



# ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασύρματα Δίκτυα  
Επικοινωνιών

# Περίληψη



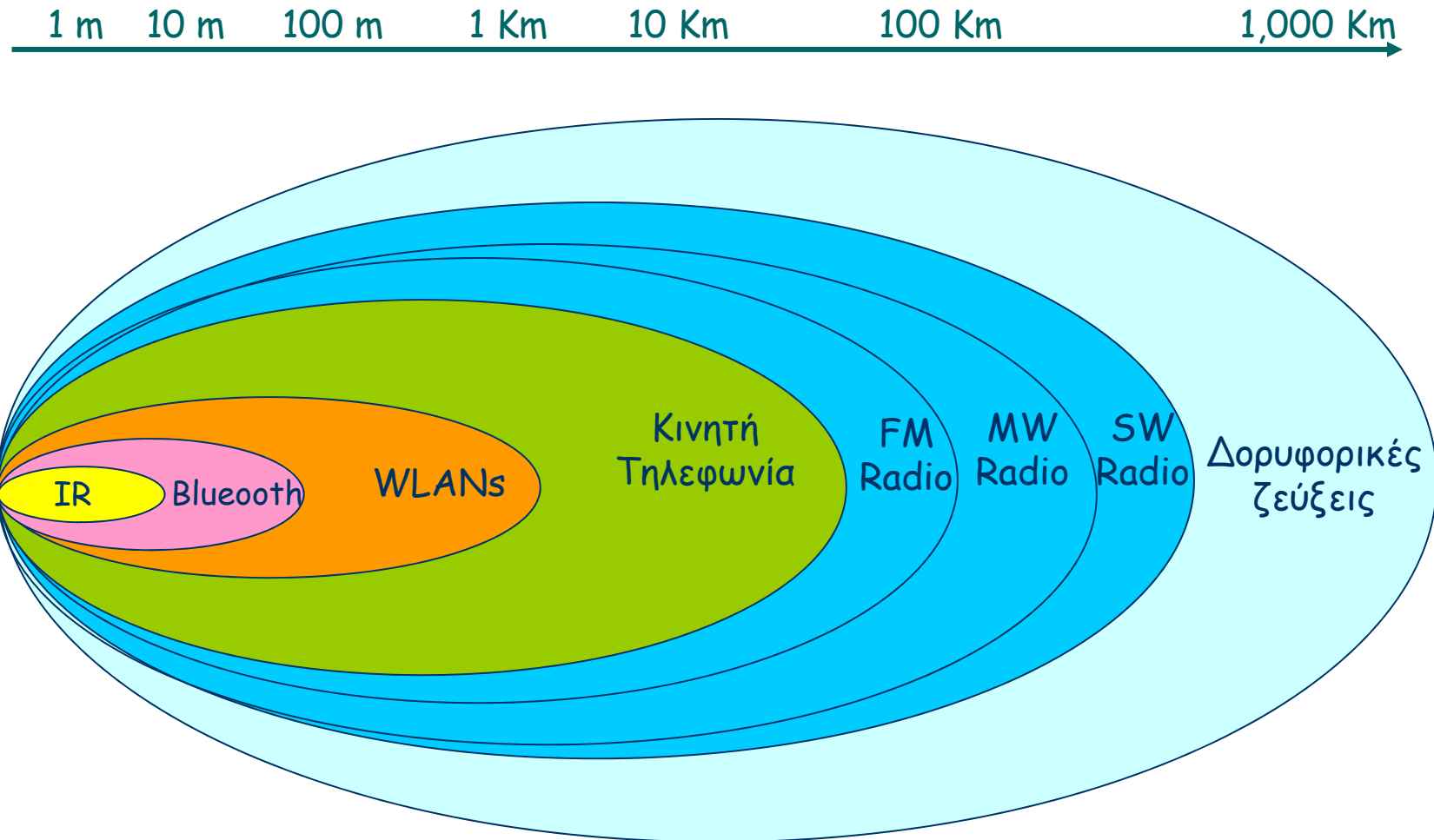
- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συχνοτήτων
- Ζώνες λειτουργίας των ασυρμάτων δικτύων
- Επίδραση του ασύρματου περιβάλλοντος στα δίκτυα επικοινωνιών
- Ασύρματα τοπικά δίκτυα
  - Οικογένεια IEEE 802.11
- Ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση
  - Πρότυπο IEEE 802.16
- Ασύρματα προσωπικά δίκτυα
  - Bluetooth

# Ασύρματα συστήματα: Παραδείγματα

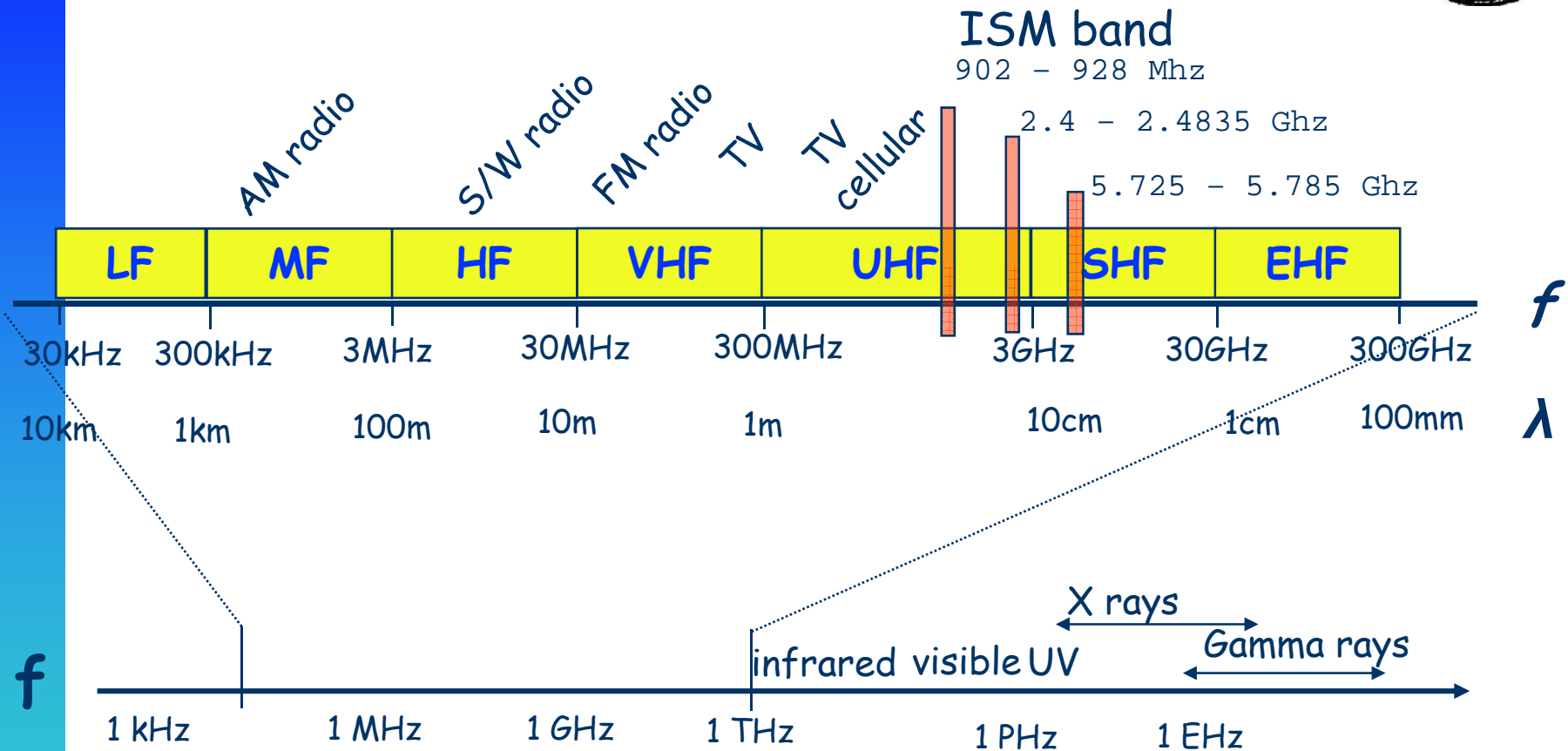


- Ραδιοφωνία AM, FM
  - Εκπομπή TV
  - Δορυφορική εκπομπή
  - Αμφίδρομες ραδιοεπικοινωνίες
  - Αναλογικά ασύρματα τηλέφωνα
  - Δορυφορικές ζεύξεις
  - Δίκτυα κινητών επικοινωνιών
  - Wireless Local Loop (WLL)
  - Μικροκυματικές ζεύξεις
  - Ασύρματα LANs
- Εκπομπή (αναλογική)
- Αμφίδρομη επικοινωνία (αναλογική)
- Αμφίδρομη επικοινωνία (ψηφιακή)

# Ασύρματα συστήματα: Εμβέλεια

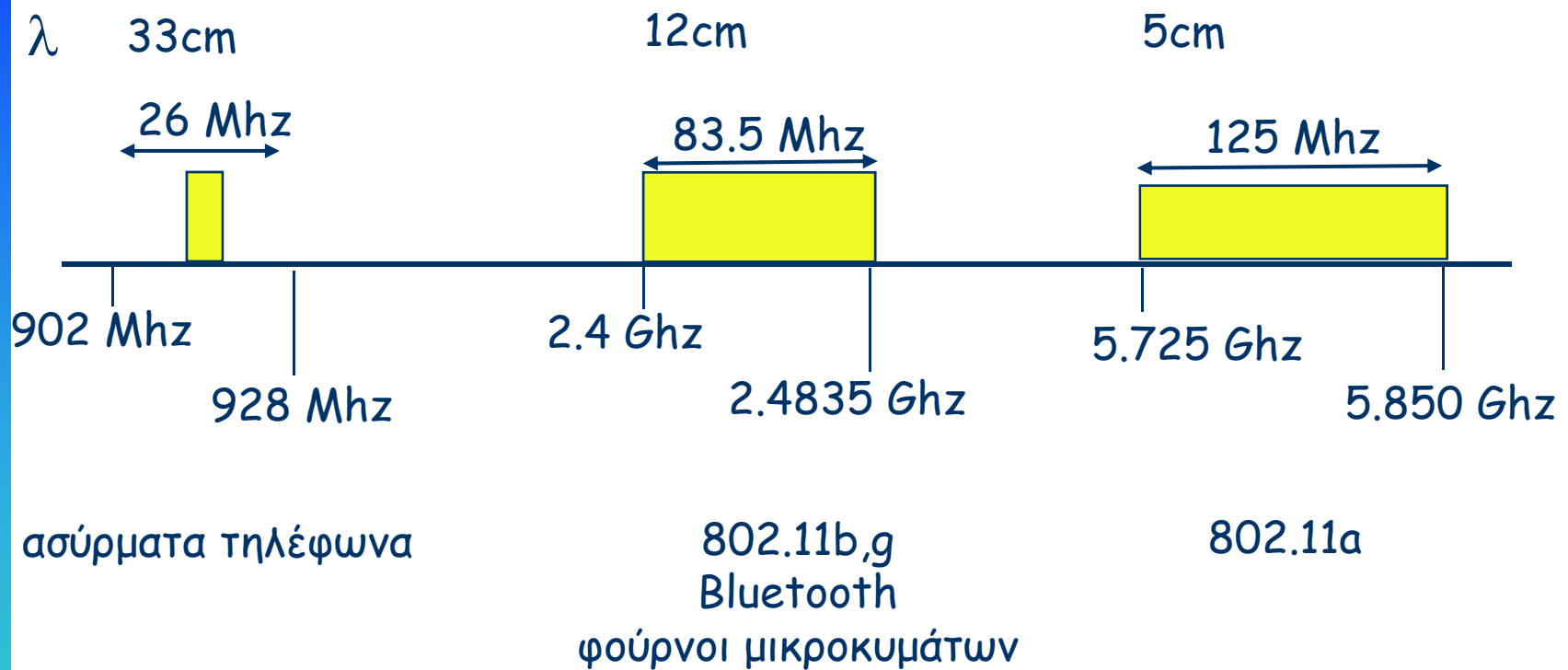


# Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Τα χαρακτηριστικά διάδοσης είναι διαφορετικά σε κάθε ζώνη συχνοτήτων

# Μη αδειοδοτούμενο φάσμα



# Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



## Εκπομπή TV

- VHF: 54 έως 88 MHz, 174 έως 216 MHz
- UHF: 470 έως 806 MHz



30 MHz

300 MHz

3 GHz

30 GHz

## FM Radio

- 88 έως 108 MHz



## Ψηφιακή TV

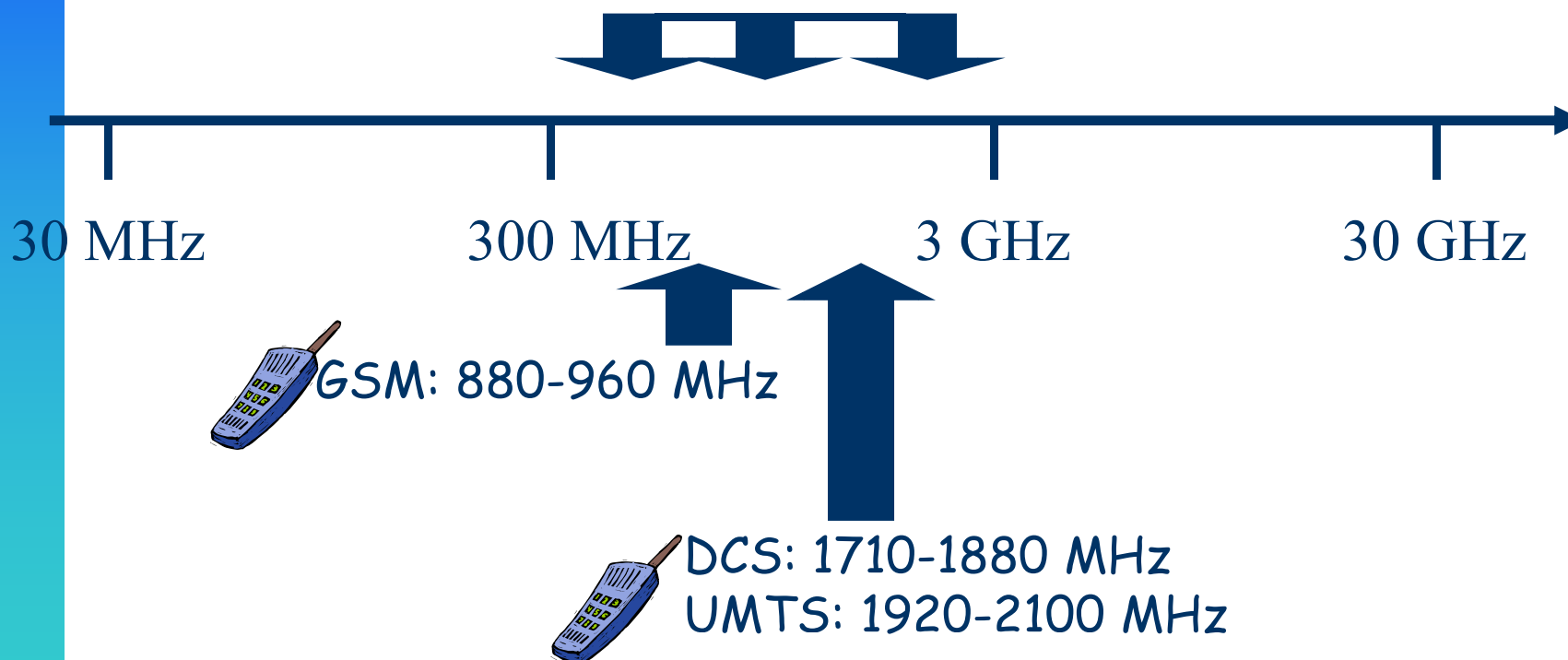
- 54 έως 88 MHz, 174 έως 216 MHz, 470 έως 806 MHz



# Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων

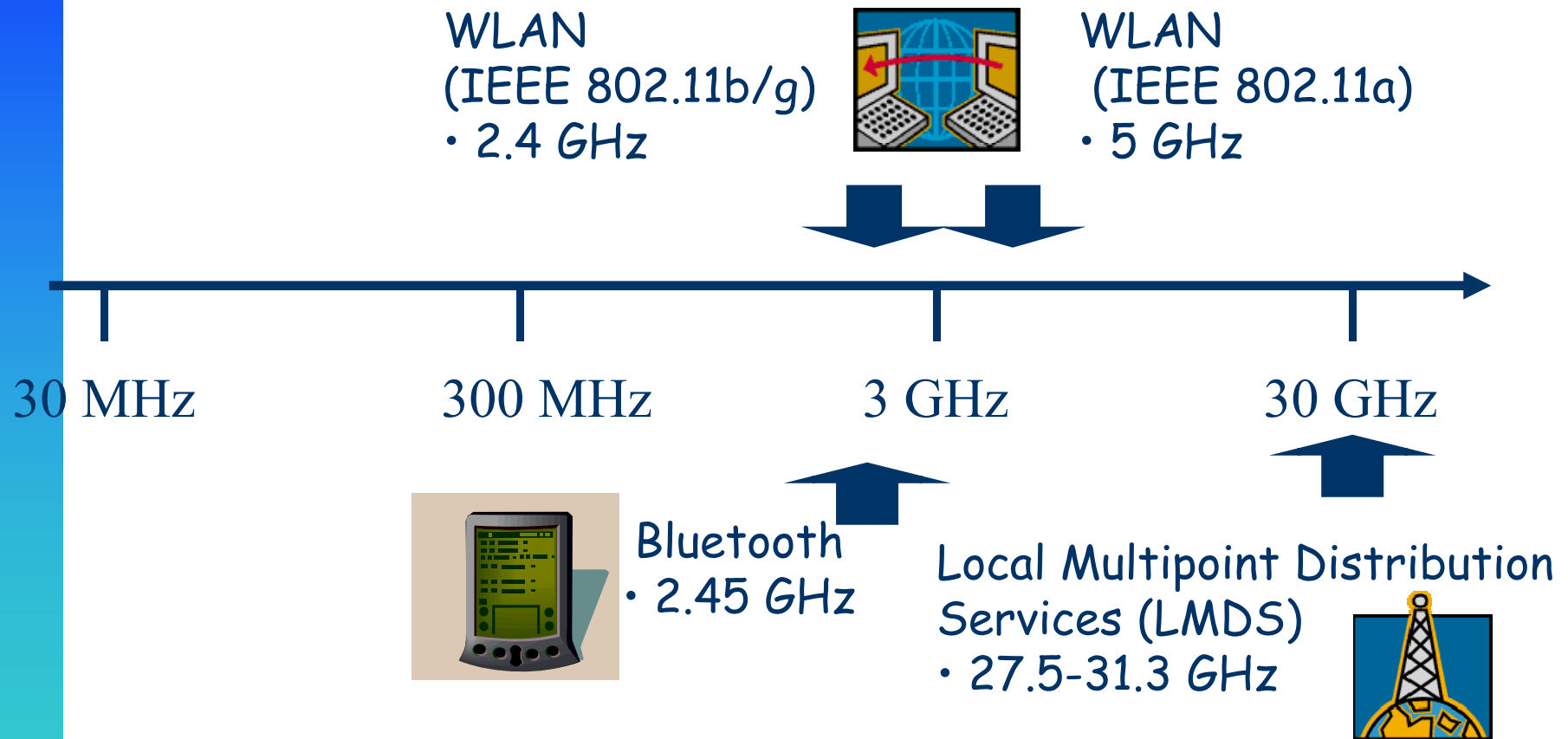


3G Ασύρματα συστήματα ευρείας ζώνης  
• 746-794 MHz, 1.7-1.85 GHz, 2.5-2.7 GHz

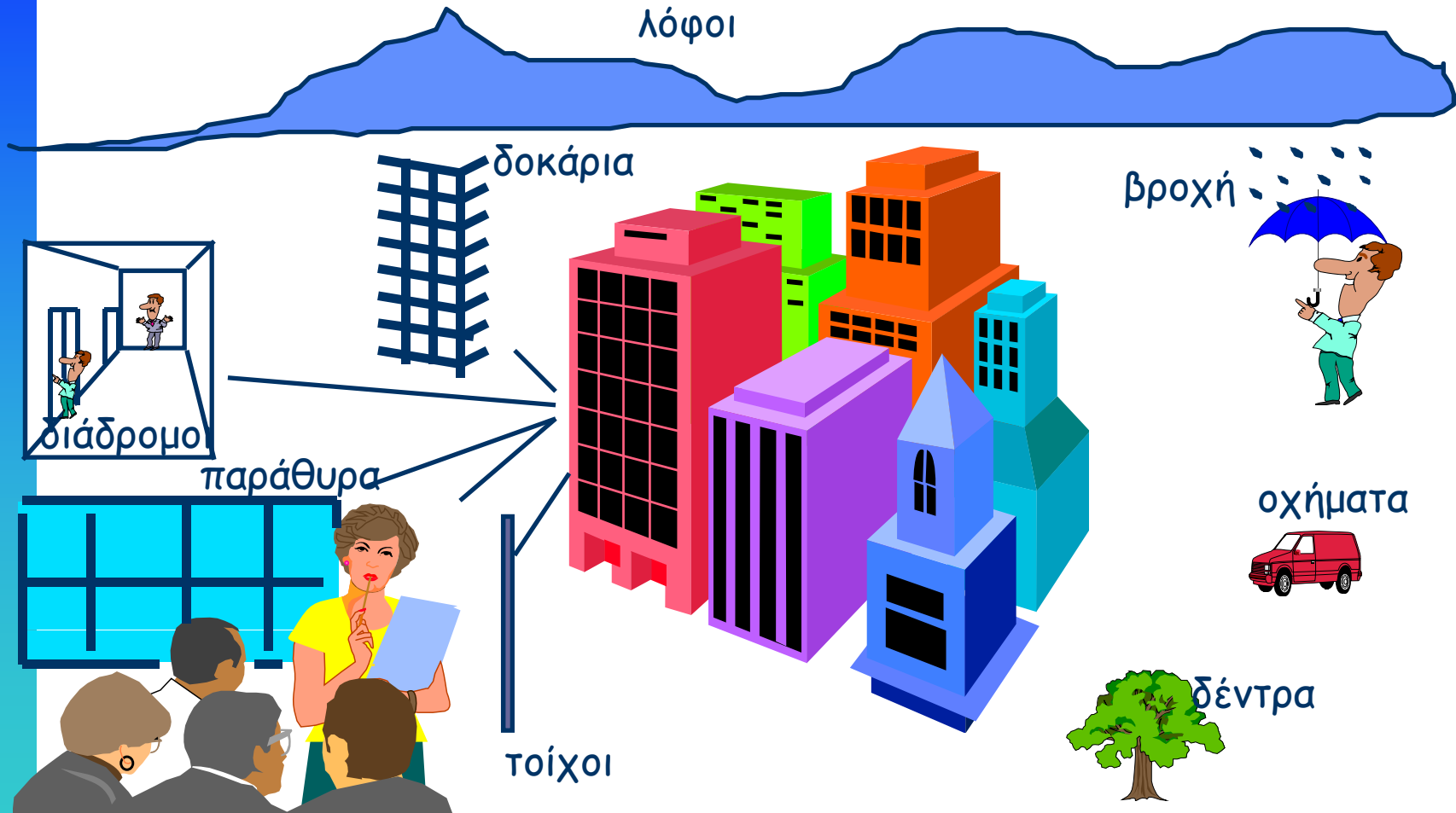




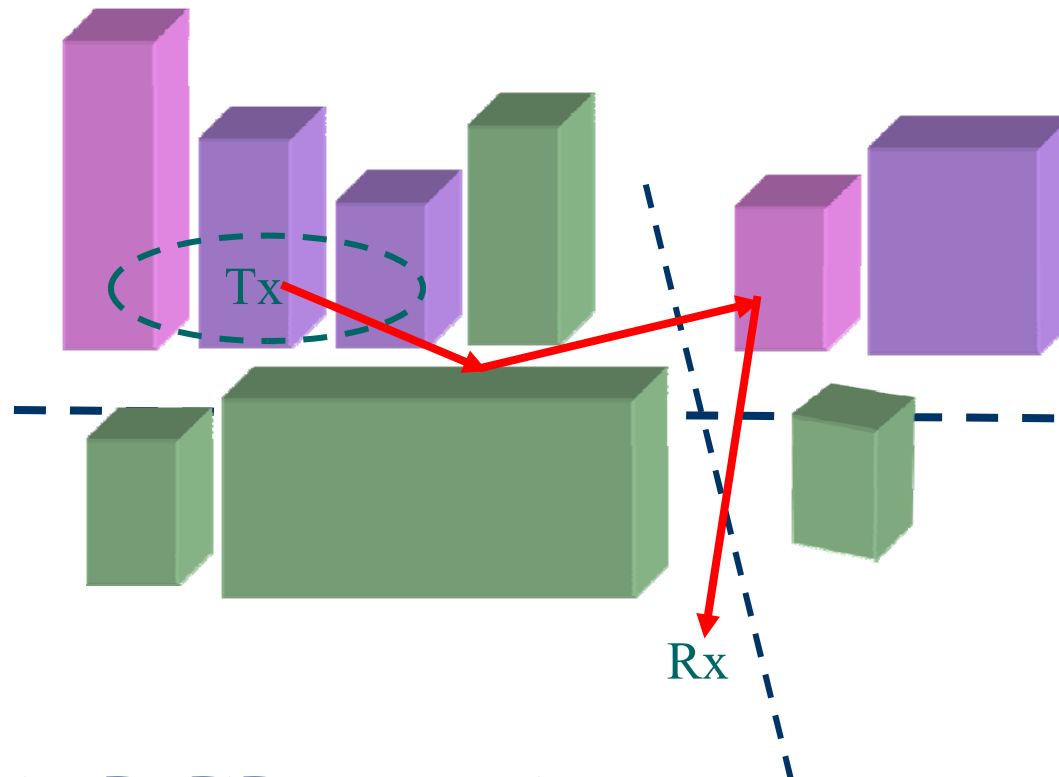
# Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



# Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών



# Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών

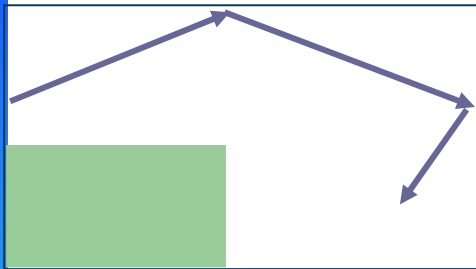


- Πώς διαδίδεται το σήμα;
- Πόση εξασθένηση υπεισέρχεται;
- Πώς φαίνεται το σήμα στον δέκτη;

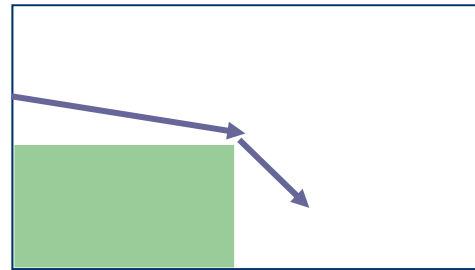
# Διάδοση στο ασύρματο περιβάλλον



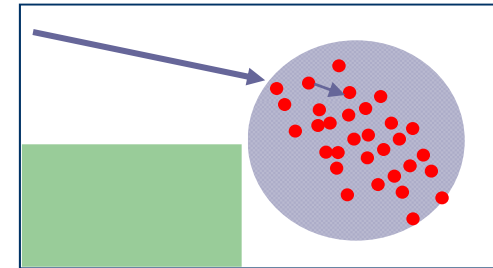
## Τρεις βασικοί μηχανισμοί διάδοσης



Ανάκλαση  
 $\lambda \ll D$



Περίθλαση  
 $\lambda \approx D$



Σκέδαση  
 $\lambda \gg D$

- Οι επιδράσεις της διάδοσης εξαρτώνται όχι μόνο από τη ζώνη μετάδοσης αλλά και από το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος
- Χωρική απόσταση μεταξύ Tx-Rx

# Ανασχετικοί παράγοντες: Θόρυβος



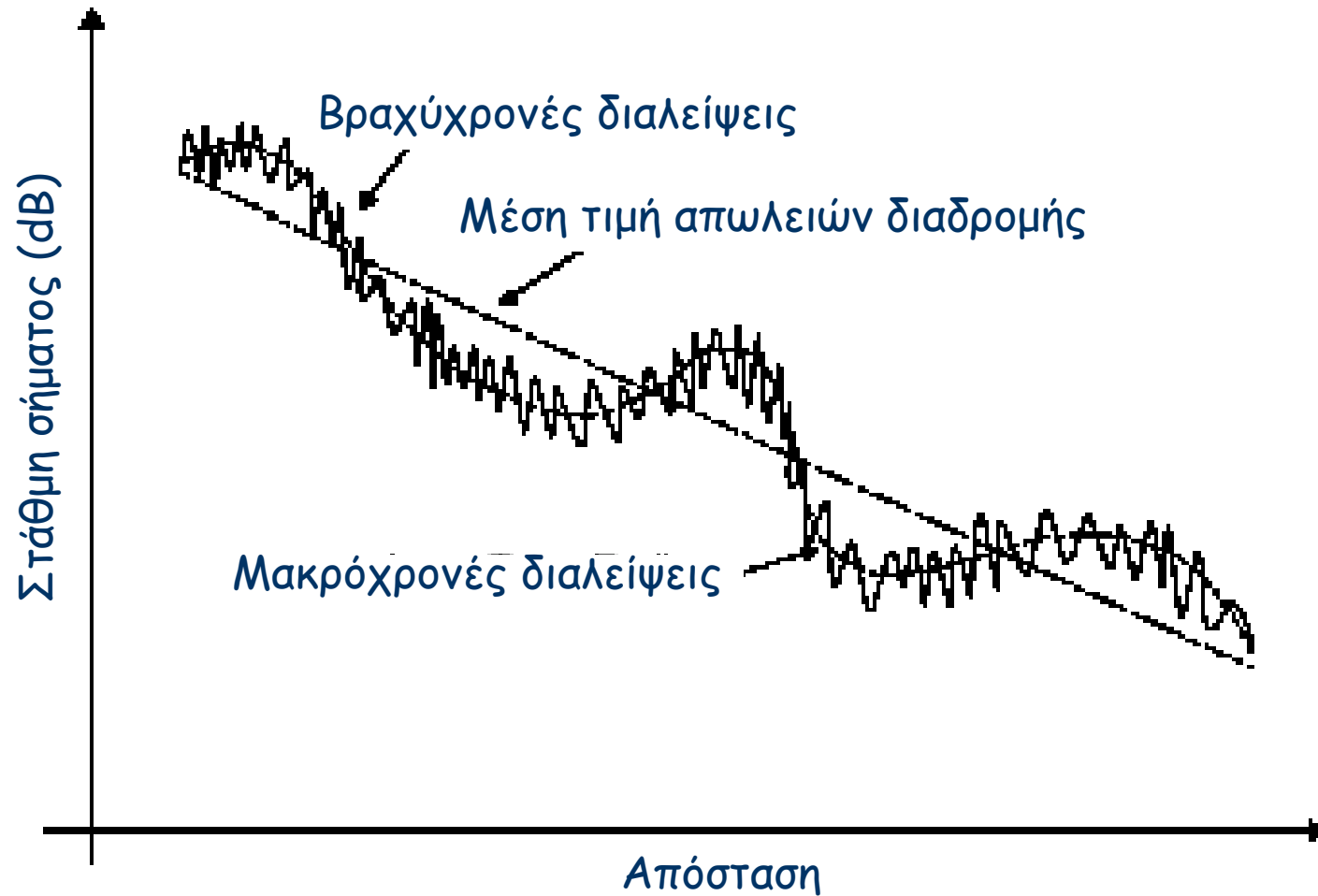
- Ανεπιθύμητα σήματα που προστίθενται στο σήμα
- Μπορεί να οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα, όπως π.χ. κεραυνοί, βιομηχανικός θόρυβος.
- Μερικές φορές ο θόρυβος μοντελοποιείται ως σήμα με ισχύ κατανεμημένη ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (λευκός θόρυβος)
- Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio, SNR) χρησιμοποιείται συχνά ως μέτρο εκτίμησης της ποιότητας του διαύλου.

