



# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Τοπικά δίκτυα



- Τοπικό δίκτυο Ethernet και οι διάφορες τεχνολογίες υλοποίησής του
- Τρόποι διασύνδεσης τμημάτων LAN
- Αρχιτεκτονική και λειτουργία των ασύρματων δικτύων που αφορούν την επικοινωνία στο χώρο λειτουργίας ενός προσώπου (WPANs)
- Επισκόπηση ενός αντιπροσωπευτικού δικτύου της οικογένειας WPAN
  - IEEE 802.15.1 (Bluetooth)



# Περιεχόμενα

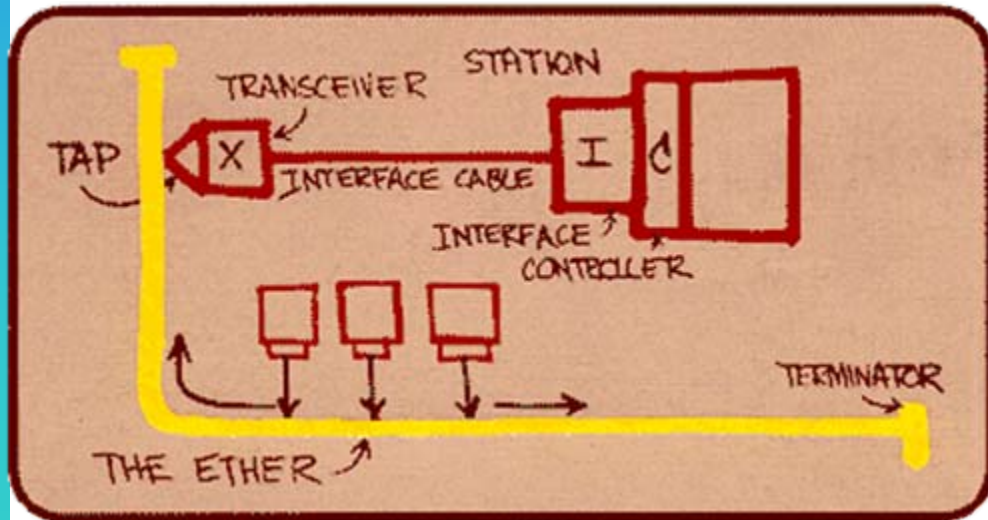
- Ethernet
  - Βασικά στοιχεία
  - Πρωτόκολλο CSMA/CD
  - Τεχνολογίες
- Διασύνδεση τμημάτων LAN
  - Επαναλήπτες
  - Γέφυρες
  - Hub
  - Μεταγωγείς
- WPANs
  - IEEE 802.15 PAN (Bluetooth)

# 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)

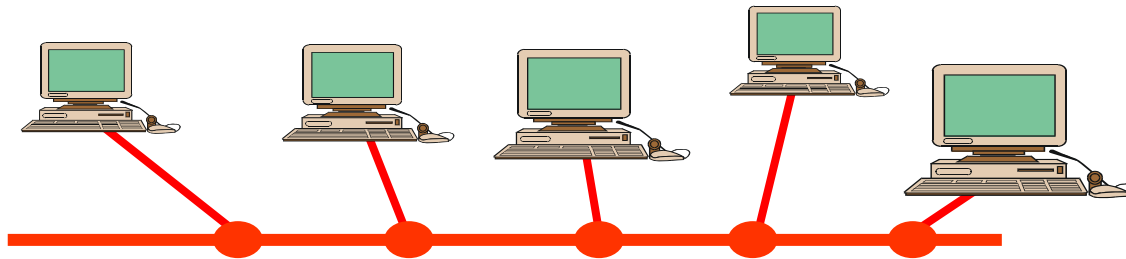


Το πρώτο σκαρίφημα του Metcalfe που οδήγησε στο Ethernet 10Base5

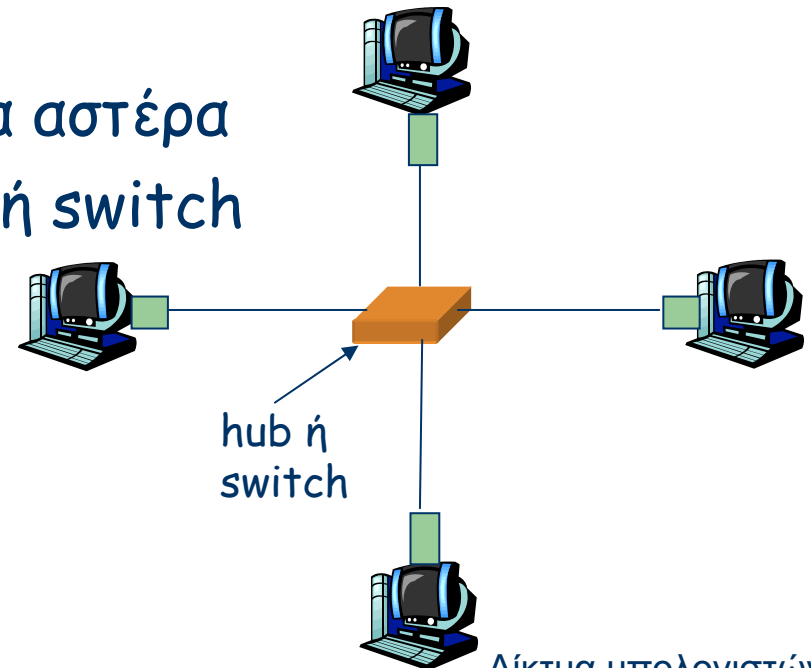
# Τοπολογία αστέρα



- Η τοπολογία αρτηρίας ήταν δημοφιλής μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1990



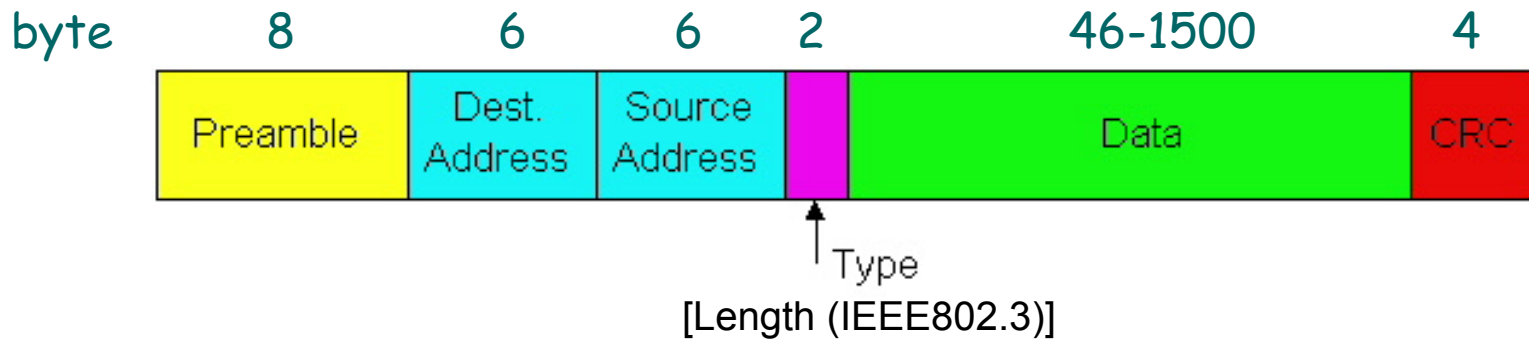
- Τώρα επικρατεί η τοπολογία αστέρα
- Επιλογές διασύνδεσης: hub ή switch



# Δομή πλαισίου Ethernet



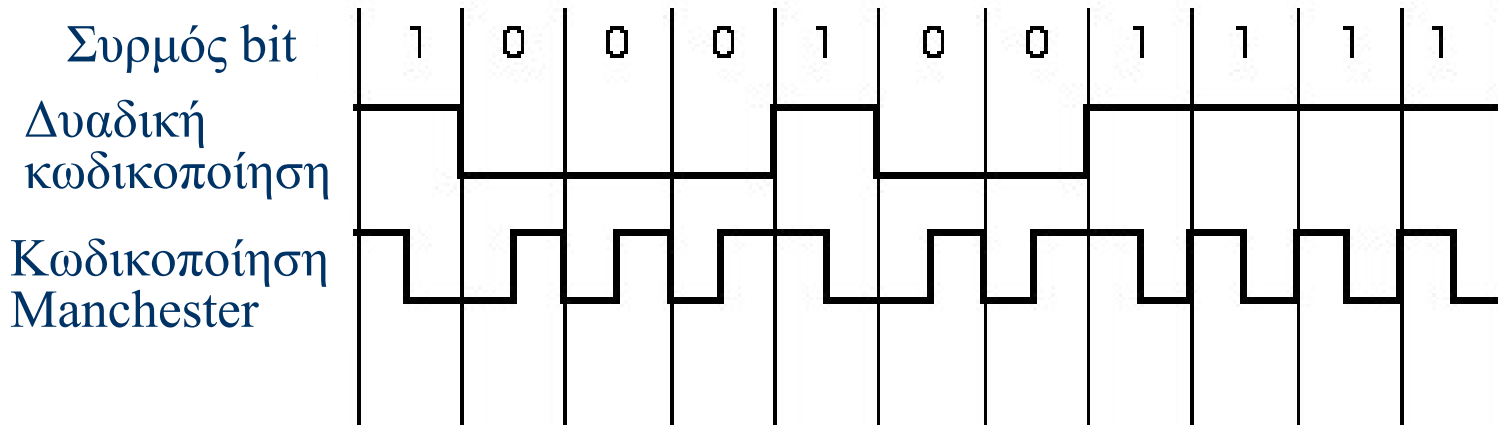
Κοινή δομή πλαισίου για όλες τις τεχνολογίες Ethernet.



## Preamble:

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

# Μετάδοση βασικής ζώνης - Κωδικοποίηση Manchester



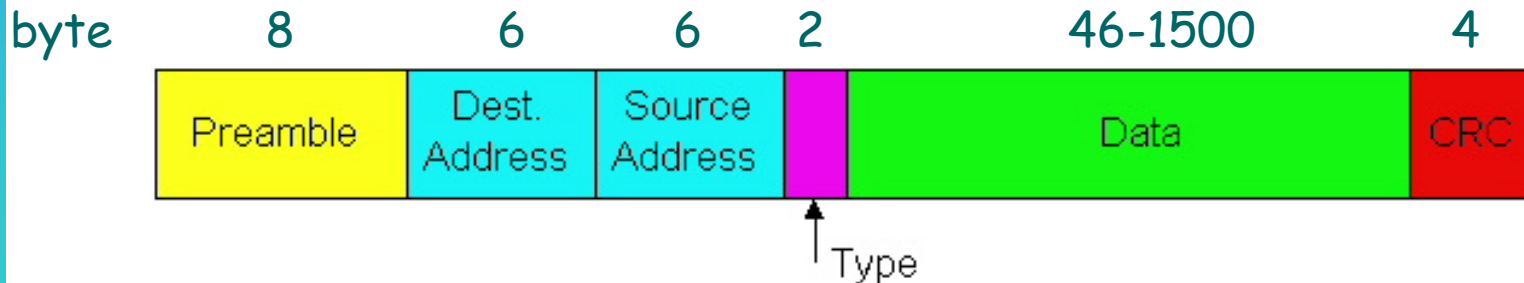
- Χρησιμοποιείται στο 10BaseT
- Σε κάθε bit υπάρχει μετάβαση
- Επιτρέπει το συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη
  - δεν απαιτείται κεντρικό ρολόι μεταξύ των κόμβων



# 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 (0x0800). Μπορεί να υποστηρίζονται και άλλα πρωτόκολλα, όπως π.χ. ARP (0x0806), RARP (0x8035), Novell IPX (0x8037).
- **CRC:** ελέγχεται στον δέκτη, αν ανιχνευθεί σφάλμα το πλαίσιο απορρίπτεται.



[Length (IEEE802.3)] <1536 ή 0x0600



# 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

# 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  $K*512$  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  $\mu$ sec 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  $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

# Απόδοση του CSMA/CD

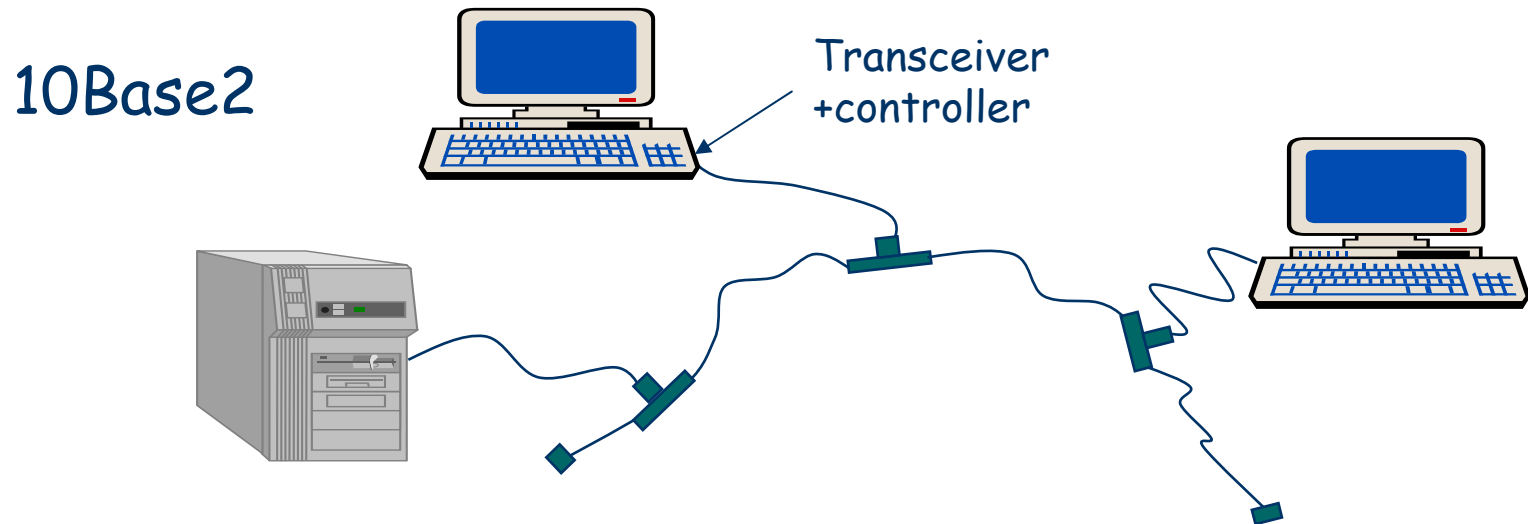
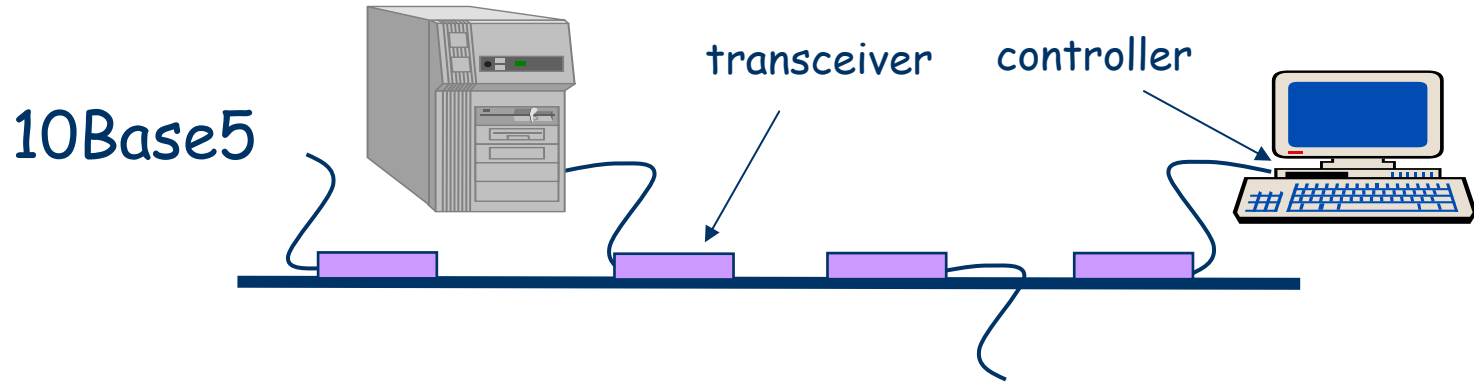


- PROP = μέγιστος χρόνος διάδοσης μεταξύ 2 σταθμών στο LAN
- TRANSF = χρόνος για τη μετάδοση πλαισίου μέγιστου μήκους

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

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

# Τεχνολογίες του Ethernet

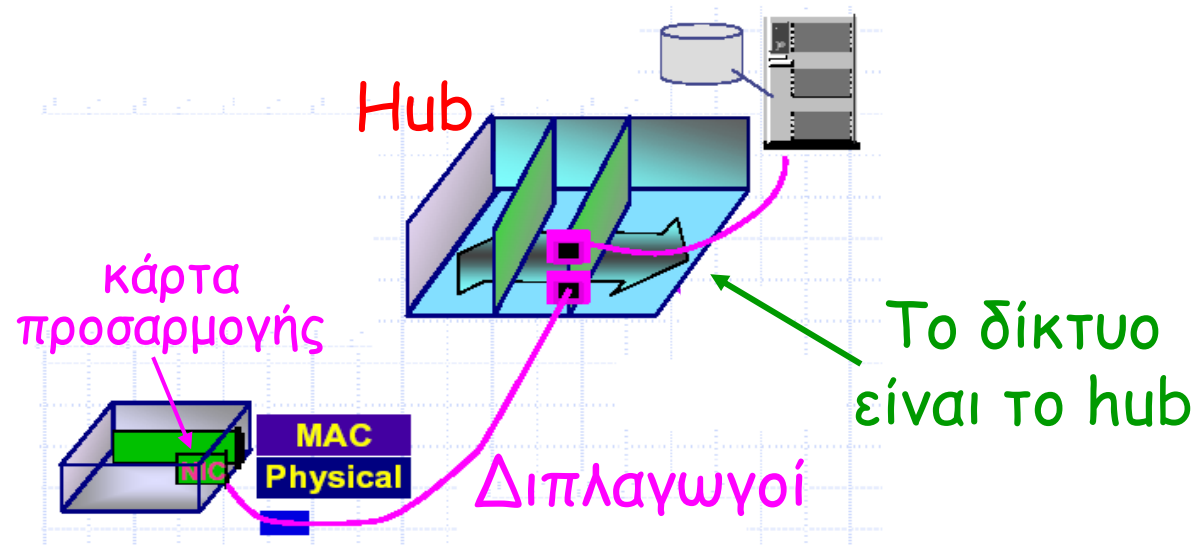
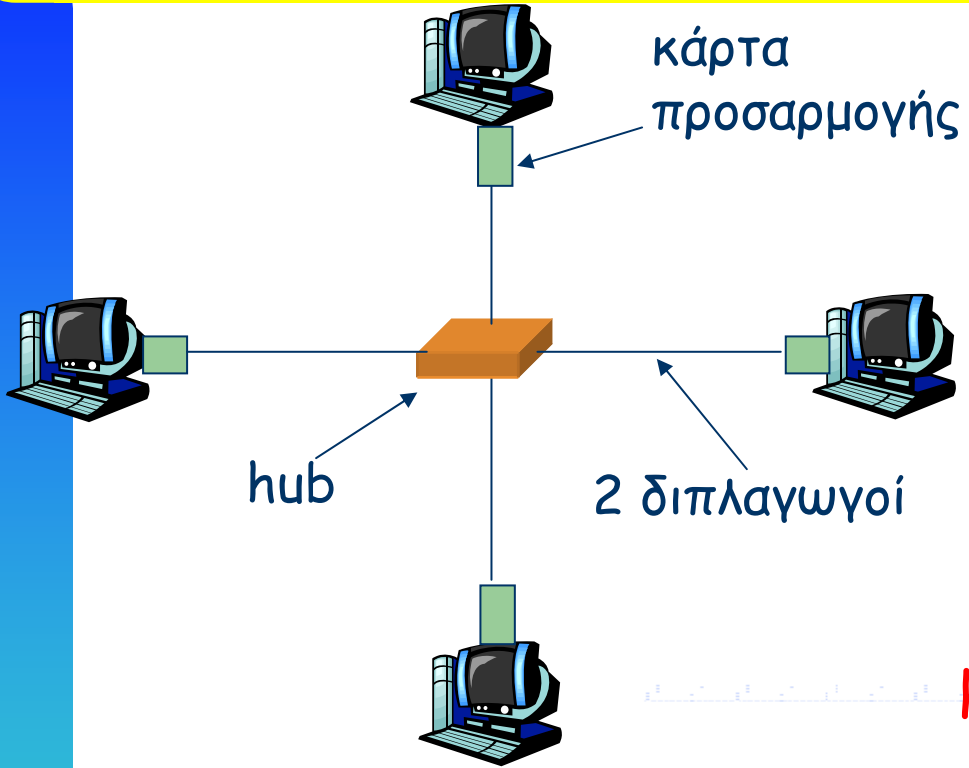


# Τεχνολογίες του Ethernet



- 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

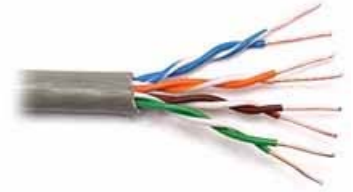


- Πρότυπο ΙΕΕΕ 802.3u
- Δεν είναι νέο πρότυπο αλλά προσθήκη στο υπάρχον πρότυπο 802.3, για να δοθεί έμφαση στην προς τα πίσω συμβατότητα
- Βασική ιδέα:
  - Διατήρηση της μορφής των πακέτων
  - Διατήρηση του CSMA/CD
  - Μείωση της διάρκειας των bit από 100 nsec σε 10 nsec
  - Δεν χρησιμοποιούνται 10Base5 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

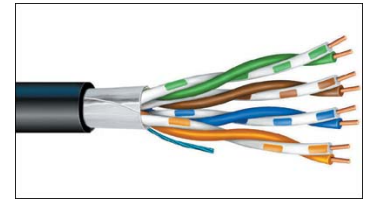
# Ταχύ Ethernet



- Με καλώδιο 3 UTP, **100Base-T4**



- Με καλώδιο 5 UTP, **100Base-TX**

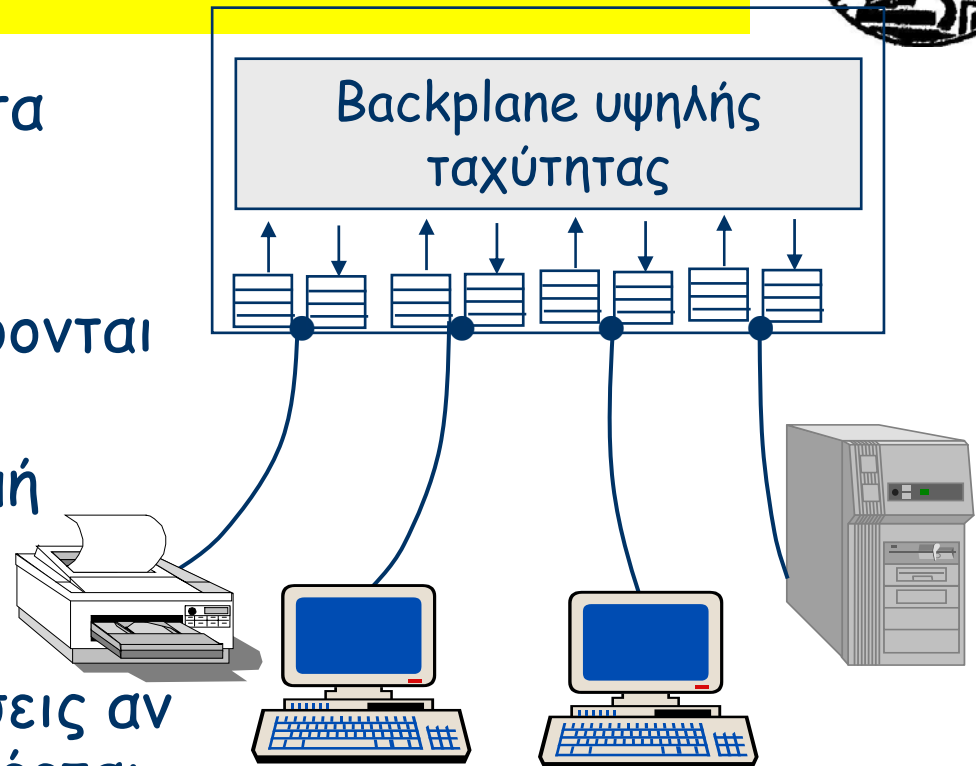


- Λειτουργεί και ως hub και ως μεταγωγέας
- **Hub**: μοναδική επικράτεια συγκρούσεων
- **Μεταγωγέας Ethernet**
  - backplane υψηλότερης ταχύτητας
  - αμφίδρομη μετάδοση χωρίς συγκρούσεις
  - μπορεί να εξυπηρετήσει μίγμα σταθμών των 10 Mbps και 100 Mbps, ώστε να είναι δυνατή η αναβάθμιση

