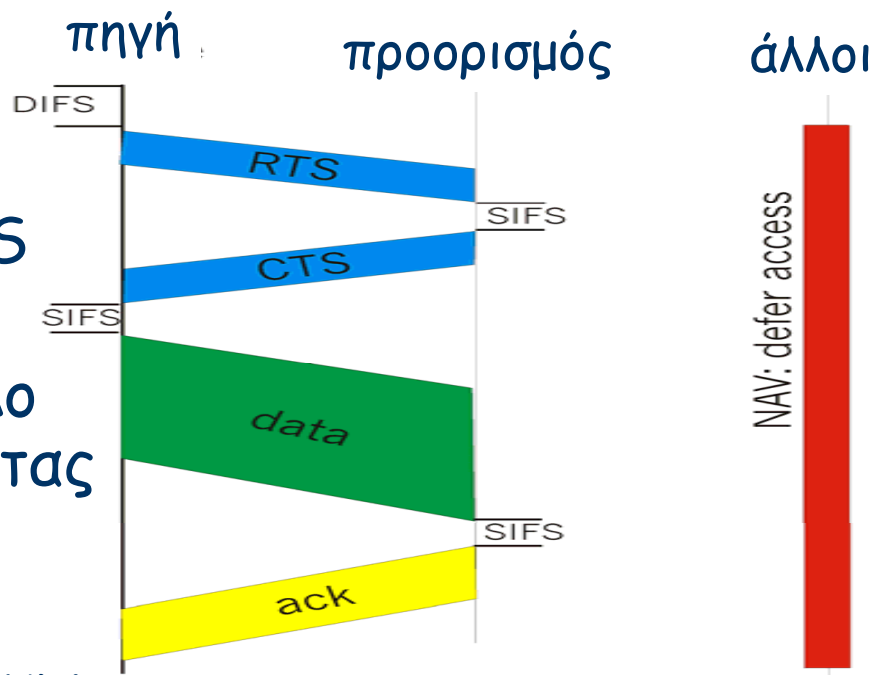


- **CSMA/CA με σαφή κράτηση του διαύλου**

- πομπός: στέλνει RTS (request to send)
- δέκτης: απαντά με CTS (clear to send)

- το CTS κρατάει τον δίαυλο για τον πομπό, ειδοποιώντας τους (τυχόν κρυμμένους) σταθμούς

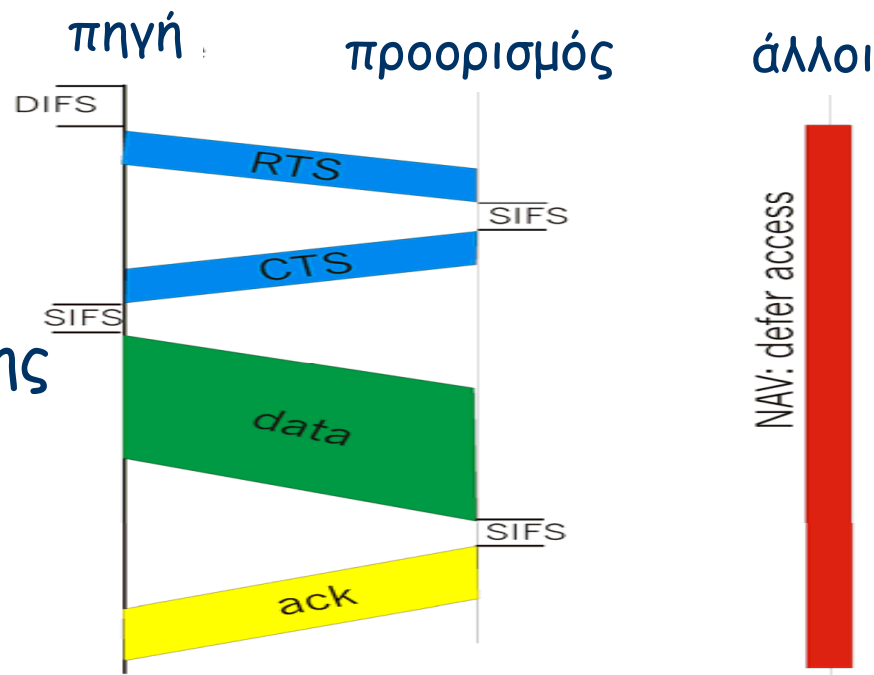
- αποφυγή συγκρούσεων λόγω κρυμμένων σταθμών



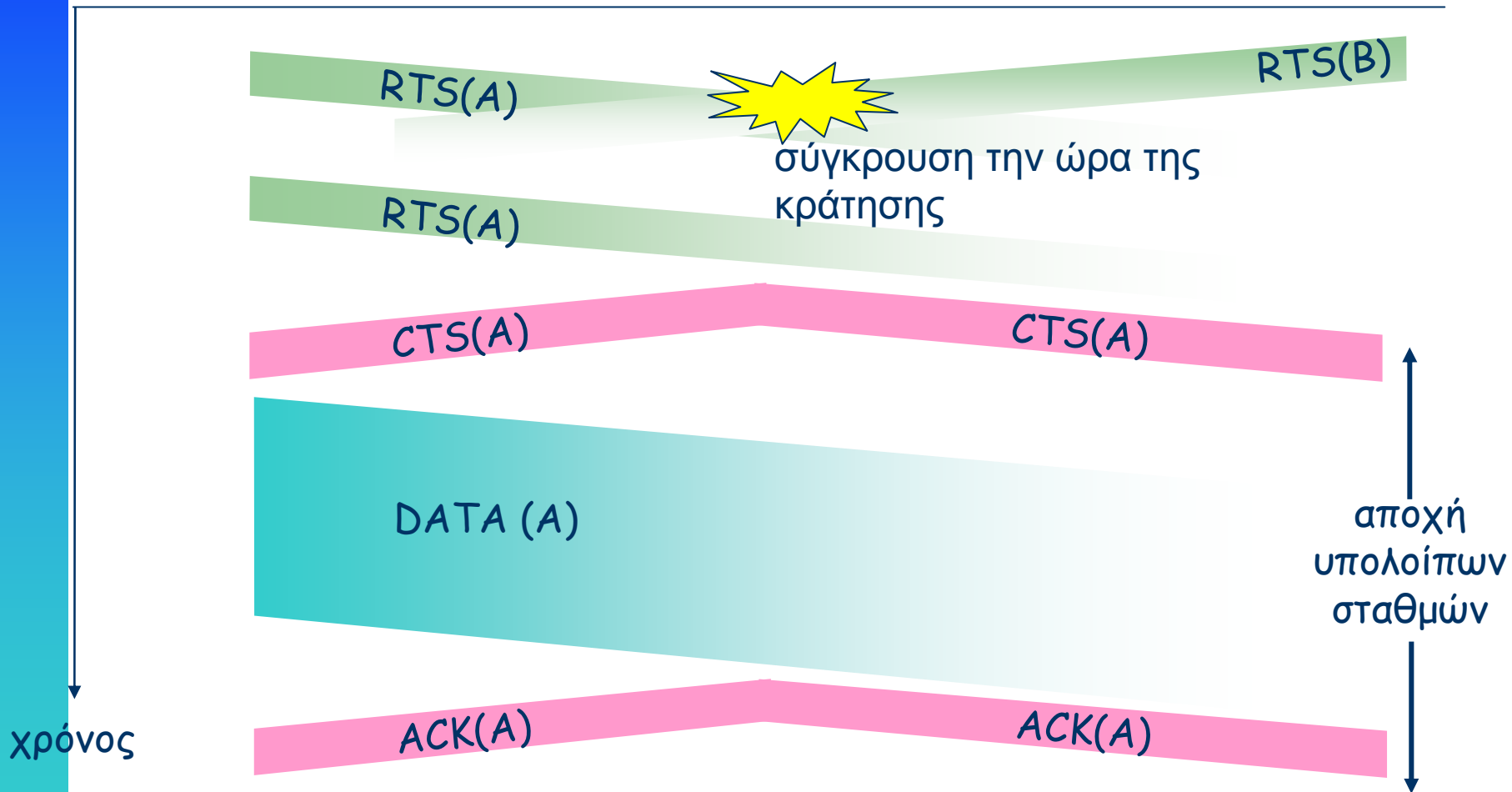
Αποφυγή συγκρούσεων: ανταλλαγή RTS-CTS



- σύντομα RTS και CTS:
 - μικρότερη πιθανότητα σύγκρουσης, μικρότερης διάρκειας
 - αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση σύγκρουσης
- το IEEE 802.11 επιτρέπει:
 - CSMA
 - CSMA/CA: κρατήσεις
 - polling από το AP