# Ανασχετικοί παράγοντες: Παρεμβολές



- Σήματα που παράγονται από συσκευές που λειτουργούν στις ίδιες περίπου συχνότητες μπορεί να παρεμβάλλουν μεταξύ τους.
  - παράδειγμα: συσκευές IEEE 802.11b και Bluetooth , φούρνοι μικροκυμάτων
  - τα συστήματα CDMA περιορίζονται κυρίως από παρεμβολές
- Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή (signal to interference and noise ratio, SINR) είναι ένα άλλο μέτρο που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της ποιότητας διαύλου

# Ανασχετικοί παράγοντες: Διαλείψεις



# Ανασχετικοί παράγοντες: Διαλείψεις



- Η ισχύς του σήματος μειώνεται με την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη: απώλειες διαδρομής
  - Θεωρείται συνήθως αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση, με εκθέτη από 2.5 έως 5
- Αργές διαλείψεις (σκίαση - shadowing) προκαλούνται από μεγάλα εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη
- Ταχείες διαλείψεις προκαλούνται από σκεδαστές στην περιοχή του δέκτη



# Διαφορική λήψη

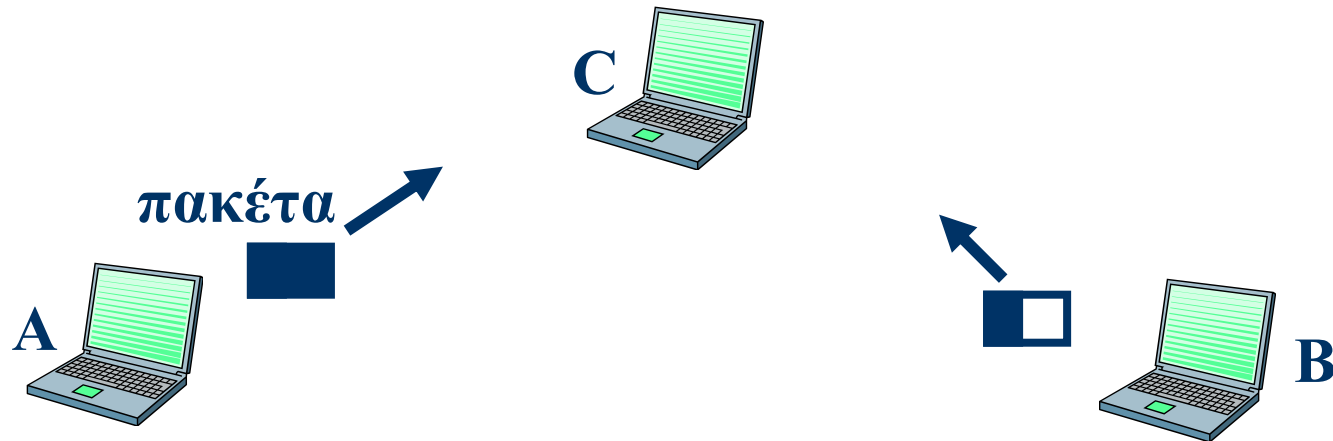


- Ένα σχήμα διαφορικής λήψης εξάγει πληροφορία από πολλά σήματα που καταφθάνουν από διαφορετικές διαδρομές με διαλείψεις
- Κατάλληλος συνδυασμός αυτών των σημάτων περιορίζει την επίδραση των διαλείψεων και βελτιώνει την αξιοπιστία της μετάδοσης
- Στη διαφορική λήψη χώρου, οι κεραιές απέχουν τουλάχιστον μισό μήκος κύματος
- Υπάρχουν και άλλα είδη διαφορικής λήψης
  - Πόλωσης, συχνότητας, χρόνου



Δίκτυα Επικοινωνιών

# Ανταγωνισμός για το μέσο μετάδοσης



- Αν οι A και B μεταδώσουν ταυτόχρονα προς τον C στον ίδιο δίαυλο, ο C δεν θα μπορέσει να λάβει σωστά την πληροφορία: θα γίνει σύγκρουση
- Ανάγκη ύπαρξης μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης για να καθορίζουν τι θα γίνεται σε τέτοια περίπτωση, αλλά και για να μεγιστοποιούν τη συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα.

# Παράγοντες δομής



- Οι παράγοντες δομής (μέγεθος, κατανάλωση ισχύος, κατανάλωση, εργονομία, κλπ.) παίζουν ενδιαφέροντα ρόλο στην κινητικότητα και την νομαδικότητα
  - Mobile computing: συνεπάγεται τη δυνατότητα της αδιάλειπτης κινητικότητας
  - Nomadic computing: οι συνδέσεις ελευθερώνονται και επανεγκαθίστανται στη νέα θέση
- Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας θέτει περιορισμούς στην πολυπλοκότητα επεξεργασίας που απαιτείται στις κινητές συσκευές

# Ασφάλεια



- Οι απαιτήσεις ασφαλείας είναι πολύ μεγαλύτερες στις ασύρματες επικοινωνίες
- **Κρυπτογράφηση**: οι επικοινωνίες δεν πρέπει να αποκωδικοποιούνται εύκολα από τρίτους
- **Πιστοποίηση αυθεντικότητας**: είναι το κινητό τερματικό αυτό που ισχυρίζεται ότι είναι;

# Ασύρματα LAN



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

Μπορεί να συνυπάρχουν με ενσύρματα συστήματα

# 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)

# Σχεδιαστικοί στόχοι

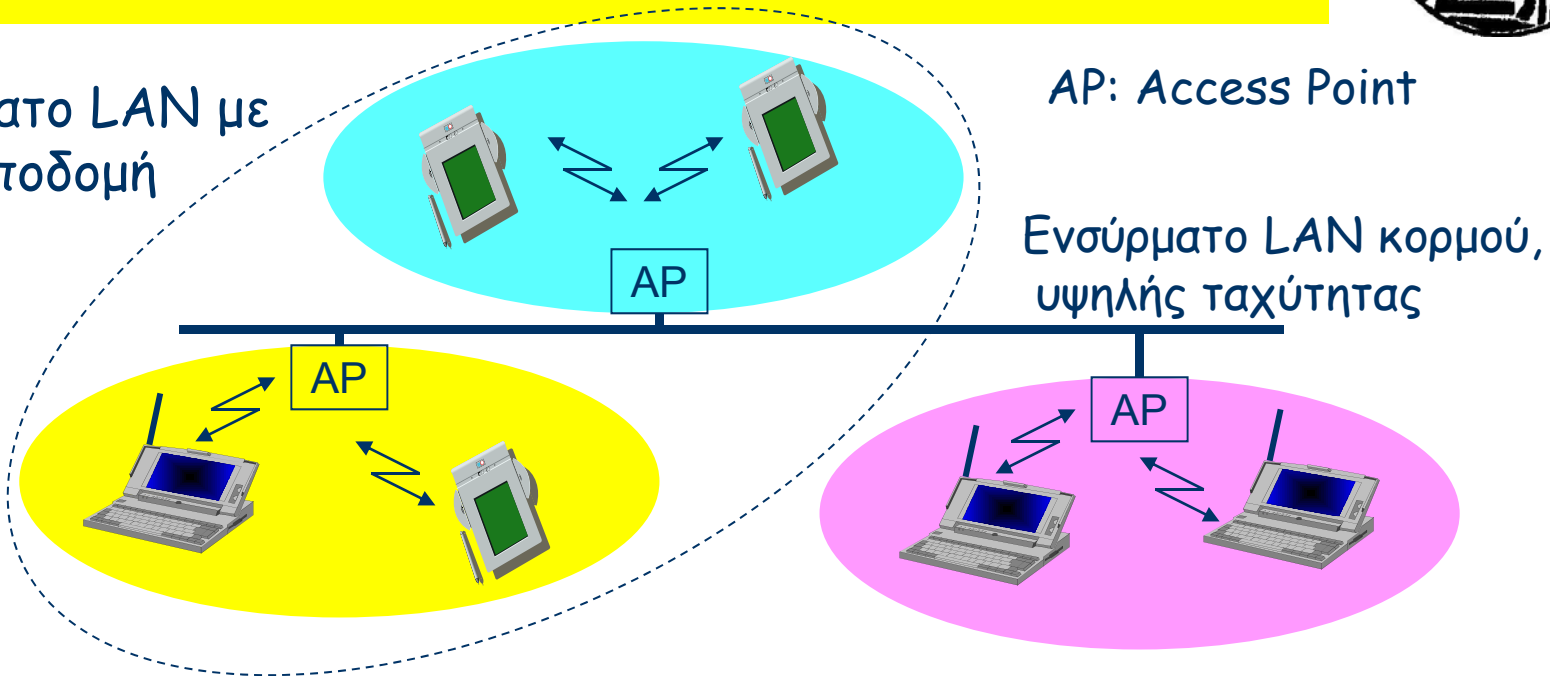


- Διέλευση
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού σταθμών
- Επικοινωνία με σταθμούς ενσύρματων LAN
- Περιοχή κάλυψης ακτίνας 50 ÷ 150 m
- Περιορισμένη κατανάλωση ισχύος από τους κινητούς host
- Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια επικοινωνίας
- Λειτουργία χωρίς άδεια
- Κινητικότητα (διαπομπή/περιαγωγή)
- Δυναμική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

# Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



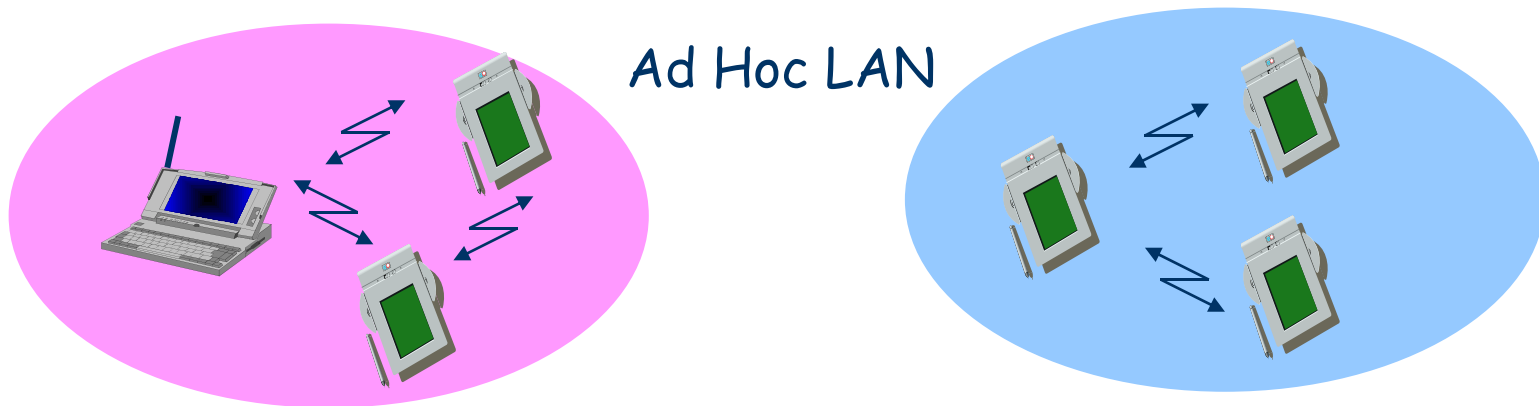
Ασύρματο LAN με υποδομή



AP: Access Point

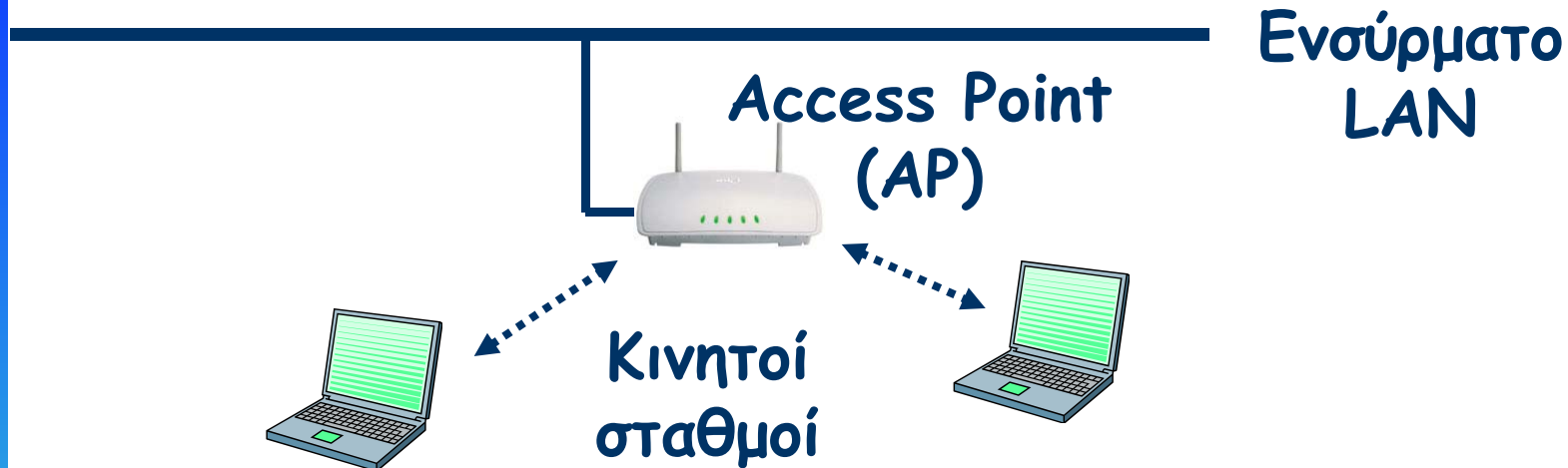
Ενσύρματο LAN κορμού, υψηλής ταχύτητας

Ad Hoc LAN



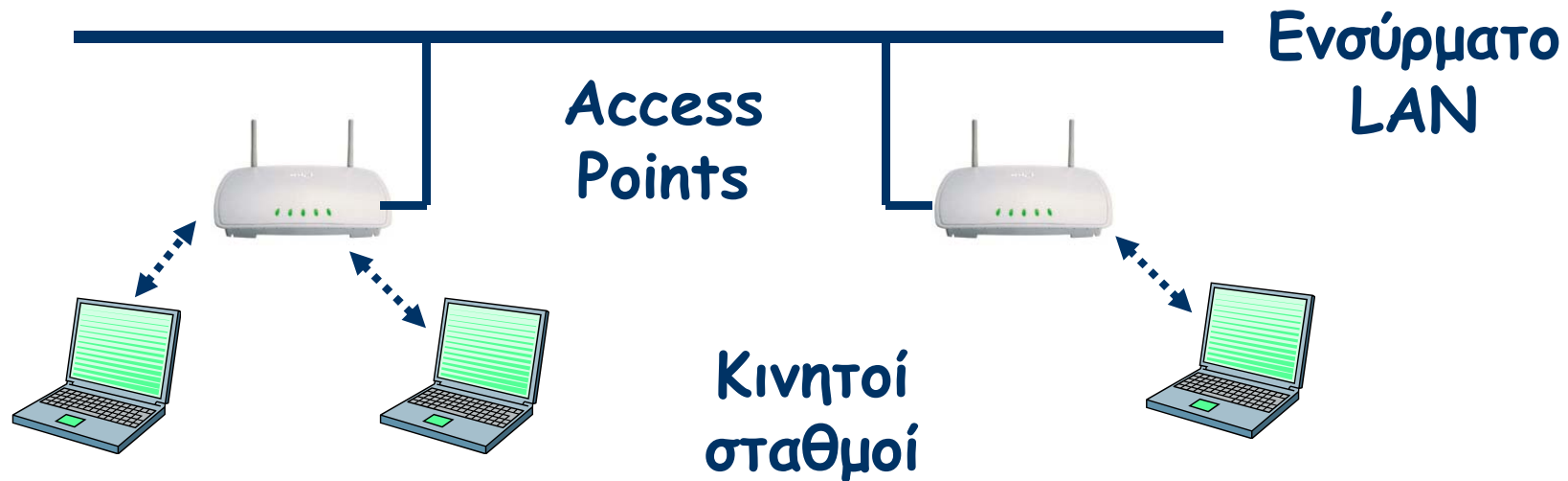


# Δίκτυο με υποδομή (1)



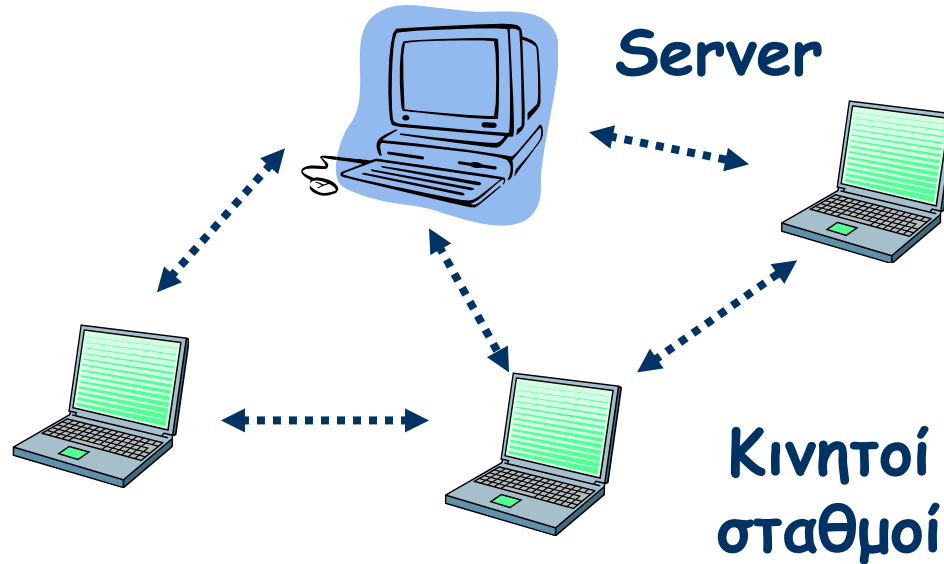
- Basic Service Set (BSS)
- Το σημείο πρόσβασης λειτουργεί ως τοπική γέφυρα
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μέσω του AP, το οποίο αναμεταβιβάζει πλαίσια από και προς τους κινητούς σταθμούς

# Δίκτυο με υποδομή (2)



- Extended Service Set (ESS)
- Σύνολο από BSS με υποδομή
- Τα AP επικοινωνούν μεταξύ τους για να προωθούν τα πλαίσια μεταξύ των BSS και να διευκολύνουν τη μετακίνηση των σταθμών μεταξύ των BSS

# Δίκτυο Ad Hoc

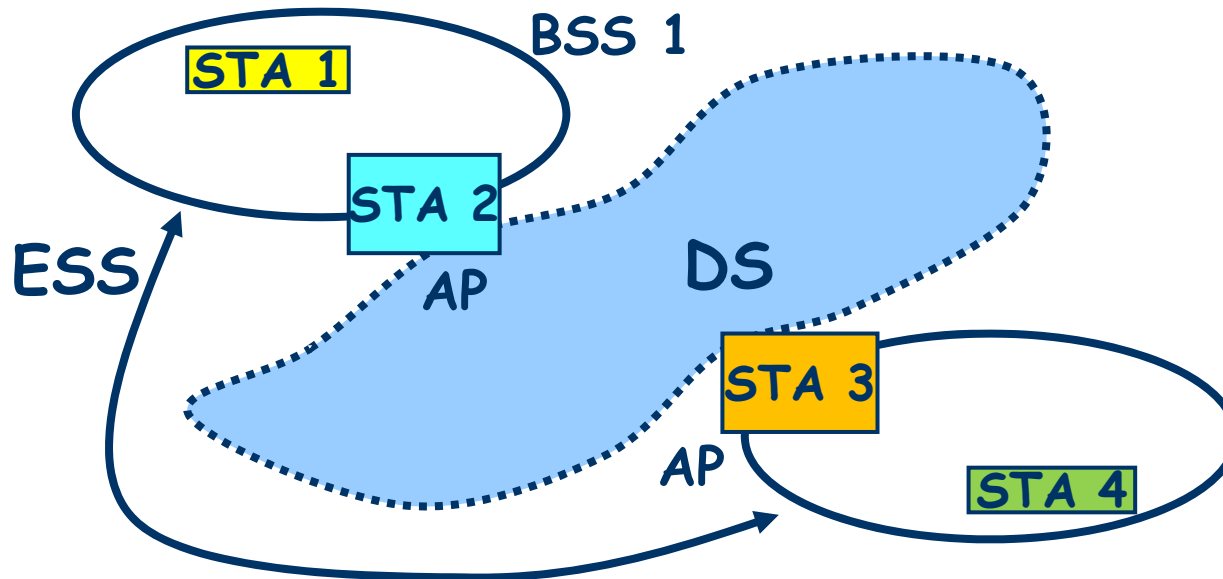


- Independent Basic Service Set (IBSS)
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μεταξύ τους
- Όταν δεν υπάρχει άμεση ζεύξη μεταξύ δύο σταθμών, ένας τρίτος μπορεί να λειτουργεί ως αναμεταβιβαστής (multi-hop communications)

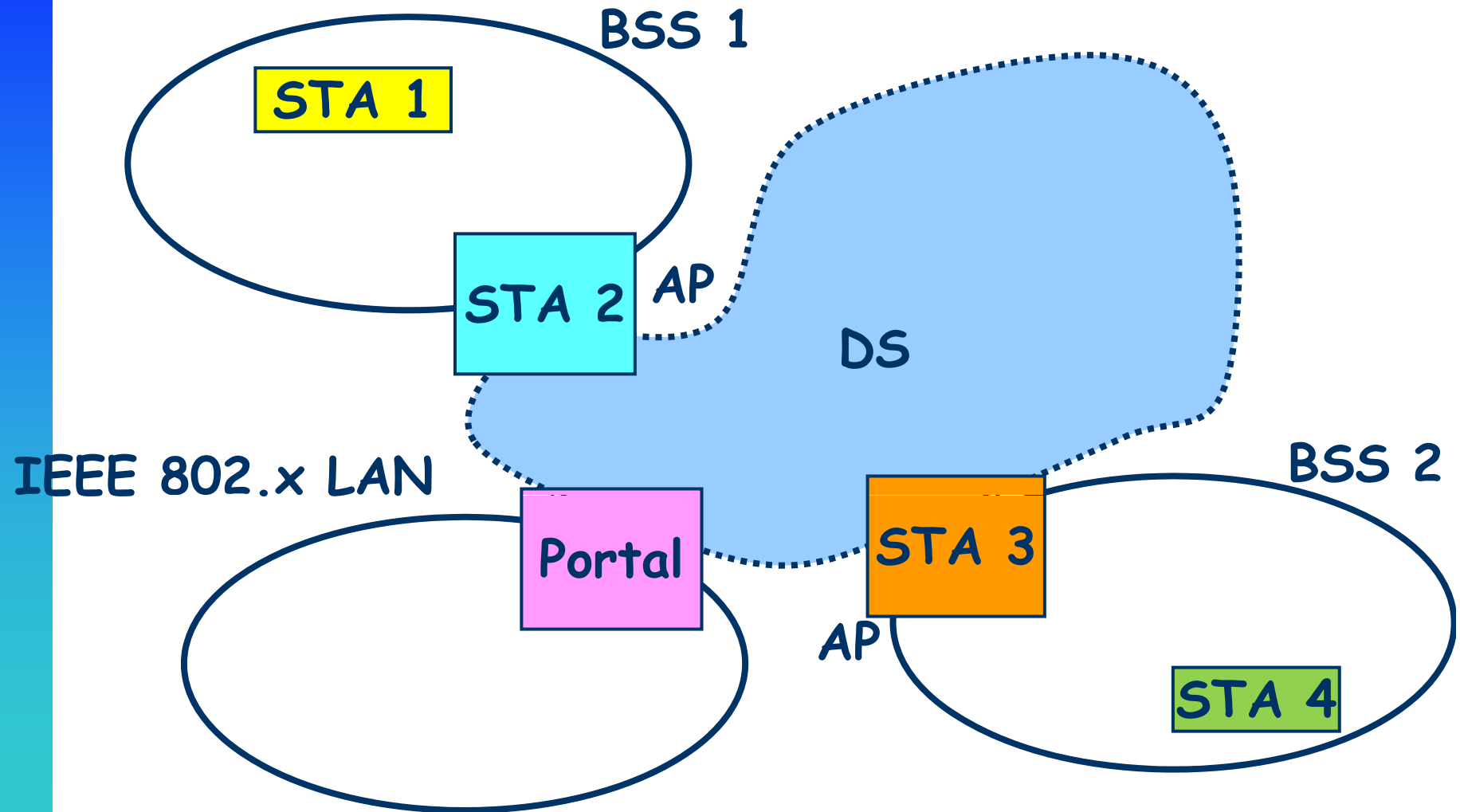
# Σύστημα διανομής



- Το σύστημα διανομής (distribution system - DS) χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των BSS
  - **Ενσωματωμένο:** Ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο
  - **Ενσύρματο:** Τα AP συνδέονται με καλώδια
  - **Ασύρματο:** Τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο



# Ολοκλήρωση με ενσύρματα LAN



# Πρότυπο ΙΕΕΕ 802.11

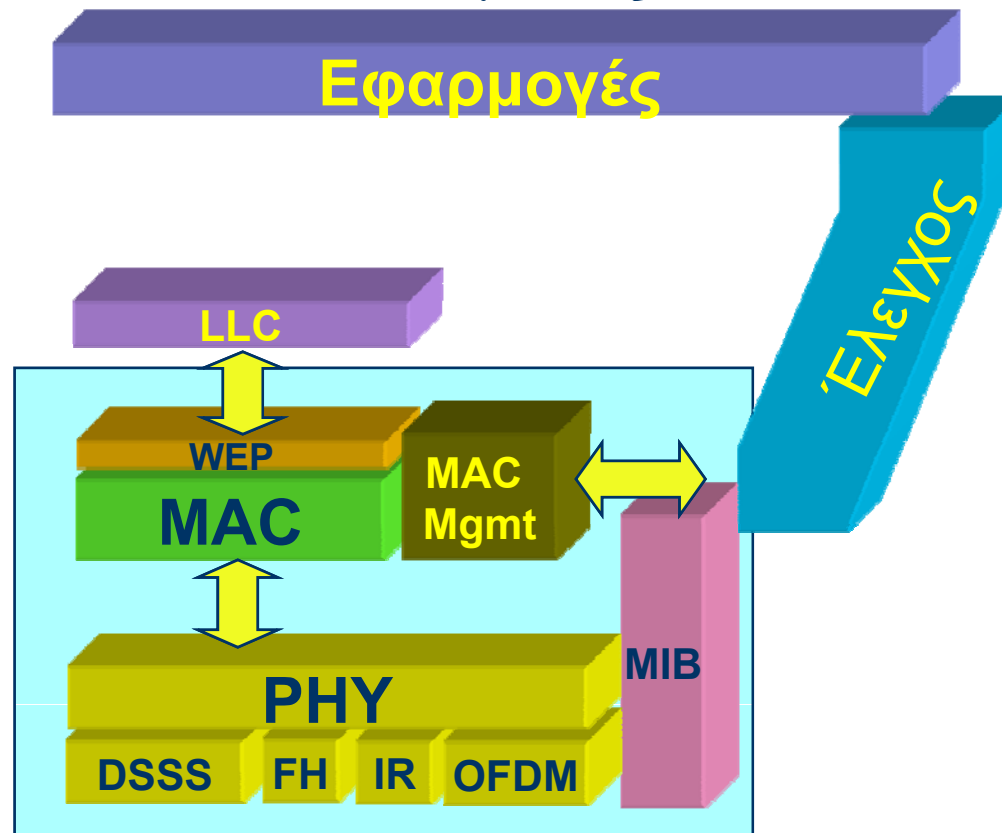


- Η πρώτη προδιαγραφή εγκρίθηκε το 1997
- Λειτουργεί στη ζώνη 2.4 GHz industrial, scientific and medical (ISM)
- Το πρότυπο προδιαγράφει το φυσικό στρώμα (PHY) και το MAC
  - Το στρώμα 802.11 MAC πραγματοποιεί επίσης λειτουργίες που σχετίζονται με ανώτερα στρώματα (π.χ., θρυμματισμό, διόρθωση λαθών, διαχείριση κινητικότητας)
- Αρχικά ορίστηκε να λειτουργεί στα 1 και 2 Mbps
  - DSSS, FHSS ή υπέρυθρες
  - Επεκτάσεις (ΙΕΕΕ 802.11b, ΙΕΕΕ 802.11a, κλπ.) επιτρέπουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και (στην περίπτωση του 802.11a) διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων

# Προδιαγραφές 802.11



- Καλύπτουν τα στρώματα κάτω από το LLC
- Περιλαμβάνουν και τις διεπαφές ελέγχου/διαχείρισης



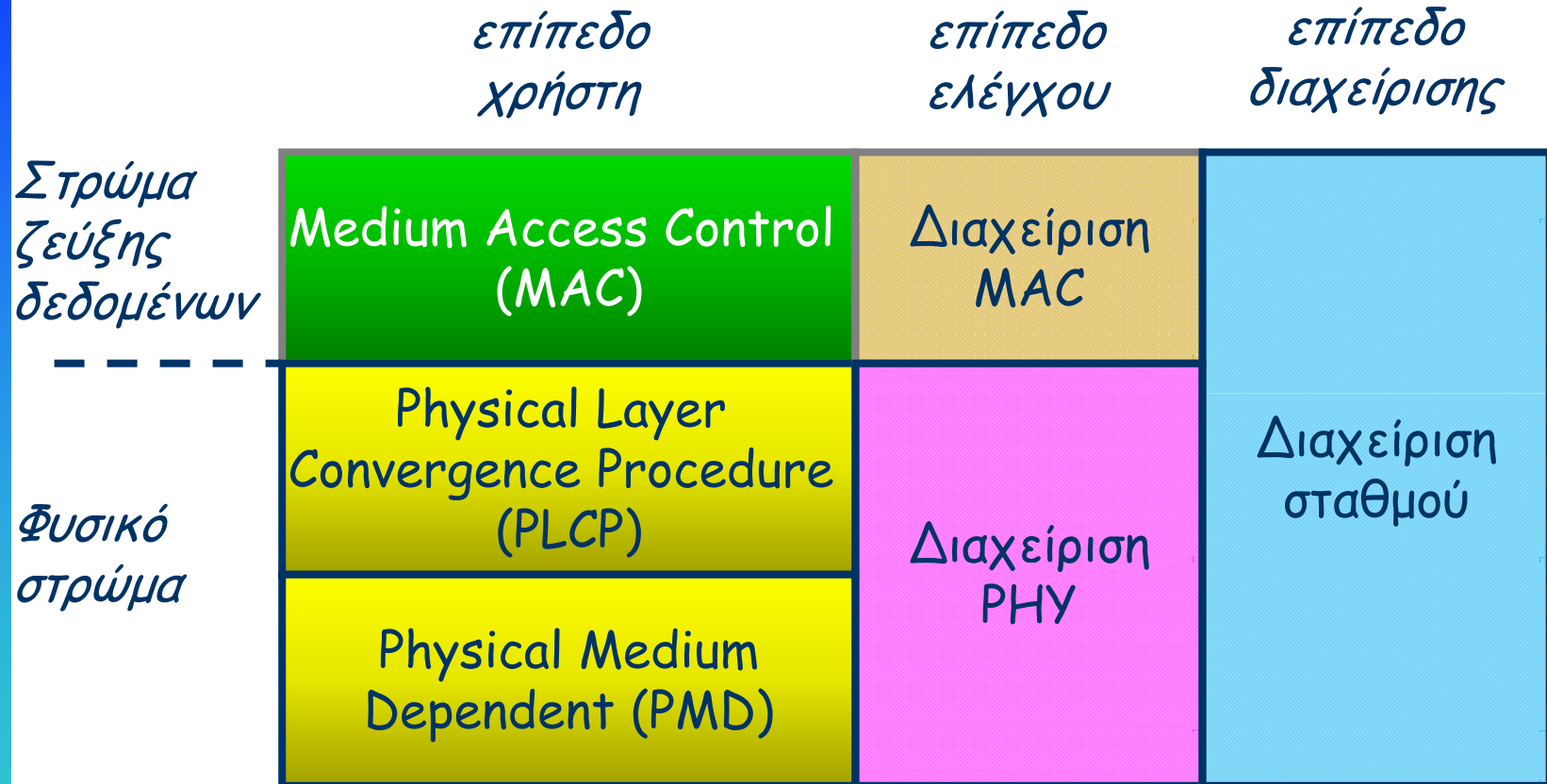
# Οικογένεια ΙΕΕΕ 802.11



- ΙΕΕΕ 802.11a
  - Μέχρι 54 Mbps στη ζώνη 5 GHz
  - Χρησιμοποιεί OFDM
- ΙΕΕΕ 802.11b (Wi-Fi)
  - 11 Mbps (με μετάπτωση στα 5.5, 2 και 1 Mbps) στη ζώνη 2.4 GHz
  - Χρησιμοποιεί DSSS
- ΙΕΕΕ 802.11g
  - Μέχρι 54 Mbps στη ζώνη 2.4 GHz
  - Χρησιμοποιεί OFDM (αντιγραφή από το 802.11a)
  - Μεταπίπτει σε DSSS και ρυθμούς 1, 2, 5.5, 11 Mbps για συμβατότητα με το 802.11b



# Μοντέλο αναφοράς ΙΕΕΕ 802.11



# Μοντέλο αναφοράς



- **Physical Medium Dependent (PMD)**
  - Καθορίζει μέθοδο εκπομπής και λήψης δεδομένων στο μέσο μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων και της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης
  - Εξαρτάται από το κατά πόσο χρησιμοποιείται DSSS, FHSS ή IR
- **Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)**
  - Αντιστοιχίζει την PDU του στρώματος MAC σε πακέτο κατάλληλο για μετάδοση στο στρώμα PMD
  - Πραγματοποιεί ανίχνευση φέροντος
- **MAC**
  - Καθορίζει τον μηχανισμό πρόσβασης με βάση το CSMA
  - Πραγματοποιεί θρυμματισμό και κρυπτογράφηση των πακέτων δεδομένων

# Συσχέτιση - Association



- Για να αποστείλει κάποιος κινητός σταθμός ένα μήνυμα θα πρέπει να γνωρίζει σε ποιο AP θα κάνει πρόσβαση
- Πριν επιτραπεί σε κάποιον σταθμό να στείλει ένα μήνυμα μέσω κάποιου AP, πρέπει ο σταθμός να **συσχετισθεί** με το υπόψη AP
  - Κάθε στιγμή ο σταθμός πρέπει να είναι συσχετισμένος με ένα μόνο AP
  - Ένα AP μπορεί να είναι συσχετισμένο με πολλούς σταθμούς
- Καθώς κινείται μεταξύ των BSS, ένας κινητός σταθμός μπορεί να επανασυσχετισθεί με διαφορετικό AP

# Πιστοποίηση αυθεντικότητας Authentication



- Έλεγχος της πρόσβασης στην υποδομή
- Οι σταθμοί δηλώνουν την ταυτότητά τους σε άλλους σταθμούς ή στο AP πριν την αποστολή δεδομένων (ή τη συσχέτιση)
- Ανοικτό σύστημα (Open System Authentication)
  - Δεν χρησιμοποιεί αλγόριθμο πιστοποίησης αυθεντικότητας
  - Προεπιλεγμένο (default)
- Διαμοιραζόμενο κλειδί (Shared Key Authentication)
  - Χρήση αλγορίθμων κρυπτογράφησης (π.χ. WEP privacy algorithm)
  - Προαιρετικό

# Προστασία απορρήτου



- Η default κατάσταση είναι "in the clear" και τα μηνύματα δεν κρυπτογραφούνται
- Προβλέπεται κατ' επιλογή μηχανισμός κρυπτογράφησης, WEP
  - Στόχος είναι να επιτευχθεί ένα επίπεδο ασφάλειας, τουλάχιστον όπως σ' ένα ενσύρματο LAN
- Σημειώνεται ότι η κρυπτογράφηση που παρέχει το WEP είναι σχετικά εύκολο να "σπάσει".

# IEEE 802.11: MAC



- Distributed Coordination Function (DCF)
  - Οι σταθμοί ανταγωνίζονται για την πρόσβαση στο μέσο και μεταδίδουν όταν το μέσο γίνει αδρανές
  - Υποχρεωτική στο 802.11
- Point Coordination Function (PCF)
  - Λειτουργεί μόνο σε συνδυασμό με την DCF
  - Προαιρετική
  - Το AP ερωτά τους σταθμούς σε περιόδους χωρίς ανταγωνισμό και δίνει πρόσβαση σε ένα σταθμό
    - Μετά το πέρας της περιόδου χωρίς ανταγωνισμό ακολουθεί περίοδος ανταγωνισμού

# Βασικές λειτουργίες



- Ανίχνευση φέροντος - *Carrier sensing (CSMA)*
  - Στον ραδιοδίαυλο (*physical carrier sensing*)
  - Στο στρώμα MAC (*virtual carrier sensing*)
- Ανίχνευση συγκρούσεων - *Collision Detection (CD)*
  - Στον ραδιοδίαυλο δεν διαφέρει από τη λάθος μετάδοση
  - Αποστολή επιβεβαίωσης στο στρώμα MAC

# Φυσική ανίχνευση φέροντος



- Πώς γίνεται;
  - Ανιχνεύει την παρουσία άλλων χρηστών βλέποντας τα πακέτα
  - Ανιχνεύει τη δραστηριότητα στον δίαυλο μέσω της ισχύος του σήματος από άλλες πηγές
- Η φυσική ανίχνευση φέροντος έχει λόγο εφαρμογής στα ασυρματικά δίκτυα:
  - **όχι φέρον** → **μπορείς να μεταδώσεις**
  - εάν μεταδίδει μόνο ένας σταθμός έχει διαθέσιμο όλο το εύρος ζώνης
  - **φέρον** → **μη μεταδώσεις**
  - εάν ακούσει άλλη μετάδοση, δεν θα προκαλέσει σύγκρουση
    - εάν δύο σταθμοί μεταδώσουν ταυτόχρονα, υπάρχει σύγκρουση



# Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD:

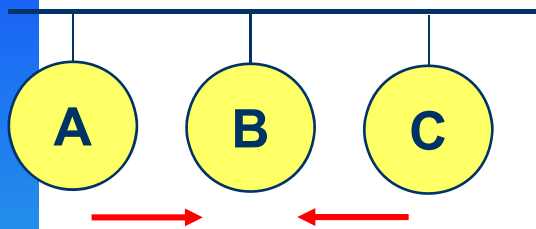


- Στο IEEE 802.3 (Ethernet), ο σταθμός ακούει το μέσο, μεταδίδει όταν το μέσο είναι ελεύθερο και παρακολουθεί για συγκρούσεις
  - Εάν ανιχνεύσει σύγκρουση, μετά μια περίοδο οπισθοχώρησης, ο σταθμός επαναμεταδίδει
- Η ανίχνευση σύγκρουσης δεν είναι εφικτή στα WLAN
  - Ο σταθμός δε γνωρίζει το κατά πόσο το σήμα αλλοιώθηκε στην γειτονιά του δέκτη
- Το IEEE 802.11 χρησιμοποιεί Carrier Sense Multiple Access (CSMA), αλλά αντί της ανίχνευσης σύγκρουσης υιοθετεί την **αποφυγή σύγκρουσης**

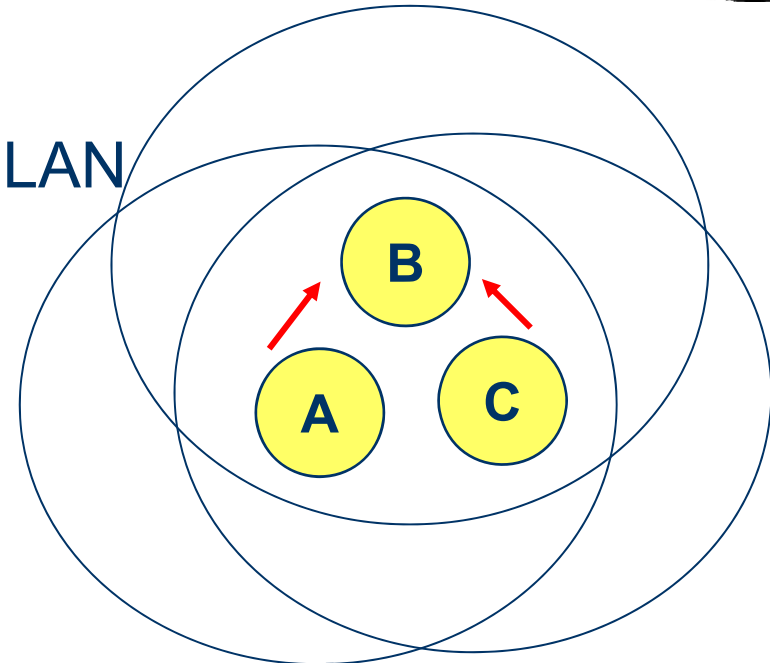
# Διαφορά μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων δικτύων