# Μεταγωγέας Ethernet



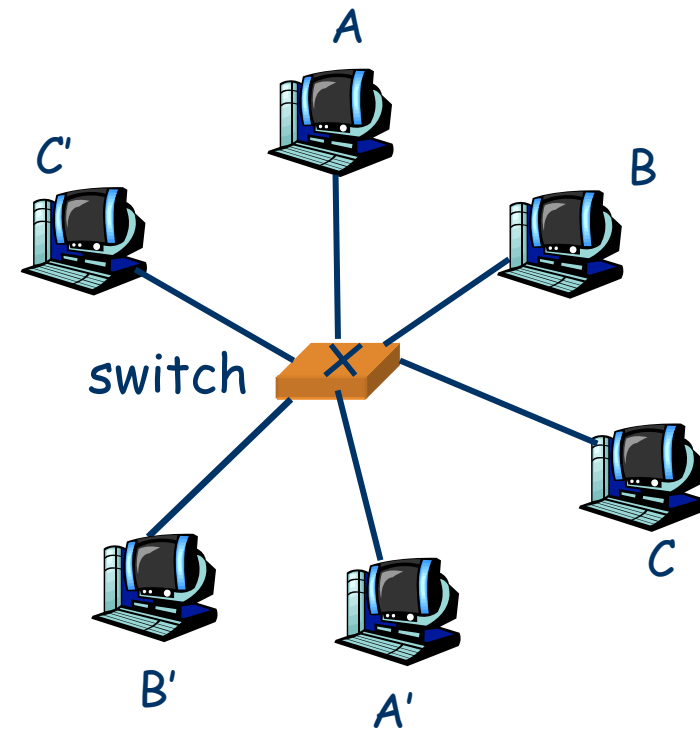
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης
- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις αν μόνο ένας σταθμός συνδέεται σε κάθε είσοδο
- Αν αφιερωθεί ξεχωριστή γραμμή για κάθε κατεύθυνση 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 για εκπομπή, ένας για λήψη και οι άλλοι δύο έχουν τη δυνατότητα να μεταχθούν προς την τρέχουσα κατεύθυνση μετάδοσης
- Κωδικοποίηση MLT-3: 25MHz και 8B6T,  $25 \times (8/6) = 33.3$  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,  $125 \times (4/5) = 100$  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, κωδικοποίηση 8B/10B

- 1000BaseLX

- Μεγάλο μήκος κύματος, μονότροπη ίνα
- Μέγιστο τμήμα 2000 m, κωδικοποίηση 8B/10B

- 1000BaseCX

- Χάλκινες συνδέσεις, θωρακισμένος διπλαγωγός
- Μέχρι 25m, κωδικοποίηση 8B/10B

- 1000BaseT

- 4 ζεύγη, κατηγορίας 5 UTP, πλήρως αμφίδρομα με ακυρωτή ηχούς και διαμόρφωση PAM-5

# Διασύνδεση LAN

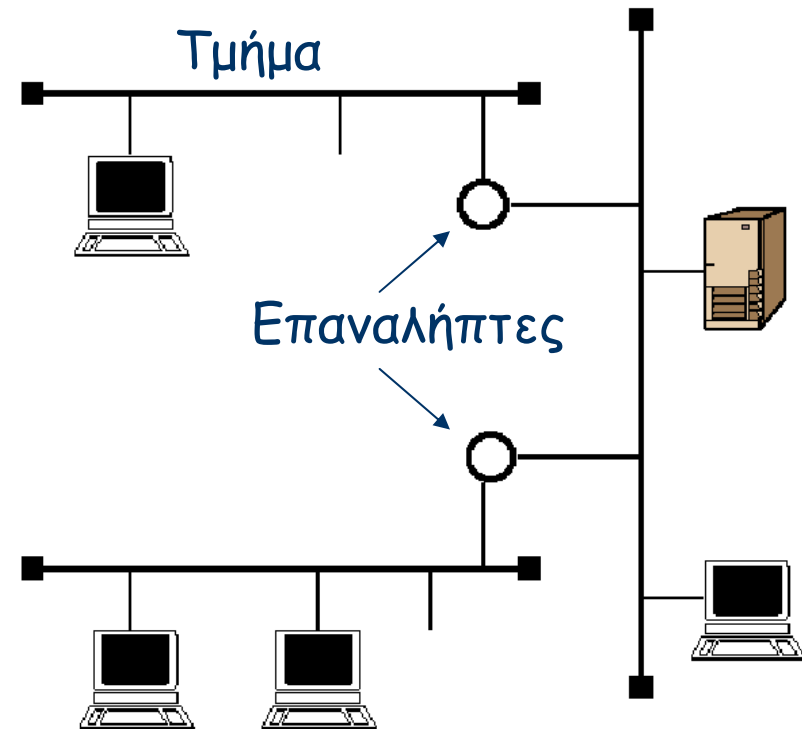


- Επαναλήπτες (Repeaters)
- Hubs
- Γέφυρες (Bridges)
- Μεταγωγείς (Switches)
  - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες.
  - Ό,τι αναφερθεί για τις γέφυρες ισχύει επίσης και για τους μεταγωγείς.

# Επαναλήπτες



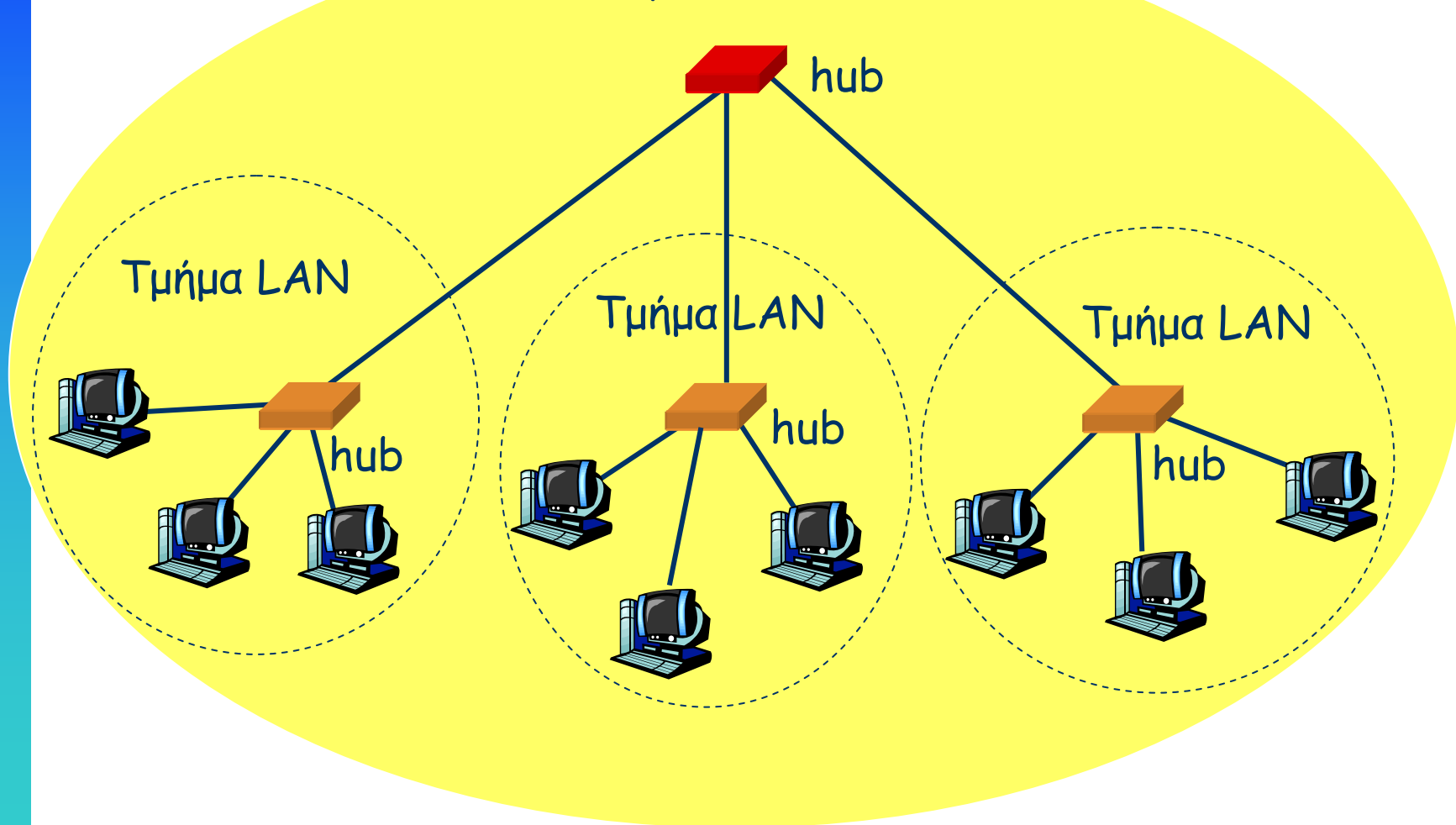
- Λειτουργούν στο φυσικό στρώμα
- Μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις
- Ενώνουν δύο τμήματα καλωδίου
- Δεν έχουν χώρο προσωρινής αποθήκευσης
- Δεν υπάρχει λογική απομόνωση των τμημάτων
- Αν δύο σταθμοί σε διαφορετικά τμήματα στείλουν ταυτόχρονα, τα πακέτα συγκρούονται
- Μόνο μία διαδρομή τμημάτων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

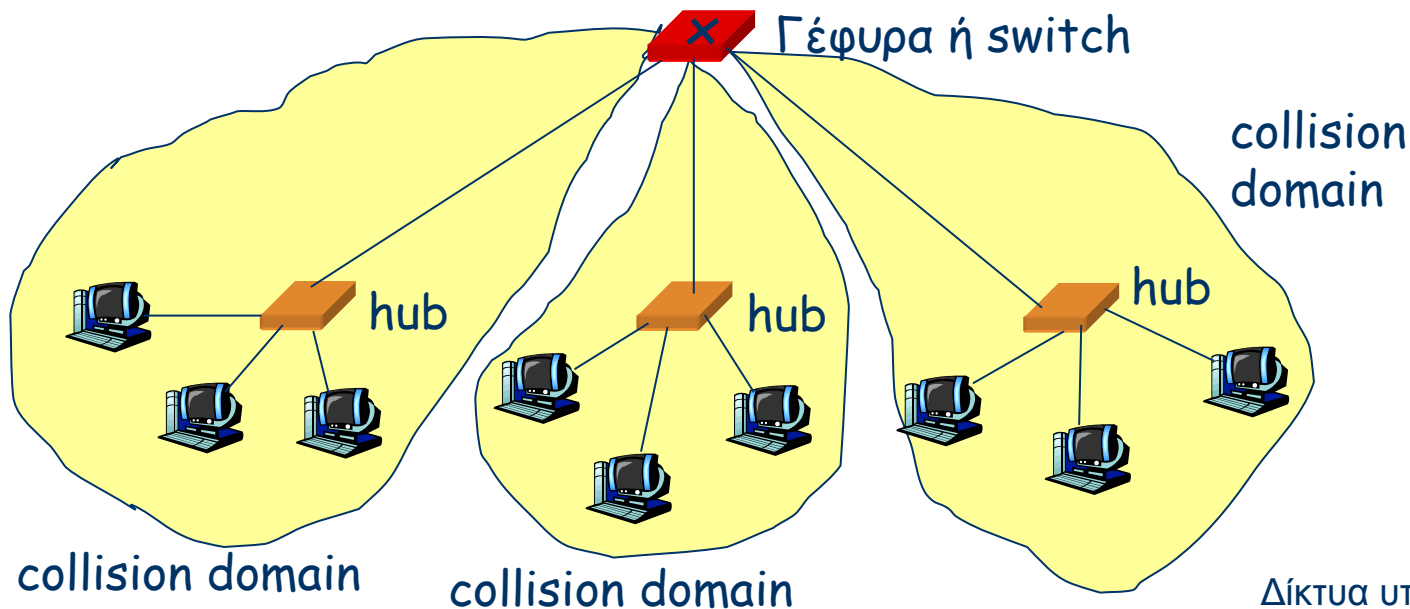


- **Συσκευή στρώματος ζεύξης δεδομένων**
  - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet
  - εξετάζει την επικεφαλίδα του πλαισίου και το προωθεί **επιλεκτικά** βάσει της διεύθυνσης MAC του προορισμού
  - όταν το πλαίσιο πρόκειται να προωθηθεί σε κάποιο τμήμα, χρησιμοποιεί CSMA/CD για την πρόσβαση στο τμήμα 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 **ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΕΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΩΝ** (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**

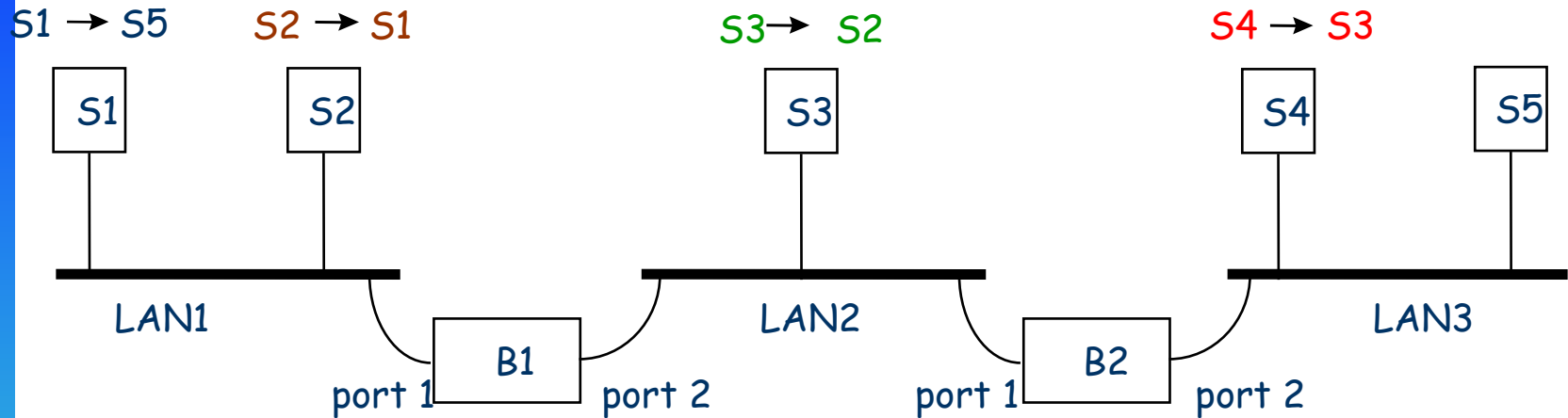
# ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ



- 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

}

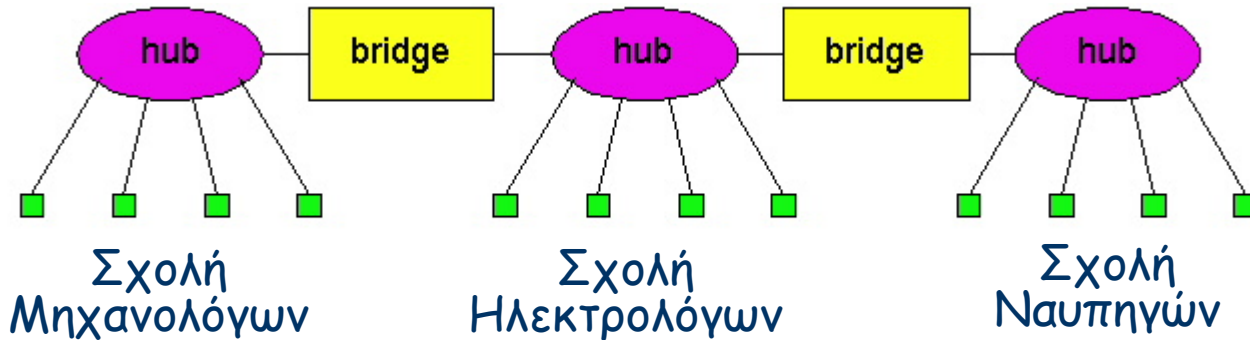
**else** χρησιμοποιεί **πλημμύρα**

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

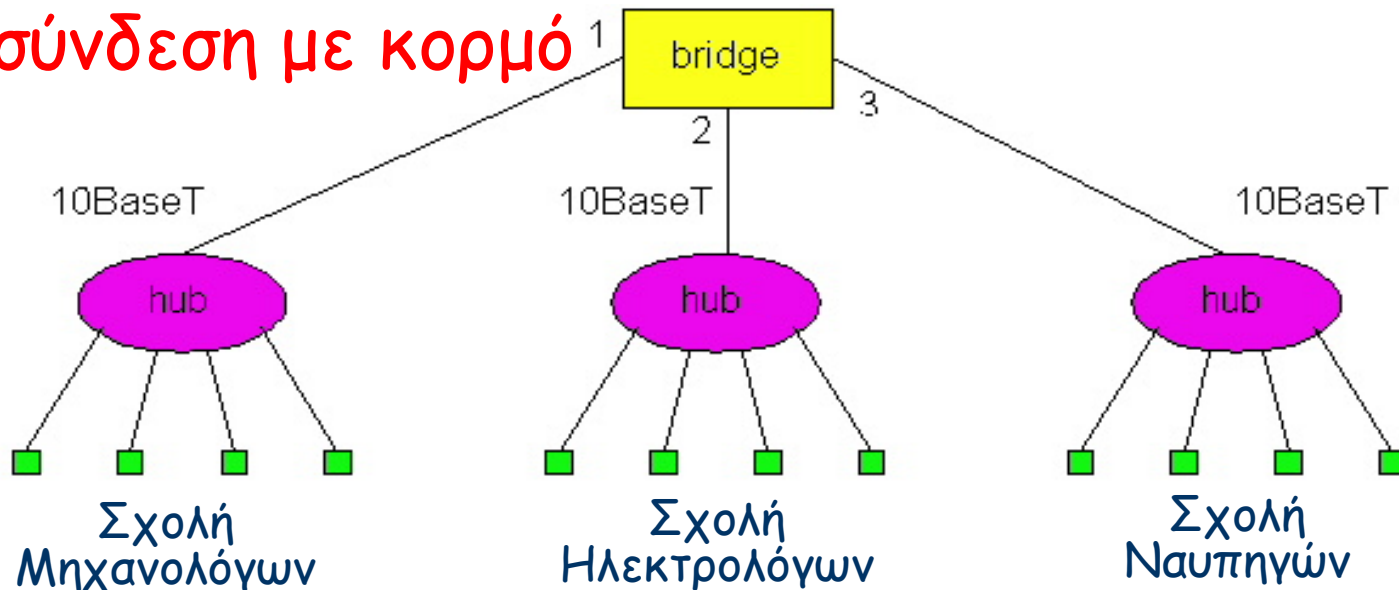
# Διασύνδεση LAN μέσω γεφυρών



## Διασύνδεση χωρίς κορμό



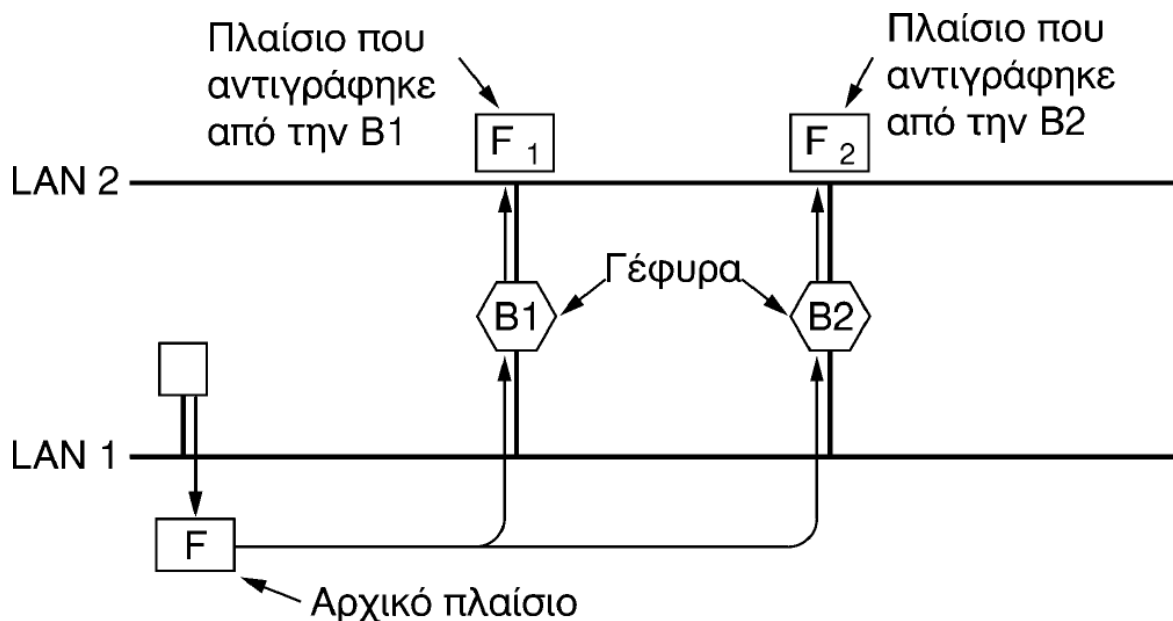
## Διασύνδεση με κορμό



# Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών



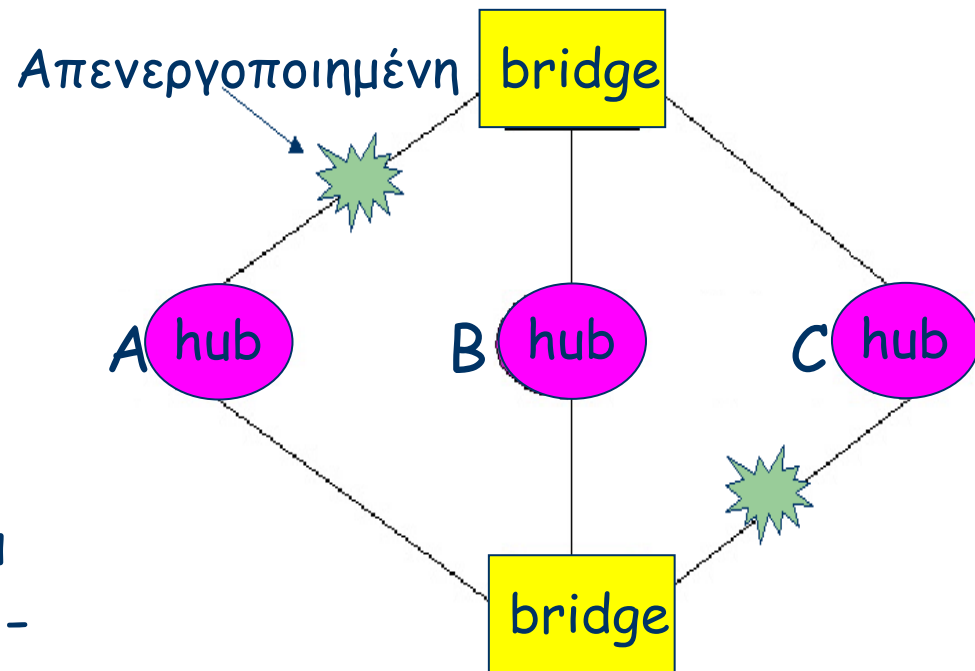
- για μεγαλύτερη αξιοπιστία στην ιεραρχική σχεδίαση, είναι επιθυμητό να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές από την πηγή στον προορισμό
- με πολλές ταυτόχρονες διαδρομές, δημιουργούνται βρόχοι και οι γέφυρες μπορεί να πολλαπλασιάζουν και να προωθούν ένα πλαίσιο για πάντα