Αποφυγή συγκρούσεων: ανταλλαγή RTS-CTS



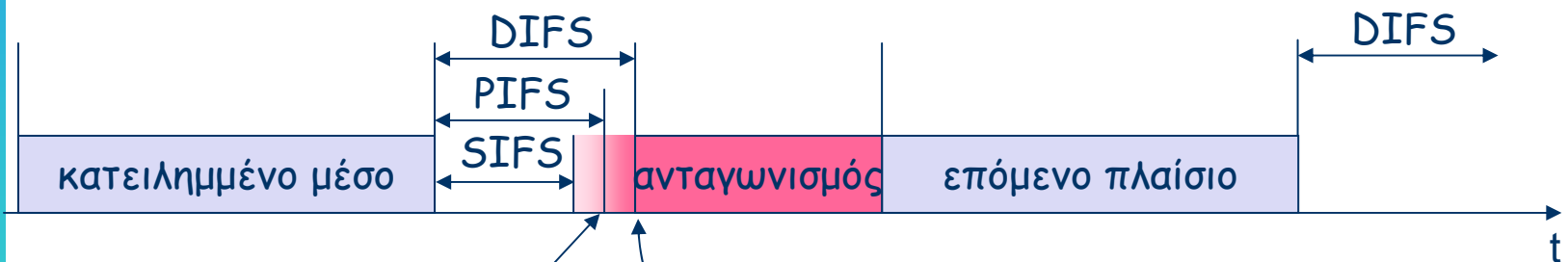


- Δύο κατηγορίες υπηρεσιών
 - Ασύγχρονη υπηρεσία δεδομένων (υποχρεωτική)
 - ανταλλαγή δεδομένων βάσει "best-effort"
 - επιτυγχάνεται με τυχαία πρόσβαση
 - Υπηρεσία με χρονικούς περιορισμούς (προαιρετική)
- Δύο τύποι λειτουργίας συντονισμού
 - **DCF** (Distributed Coordination Function)
 - **PCF** (Point Coordination Function)
- *Ερώτηση: πώς συνδυάζονται η DCF και η PCF;*

Κενά διαστήματα μεταξύ των πλαισίων για εκχώρηση προτεραιότητας πρόσβασης



- Διαφορετικής διάρκειας κενά διαστήματα (inter frame spacing, IFS): αν το απαιτούμενο IFS για κάποιον τύπο μηνύματος είναι βραχύ, το μήνυμα έχει υψηλότερη προτεραιότητα
 - SIFS (Short Inter Frame Spacing)
 - η πιο υψηλή προτεραιότητα, για ACK, CTS, απάντηση polling
 - PIFS (Point Coordination Function Spacing)
 - μέση προτεραιότητα, για time-bounded υπηρεσίες που χρησιμοποιούν PCF
 - DIFS (Distributed Coordination Function Spacing)
 - η χαμηλότερη προτεραιότητα, για ασύγχρονη υπηρεσία δεδομένων



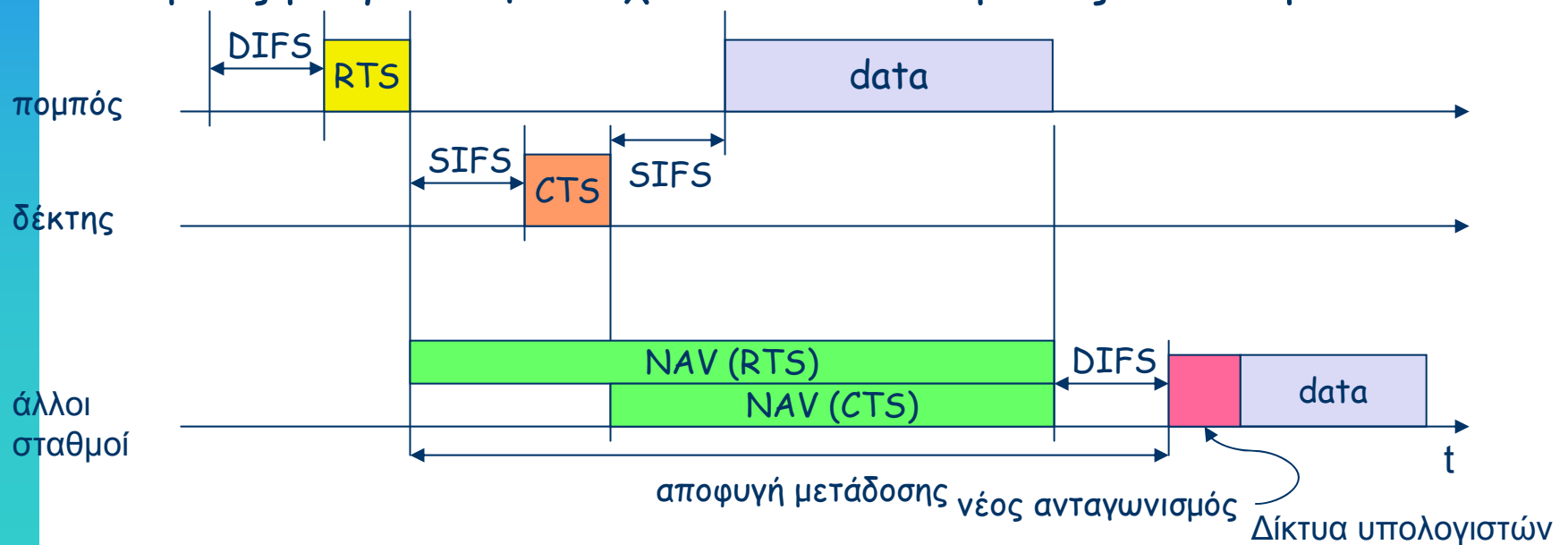
Πρόσβαση στο AP αν το μέσο είναι ελεύθερο $\geq$ PIFS

Τυχαία άμεση πρόσβαση αν το μέσο είναι ελεύθερο $\geq$ DIFS

Βασικός έλεγχος ροής με RTS/CTS



- Ο πομπός στέλνει RTS με NAV (Network allocation Vector, π.χ. παράμετρο κράτησης που καθορίζει τη χρονική διάρκεια που χρειάζεται να μεταδοθεί το πακέτο δεδομένων), αφού περιμένει για ένα DIFS
- Ο δέκτης επαληθεύει μέσω CTS μετά από SIFS (αν είναι έτοιμος για λήψη)
 - CTS κάνει κράτηση του διαύλου για τον πομπό, ειδοποιώντας πιθανόν κρυμμένους σταθμούς
 - οποιοσδήποτε σταθμός ακούει CTS πρέπει να σιωπήσει για χρόνο NAV
- Ο πομπός μπορεί στη συνέχεια να στείλει αμέσως τα δεδομένα