Ethernet LAN



Ασύρματο LAN



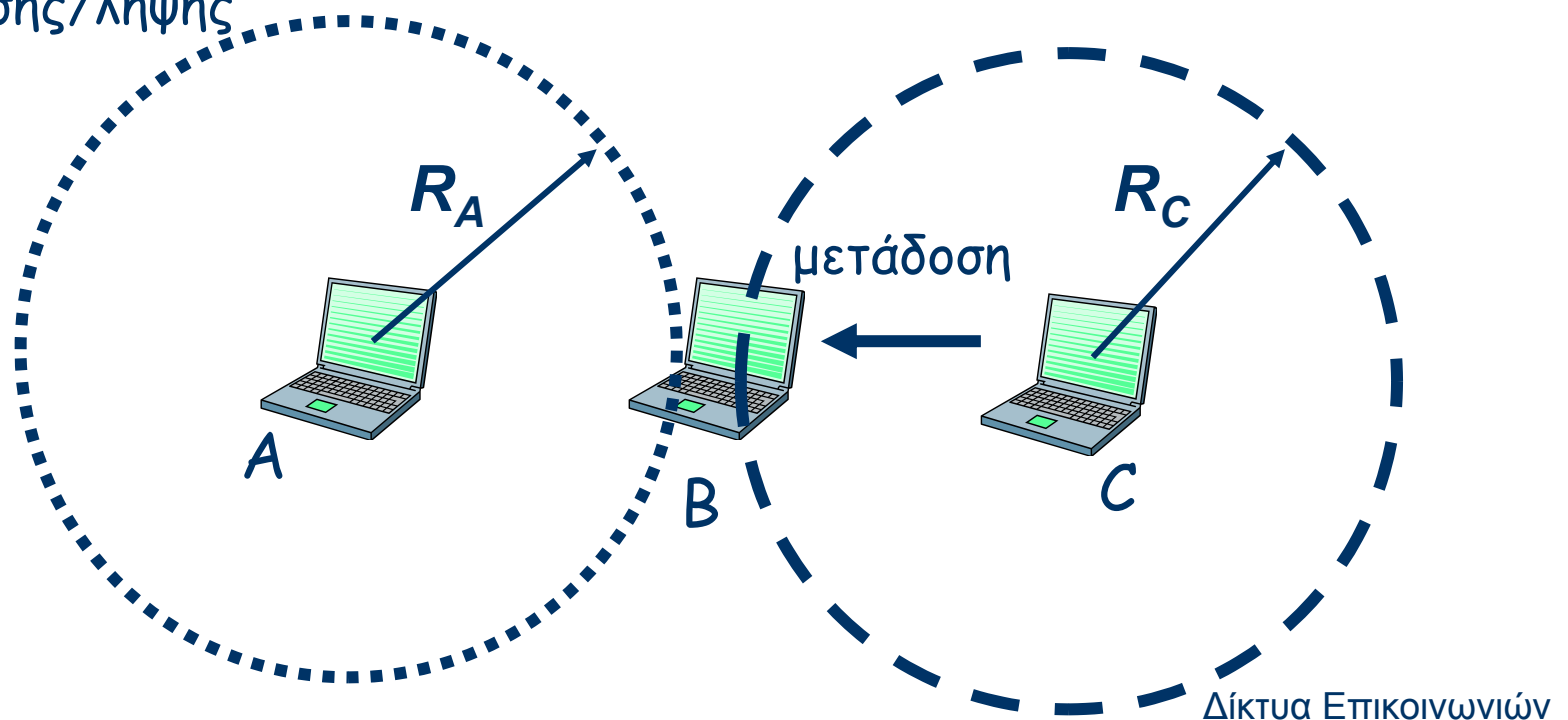
- Εάν αμφότεροι οι A και C αντιληφθούν ταυτόχρονα το κανάλι άδειο θα στείλουν
  - στο Ethernet, η σύγκρουση θα ανιχνευθεί από τον **αποστολέα**
  - στα ασύρματα LAN, μόνο ο **παραλήπτης** την ανιχνεύει

# Το πρόβλημα κρυμμένου κόμβου



- Ο σταθμός A δε ξέρει ότι ο σταθμός B είναι απασχολημένος λαμβάνοντας από τον σταθμό C
  - Μπορεί να αρχίσει τη δικιά του μετάδοση και να προκαλέσει σύγκρουση

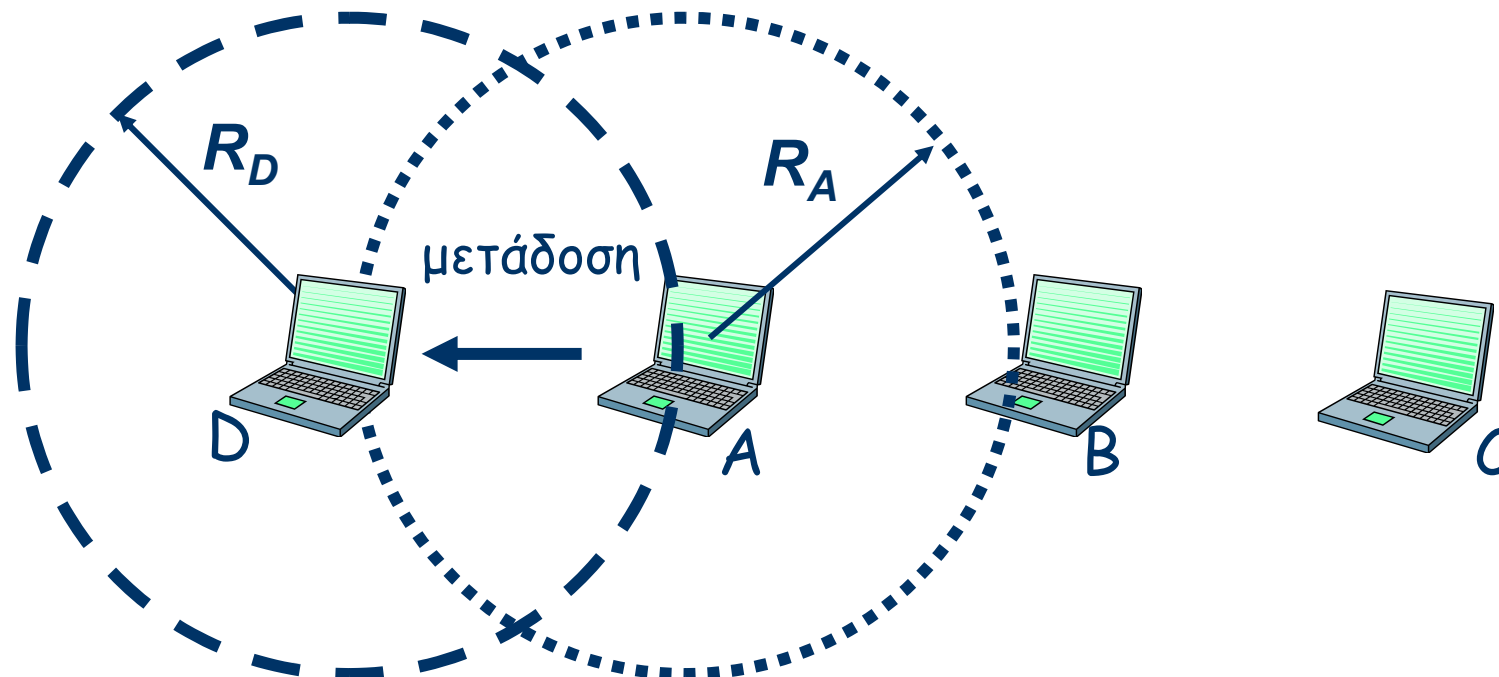
Εμβέλεια  
μετάδοσης/λήψης  
του A



# Το πρόβλημα εκτεθειμένου κόμβου



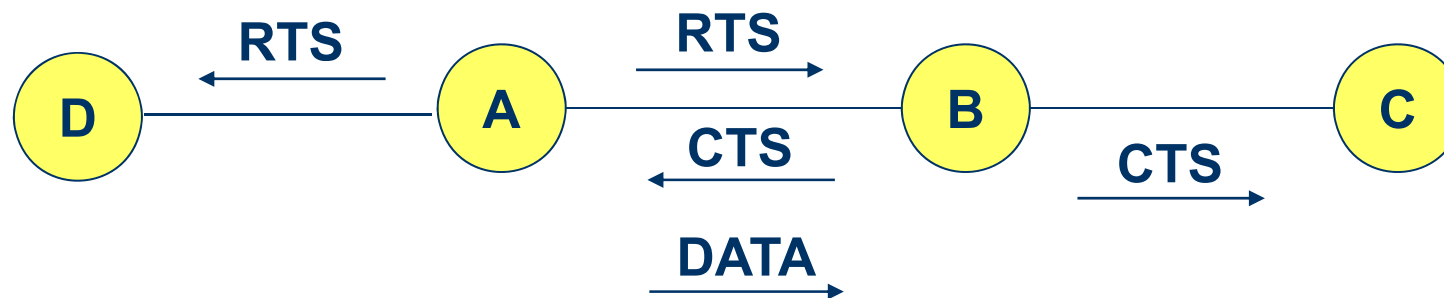
- Ο σταθμός B θέλει να μεταδώσει στον C, αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει τη μετάδοση του A προς τον D
  - **Απέχει από τη μετάδοση (μειωμένη απόδοση)**



# Μια λύση



- Ο Α στέλνει πρώτα το *Request-to-Send (RTS)* στον Β
- Λαμβάνοντας το *RTS*, ο Β απαντά με *Clear-to-Send (CTS)*
- Ο κρυμμένος κόμβος C ακούει το *CTS* και παραμένει σιωπηλός
- Ο εκτεθειμένος κόμβος ακούει το *RTS* αλλά όχι το *CTS*
  - Η μετάδοση από τον D δεν θα παρεμβάλει στον Β



- Αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος (*virtual carrier sense*)



# Ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση

WiMAX

# Το πρότυπο ΙΕΕΕ 802.16



- Οικογένεια πρωτοκόλλων για μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα (WMAN)
  - Καθορίζει ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA - Broadband Wireless Access) για σταθερούς και νομαδικούς χρήστες
- Υποστηρίζει
  - Πολλά φυσικά στρώματα
  - Προηγμένα συστήματα κεραιών
  - Κινητούς σταθμούς συνδρομητών
  - Επικοινωνία σημείου προς πολλαπλά σημεία
  - Ανάπτυξη σε διάταξη πλέγματος
- Εφαρμογές κατά πολύ ευρύτερες της απλής ασυρματικής πρόσβασης στο "τελευταίο χιλιόμετρο"

# Πλεονεκτήματα



- Ταχύτητα μετάδοσης
  - Γρηγορότερο από τις συνήθεις ευρυζωνικές υπηρεσίες
- Ασύρματο
  - Δεν απαιτείται εγκατάσταση καλωδίων
  - Εύκολη εγκατάσταση σε αγροτικές περιοχές
- Ευρεία κάλυψη
  - Πολύ μεγαλύτερη κάλυψη από τα WLAN
- Κλιμάκωση
- Ποιότητα υπηρεσίας
- Πολύ καλές επιδόσεις
- Βεληνεκές
- Ασφάλεια



# Σχετική επίδοση



	Εύρος ζώνης	Μέγιστος ρυθμός	Μέγιστο bps/Hz
802.11	20 MHz	54 Mbps	2.7 bps/Hz
802.16	1.5 -20 MHz	100 Mbps	5.0 bps/Hz

# Κλιμάκωση



- Το πρότυπο 802.16 είναι ευέλικτο σχήμα όσον αφορά τις συχνότητες και το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων
  - Δίαυλοι 1.5 MHz μέχρι 20 MHz
- Το MAC υποστηρίζει εκατοντάδες ή ακόμη χιλιάδες χρήστες σε έναν ραδιοδίαυλο
- Το MAC έχει σχεδιαστεί για κλιμάκωση ανεξάρτητα του εύρους ζώνης διαύλου
- Καθώς ο αριθμός συνδρομητών αυξάνει, το φάσμα μπορεί να αναδιανεμηθεί
  - Ο πάροχος μπορεί να προβεί σε χωρισμό σε τομείς

# Ποιότητα υπηρεσίας



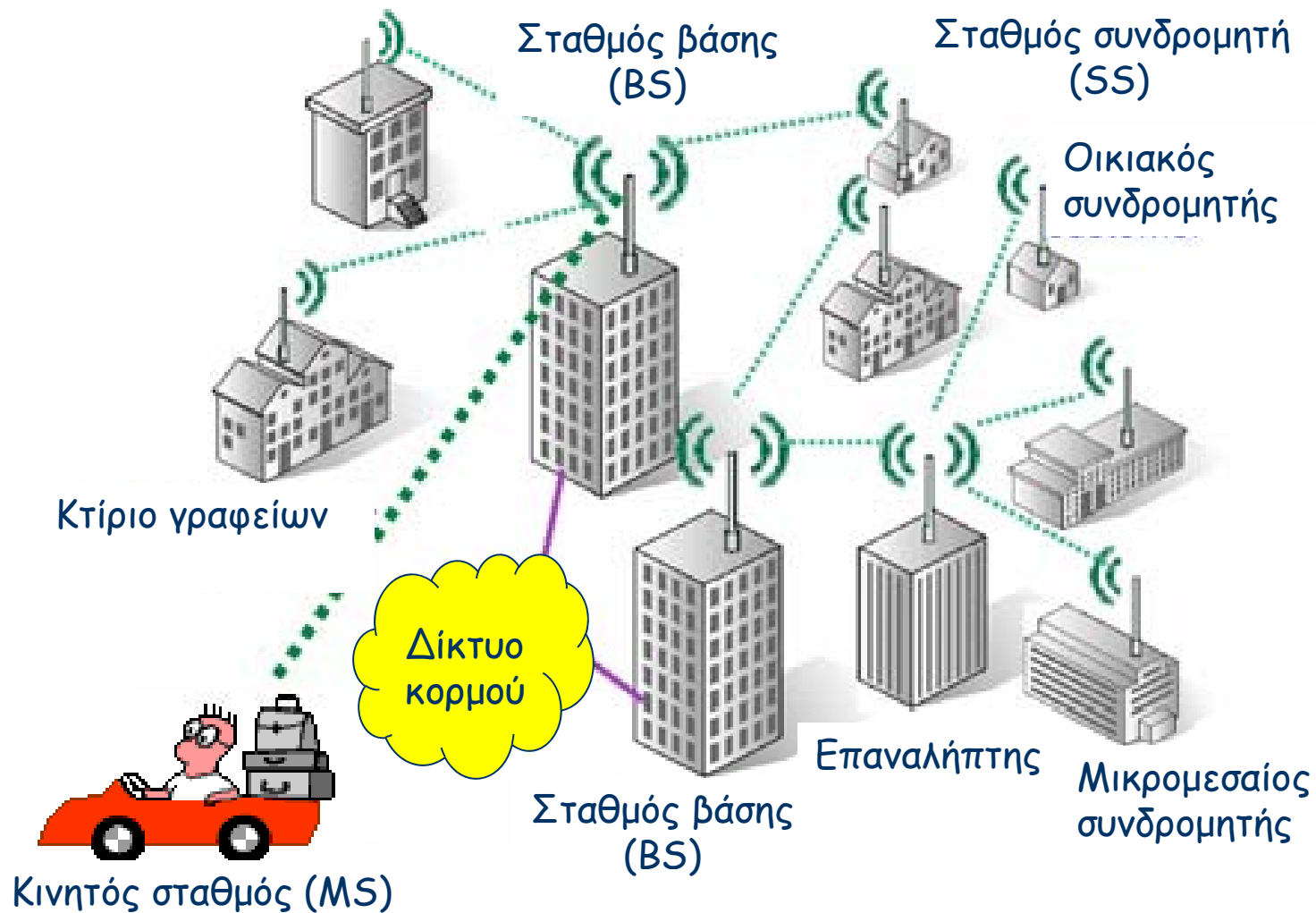
- Σχεδιασμένο εξ αρχής για να υποστηρίξει φωνή και video
- Μηχανισμός ζήτησης-παράδοσης εύρους ζώνης
- Σηματοδοσία για τη δυναμική εγκατάσταση (QoS enabled) υπηρεσιών και ροών
- Υποστήριξη διαφοροποιημένων υπηρεσιών
- Κεντρική επιβολή QoS σε συνδυασμό με επιπλέον μηχανισμούς για από άκρο σε άκρο επιτήρηση καθώς και αστυνόμευση των σταθμών
  - Καθορισμός της σειράς και του χρονοδιαγράμματος εκπομπής στον ραδιοδίαυλο
  - Λειτουργίες για την εκ των προτέρων ρύθμιση των παραμέτρων QoS των υπηρεσιών και ροών ανά σταθμό

# Βεληνεκές



- Βελτιστοποιημένο για λειτουργία μέχρι τα 50 km
- Σχεδιασμένο για χρήστες κατανεμημένους σε ευρείες περιοχές
- Ανεκτικό σε μεγάλες εξαπλώσεις καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών μέχρι 10 μs
- Τα στρώματα PHY και MAC σχεδιάσθηκαν με την υπόθεση βεληνεκούς πολλών χιλιομέτρων