# 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

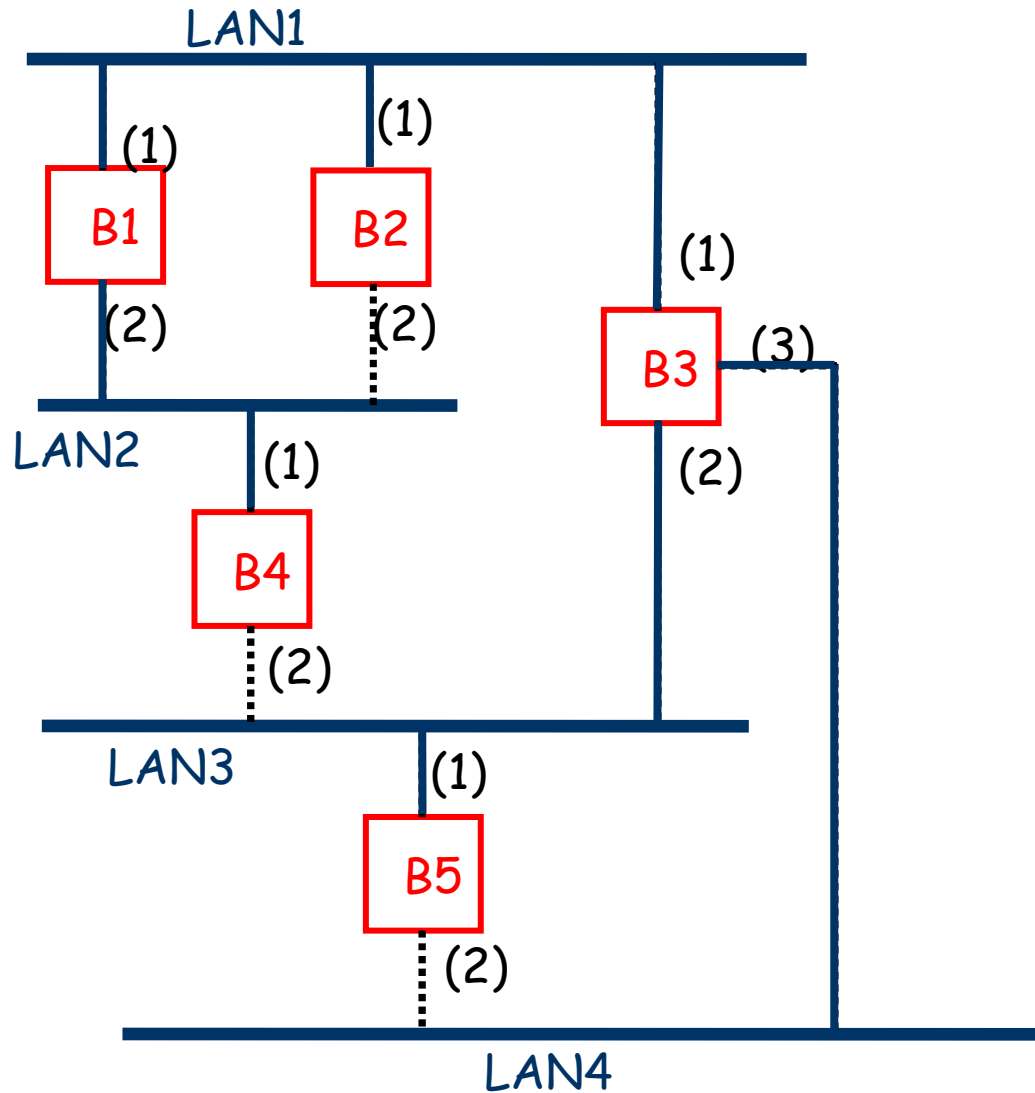


Πώς οι γέφυρες εγκαθιστούν επικαλύπτον δέντρο;

- 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



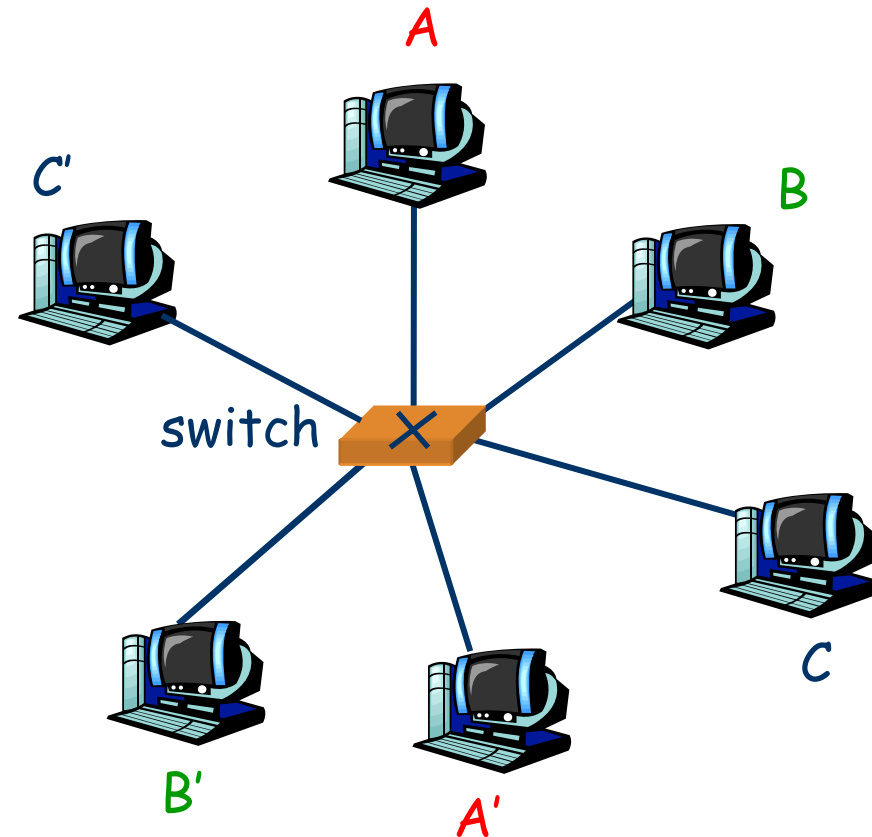
Ο μεταγωγέας πακέτων Ethernet γενικεύει τις γέφυρες

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

# Μεταγωγέας Ethernet



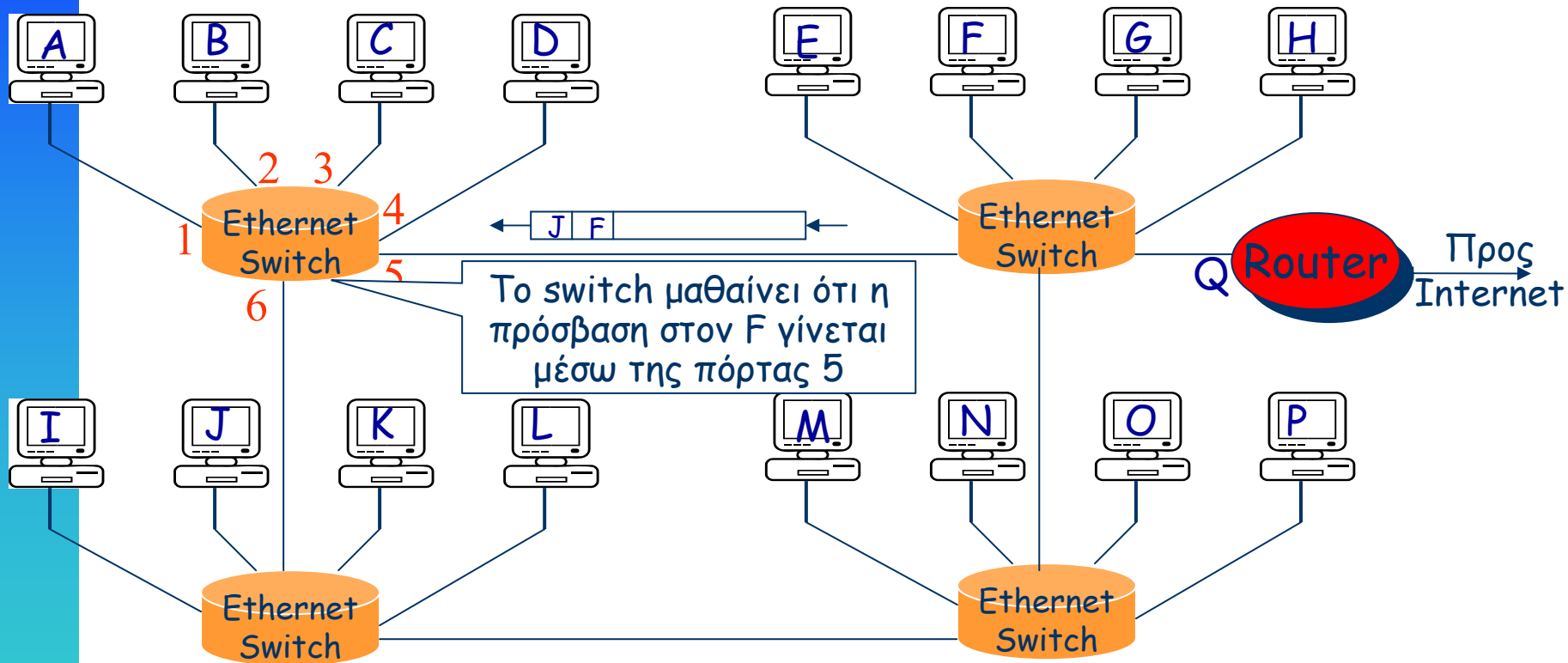
- Ουσιαστικά, είναι γέφυρα με πολλές πόρτες
- Προωθεί πλαίσια (στρώμα 2), φιλτράρει χρησιμοποιώντας διευθύνσεις LAN
- **Μεταγωγή:** A-προς-A' και B-προς-B' ταυτόχρονα, χωρίς συγκρούσεις
- μεγάλος αριθμός διεπαφών
- **συνήθης χρήση:** ανεξάρτητοι host, συνδέονται στον μεταγωγέα με τοπολογία αστέρα
  -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





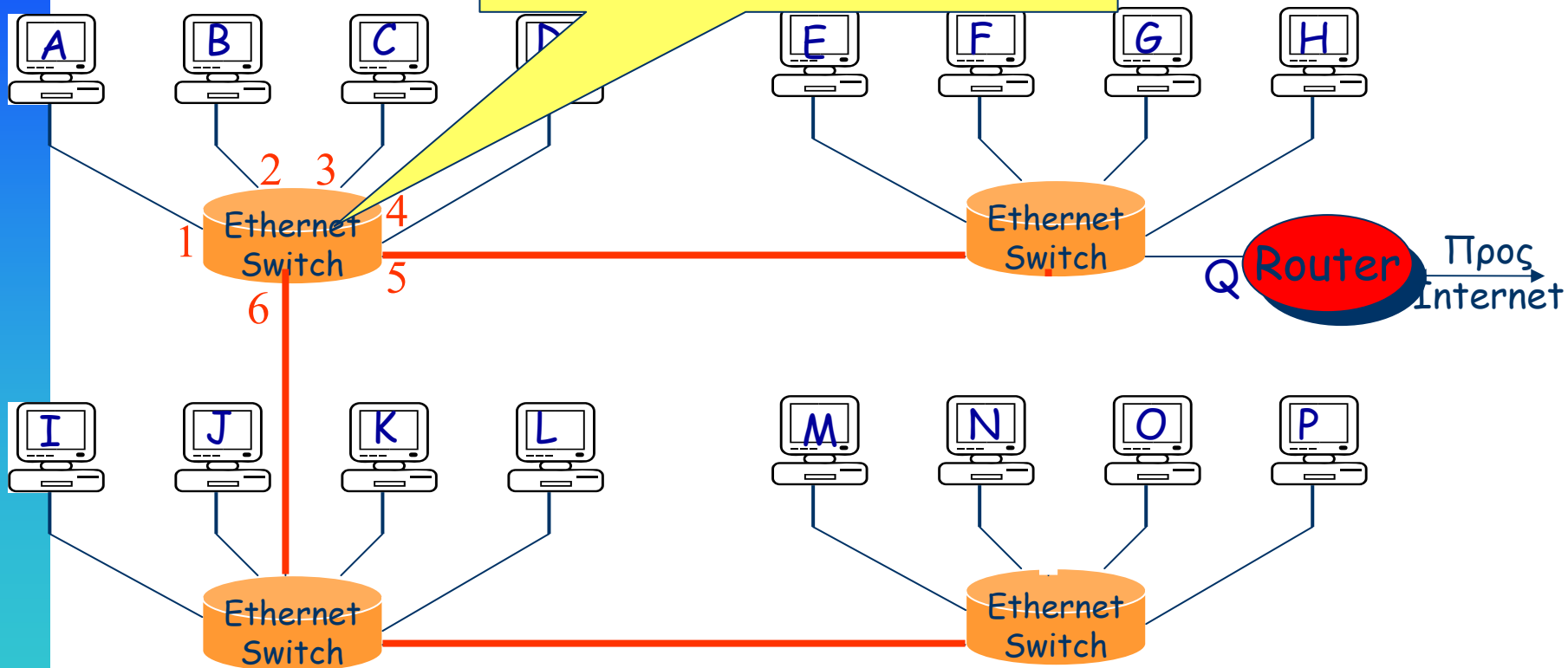
# Μεταγωγέας Ethernet

## Αυτοεκπαίδευση



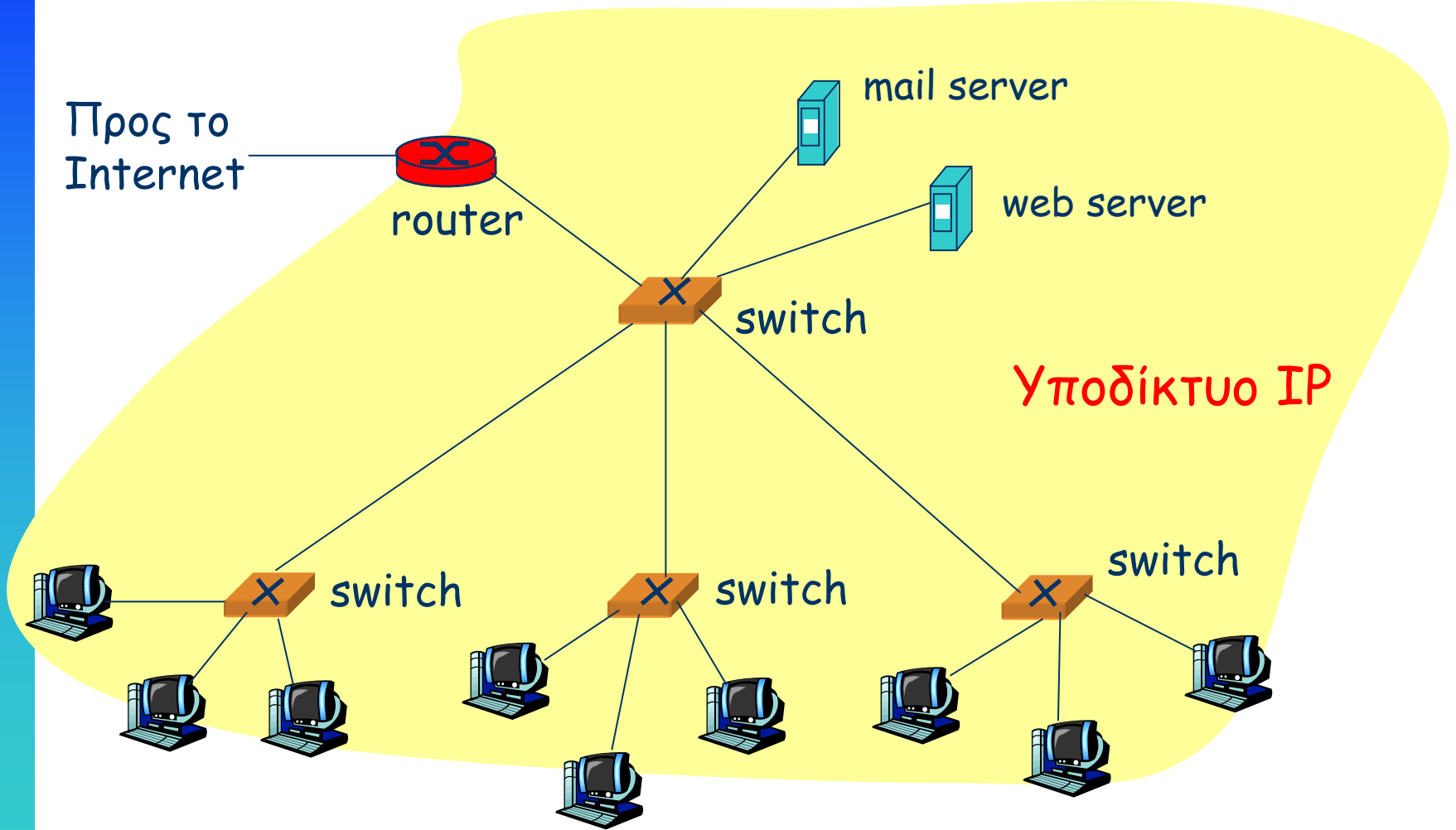


Ethernet address	Port
A	1
B	2
C	3
D	4
E, F, G, H, Q	5
I, J, K, L, M, N, O, P	6



Οι βρόχοι αποφεύγονται με επικαλύπτον δέντρο

# LAN με μεταγωγή





WPAN



# Οικογένεια ΙΕΕΕ 802.15



- Wireless Personal Area Network (WPAN)
  - Επικοινωνία στον χώρο λειτουργίας ενός προσώπου, δηλαδή, σε ακτίνα περίπου 10m
  - Μικρή εμβέλεια / Χαμηλή ισχύς / Χαμηλό κόστος / Μικρά δίκτυα
- Οικογένεια ΙΕΕΕ 802.15
  - ΙΕΕΕ 802.15.1 (Bluetooth)
  - ΙΕΕΕ 802.15.3 (WiMedia)
  - ΙΕΕΕ 802.15.4 (ZigBee)
  - Το πρότυπο ΙΕΕΕ 802.15.2 καθορίζει τη συνύπαρξη του WPAN με άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων χωρίς άδεια





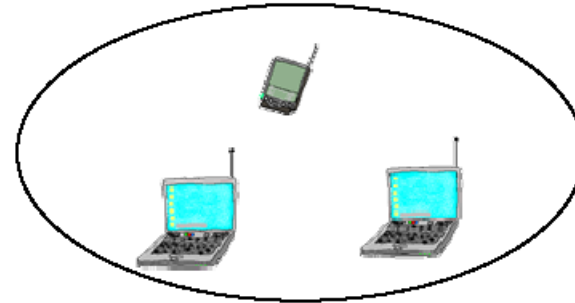
## Σχεδιαστικός στόχος

- 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

# Bluetooth: Σενάρια εφαρμογής



Αντικατάσταση καλωδίων



Ad hoc προσωπικό δίκτυο



# Bluetooth: τεχνικά χαρακτηριστικά



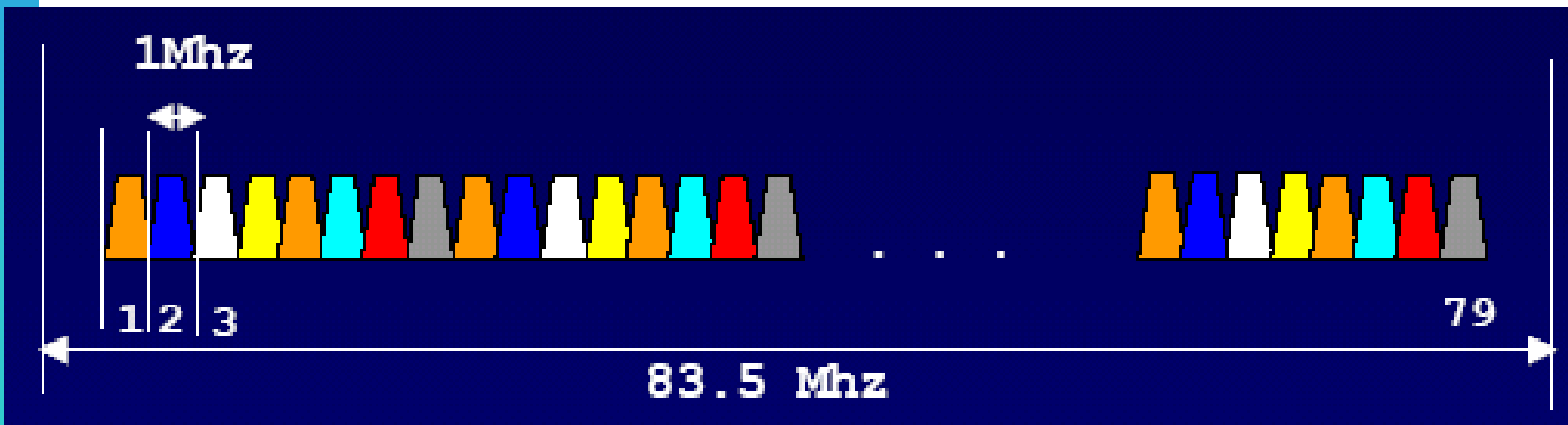
- 2.4 GHz ISM Open Band
  - Οικουμενικά ελεύθερη διαθέσιμη συχνότητα
  - φάσμα 79 MHz = 79 δίαυλοι εύρους 1 MHz
  - Frequency Hopping και Time Division Duplex (1600 hops/sec)
- 10-100 μέτρα εμβέλεια
  - Class I – 100 m
  - Class II – 20 m
  - Class III – 10 m