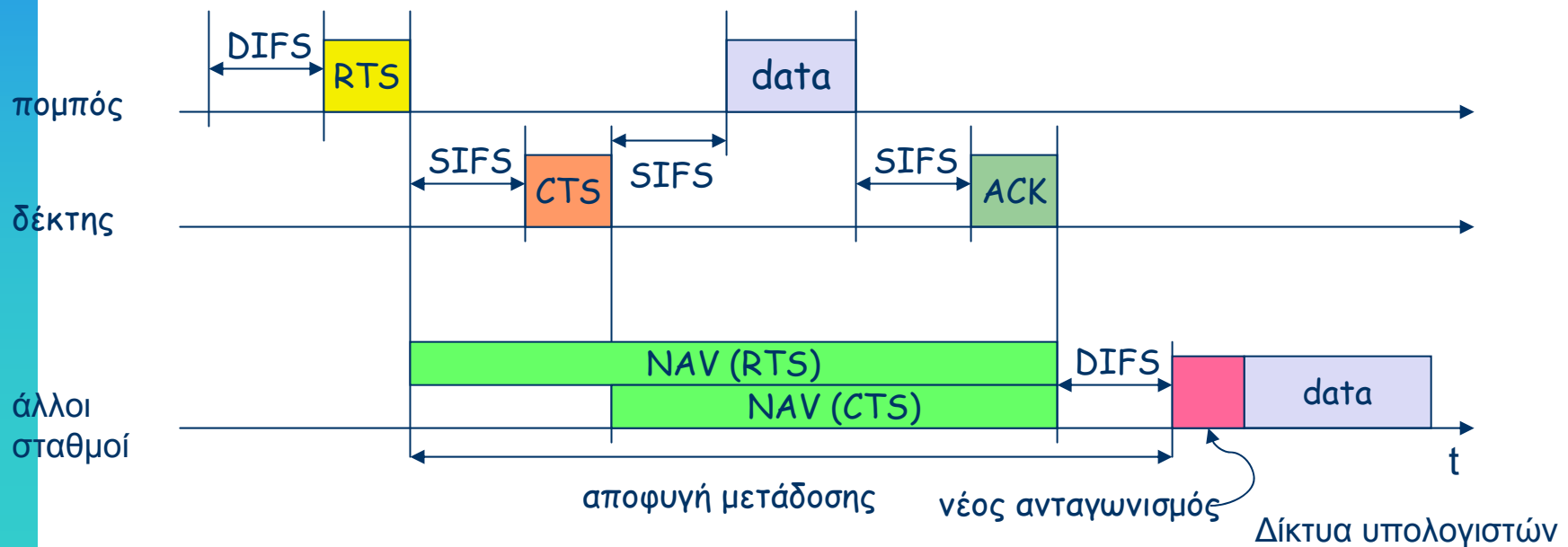


802.11: RTS/CTS + ACK

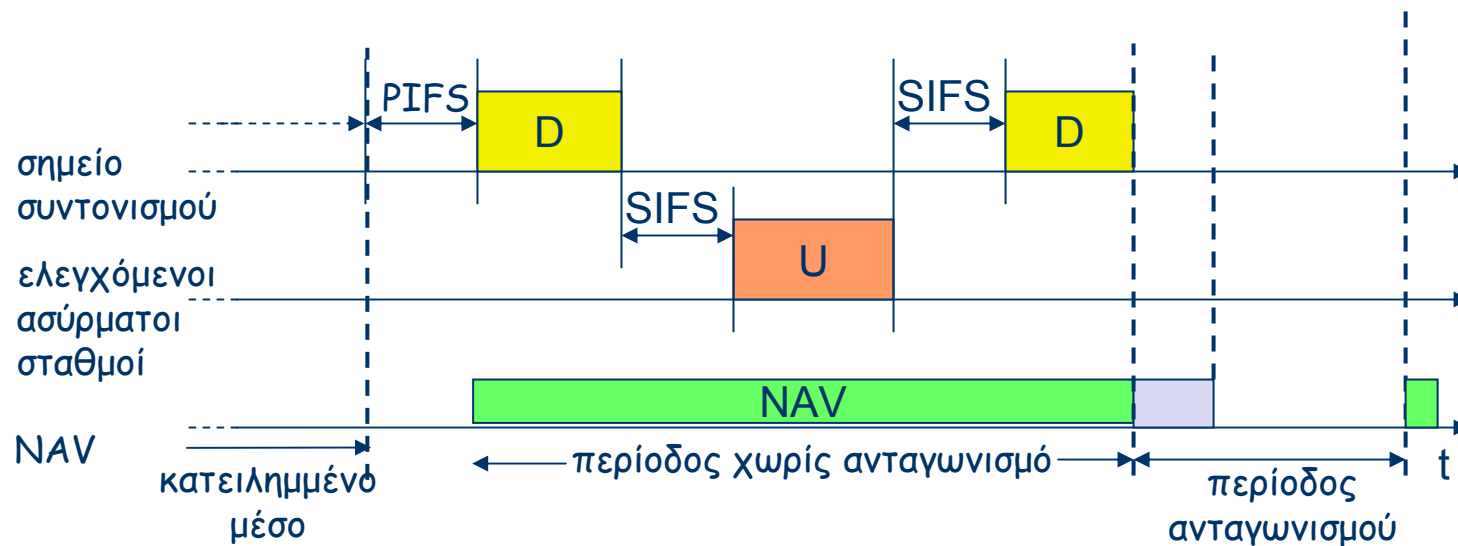


- 802.11 προσθέτει ACK στη σηματοδότηση για βελτίωση της αξιοπιστίας
 - συνέπεια: για αποφυγή σύγχυσης με τις ACK, κάθε σταθμός που ακούει RTS δεν πρέπει να στείλει για χρόνο NAV
 - έτσι, ένας σταθμός δεν πρέπει να στείλει για χρόνο NAV αν ακούσει είτε RTS είτε CTS

Σημείωση: το RTS/CTS είναι προαιρετικό στο 802.11, οπότε μπορεί να μην είναι πάντα ενεργοποιημένο --- μερικές κάρτες δικτύου το ενεργοποιούν μόνο όταν το μήκος ενός πλαισίου υπερβαίνει δοθέν κατώφλι



802.11: PCF για Polling



D: ροή καθόδου ή δεδομένα από το σημείο συντονισμού

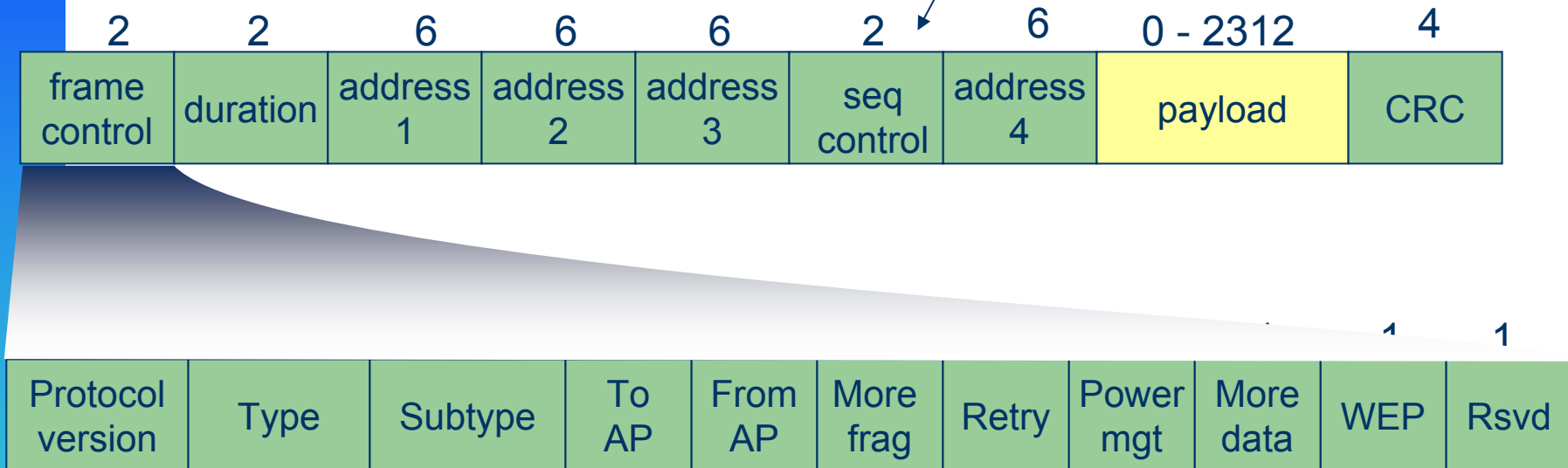
U: δεδομένα από ελεγχόμενο ασύρματο σταθμό

Πλαίσιο 802.11



διάρκεια του χρόνου κράτησης (μs)
για τη μετάδοση (RTS/CTS)

αύξων αριθ. πλαισίου
(για αξιόπιστη μετάδοση)



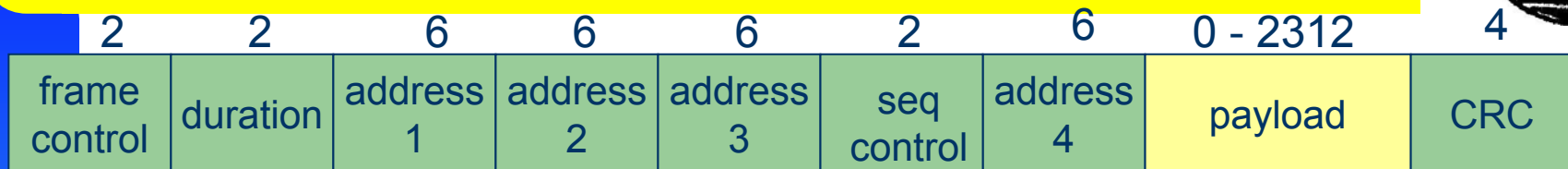
τύπος πλαισίου

00: mgmt, 01: control (RTS, CTS, ACK,...)
10: data, 11: reserved



- Πριν από την επικεφαλίδα MAC υπάρχει:
 - ένα προοίμιο 80-bit με εναλλασσόμενα 0 και 1 για συγχρονισμό
 - επικεφαλίδα φυσικού στρώματος (PLCP) που μεταδίδεται πάντα με 1 Mbps, όπως και τα πεδία σηματοδότησης
- Duration: NAV
- Τα τέσσερα πεδία διευθύνσεων χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιήσουν διάφορες διευθύνσεις
 - π.χ., Addr 1 είναι πάντα η διεύθυνση παραλήπτη (του άμεσου παραλήπτη του πλαισίου), η Addr 2 είναι πάντα η διεύθυνση του πομπού
- CRC: άθροισμα ελέγχου