# Πώς δουλεύει το WiMAX;



# Το σύστημα WiMAX



- Ο σταθμός βάσης WiMAX είναι αντίστοιχος με τον σταθμό βάσης της κινητής τηλεφωνίας
  - Ένας σταθμός βάσης WiMAX μπορεί να καλύψει μια πολύ μεγάλη περιοχή (μέχρι 8.000 km<sup>2</sup>)
- Ο δέκτης έχει μικρό σχετικά μέγεθος και δυνητικά θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε ένα υπολογιστή όπως οι κάρτες WiFi



# Γενικά χαρακτηριστικά



- Αρχιτεκτονική σημείο προς πολλαπλά σημεία
- Μητροπολιτικό δίκτυο πρόσβασης
- Λειτουργία TDD ή FDD
- Ανεξαρτησία από τα πρωτοκόλλα σταθερού δικτύου (ATM, IP, Ethernet)
- Υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών με QoS
- Στρώμα MAC σχεδιασμένο με σκοπό τη βελτιστοποίηση χρήσης του φάσματος
- Οι τρόποι πρόσβασης στο φυσικό μέσο παρέχουν σημαντική ευελιξία στη χρήση διαθέσιμων συχνοτήτων < 11 GHz και 10-66 GHz

# Τρόποι λειτουργίας



- Χωρίς οπτική επαφή
  - Χρησιμοποιεί συχνότητες χαμηλότερες των 11 GHz
- Με οπτική επαφή
  - Χρησιμοποιεί συχνότητες υψηλότερες των 10 GHz

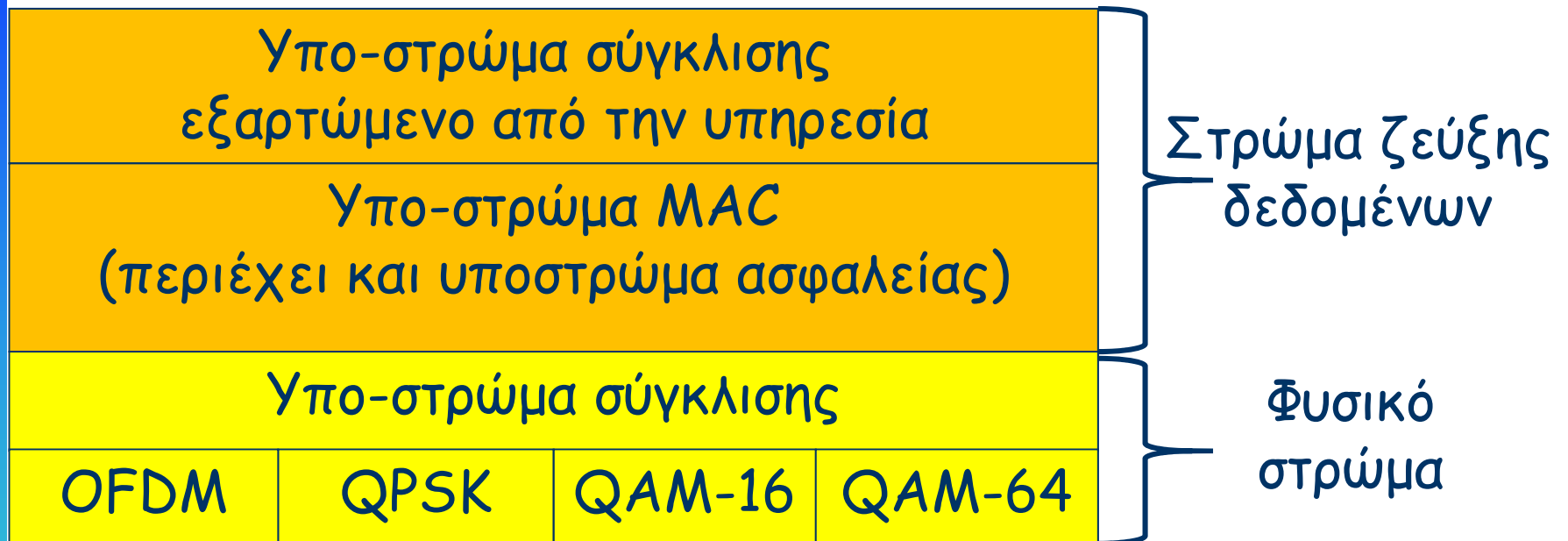


# Υπηρεσίες ΙΕΕΕ 802.16



- Πολλαπλή διανομή ήχου/βίντεο
- Ψηφιακή τηλεφωνία
- ΑΤΜ
- Διαδίκτυο
- Γεφύρωση LAN
- Διασύνδεση Backhaul
- Frame relay

# Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων 802.16



# Λειτουργίες υποστρώματος σύγκλισης



- Διεπαφή με τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων
  - Ενθυλάκωση πλαισίων (PDU) πρωτοκόλλων ανώτερων στρωμάτων στα πλαίσια του 802.16 MAC
- Κατηγοριοποίηση κίνησης ανώτερων στρωμάτων και αντιστοίχισή της με την κατάλληλη ροή και σύνδεση MAC
  - Προσαρμογή των χρονικών εξαρτήσεων της τηλεπικοινωνιακής κίνησης σε ισοδύναμες υπηρεσίες MAC
  - Μετάφραση παραμέτρων QoS των ανώτερων πρωτοκόλλων στη μορφή 802.16 MAC

# Λειτουργίες στρώματος ΜΑC



- Χρονοπρογραμματισμός μεταδόσεων στη ροή ανόδου
  - Η μετάδοση στο φυσικό στρώμα υπόκειται σε QoS
- Αιτήσεις και παροχές εύρους ζώνης
- Εγκατάσταση συνδέσεων
- Θρυμματισμός (fragmentation), πακετάρισμα
- ARQ
- Περιέχει υπο-στρώμα ασφάλειας
  - Πιστοποίηση αυθεντικότητας
  - Κρυπτογράφηση
  - Ασφαλής ανταλλαγή κλειδιών

# Μετάδοση πλαισίων



- Τα πλαίσια MAC μεταδίδονται στο φυσικό στρώμα ως ριπές
- Η ριπή στο φυσικό στρώμα περιλαμβάνει πολλές χρονοθυρίδες
- Συνάθροιση (Concatenation)
  - Πολλά πλαίσια συναθροίζονται σε μία ριπή μετάδοσης είτε στην κάθοδο ή στην άνοδο
- Θρυμματισμός
  - Κάθε πλαίσιο μπορεί να θρυμματισθεί σε περισσότερα πλαίσια
- Πακετάρισμα
  - Πολλά πλαίσια πακετάρονται σε ένα πλαίσιο

# Χαρακτηριστικά διαύλων



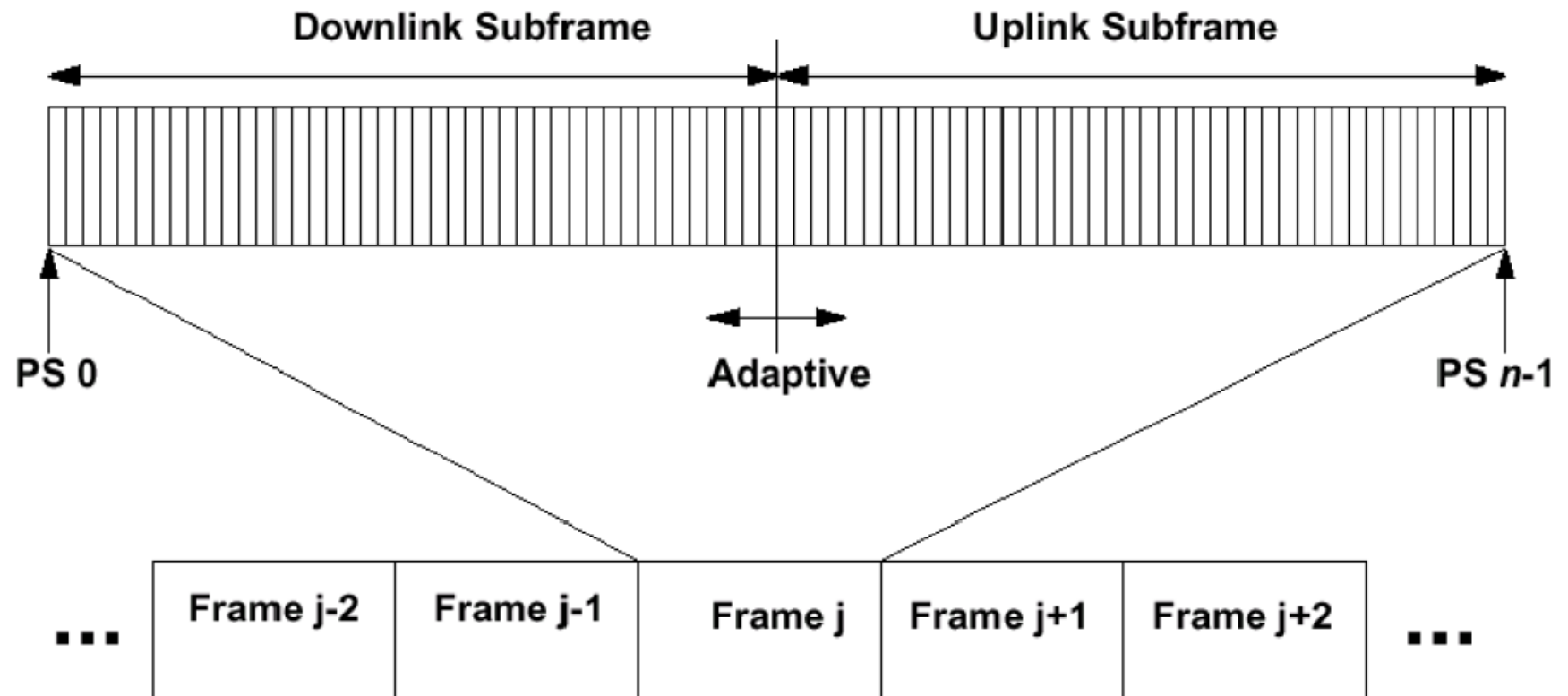
- 10-66 GHz
  - Ευαισθησία σε πολλαπλές διαδρομές
  - Απαιτείται οπτική επαφή (LOS)
  - Η απόσβεση λόγω βροχής είναι σημαντικό θέμα
  - Φυσικό στρώμα με ένα φέρον (SC)
- 2-11 GHz
  - Ανοχή σε πολλαπλές διαδρομές
  - Δεν απαιτείται οπτική επαφή (NLOS)
  - Φυσικό στρώμα με ένα φέρον (SC) ή περισσότερα φέροντα (OFDM, OFDMA)

# Πολλαπλή πρόσβαση και αμφιδρόμηση



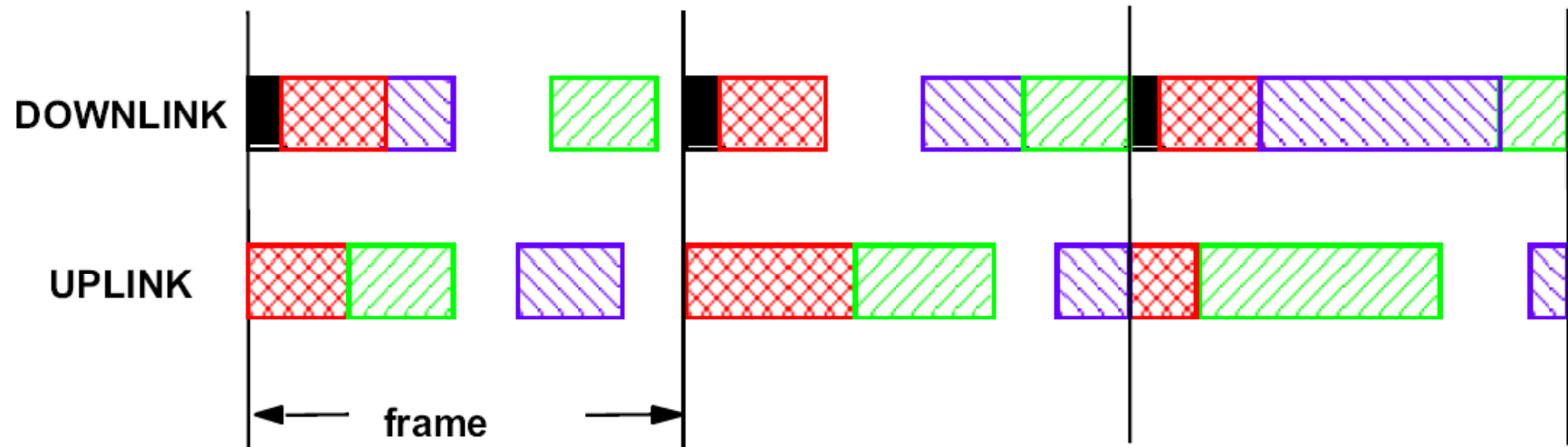
- Στην κάθοδο η ροή είναι TDM και οι σταθμοί προσφωνούνται με τη σειρά
- Στην άνοδο διατίθεται στους σταθμούς μια σχισμή μεταβλητού μήκους σε ροή TDMA
- Time Division Duplexing (TDD)
  - Η άνοδος και η κάθοδος μοιράζονται τον ίδιο ραδιοδίαυλο
  - Δυναμική ασυμμετρία
  - Οι SS δεν μεταδίδουν και λαμβάνουν ταυτόχρονα
- Frequency Division Duplexing (FDD)
  - Η άνοδος και η κάθοδος σε διαφορετικούς ραδιοδίαυλους
  - Στατική ασυμμετρία
  - Υποστηρίζεται ημι-αμφίδρομη μετάδοση
    - Οι SS δεν μεταδίδουν και λαμβάνουν ταυτόχρονα

# Time Division Duplexing (TDD)





# Frequency Division Duplexing (FDD)



Broadcast



Half Duplex Terminal #1



Full Duplex Capable User



Half Duplex Terminal #2



- Με συνδέσεις (Connection-oriented)
  - Όλες οι χωρίς σύνδεση (connectionless) υπηρεσίες αντιστοιχίζονται σε μία σύνδεση
  - Σε κάθε διεύθυνση, οι συνδέσεις προσδιορίζονται από μια ταυτότητα 16 bit την CID (connection identifier)
- Βασική αρχή του σχεδιασμού του MAC είναι η εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS)
- Η QoS παρέχεται μέσω ροών υπηρεσίας (service flows)
  - Μονόφορες ροές πακέτων με συγκεκριμένες παραμέτρους QoS
    - Κάθε CID σχετίζεται με την SFID (Service Flow ID) που καθορίζει τις παραμέτρους ποιότητας για τη συγκεκριμένη σύνδεση
  - Εφαρμογή τόσο στην κάθοδο (DL) και στην άνοδο (UL)