Περιοχή	Ζώνη συχνοτήτων	Δίαυλοι RF
ΗΠΑ, σχεδόν όλη η Ευρώπη και οι άλλες χώρες	2.4 - 2.4835 GHz	$f = 2.402 + n\text{MHz}, n=0, \dots, 78$
Ιαπωνία	2.471 - 2.497 GHz	$f = 2.473 + n\text{MHz}, n=0, \dots, 22$
Ισπανία	2.445 - 2.475 GHz	$f = 2.449 + n\text{MHz}, n=0, \dots, 22$
Γαλλία	2.4465 - 2.4835 GHz	$f = 2.454 + n\text{MHz}, n=0, \dots, 22$

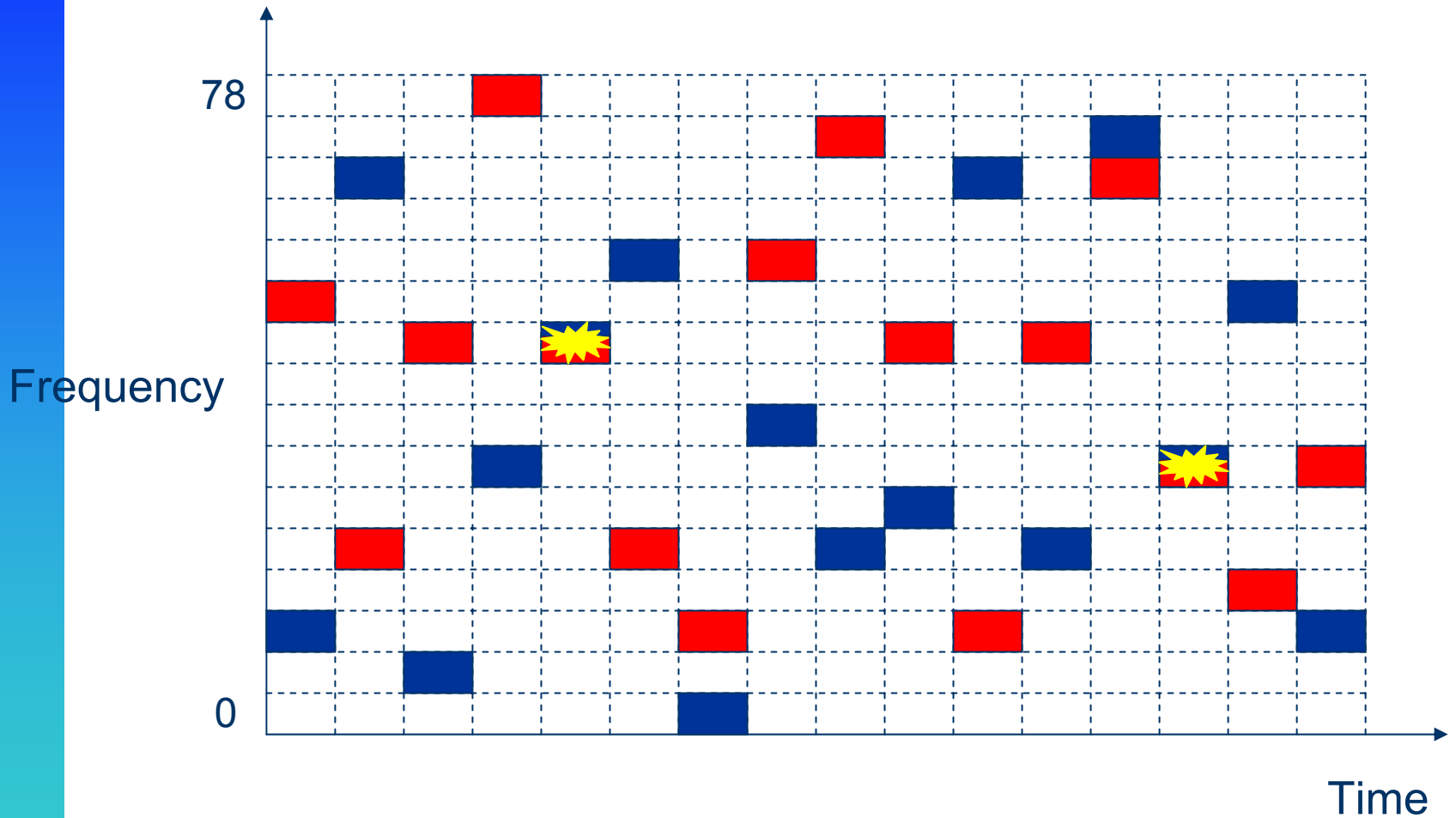
# Bluetooth: Ασύρματη ζεύξη



- Το Bluetooth μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το IEEE 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 (Class III) - 100mW (Class I)



# Frequency hopping

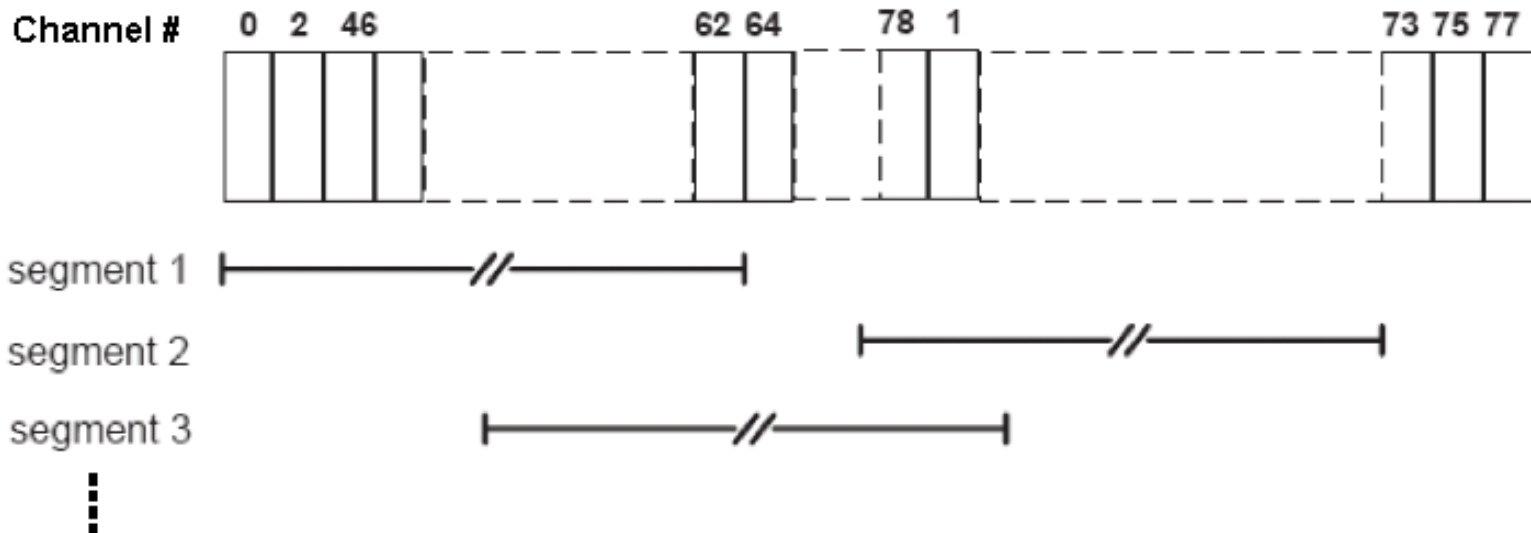


Όταν δύο πiconets επιλέξουν την ίδια ζώνη 1MHz, γίνεται σύγκρουση.

# Ακολουθίες Frequency Hopping



- Κάθε φορά ο FH kernel επιλέγει 32 διαύλους από μια ζώνη συχνοτήτων που μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι και 64 γειτονικούς διαύλους και στη συνέχεια μεταπηδάει σ' αυτούς χωρίς επανάληψη κατά τυχαία σειρά
- Μετά, επιλέγεται μια διαφορετική ακολουθία 32-hop από άλλο τμήμα 64 γειτονικών διαύλων





- Frequency hopping
- Μικρή εμβέλεια
- Έλεγχος ισχύος
- FEC και ARQ
- Μικρά πακέτα και ταχείες επαληθεύσεις
- Άλλες συσκευές στη ζώνη ISM π.χ. WLAN, φούρνοι μικροκυμάτων, κλπ.
- Adaptive Frequency Hopping (AFH) προτείνεται στο IEEE 802.15.1.

# Bluetooth: Φυσική ζεύξη



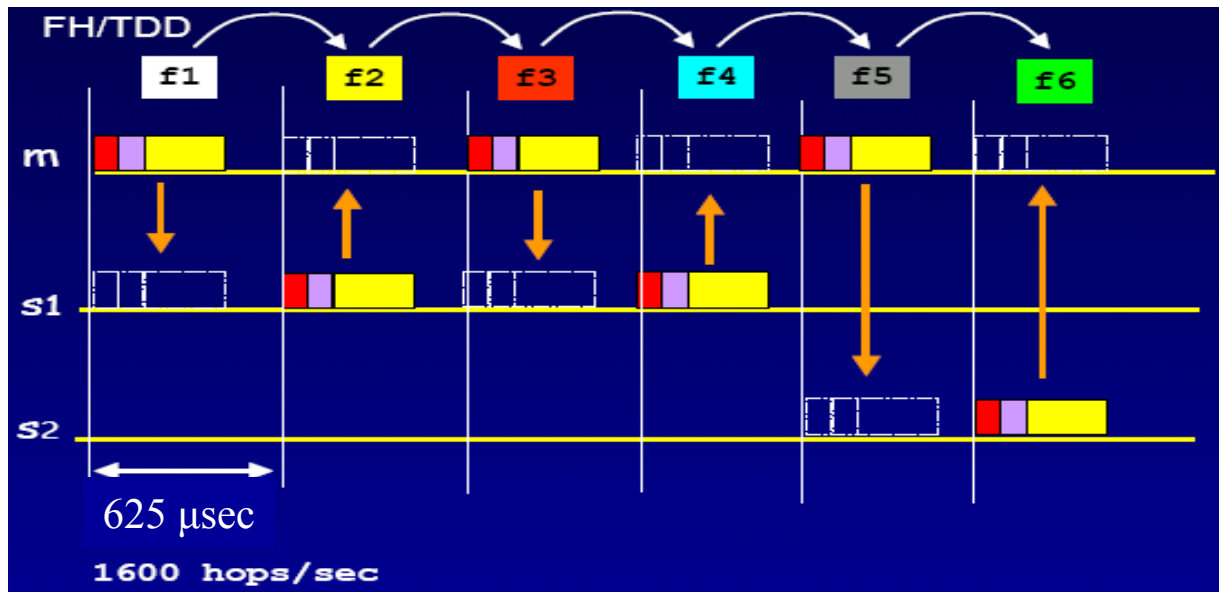
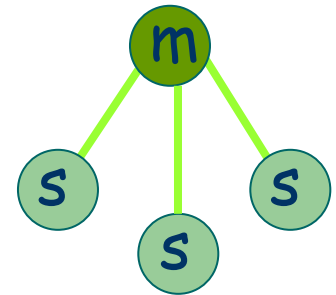
- Point to point

- σχέση master - slave
- οι σταθμοί μπορεί να λειτουργούν ως masters ή slaves



- Piconet

- Ο master μπορεί να συνδεθεί με 7 slaves
- Κάθε piconet έχει μέγιστη χωρητικότητα 1 Mbps
- Το σχέδιο μεταπήδησης καθορίζεται από τον master





# Bluetooth: τύποι φυσικών ζεύξεων

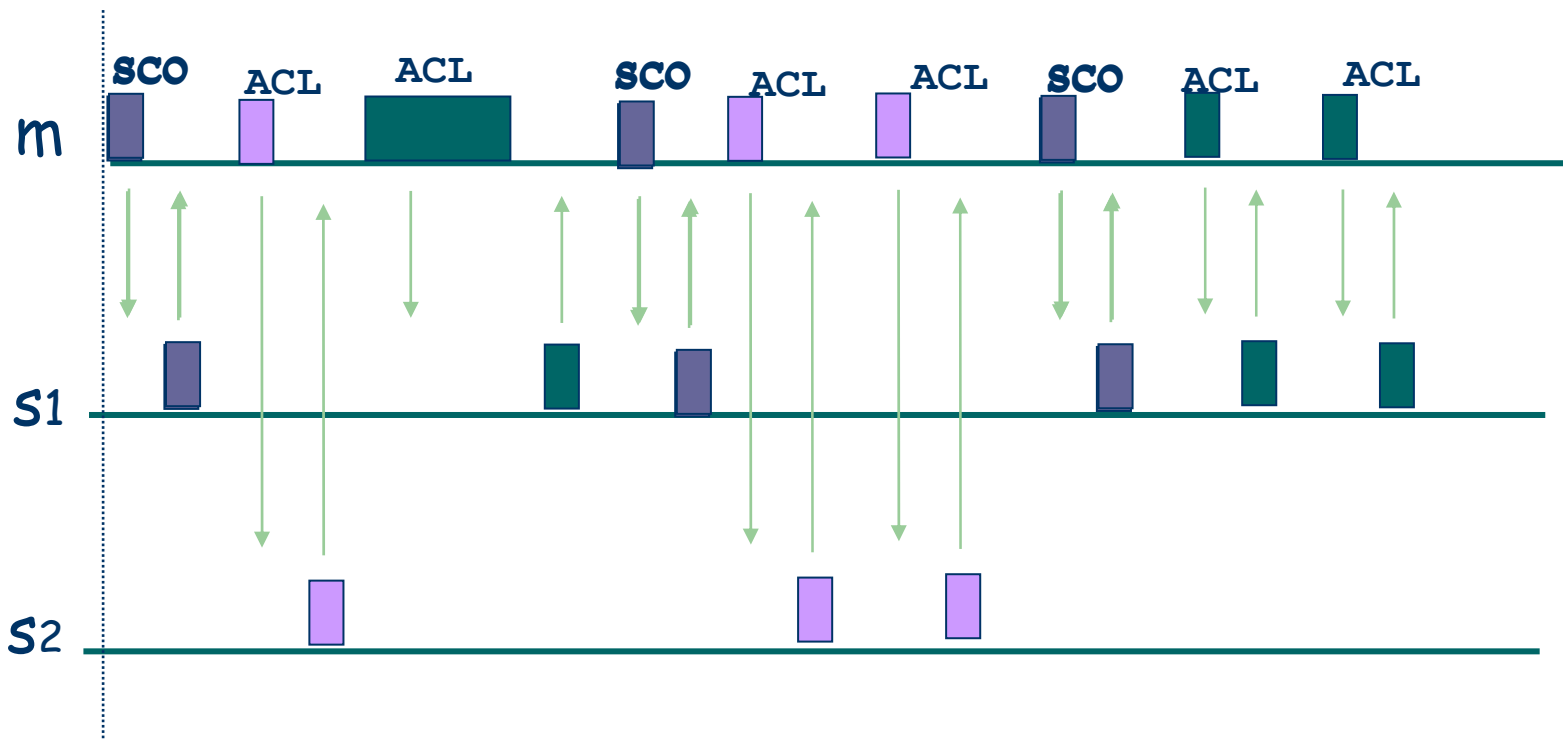


- Σύγχρονη με σύνδεση (Synchronous Connection Oriented, SCO)
  - Μεταγωγή κυκλώματος που τυπικά χρησιμοποιείται για φωνή
  - Συμμετρική, σύγχρονη υπηρεσία
  - Κράτηση σχισμών σε σταθερά διαστήματα
  - Point-to-point
- Ασύγχρονη χωρίς σύνδεση (Asynchronous Connectionless, ACL)
  - Μεταγωγή πακέτου
  - Συμμετρική ή ασύμμετρη, ασύγχρονη υπηρεσία
  - Μηχανισμός polling μεταξύ master και slave(s)
  - Point-to-point και point-to-multipoint

# Bluetooth: τύποι φυσικών ζεύξεων



- Synchronous Connection Oriented (SCO) ζεύξη
  - κράτηση σχισμής κατά σταθερά διαστήματα
- Asynchronous Connection-less (ACL) Link
  - Polling access method

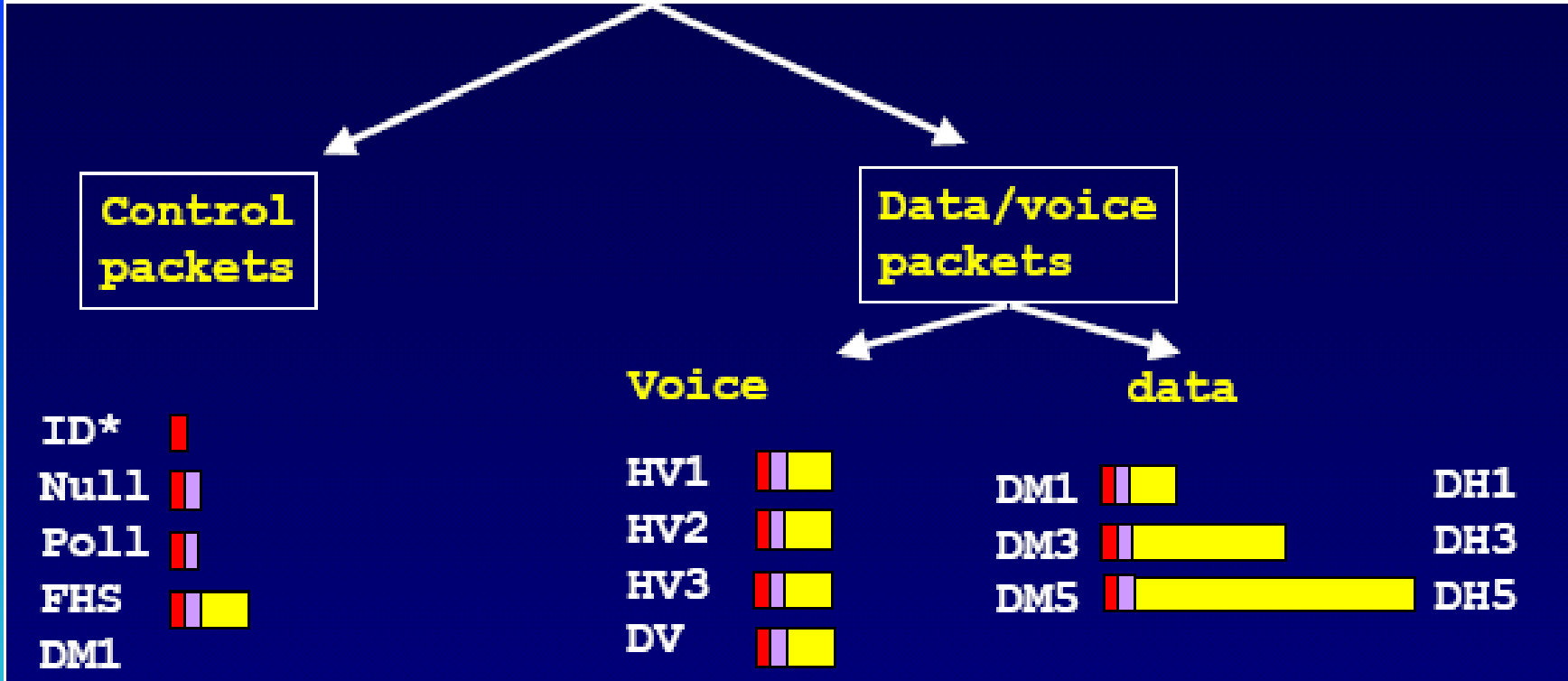




# Διευθυνσιοδότηση

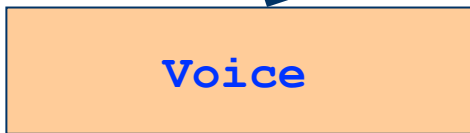
- Bluetooth device address (BD\_ADDR)
  - 48 bit IEEE MAC address
- Active Member address (AM\_ADDR)
  - 3 bits active slave address
  - όλα μηδέν στην broadcast address
- Parked Member address (PM\_ADDR)
  - 8 bit διεύθυνση του parked slave

# Τύποι πακέτων



HV: High-quality Voice  
DV: Data and Voice  
DM: Data Medium rate  
DH: Data High rate

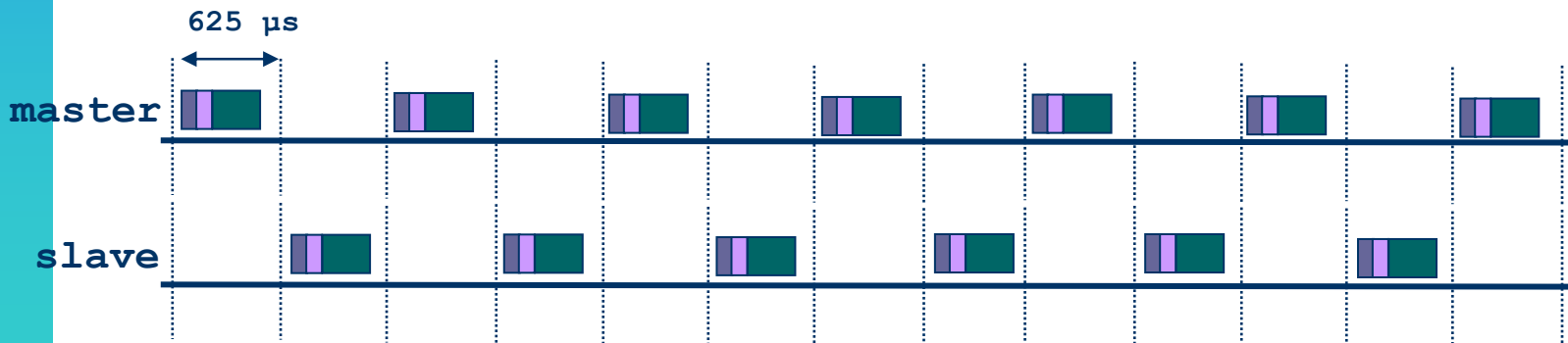
# Μορφή πακέτου



No CRC  
No retries  
FEC (optional)



ARQ  
FEC (optional)



# Κώδικας πρόσβασης



72 bits

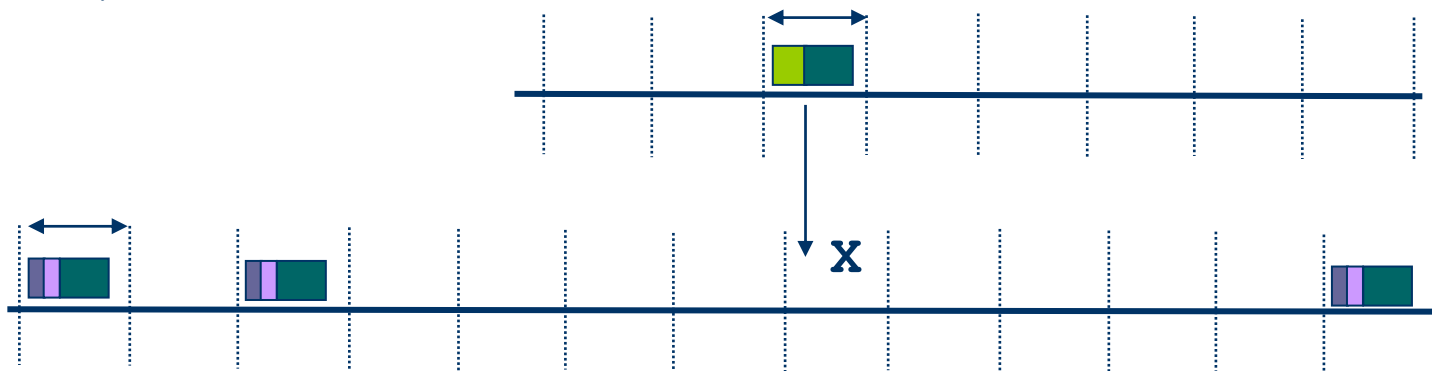


## Σκοπός

- Συγχρονισμός
- Αντιστάθμιση DC offset
- Αναγνώριση
- Σηματοδοσία

## Τύποι

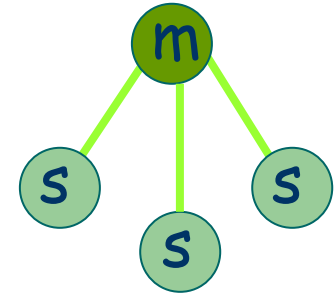
- Channel Access Code (CAC)
- Device Access Code (DAC)
- Inquiry Access Code (IAC)