Πλαίσιο 802.11: διευθύνσεις



Address 1: MAC address του host ή του AP που θα λάβει το πλαίσιο

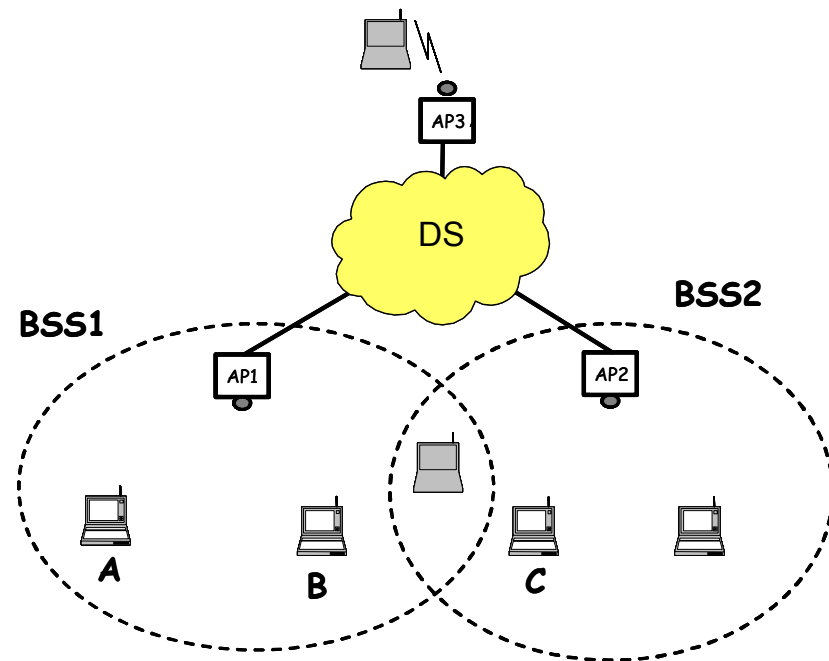
Address 2: MAC address του host ή του AP που μεταδίδει το πλαίσιο

Address 3: MAC address του AP ή του αποστολέα ή του παραλήπτη

Address 4: χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ AP μέσω DS

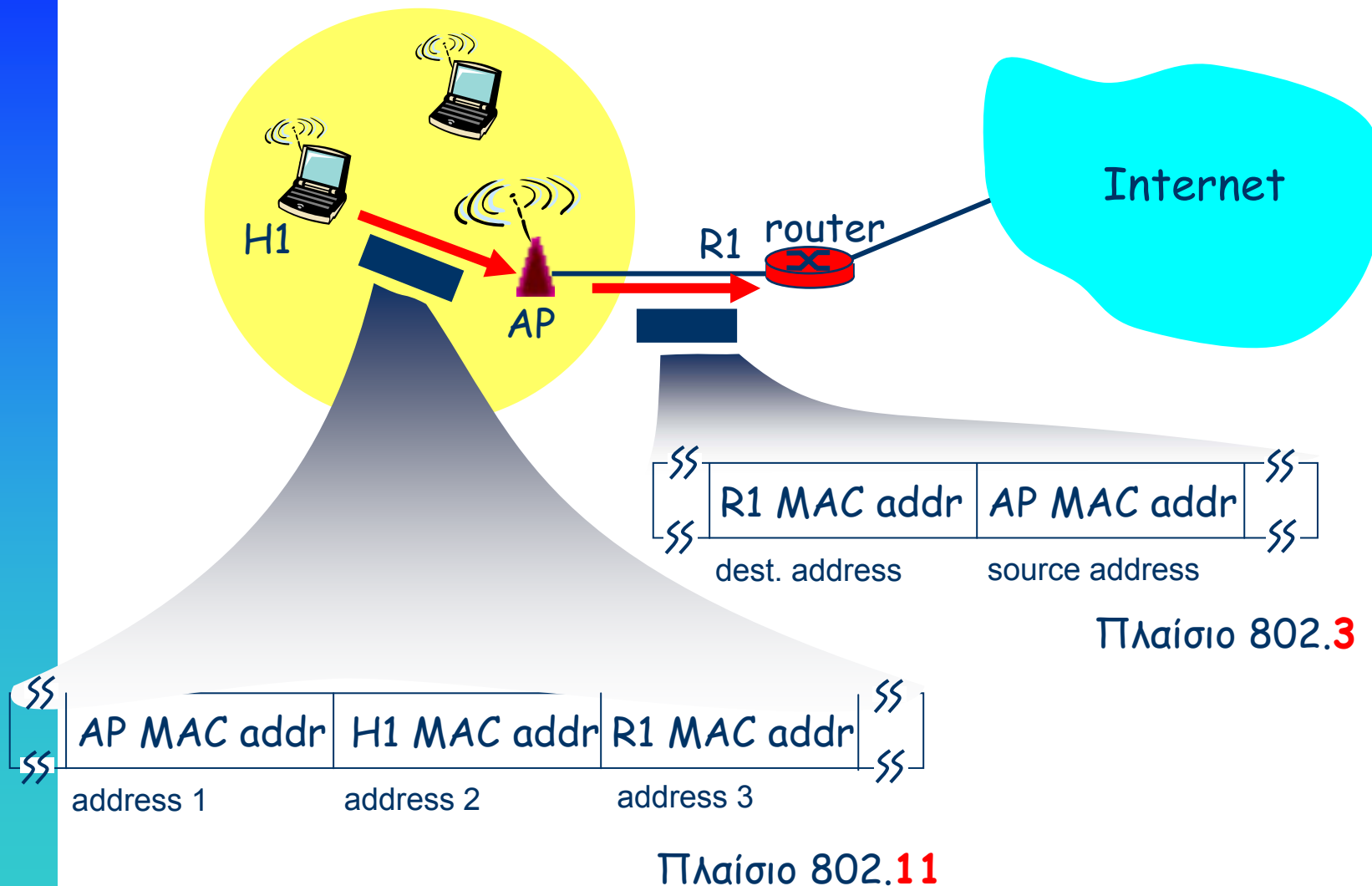
to DS	from DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	-
0	1	DA	BSSID	SA	-
1	0	BSSID	SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA

Πλαίσιο 802.11: διευθύνσεις



	Addr1	Addr2	Addr3	Addr4
$A \rightarrow B$	B	A	BSS1	-
$AP2 \rightarrow C$	C	AP2	A	-
$A \rightarrow C$	AP1	A	C	-
$AP1 \rightarrow AP2$	AP2	AP1	C	A