# Επικεφαλίδα πακέτου



54 bits



## Σκοπός

- Addressing (3) → Max 7 ενεργοί slaves
- Packet type (4) → 16 τύποι πακέτων (μερικοί δεν χρησιμοποιούνται)
- Flow control (1)
- 1-bit ARQ (1) → Τα πακέτα Broadcast δεν επαληθεύονται
- Sequencing (1) → Για φιλτράρισμα επαναμετ. πακέτων
- HEC (8) → Έλεγχος ορθότητας επικεφαλίδας

---

total            18 bits

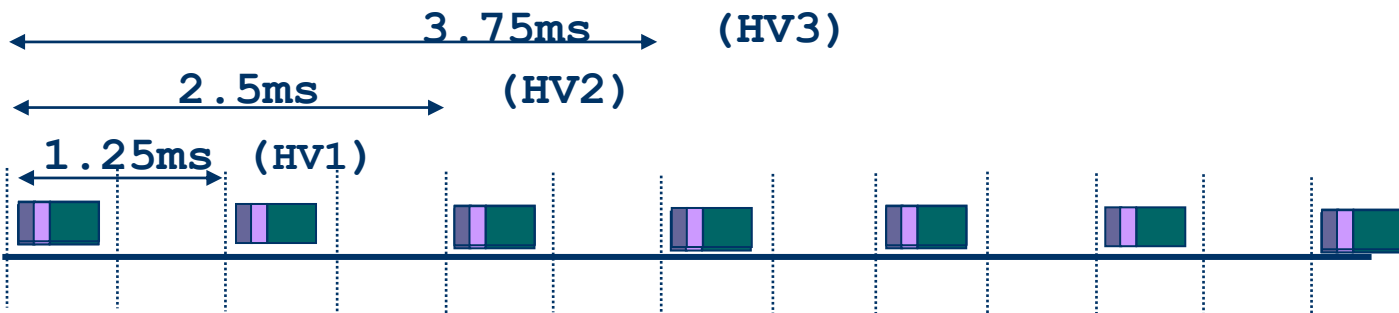
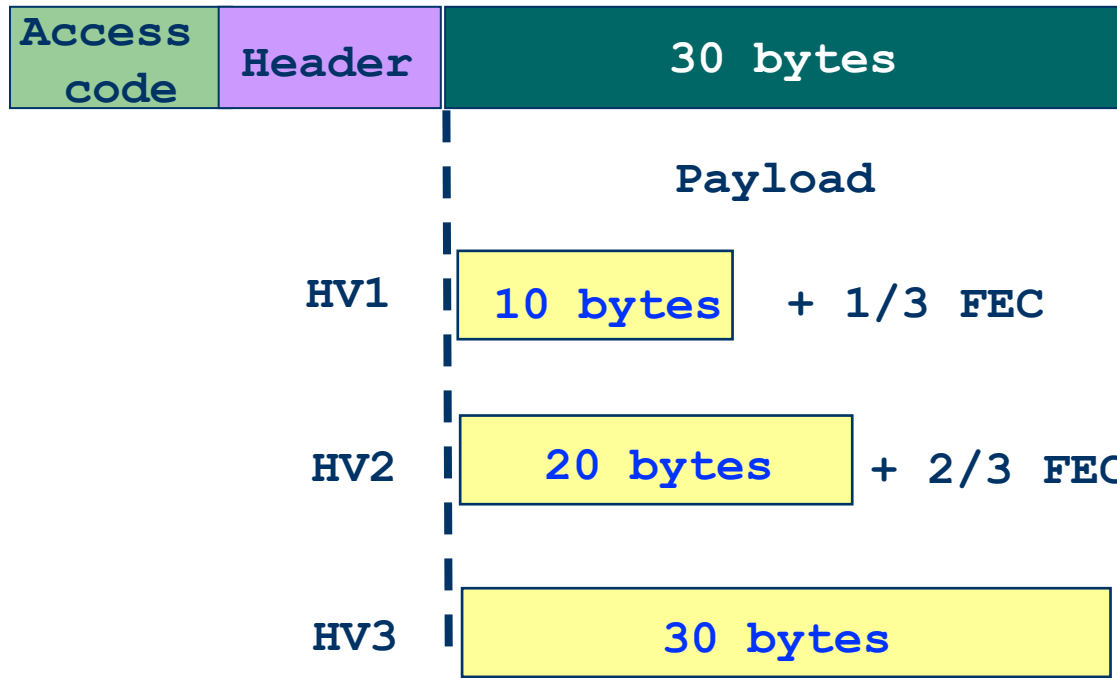
---

Κωδικοποίηση 1/3 FEC για να προκύψουν 54 bits

# Πακέτα φωνής (HV1, HV2, HV3)



72 bits 54 bits 240 bits = 366 bits



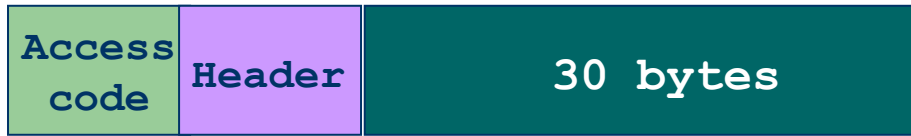




# Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM1 και DH1

625  $\mu$ s

72 bits 54 bits 240 bits = 366 bits

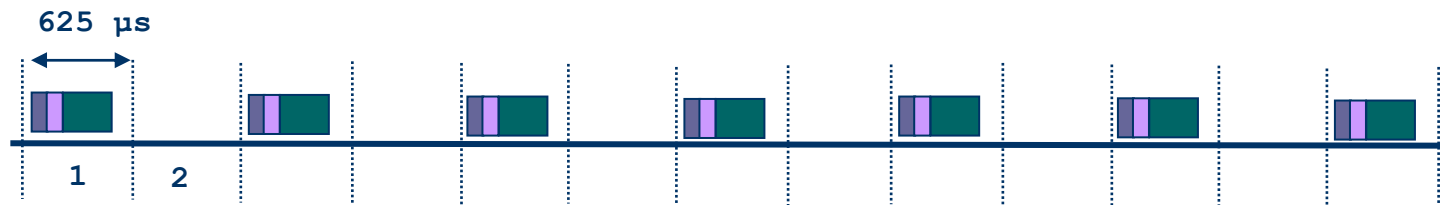


Payload



Dir	Size	Freq	Rate
↑	17	1600/2	108.8
↓	17		108.8

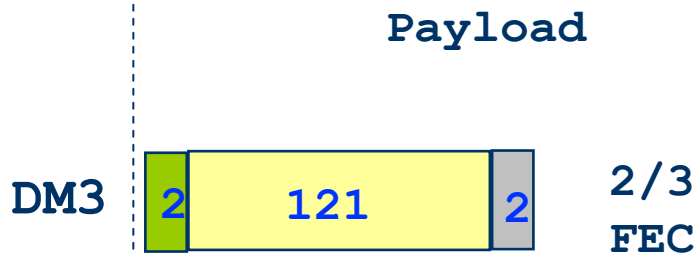
↑	27		172.8
↓	27		172.8



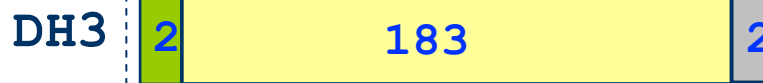
# Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM3 and DH3



1875  $\mu$ s



Dir	Size	Freq	Rate
↑	121	1600/4	387.2
↓	17		54.4



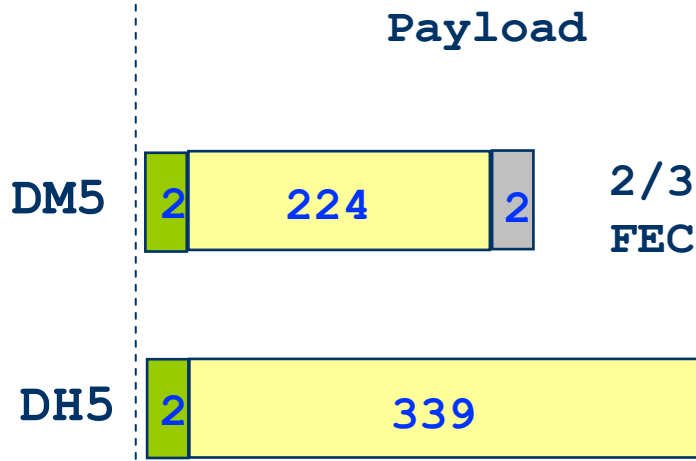
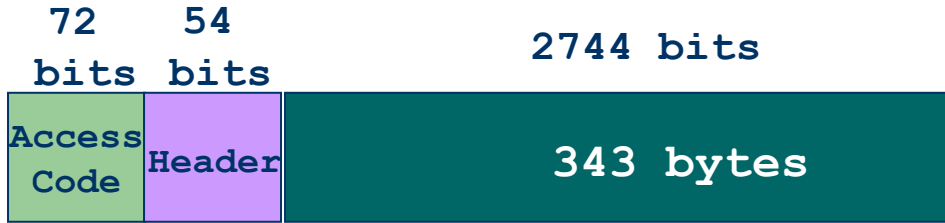
↑	183		585.6
↓	27		86.4



# Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM5 και DH5

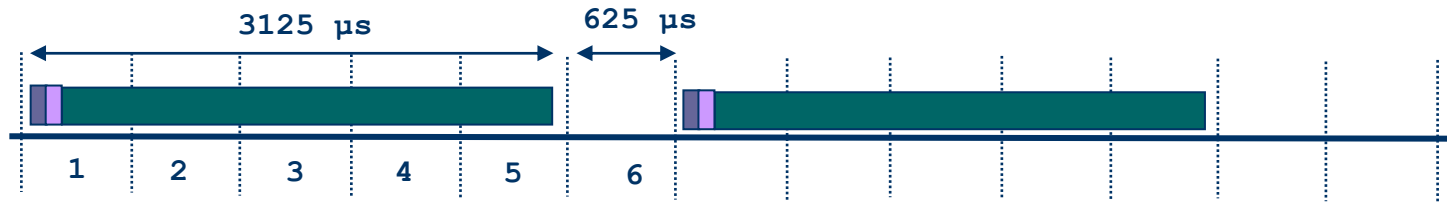


3125  $\mu$ s



Dir	Size	Freq	Rate
↑	224	1600/6	477.8
↓	17		36.3

↑	339		723.2
↓	27		57.6



# Σύνοψη για ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΑΚΕΤΩΝ



SCO

Packet	Timeslots	CRC	FEC	Symmetric (kbps)
HV1	1	-	1/3 rate	≤ 64
HV2	1	-	2/3 rate	≤ 64
HV3	1	-	-	≤ 64
DV	1	Data only	Voice no FEC, Data 2/3 FEC	≤ 64

ACL

Packet	Timeslots	CRC	FEC	Symmetric (kbps)	Asymmetric (kbps)	
					Forward	Reverse
DM1	1	Yes	Yes	108	108	108
DH1	1	Yes	-	172	172	172
DM3	3	Yes	Yes	258	387	54
DH3	3	Yes	-	390	585	86
DM5	5	Yes	Yes	286	477	36
DH5	5	Yes	-	433	723	57
AUX	1	-	-	185	185	185

# Bluetooth v2.0 Enhanced Data Rate (EDR)



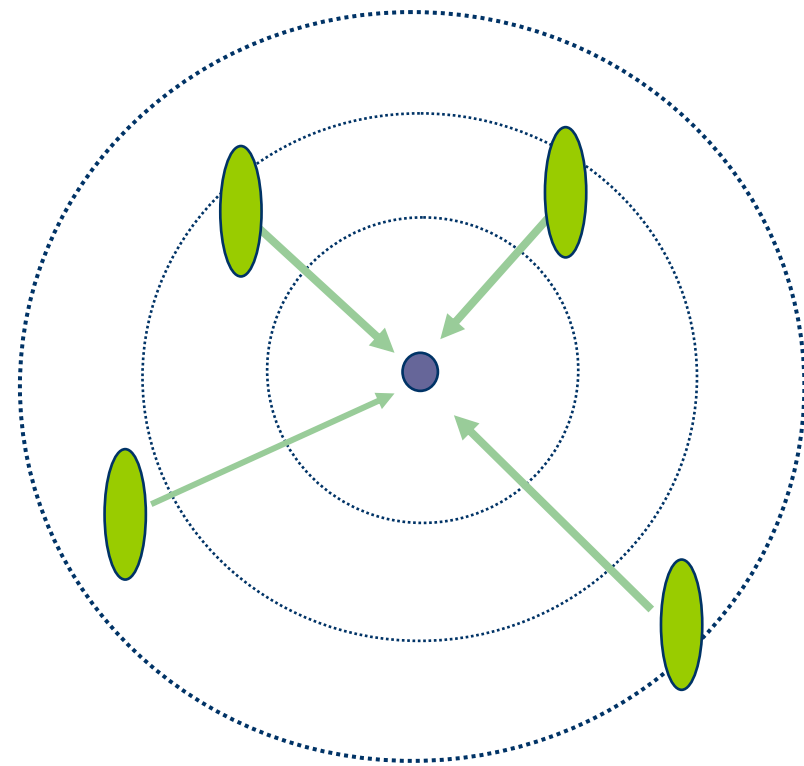
- Το EDR επιτυγχάνει υψηλότερη διέλευση χρησιμοποιώντας διαμόρφωση PSK αντί για GFSK.

## BLUETOOTH ACL MODE EDR DATA TYPES

Mode	Modulation	Payload Size (bytes)	Symmetric Throughput (Kbps)	Asymmetric Throughput (Kbps)	
2DH1	$\pi/4$ -DQPSK	54	345.6	345.6	345.6
2DH3	$\pi/4$ -DQPSK	367	782.9	1174.4	172.8
2DH5	$\pi/4$ -DQPSK	679	869.7	1448.5	115.2
3DH1	8DPSK	83	531.2	531.2	531.2
3DH3	8DPSK	552	1177.6	1766.4	235.6
3DH5	8DPSK	1021	1306.9	2178.1	177.1



- Inquiry - scan protocol
  - για να πληροφορηθεί το clock offset και τη διεύθυνση άλλων γειτονικών
  - για την εγκατάσταση ζεύξεων με γειτονικούς κόμβους



# 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

# Σχηματισμός piconet: έλεγχος διαύλου



*Υπάρχουν 7 επιμέρους καταστάσεις που χρησιμοποιούνται για να προστεθούν slaves ή να γίνουν συνδέσεις στο piconet*

**1. Inquiry**: χρησιμοποιείται για την εύρεση της ταυτότητας των συσκευών Bluetooth στην εγγύς περιοχή.

**2. Inquiry Scan**: στην κατάσταση αυτή οι συσκευές ακούνε για inquiries από άλλες συσκευές.

**3. Inquiry Response**: ο slave απαντάει με πακέτο που περιέχει την ταυτότητά του, το ρολόι του και κάποιες άλλες πληροφορίες για τον slave.

**4. Page**: ο master στέλνει μηνύματα page μεταδίδοντας την device access code (DAC) του slave σε διαφορετικά hop channels.

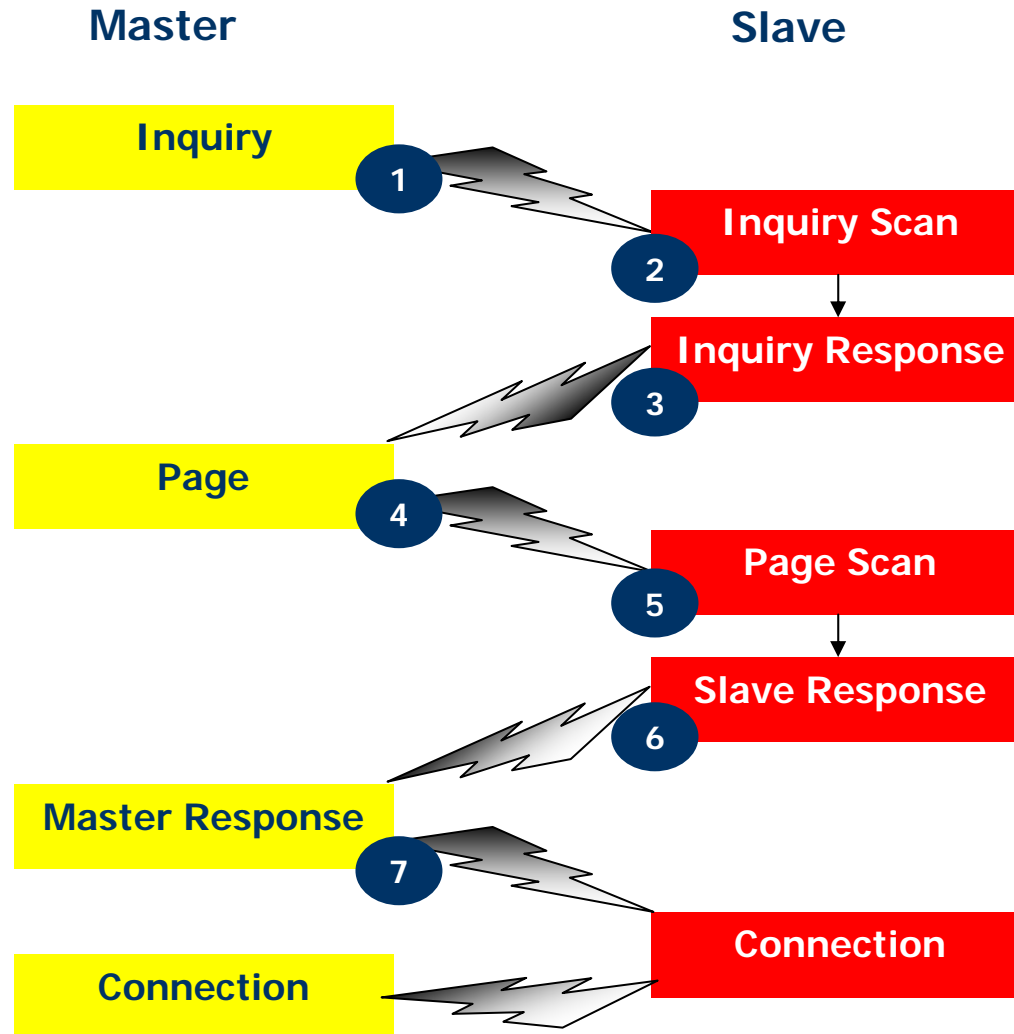
**5. Page Scan**: ο slave ακούει σε μια συχνότητα μεταπήδησης (που παράγεται από την page hopping sequence) στο υπόψη παράθυρο scan.

**6. Slave Response**: ο slave απαντάει στο μήνυμα page του master

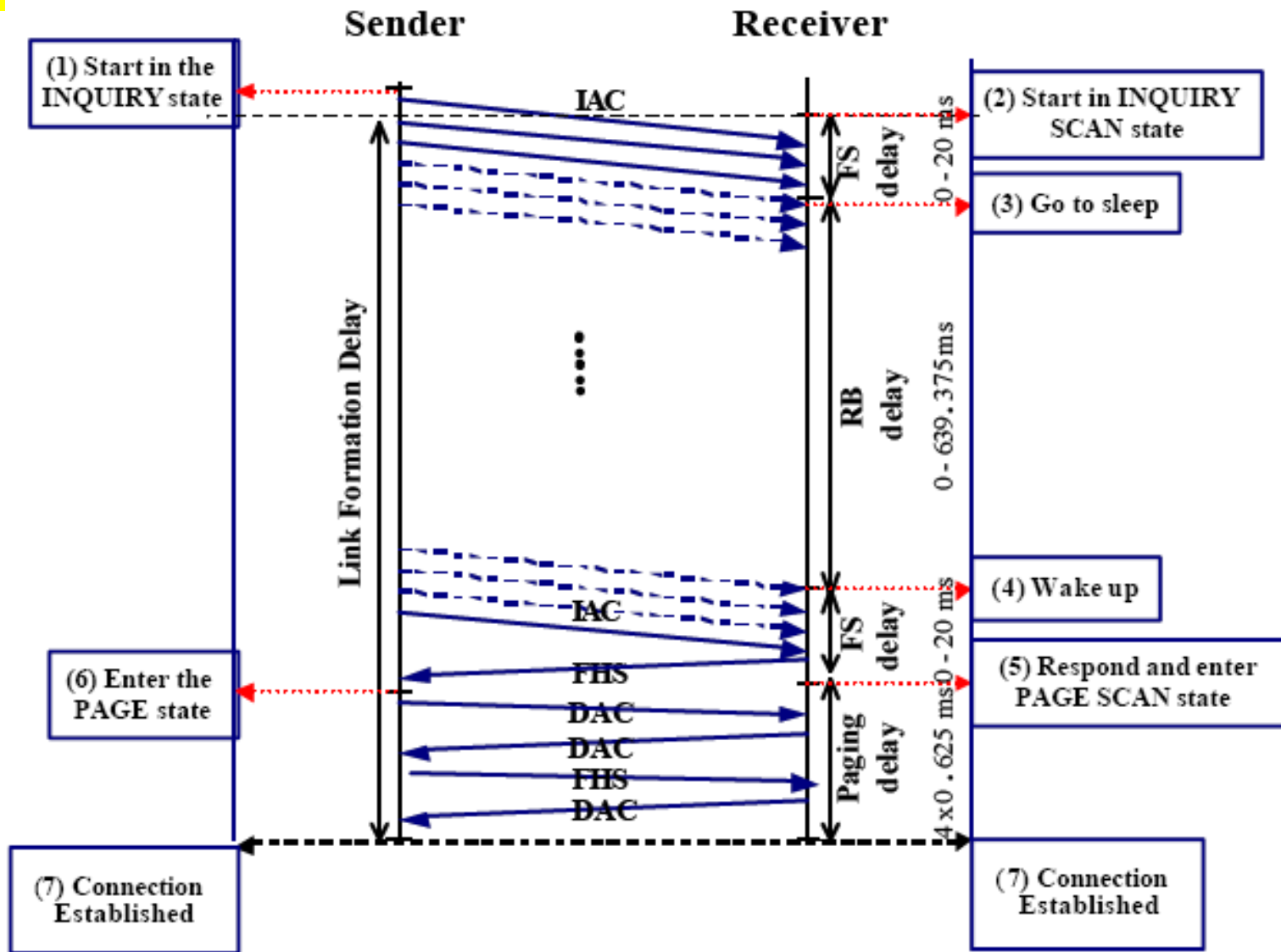
**7. Master Response**: ο master βρίσκεται σ' αυτήν την κατάσταση όταν λάβει την απάντηση του slave στο μήνυμα page που έστειλε.



# Σχηματισμός piconet



# Bluetooth: Πρωτόκολλο εγκατάστασης ζεύξης

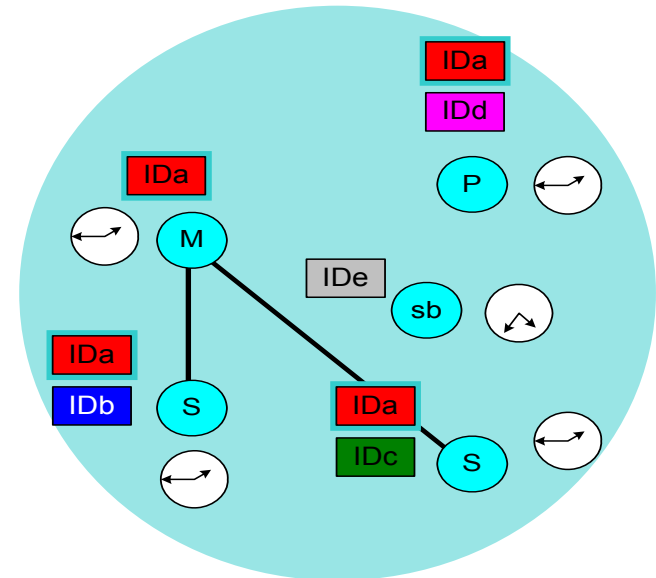
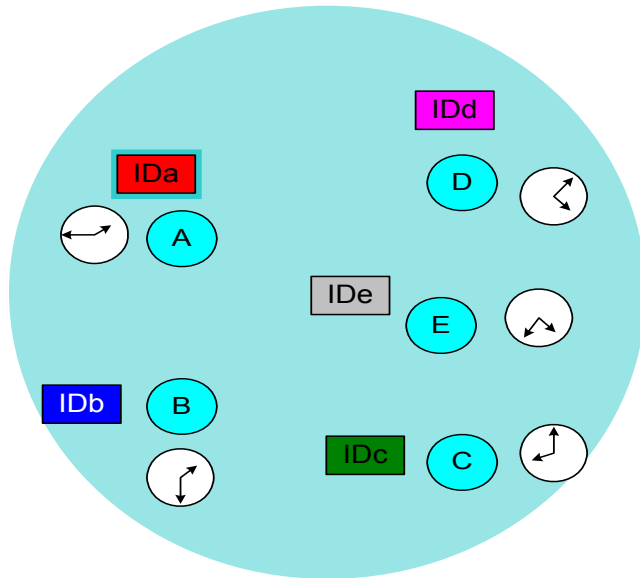


FS: Frequency Synchronization

DAC: Device Access Code

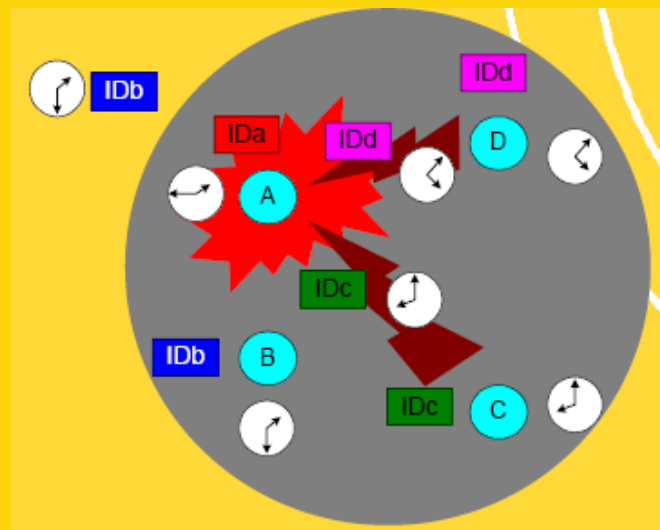
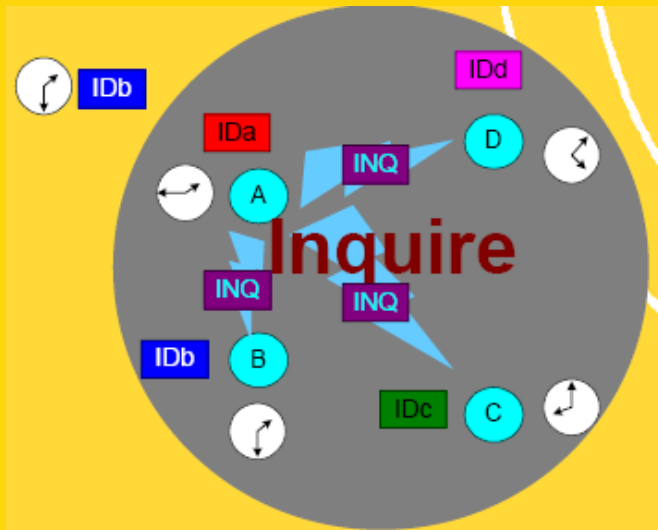
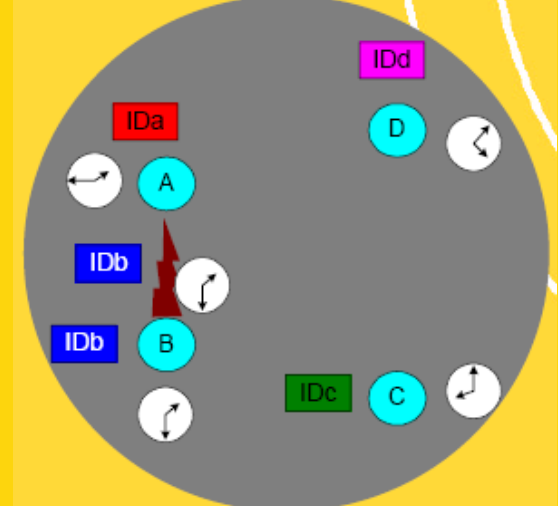
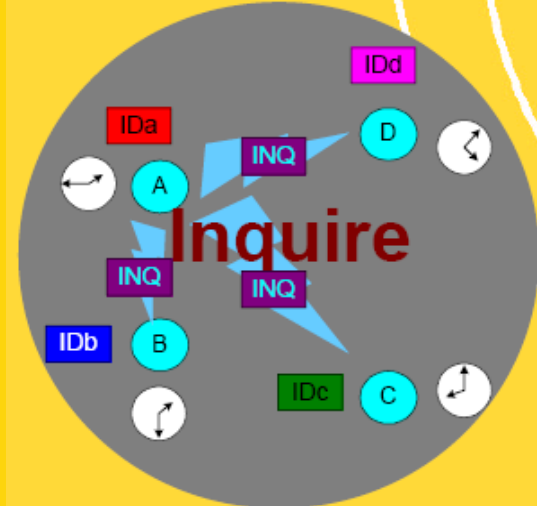
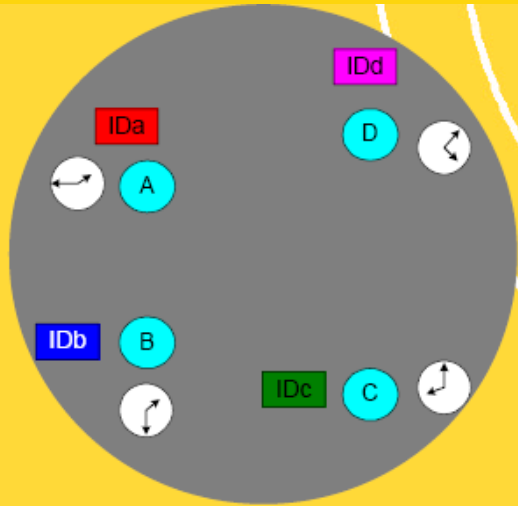
IAC: Inquiry Access Code

# Piconet

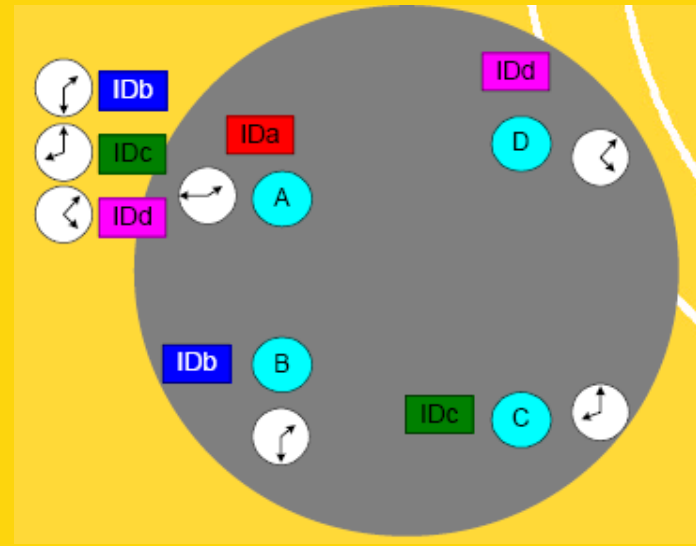
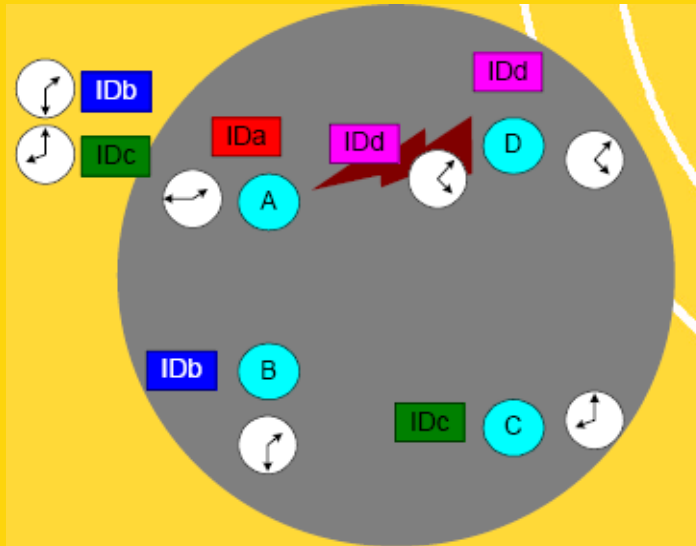
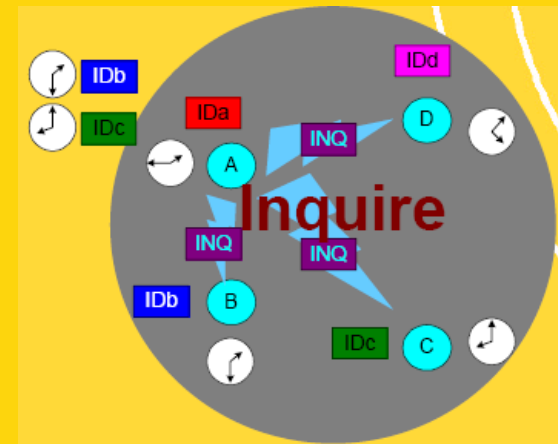
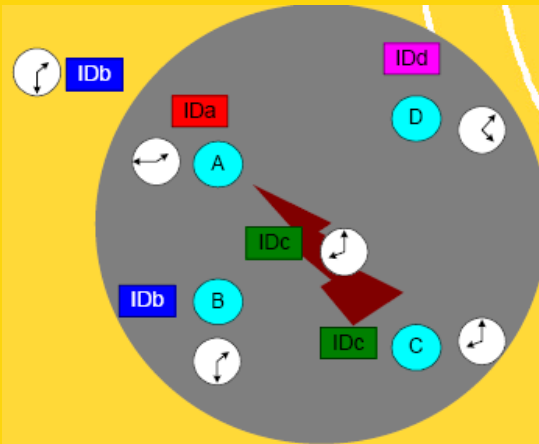
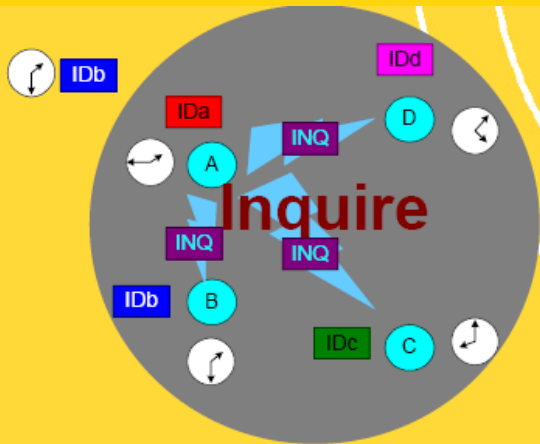


- Όλες οι συσκευές σε ένα piconet κάνουν τις ίδιες μεταπηδήσεις
- Κατά τον σχηματισμό ενός piconet, ο master δίνει στους slaves το *clock* και την *device ID*
- Το σχέδιο μεταπήδησης καθορίζεται από την *device ID* του master (48-bit)
- Η φάση μεταπήδησης καθορίζεται από το *Clock*

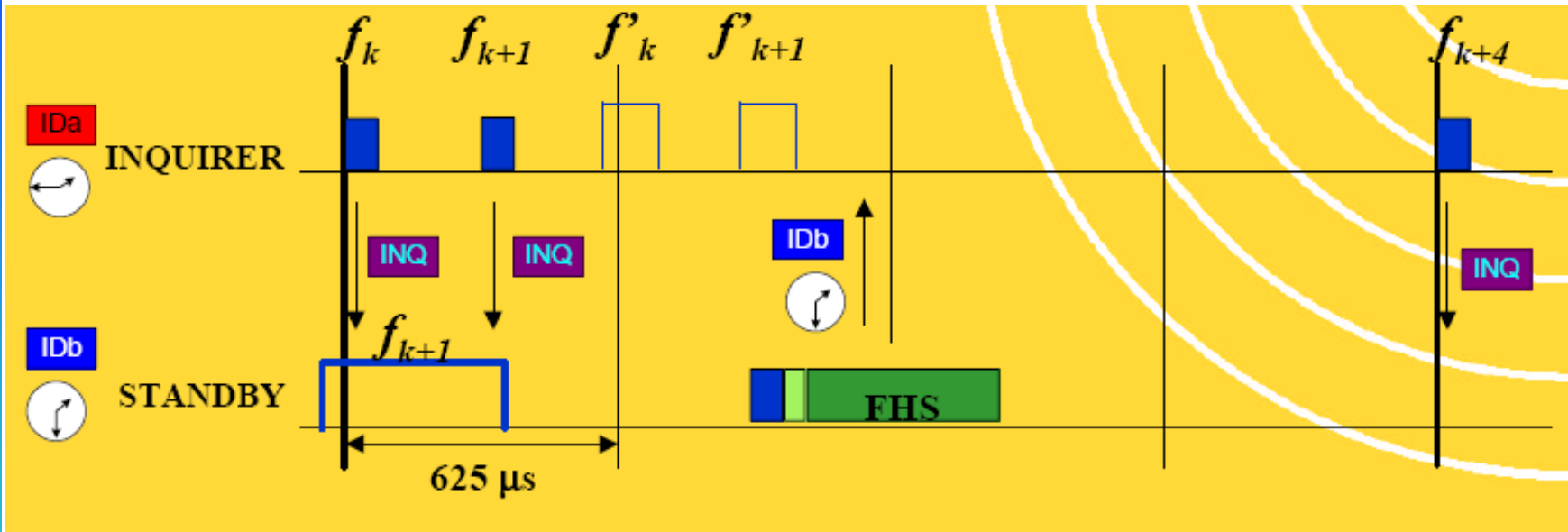
# Inquire



# Inquire

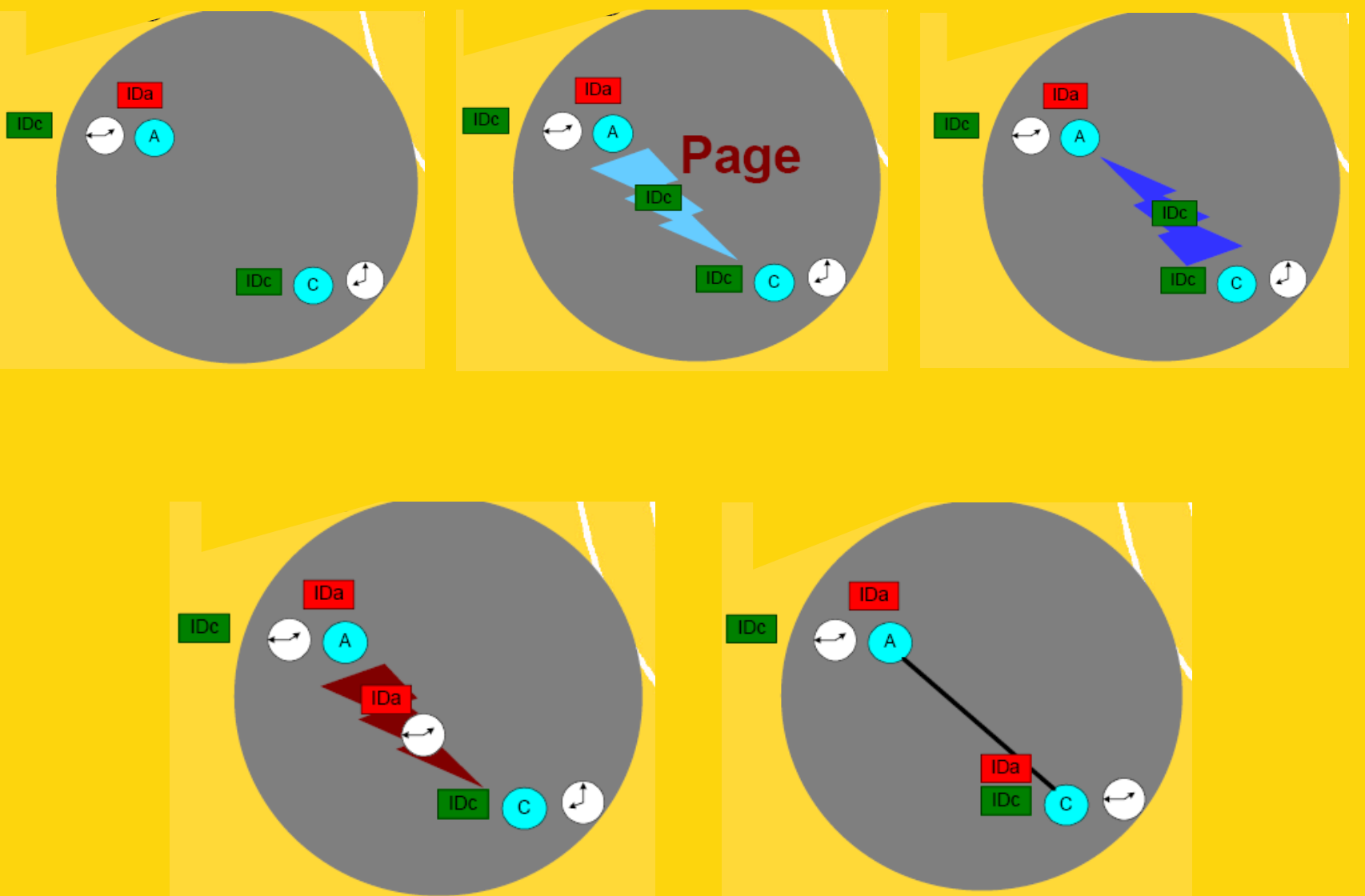


# Inquire



FHS: Frequency Hopping Synchronisation

# Paging







# Βασική ζώνη: κατάσταση σύνδεσης



## ● Active mode:

- Η μονάδα bluetooth ακούει κάθε μετάδοση του master.
- Οι slave χωρίς διεύθυνση μπορούν να αδρανούν κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης.
- Περιοδικές εκπομπές του master χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό.

## ● Sniff mode

- Η μονάδα bluetooth δεν ακούει κάθε μετάδοση του master.
- Ο master κάνει polling σε τέτοιους slaves σε καθορισμένες χρονοσχισμές sniff.
- Μόνο για τον τρόπο ACL.

# Βασική ζώνη: κατάσταση σύνδεσης



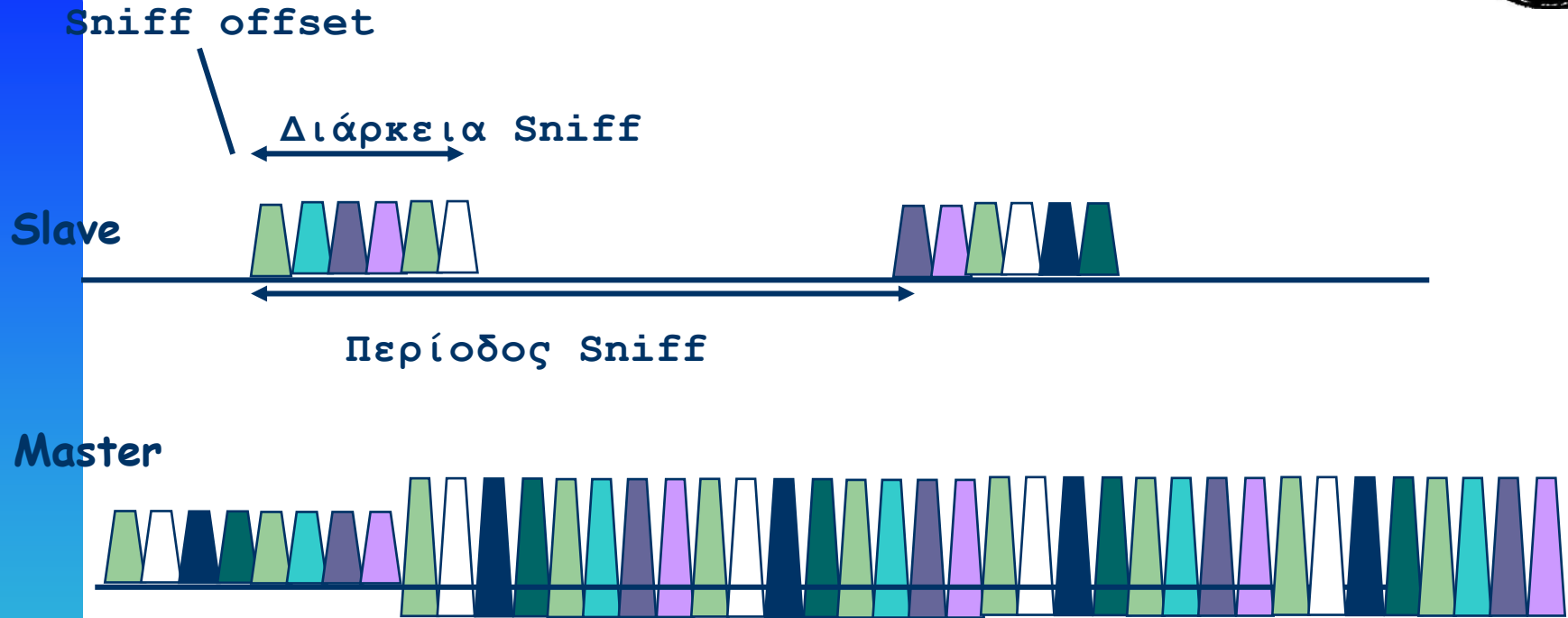
## ● Hold mode

- Ο master και ο slave συμφωνούν για τη χρονική διάρκεια που ο δεν θα γίνει polling στο slave.
- Η φυσική ζεύξη είναι ενεργοποιημένη μόνο σε χρονοσχισμές που έχουν κρατηθεί για λειτουργία SCO.