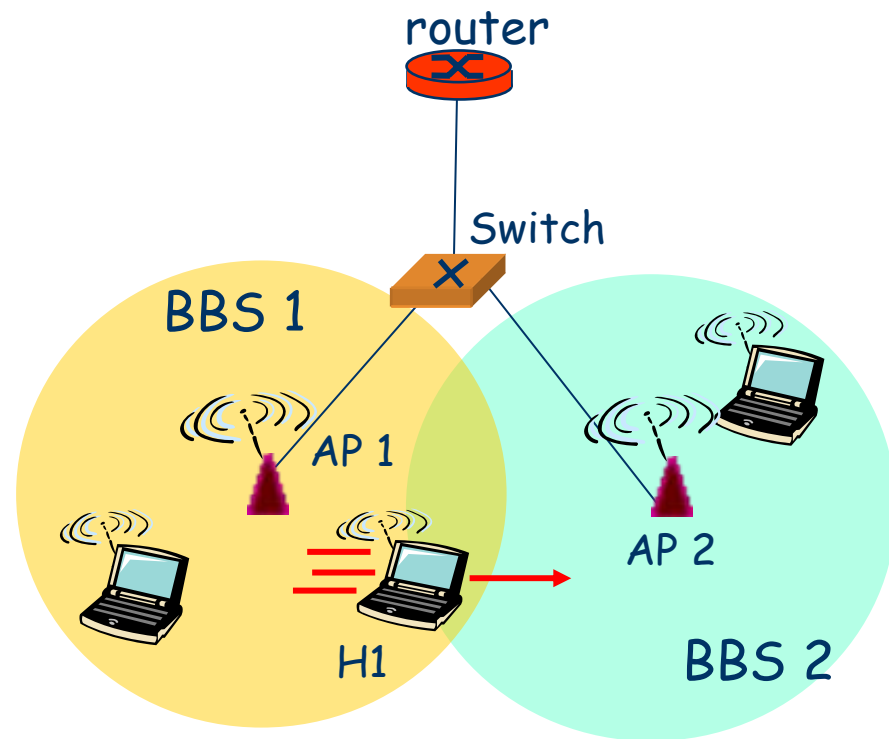
Πλαίσιο 802.11: διευθύνσεις



802.11: κινητικότητα στο ίδιο υποδίκτυο



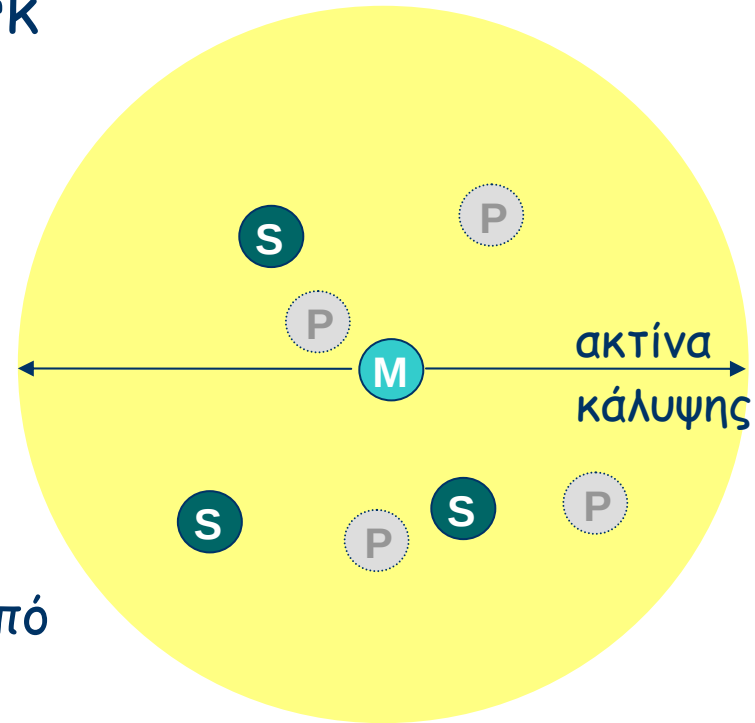
- Ο H1 παραμένει στο ίδιο υποδίκτυο IP: η διεύθυνση IP μπορεί να παραμείνει ίδια
- Το switch που είναι συσχετισμένο με τον H1:
 - με αυτοεκπαίδευση θα μάθει από πού λαμβάνει πλαίσια του H1 και θα "θυμάται" σε ποια πόρτα θα στέλνει πλαίσια για τον H1



802.15: WPAN



- Wireless personal area network
- διάμετρος μικρότερη από 10m
- αντικατάσταση καλωδίων (πληκτρολόγιο, ποντίκι, ακουστικά)
- ad hoc: όχι υποδομή
- σταθμοί master/slave:
 - οι slave ζητούν άδεια μετάδοσης από τον master
- 802.15: προήλθε από τις προδιαγραφές του Bluetooth
 - ζώνη 2.4-2.5 GHz
 - μέχρι 721 kbps: τώρα 20 Mbps



(M) Master

(S) Slave

(P) Parked (inactive)

Bluetooth: Σχεδιαστικός στόχος

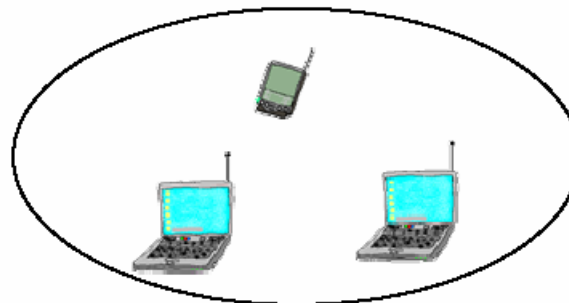


- Τεχνολογία αντικατάστασης καλωδίων
 - 1 Mb/s
 - απόσταση κάλυψης 10+ μέτρα
 - ασύρματη μετάδοση + βασική ζώνη (ψηφιακό μέρος) με ένα chip
 - χαμηλή ισχύς
 - χαμηλό κόστος ανά σημείο (στόχος τα \$5)

Bluetooth: Σενάρια εφαρμογής



Αντικατάσταση καλωδίων



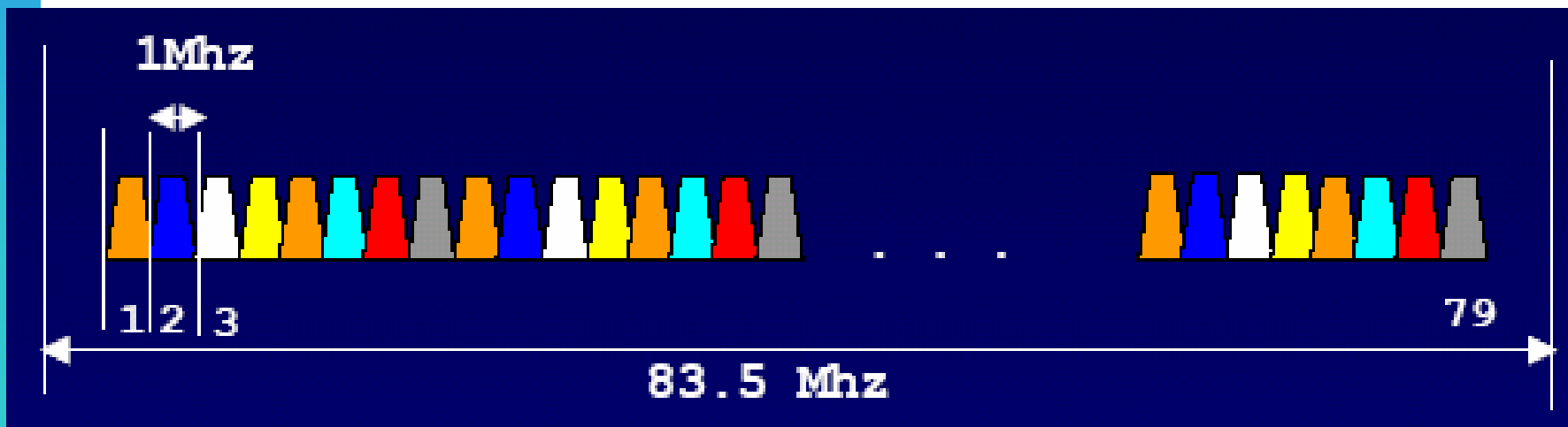
Ad hoc προσωπικό δίκτυο



Bluetooth: Ασύρματη ζεύξη



- Το Bluetooth μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το 802.11
 - Χρησιμοποιεί απλωμένο φάσμα (spread spectrum) με μεταπήδηση συχνότητας (frequency hopping)
 - $2.402 \text{ GHz} + k \text{ MHz}$, $k=0, \dots, 78$
 - 1,600 μεταπηδήσεις ανά second
 - Διαμόρφωση GFSK (Gaussian FSK)
 - ρυθμός συμβόλων $10^6/s$
 - Ισχύς μετάδοσης: 1mW

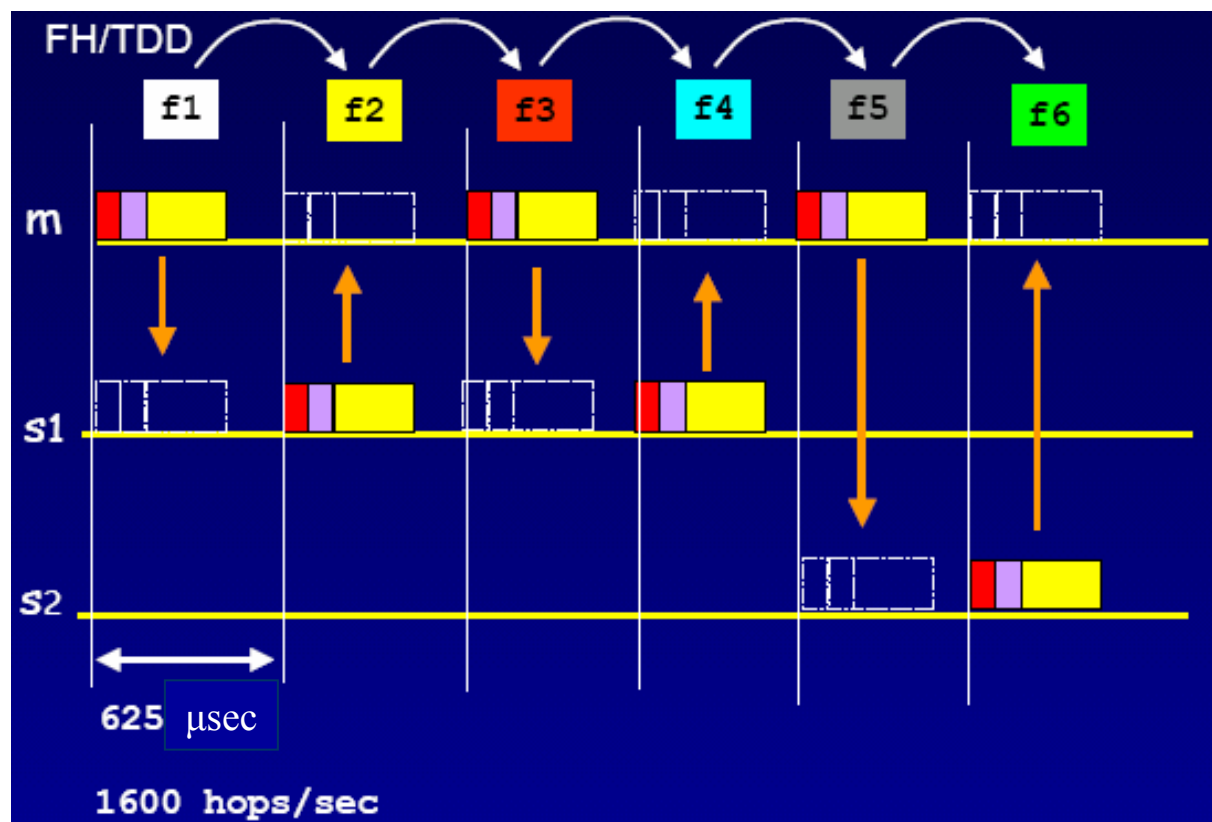
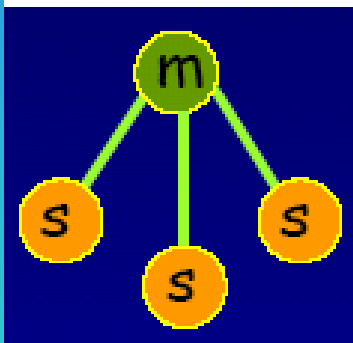


Bluetooth: Φυσικό στρώμα



- Οι κόμβοι απαρτίζουν ένα piconet: ένας ελέγχων (master) και μέχρι 7 ελεγχόμενοι (slaves)
 - Κάθε κόμβος μπορεί να λειτουργήσει ως master ή ως slave
- Οι slave ακολουθούν την ψευδοτυχαία ακολουθία μεταπηδήσεων του master

piconet

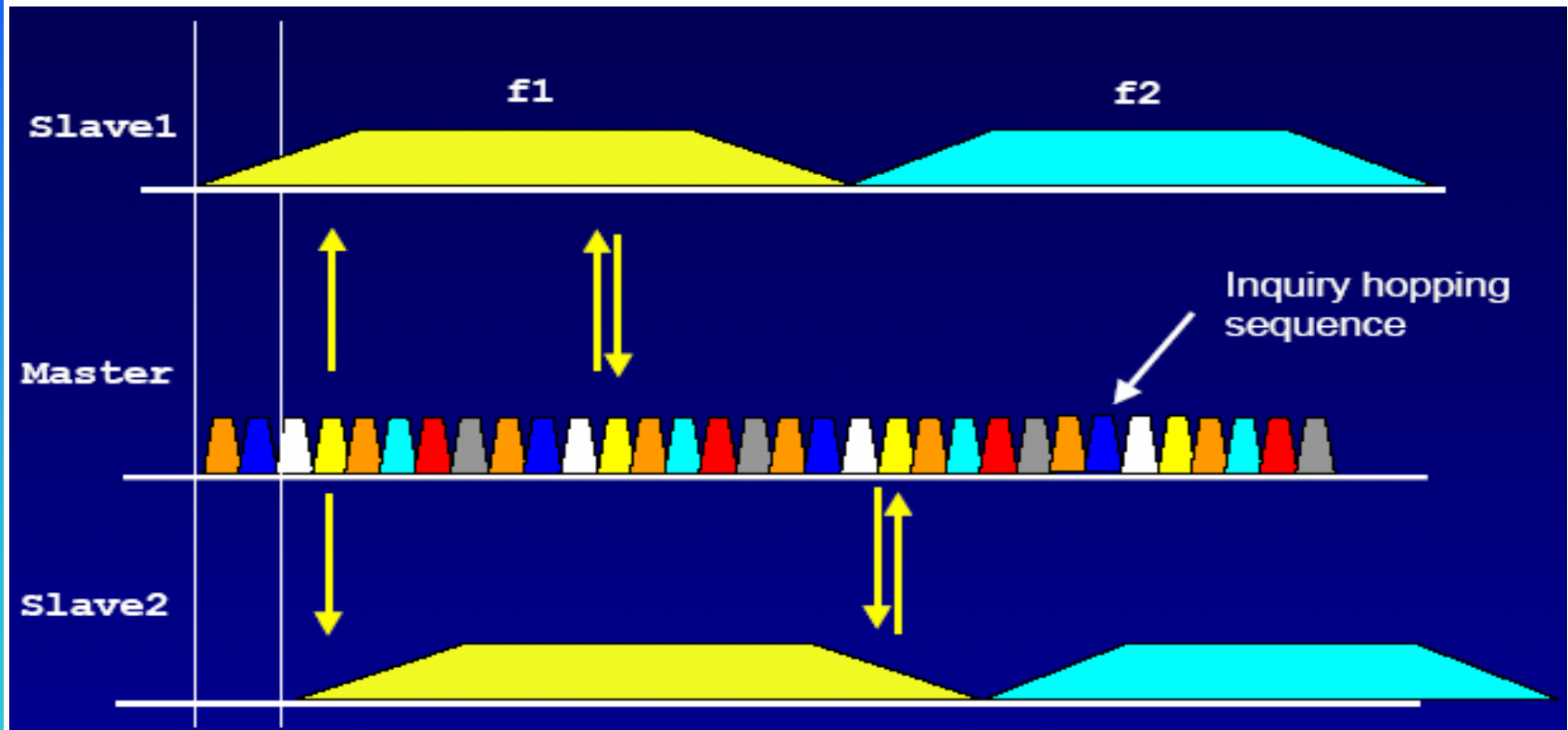


Σχηματισμός Piconet

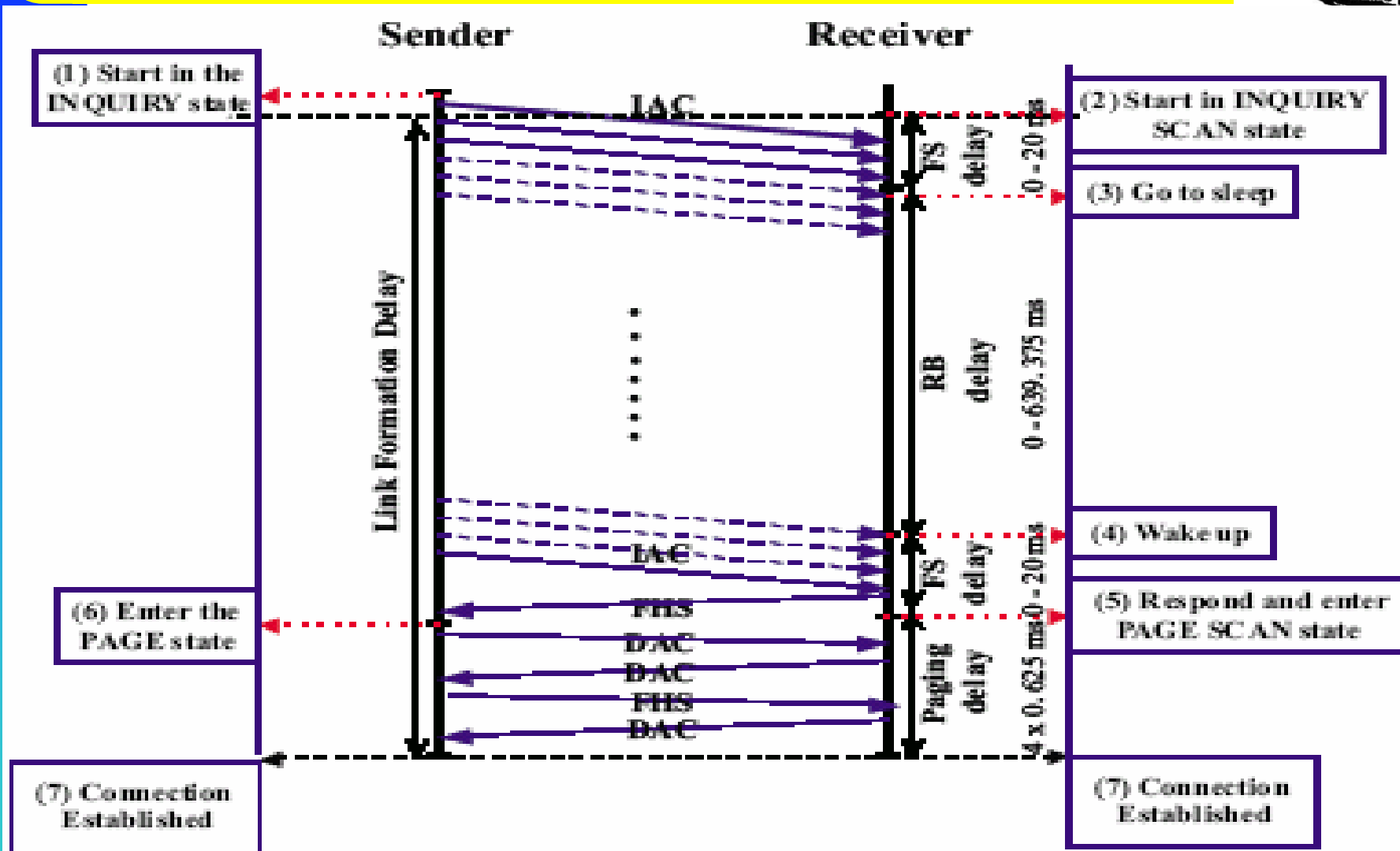


- Πρωτόκολλο inquiry/scan/page
- Ο master: στέλνει διερευνητικά (Inquiry) μηνύματα, με Inquiry Access Code (IAC), που πραγματοποιεί μεταπηδήσεις σε μια ακολουθία συχνοτήτων (32 συχνότητες)
 - αναγγελία του master
- Ο slave που εντάσσεται:
 - κάνει μεταπηδήσεις σε πολύ χαμηλότερη ταχύτητα
 - αφού λάβει ένα διερευνητικό μήνυμα, περιμένει για τυχαίο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια στέλνει αίτηση στον master
- Ο master στέλνει ένα μήνυμα αναζήτησης (paging) στον slave για να τον εντάξει