## ● Park mode

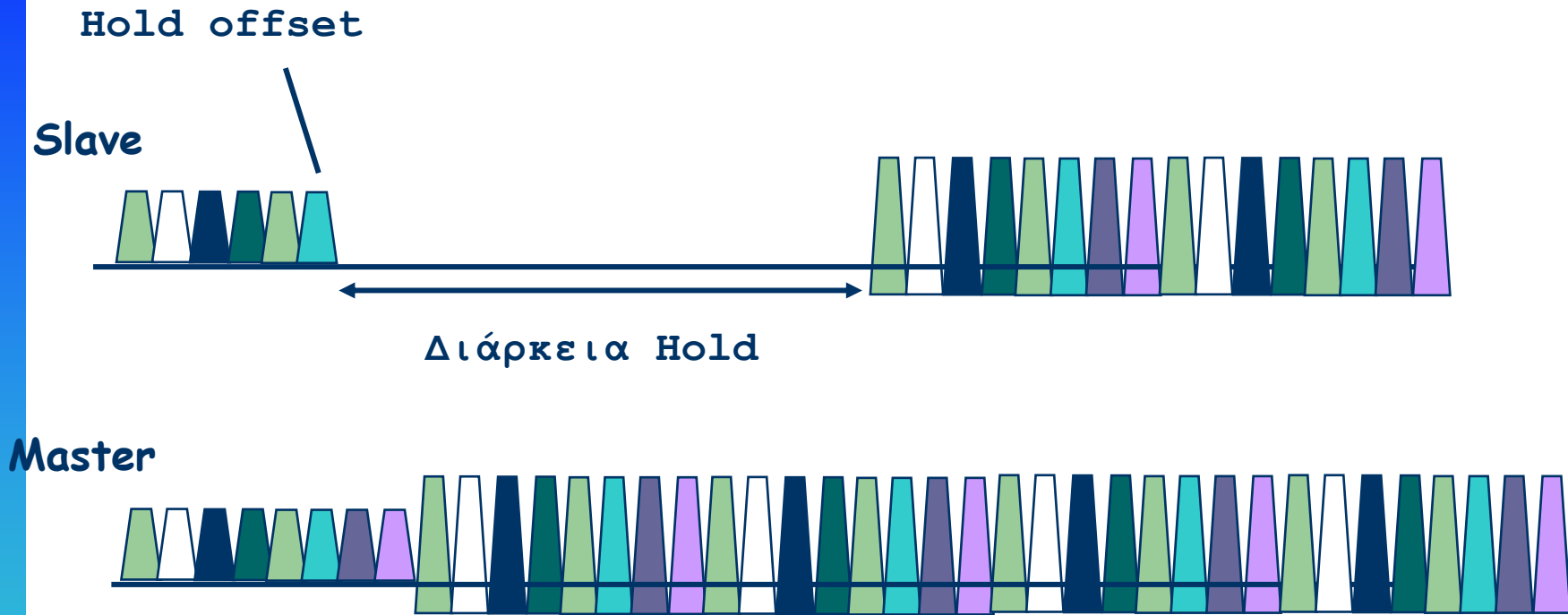
- Ο slave παραδίδει την AM\_ADDR.
- Ακούει περιοδικά για μετάδοση κάποιας πιλοτικής συχνότητας για να συγχρονιστεί και χρησιμοποιεί PM\_ADDR για να βγει από την κατάσταση park.

# Λειτουργία χαμηλής ισχύος (Sniff)



- Η κίνηση περιορίζεται σε περιοδικές sniff χρονοσχισμές

# Λειτουργία χαμηλής ισχύος (hold)





# Χωρητικότητα Piconet



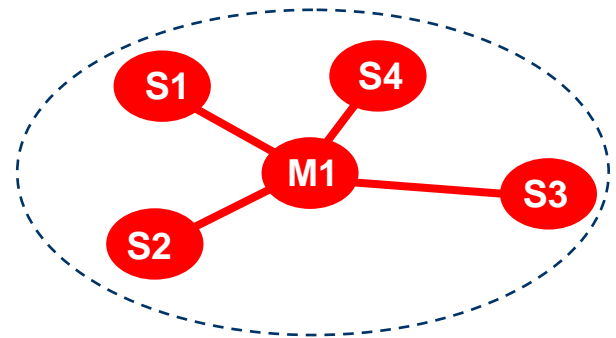
Μία ζεύξη ACL (432 kbps συμμετρική ή 721/56 kbps ασύμμετρη)

ή

Τρεις ταυτόχρονες ζεύξεις SCO (64 kbps)

ή

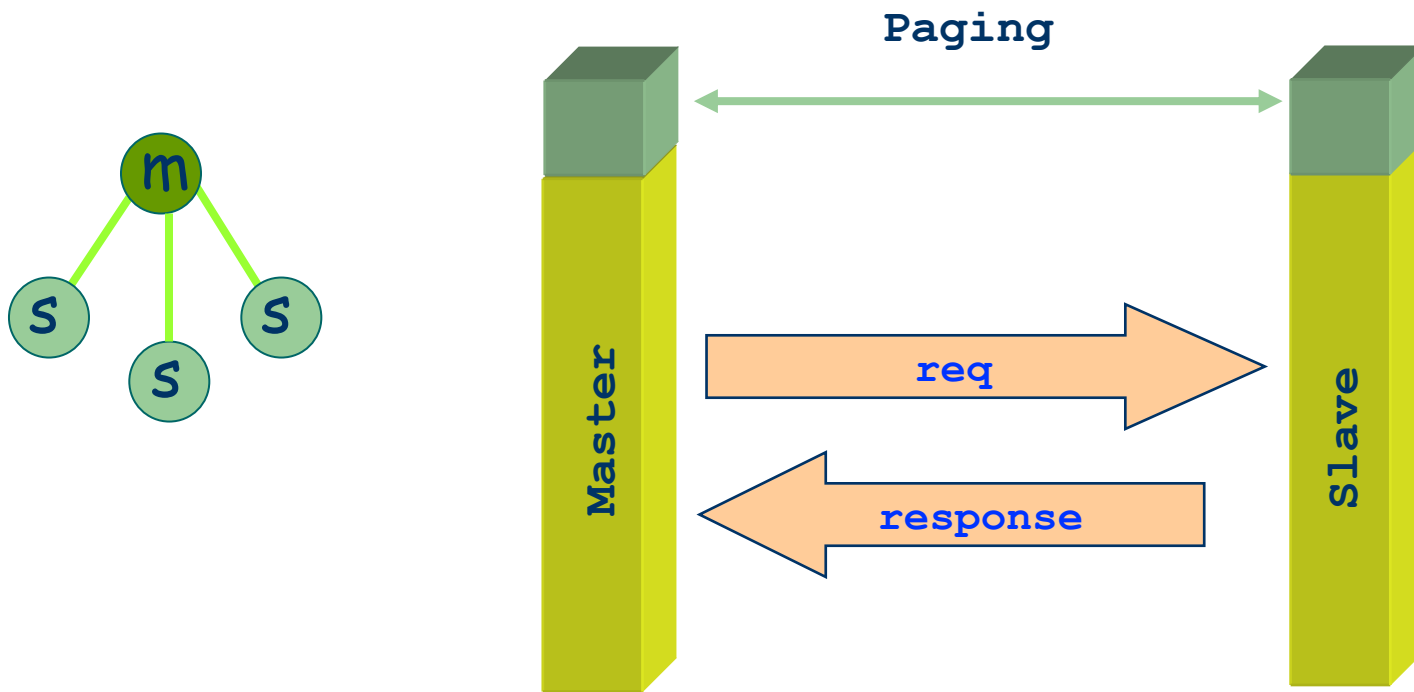
Συνδυασμός voice/data



# Διαχείριση Piconet



- Attach και detach των slaves
- Master-slave μεταγωγή
- Εγκατάσταση ζεύξεων SCO
- Χειρισμός low power modes ( Sniff, Hold, Park)



# Επικοινωνία εντός του riconet



Ο master ελέγχει όλη την κίνηση στο riconet

## SCO link - reservation

Ο master εκχωρεί χωρητικότητα για τις ζεύξεις SCO κρατώντας χρονοσχισμές κατά ζεύγη.

## ACL link - polling scheme

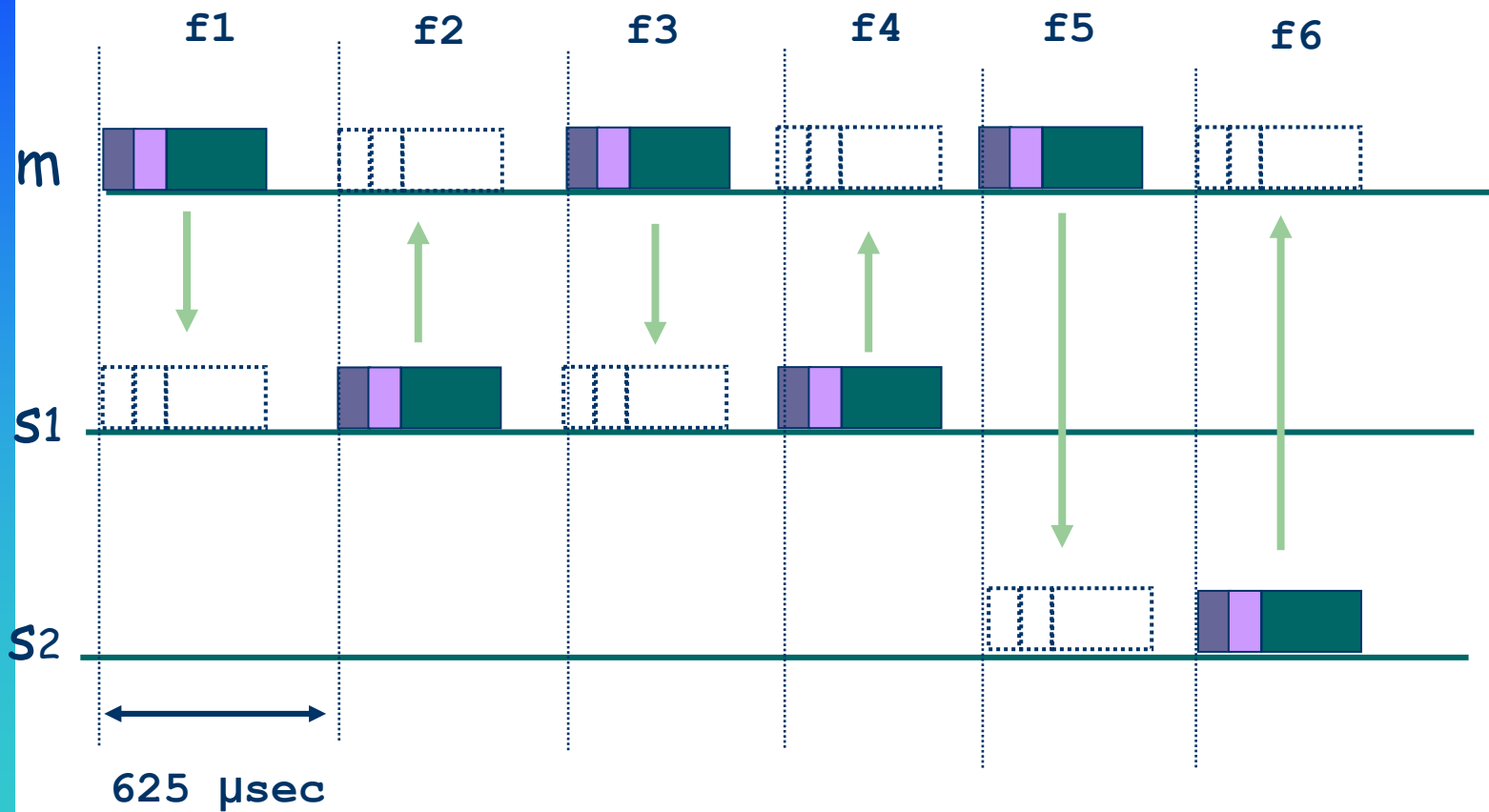
Ο slave μεταδίδει στη χρονοσχισμή slave-to-master μόνο όταν έχει διευθυνσιοδοτηθεί με τη MAC address του στην προηγούμενη master-to-slave χρονοσχισμή. Συνεπώς, δεν υπάρχουν συγκρούσεις.



# Πρωτόκολλο MAC του Piconet: Polling



FH/TDD

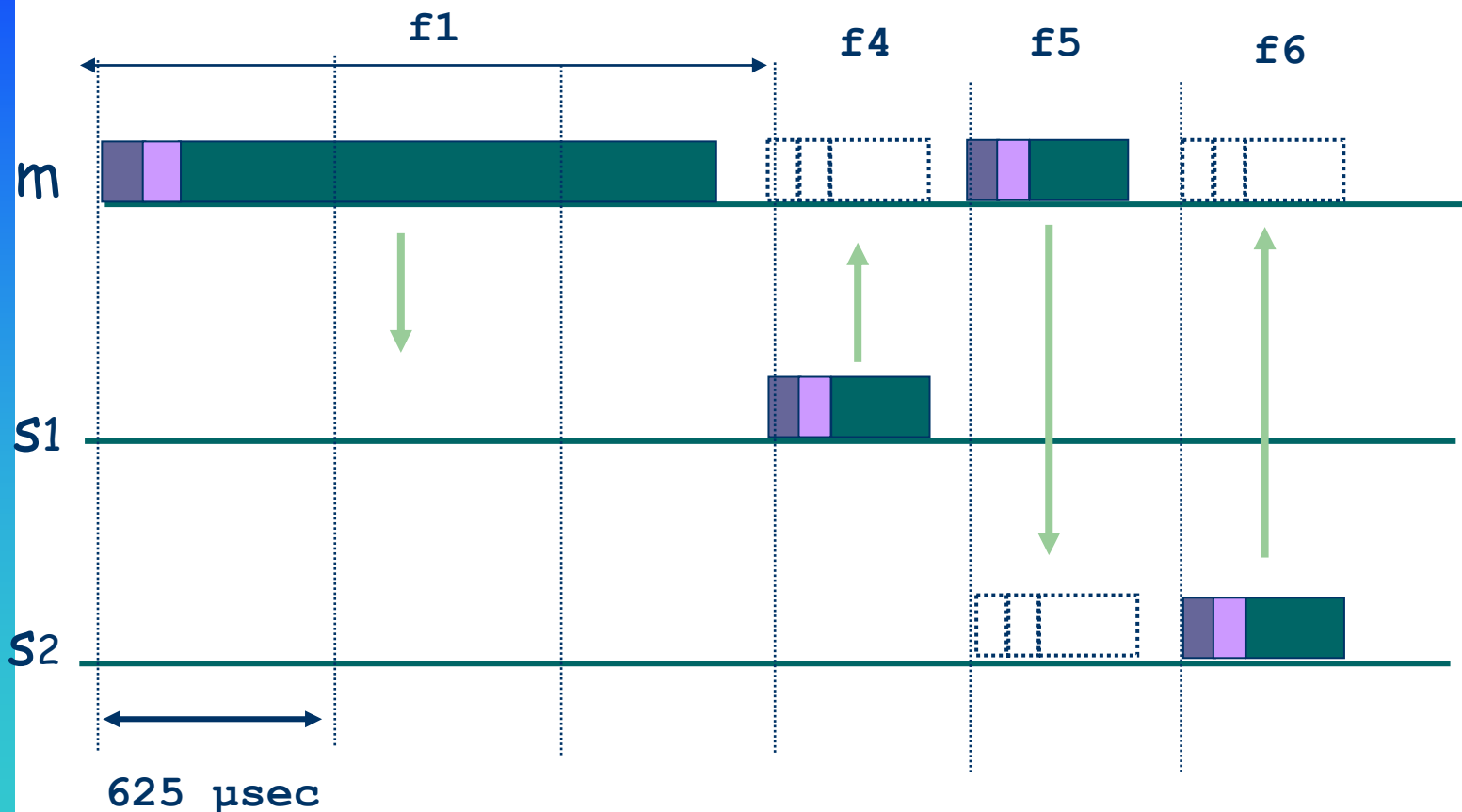


1600 hops/sec

# Πακέτα πολλαπλών σχισμών



FH/TDD



Ο ρυθμός δεδομένων εξαρτάται από τον τύπο πακέτου

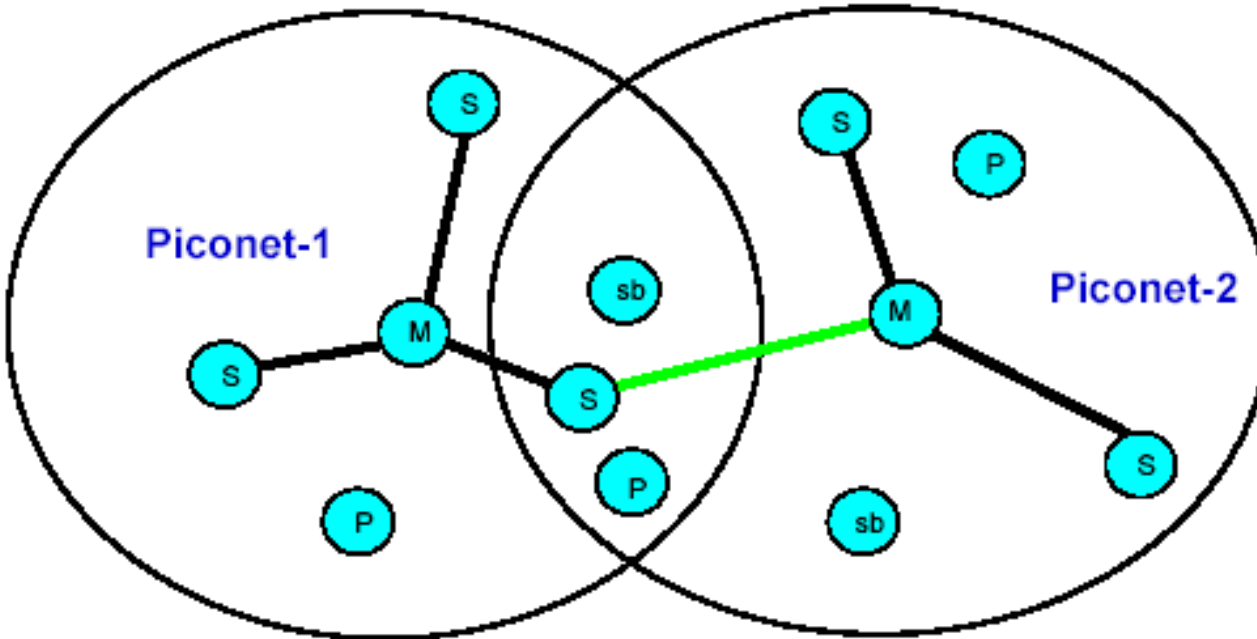


# Δικτύωση στο bluetooth

# Bluetooth: Scatternet



## Scatternet



M: master

S: slave

Sb: stand by

P: parked/hold

# Γιατί Scatternets;



## Μια ομάδα από επικαλυπτόμενα piconet ονομάζεται scatternet

- Οι χρήστες σε ένα piconet μοιράζονται έναν δίαυλο 1 Mbps - η επιμέρους διέλευση μειώνεται δραστικά καθώς προστίθενται νέες μονάδες
- Η συνολική και η επιμέρους χωρητικότητες των χρηστών σε ένα scatternet είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι όταν κάθε χρήστης συμμετέχει στο ίδιο piconet
- Εμφανίζονται συγκρούσεις όταν 2 piconets χρησιμοποιούν τον ίδιο δίαυλο 1 MHz ταυτόχρονα. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών στα piconets, η επίδοση μειώνεται σιγά σιγά.

# Επικοινωνία μεταξύ riconet

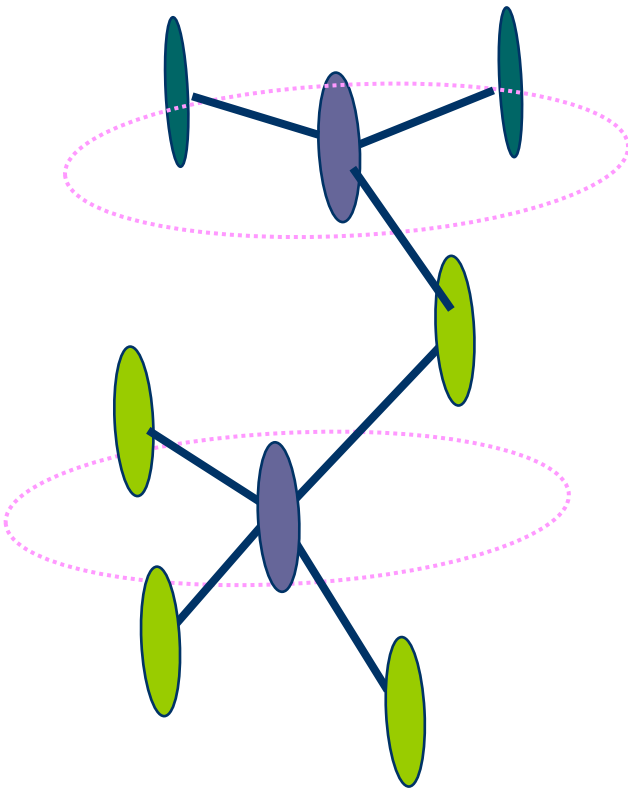


➤ Μια μονάδα συμμετέχει σε περισσότερα από ένα riconets με βάση την TDM.

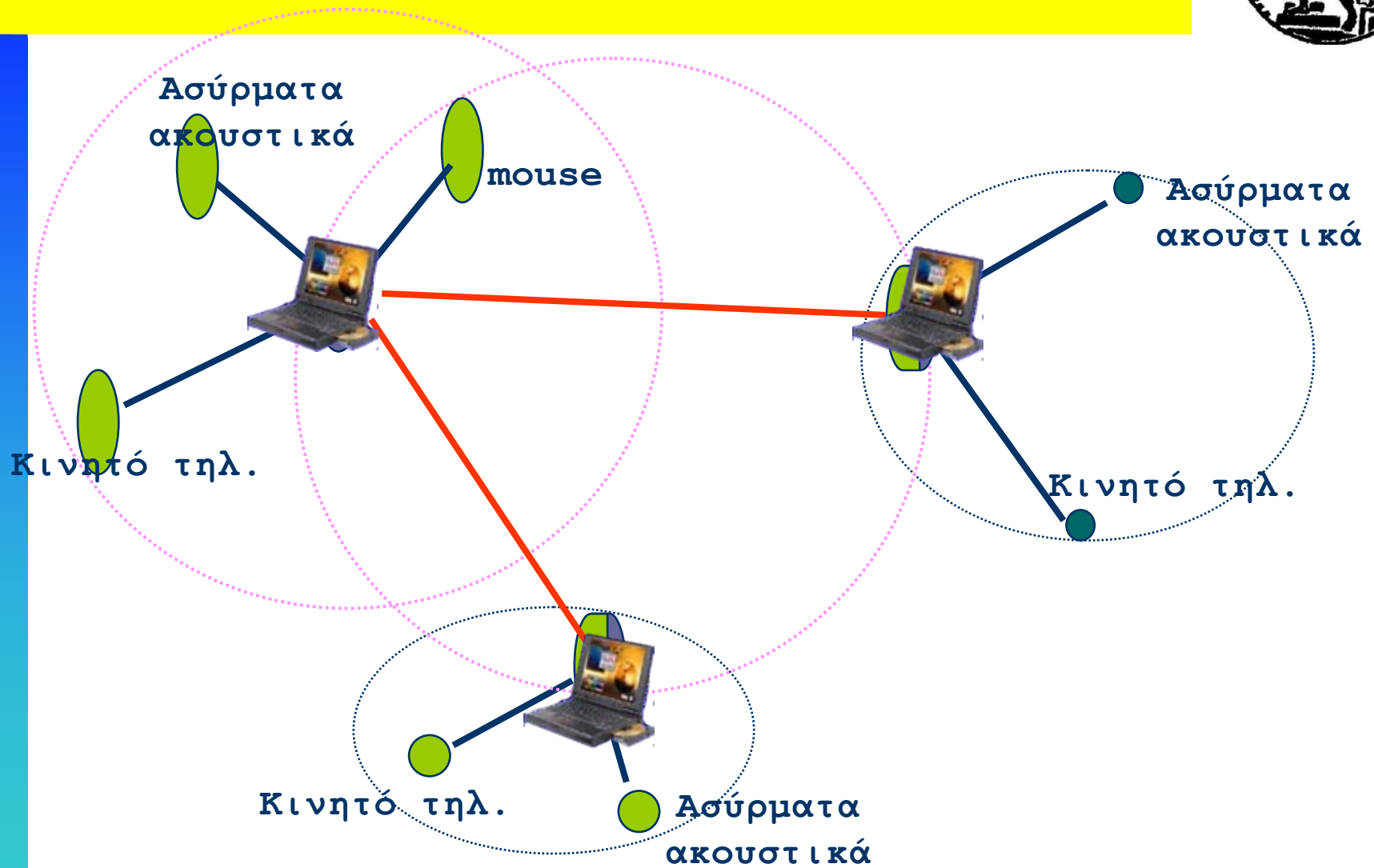
➤ Για να συμμετάσχει σε ένα riconet χρειάζεται την ταυτότητα του master και το clock offset.

➤ Όταν εγκαταλείπει το riconet πληροφορεί τον master

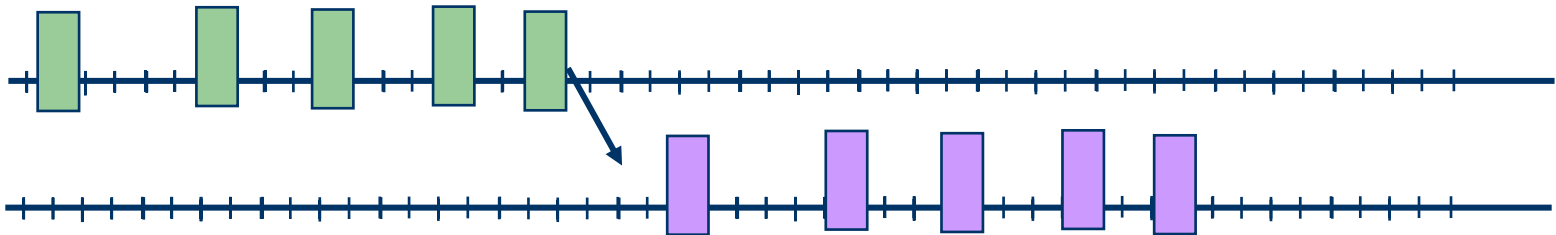
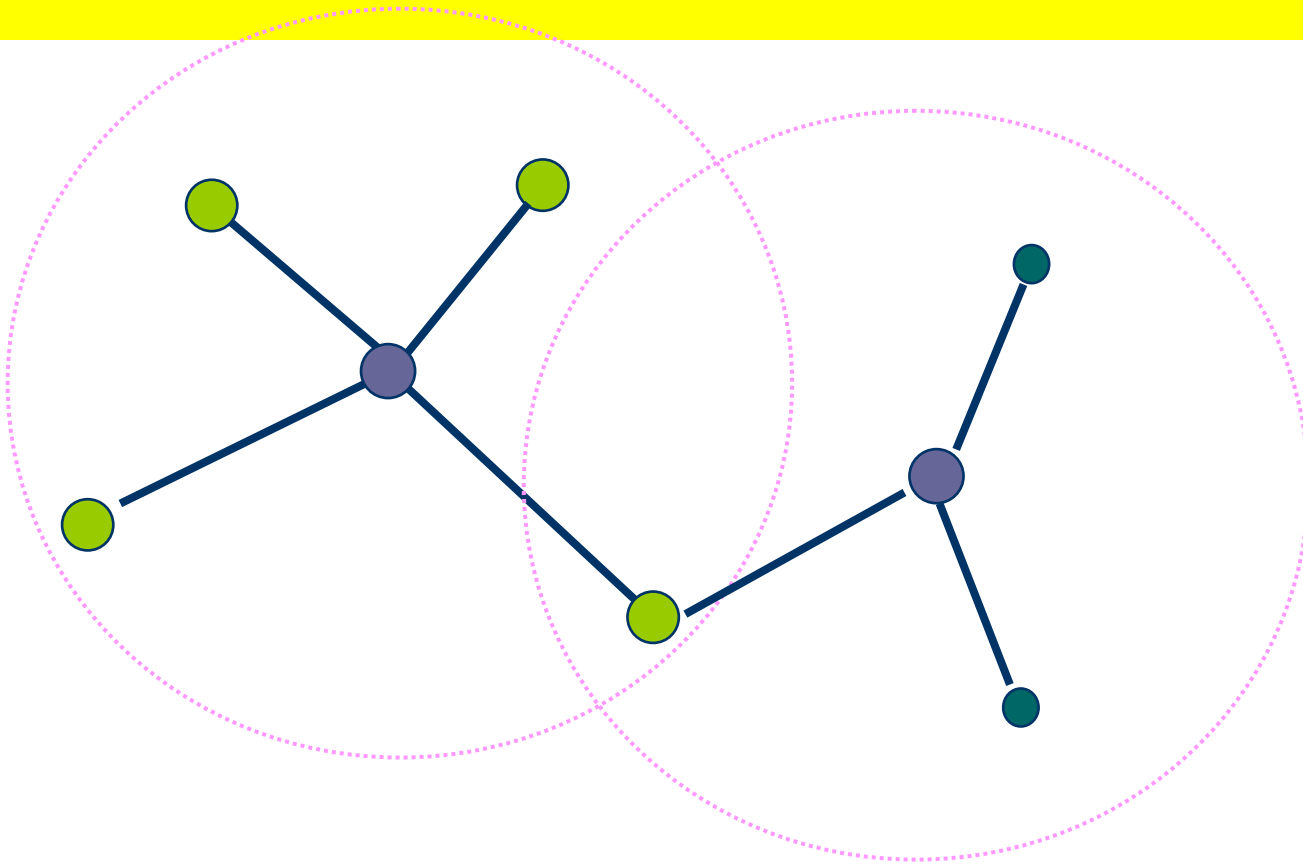
➤ Ο master μπορεί επίσης να εμπλακεί ως slave σε άλλο riconet. Αλλά όλη η κίνηση στο riconet του θα αναστέλλεται κατά την απουσία του.



# Επικοινωνία μεταξύ piconet

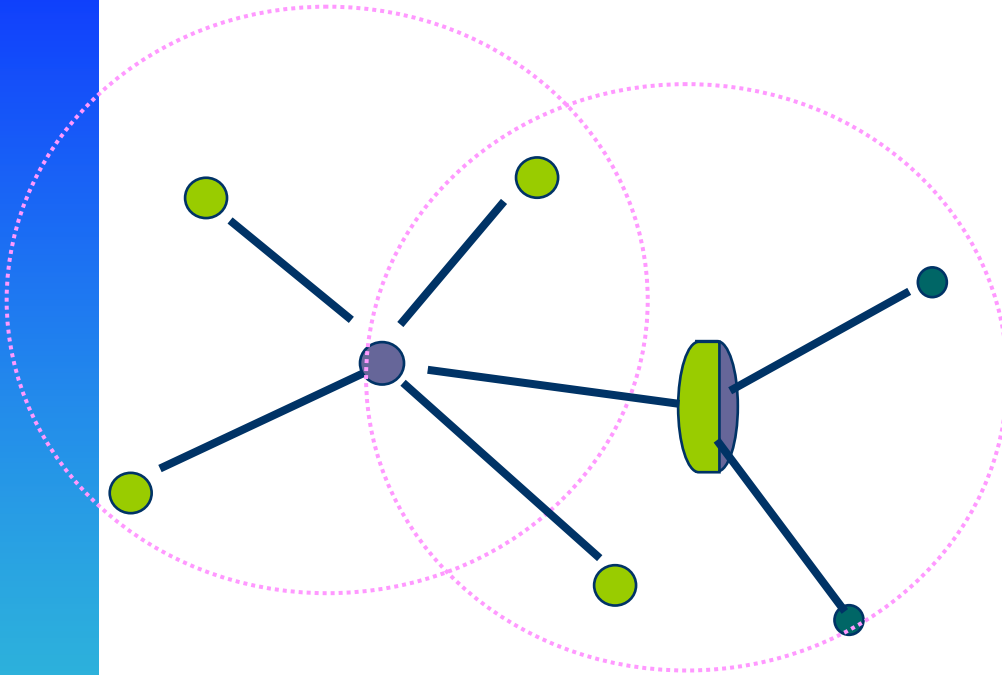


# Scatternet





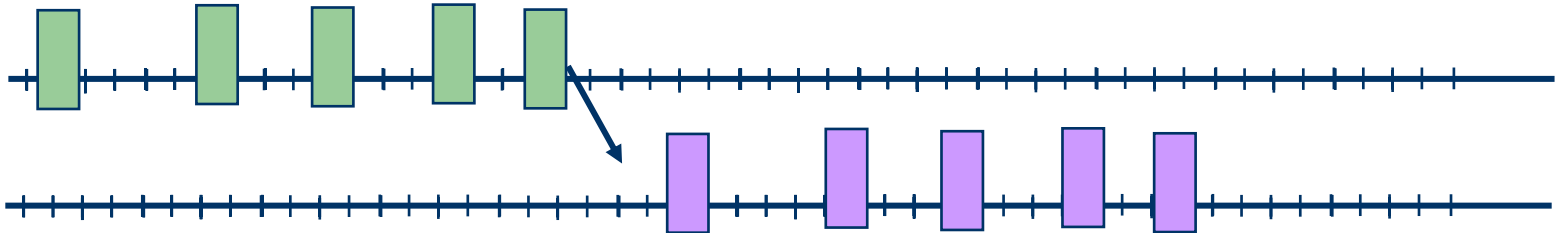
# Scatternet, scenario 2



Πώς συνδυάζεται η παρουσία σε δύο piconets;

Καθυστέρηση προώθησης;

Απώλεια κίνησης;

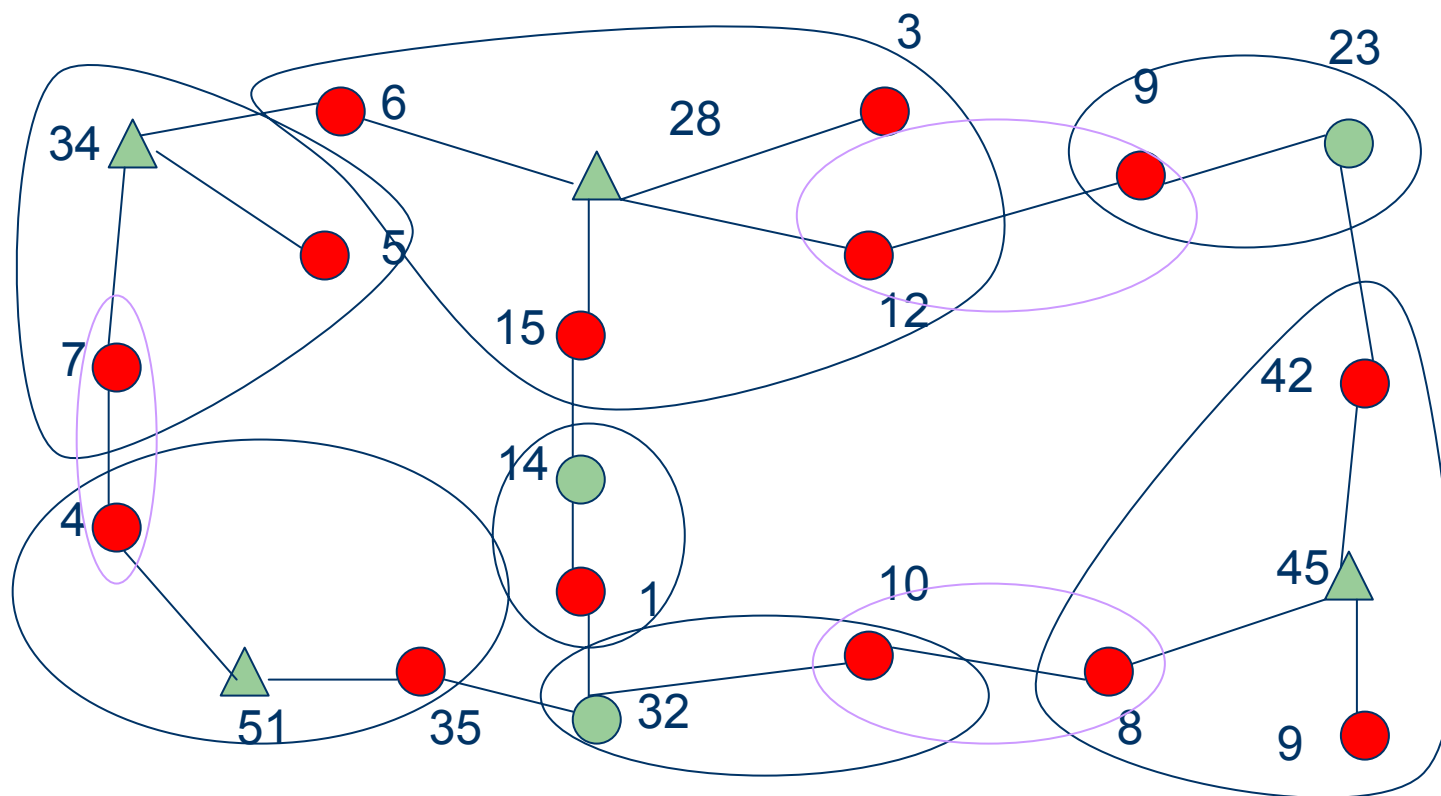


# Bluetooth Scatternets



- Πρόβλημα σχηματισμού του Scatternet
  - Εκχώρηση ρόλων στις συσκευές (Master / Slave / Bridge)
  - Ανεξάρτητες συσκευές, όχι γνώση εκ των προτέρων
    - κατανεμημένες
  - Ο χρόνος σχηματισμού πρέπει να είναι εύλογος.
  - Προϋπόθεση: όλες οι συσκευές να είναι στο μεταξύ τους πεδίο κάλυψης.

# Διασύνδεση Piconet



# Bluetooth Scatternets

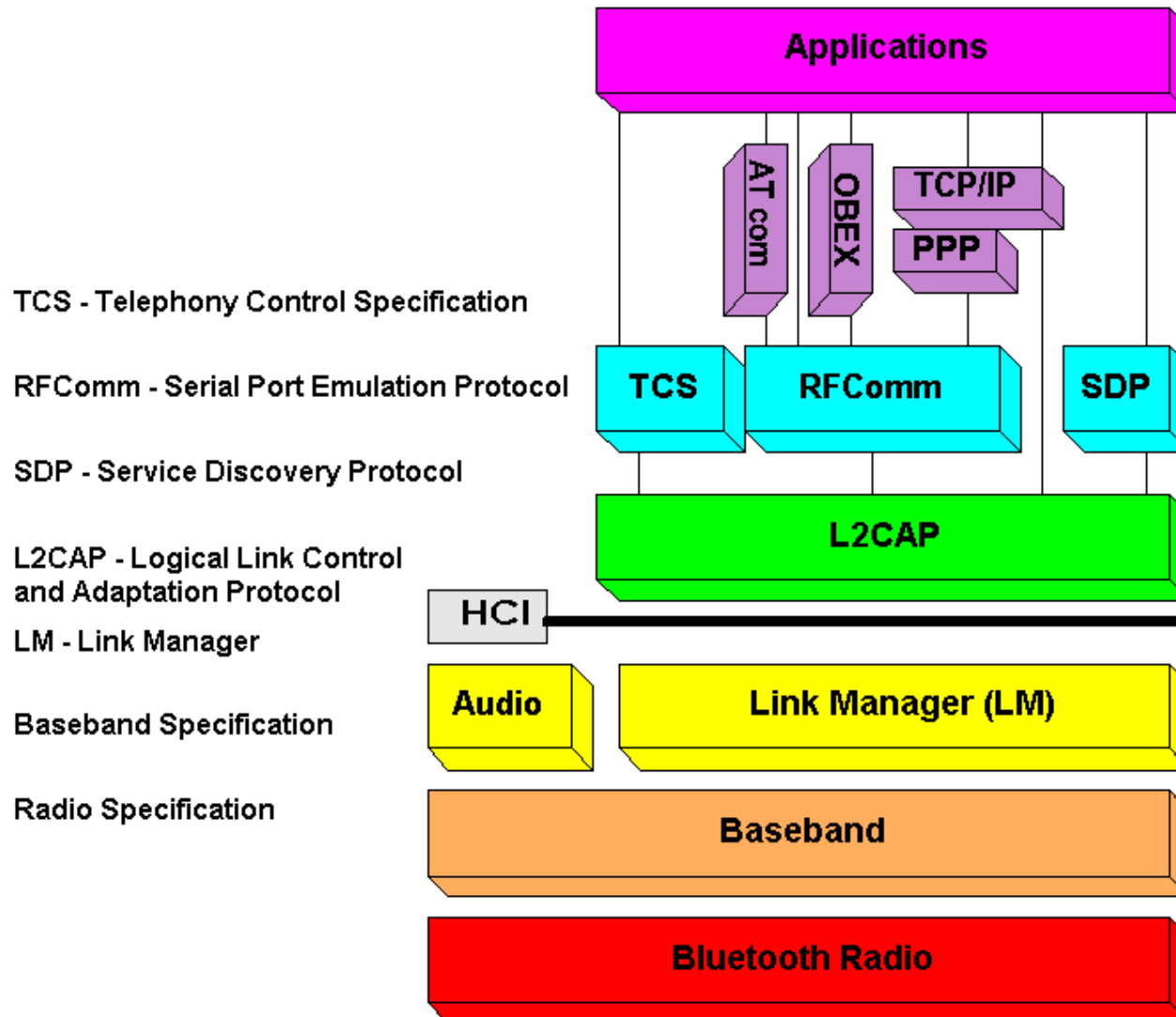


- Επιθυμητές ιδιότητες
  - Προσβασιμότητα (βασική)
  - Αριθμός των piconets (ελαχιστοποίηση)
  - Διάμετρος δικτύου (ελαχιστοποίηση)
  - Βαθμός (ελαχιστοποίηση, φραγμένος)
  - Αριθμός bridge nodes (ελαχιστοποίηση)
  - Αριθμός ρόλων (ελαχιστοποίηση)
- Διάφοροι συμβιβασμοί

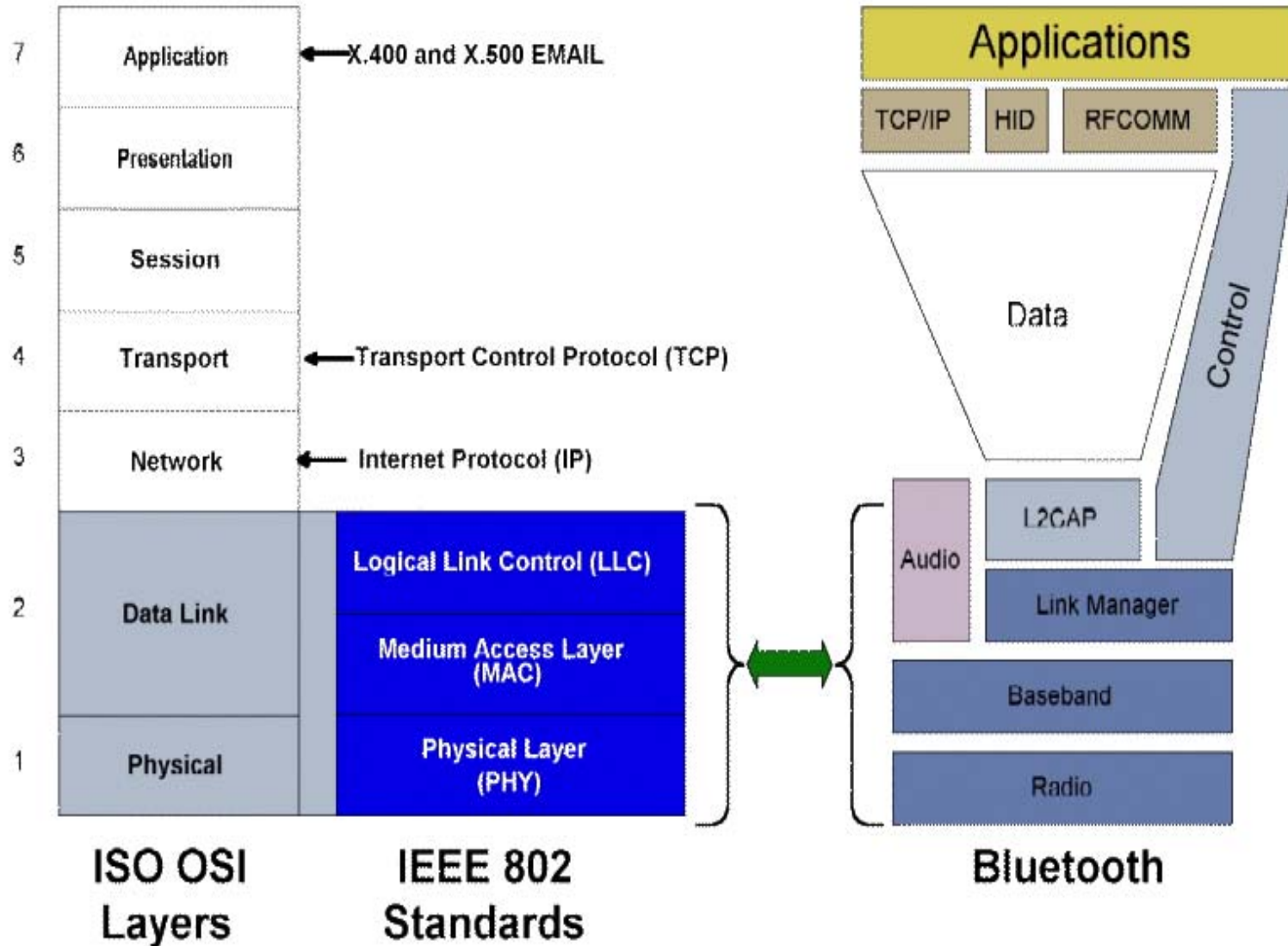
# Bluetooth: Στοιβα πρωτοκόλλων



## Bluetooth Core Protocols



# Bluetooth: Στοιβα πρωτοκόλλων



# Bluetooth: Στοιβά πρωτοκόλλων



- **RF**: καθορίζει την ασύρματη μετάδοση bit από τον  $M$  στον  $S$ , (διεπαφή, μεταπήδηση συχνότητας, διαμόρφωση, ισχύς μετάδοσης)
- **Baseband**: καθορίζει τον έλεγχο ζεύξης σε επίπεδο bit και πλαισίου (κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση, εγκατάσταση σύνδεσης σε ένα piconet, διευθυνσιοδότηση, μορφή πακέτου, χρονισμός, έλεγχος ισχύος)
- **LMP**: διαμορφώνει τις ζεύξεις προς τις άλλες συσκευές (εγκατάσταση ζεύξης, πιστοποίηση αυθεντικότητας, μέγεθος πακέτου, κατάσταση των μονάδων στο piconet, προγραμματισμό κίνησης)
- **L2CAP**: προσαρμόζει τα πρωτόκολλα ανωτέρων στρωμάτων στη βασική ζώνη, υπηρεσία με σύνδεση, υπηρεσία χωρίς σύνδεση
- **SDP** (service discovering protocol): πληροφορία συσκευής (υπηρεσία, χαρακτηριστικά), αίτηση υπηρεσίας
- **TCS**: telephony control signalling
- **RFCOMM**: emulation των σημάτων ελέγχου και των δεδομένων RS-232 πάνω από το L2CAP