Inquiry Hopping



Bluetooth: Πρωτόκολλο εγκατάστασης ζεύξης



FS: Frequency Synchronization

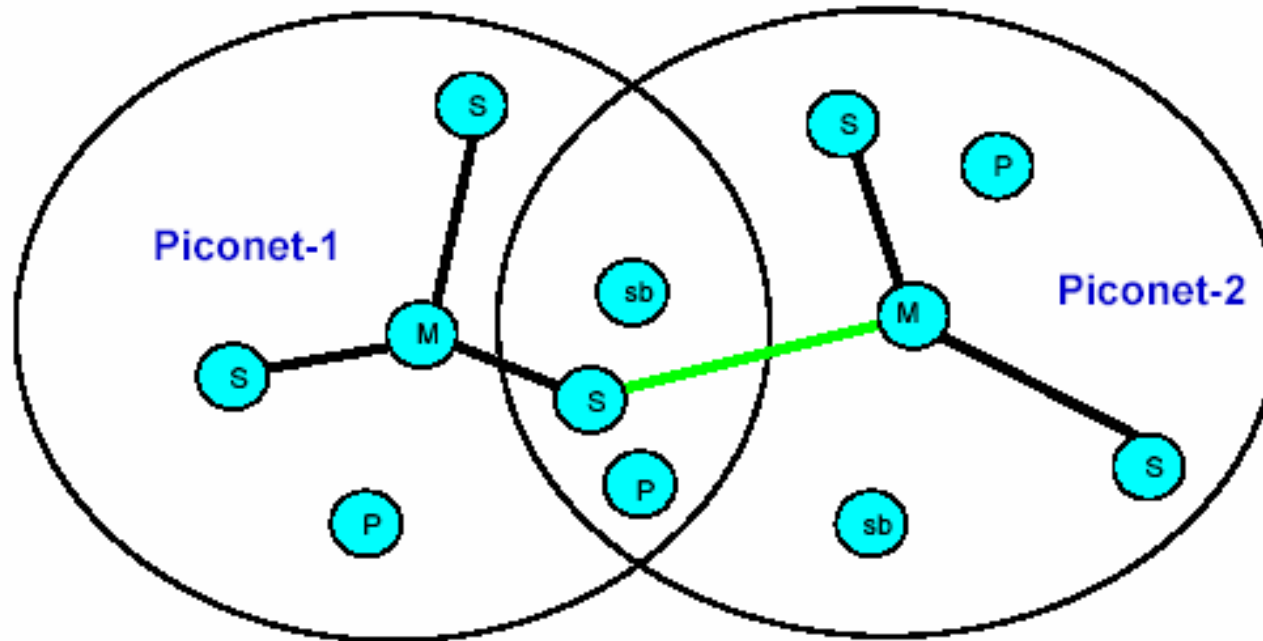
DAC: Device Access Code

IAC: Inquiry Access Code

Bluetooth: Scatternet



Scatternet



M: master

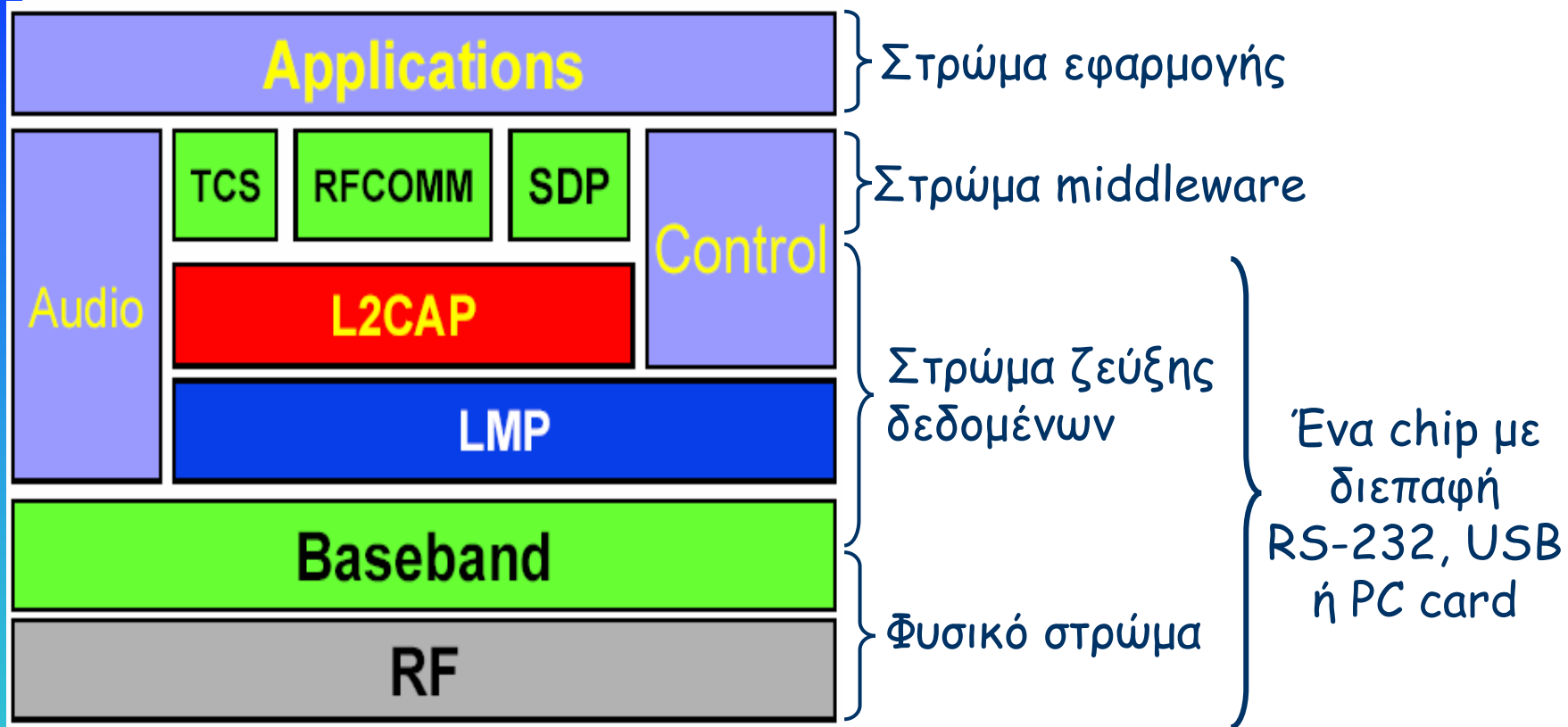
S: slave

Sb: stand by

P: parked/hold

Κάθε κόμβος έχει μια διεύθυνση 12-bit

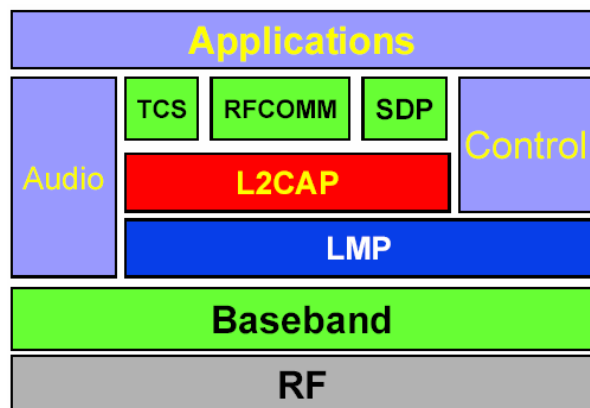
Bluetooth: Στοίβα πρωτοκόλλων



Bluetooth: Στοιβά πρωτοκόλλων



- **RF**: καθορίζει την ασύρματη μετάδοση bit από τον M στον S
- **Baseband**: καθορίζει τον έλεγχο ζεύξης σε επίπεδο bit και πλαισίου (κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση, πύλημα συχνοτήτων)
- **LMP**: διαμορφώνει τις ζεύξεις προς τις άλλες συσκευές (πιστοποίηση αυθεντικότητας, κρυπτογράφηση, κατάσταση των μονάδων στο piconet, προγραμματισμό κίνησης, μορφή πακέτου)
- **L2CAP**: παρέχει υπηρεσίες με σύνδεση και χωρίς σύνδεση στα ανώτερα στρώματα
- **SDP**: service discovering protocol
- **TCS**: telephony control signalling
- **RFCOMM**: emulation των σημάτων ελέγχου και των δεδομένων RS-232 πάνω από το L2CAP



Ζεύξεις Bluetooth

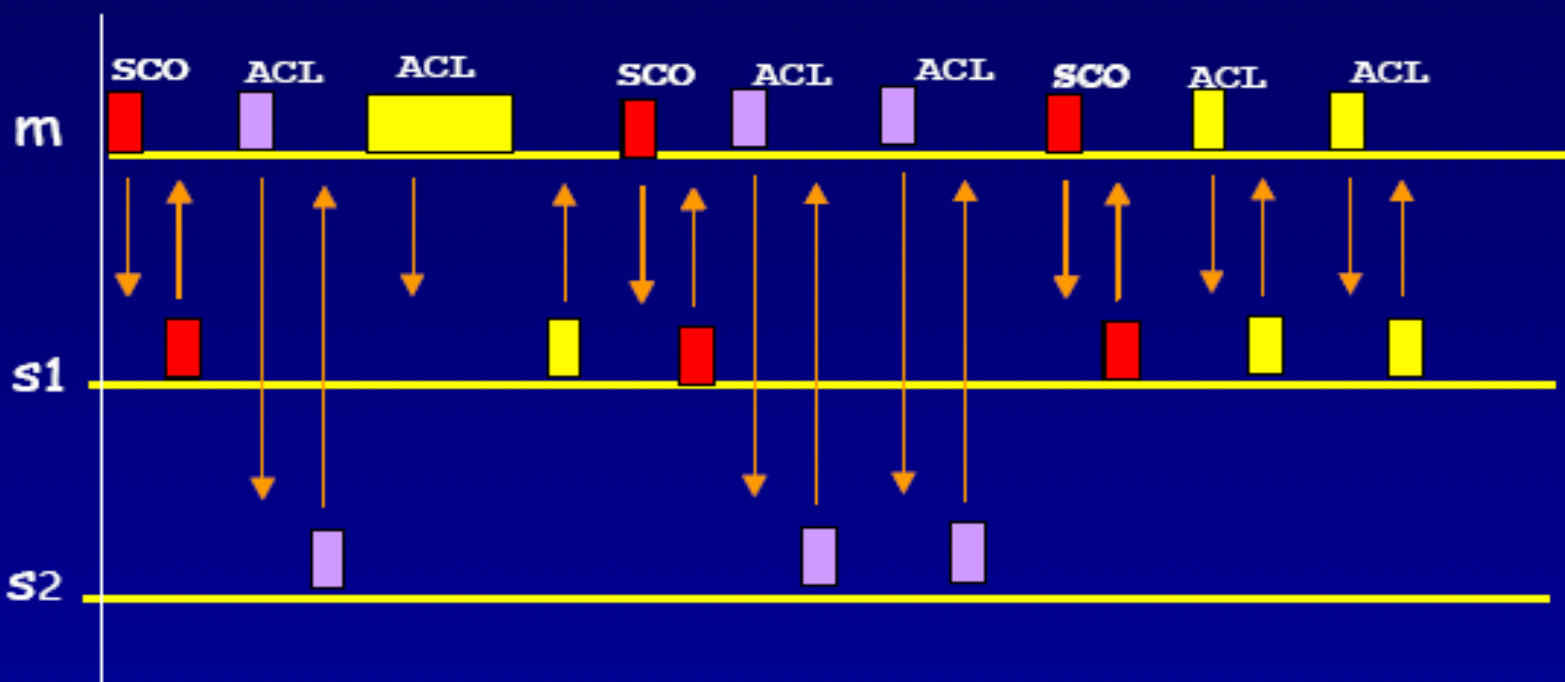


■ Synchronous Connection Oriented (SCO) Link

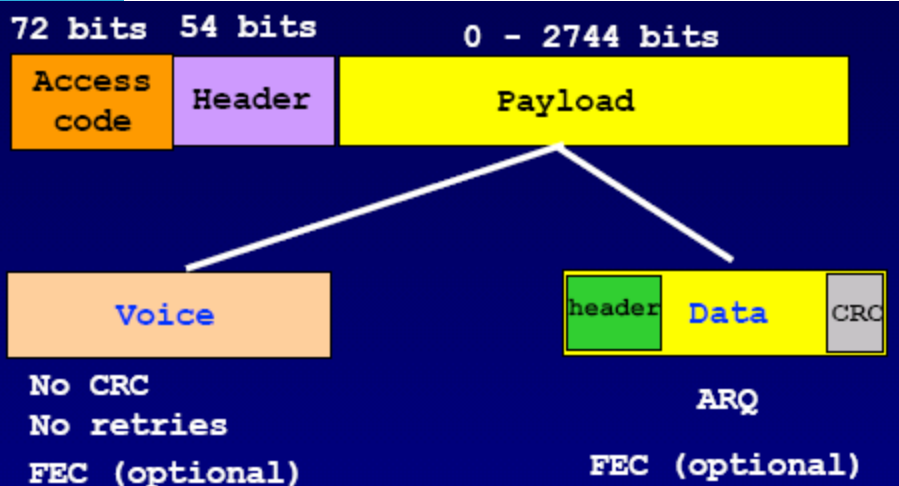
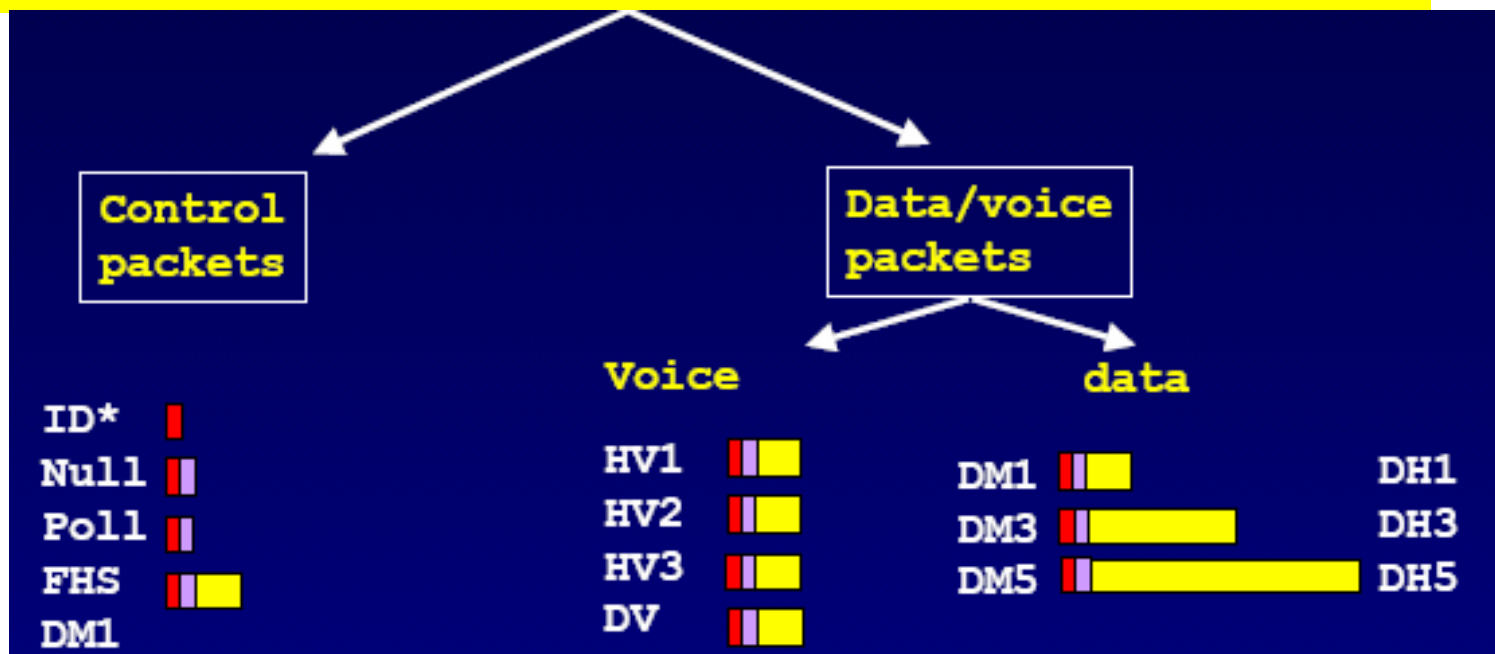
- ▶ slot reservation at fixed intervals

■ Asynchronous Connection-less (ACL) Link

- ▶ Polling access method



Bluetooth: Μορφή πακέτου



Header

- Addressing (3) → Max 7 active slaves
- Packet type (4) → 16 packet types (some unused)
- Flow control (1)
- 1-bit ARQ (1) → Broadcast packets are not ACKed
- Sequencing (1) → For filtering retransmitted packets
- HEC (8) → Verify header integrity

total **18 bits**

Encode with 1/3 FEC to get 54 bits

Πακέτο πολλαπλών σχισμών