# Bluetooth



- Τεχνολογία αντικατάστασης των καλωδίων
- Μικρής εμβέλειας ασύρματες ζεύξεις
- Μικρό, φθηνό radio chip για να εγκαθίσταται σε υπολογιστές, τηλέφωνα, palmtop, εκτυπωτές, κλπ.
- Το Bluetooth επινοήθηκε το 1994
- Το Bluetooth Special Interest Group (SIG) ιδρύθηκε το 1998 από Ericsson, IBM, Intel, Nokia και Toshiba για να αναπτύξει μια ανοικτή προδιαγραφή
  - Τώρα συμμετέχουν πάνω από 2500 εταιρίες

# Bluetooth: Σχεδιαστικός στόχος

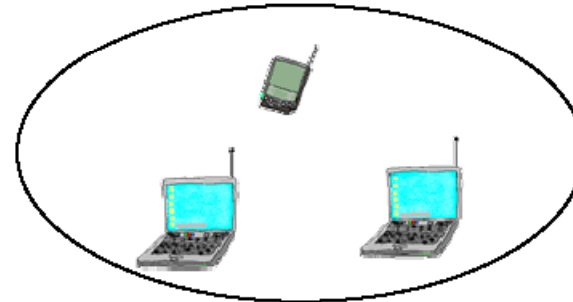


- Τεχνολογία αντικατάστασης καλωδίων
  - 1 Mb/s
  - απόσταση κάλυψης 10+ μέτρα
  - ασύρματη μετάδοση + βασική ζώνη (ψηφιακό μέρος) με ένα chip
    - χαμηλή ισχύς
    - χαμηλό κόστος ανά σημείο (στόχος τα \$5)

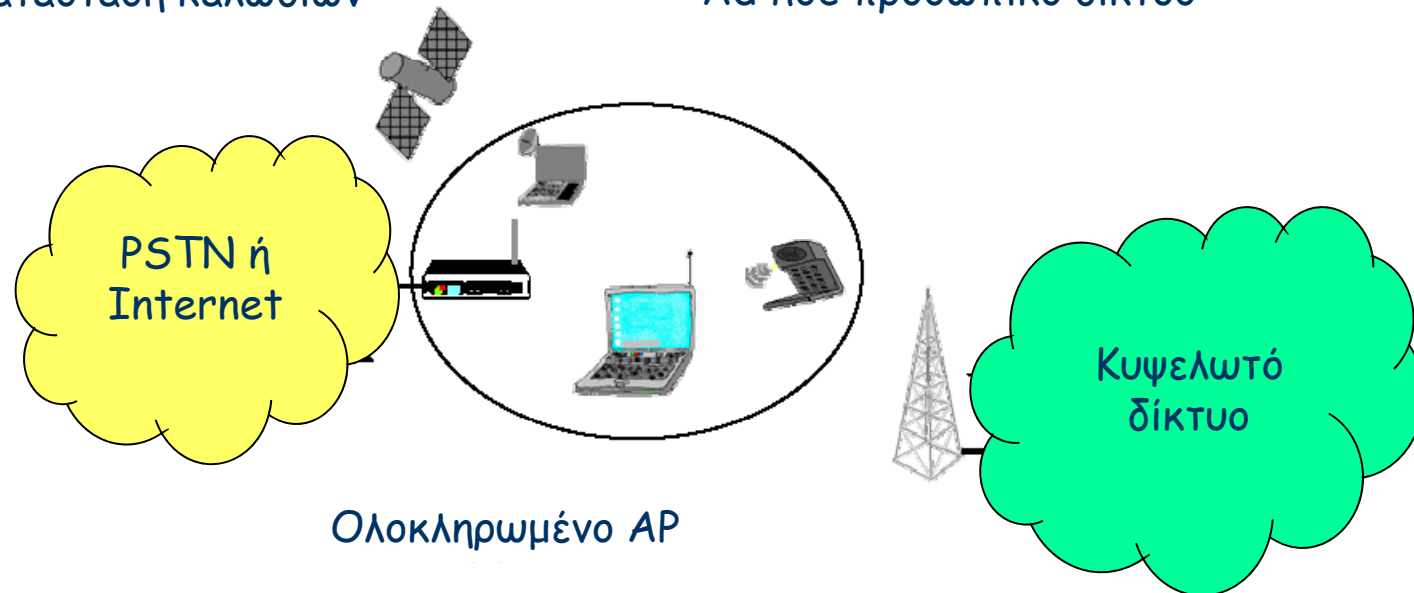
# Bluetooth: Σενάρια εφαρμογής



Αντικατάσταση καλωδίων



Ad hoc προσωπικό δίκτυο



Ολοκληρωμένο AP

# Bluetooth: τεχνικά χαρακτηριστικά



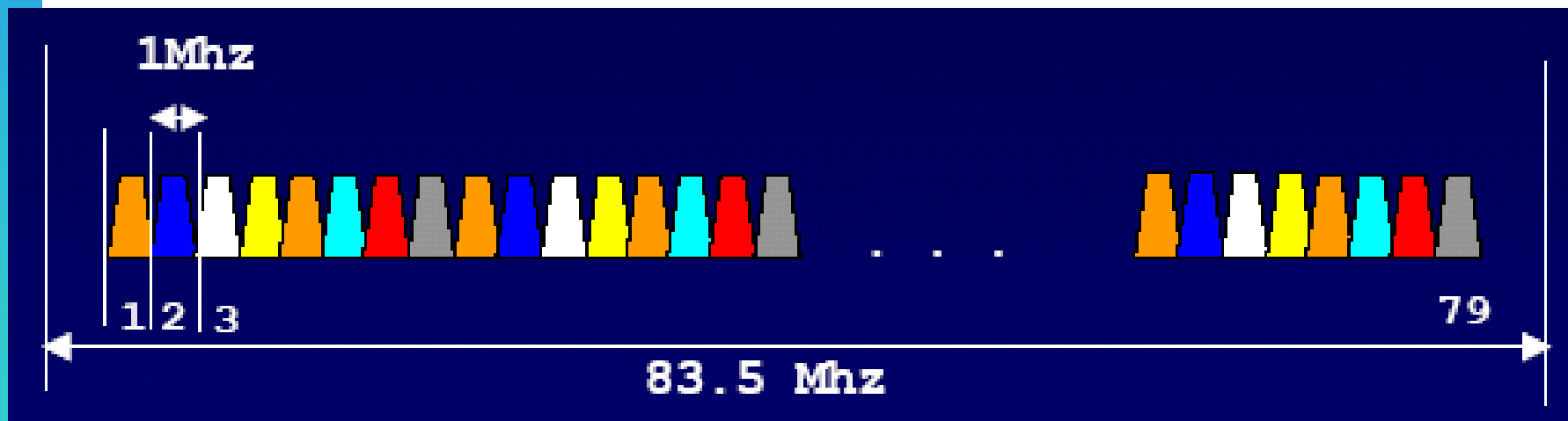
- 2.4 GHz ISM
  - φάσμα 79 MHz = 79 δίαυλοι εύρους 1 MHz
  - Frequency Hopping και Time Division Duplex (1600 hops/sec)
- 10-100 μέτρα εμβέλεια
  - Class I – 100 m (300 ft)
  - Class II – 20 m (60 ft)
  - Class III – 10 m (30 f)

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	$f = 2.454 + n\text{MHz}, n=0, \dots, 22$

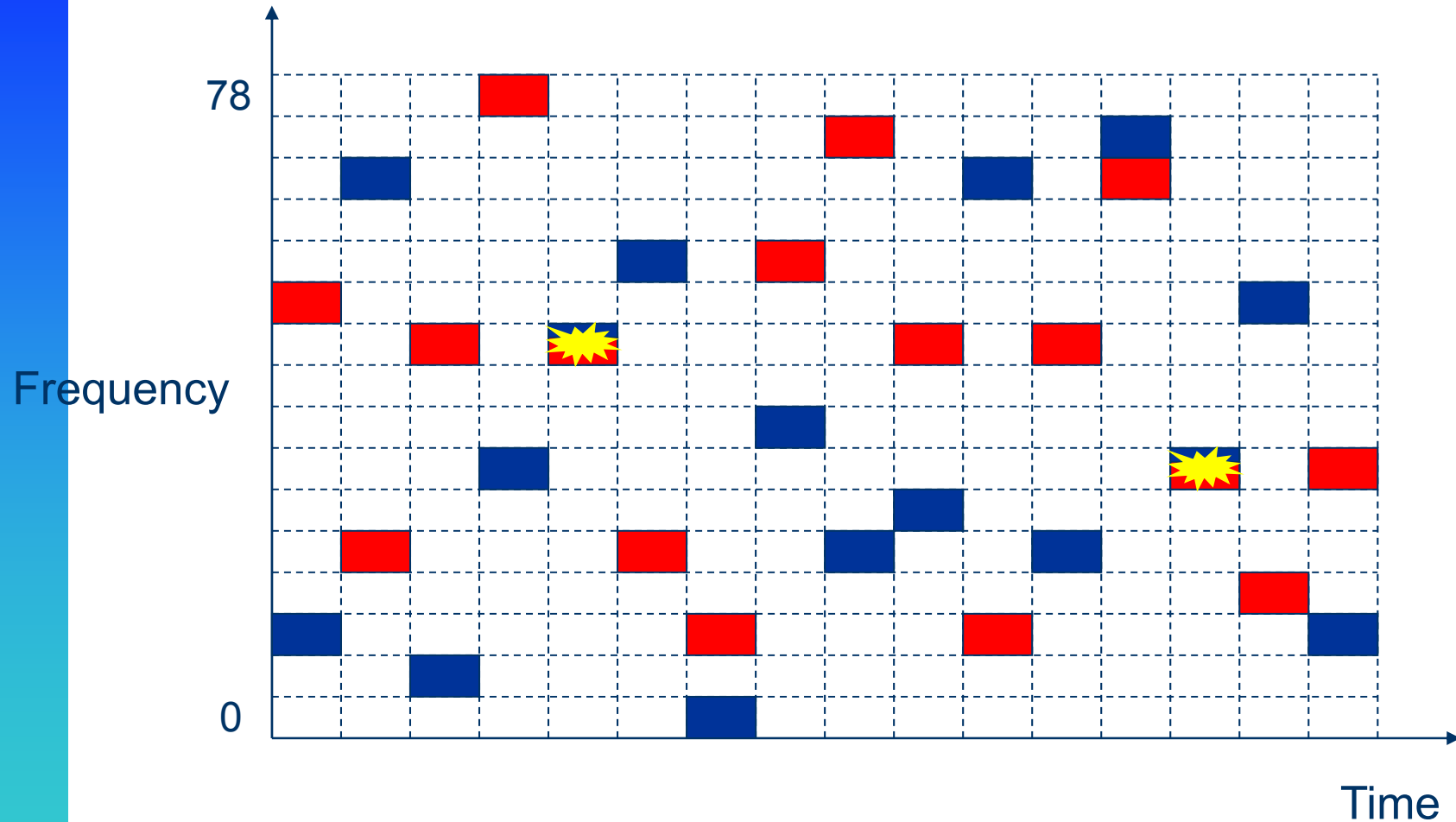
# Bluetooth: Ασύρματη ζεύξη



- Το Bluetooth μοιράζεται την ίδια ζώνη συχνοτήτων με το 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



# Frequency hopping



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



# Παρεμβολές



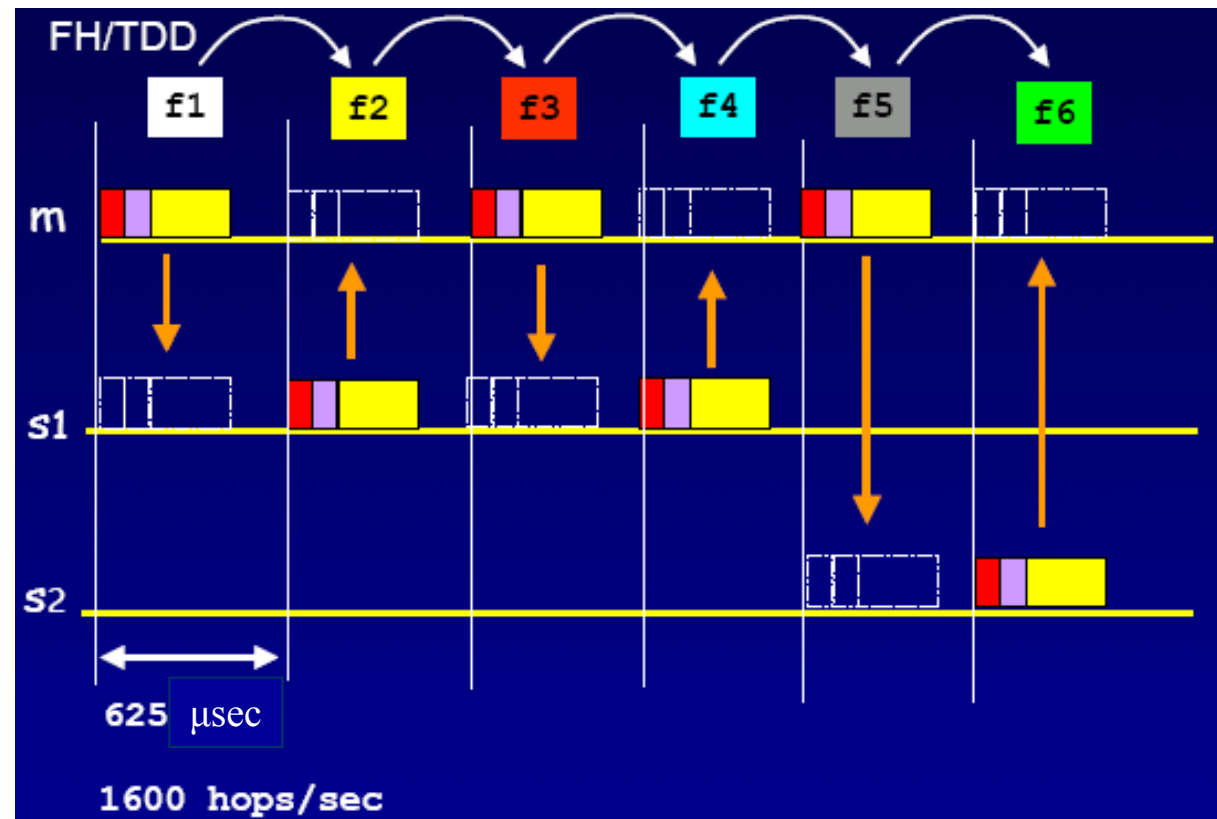
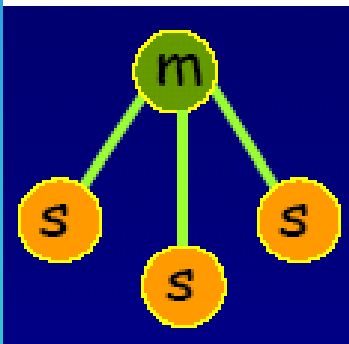
- Frequency hopping
- Μικρή εμβέλεια
- Έλεγχος ισχύος
- FEC και ARQ
- Μικρά πακέτα και ταχείες επαληθεύσεις
- Άλλες συσκευές στη ζώνη ISM π.χ. WLAN, φούρνοι μικροκυμάτων, κλπ.
- *Adaptive Frequency Hopping (AFH)* προτείνεται στο IEEE 802.15.1.



# Bluetooth: 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

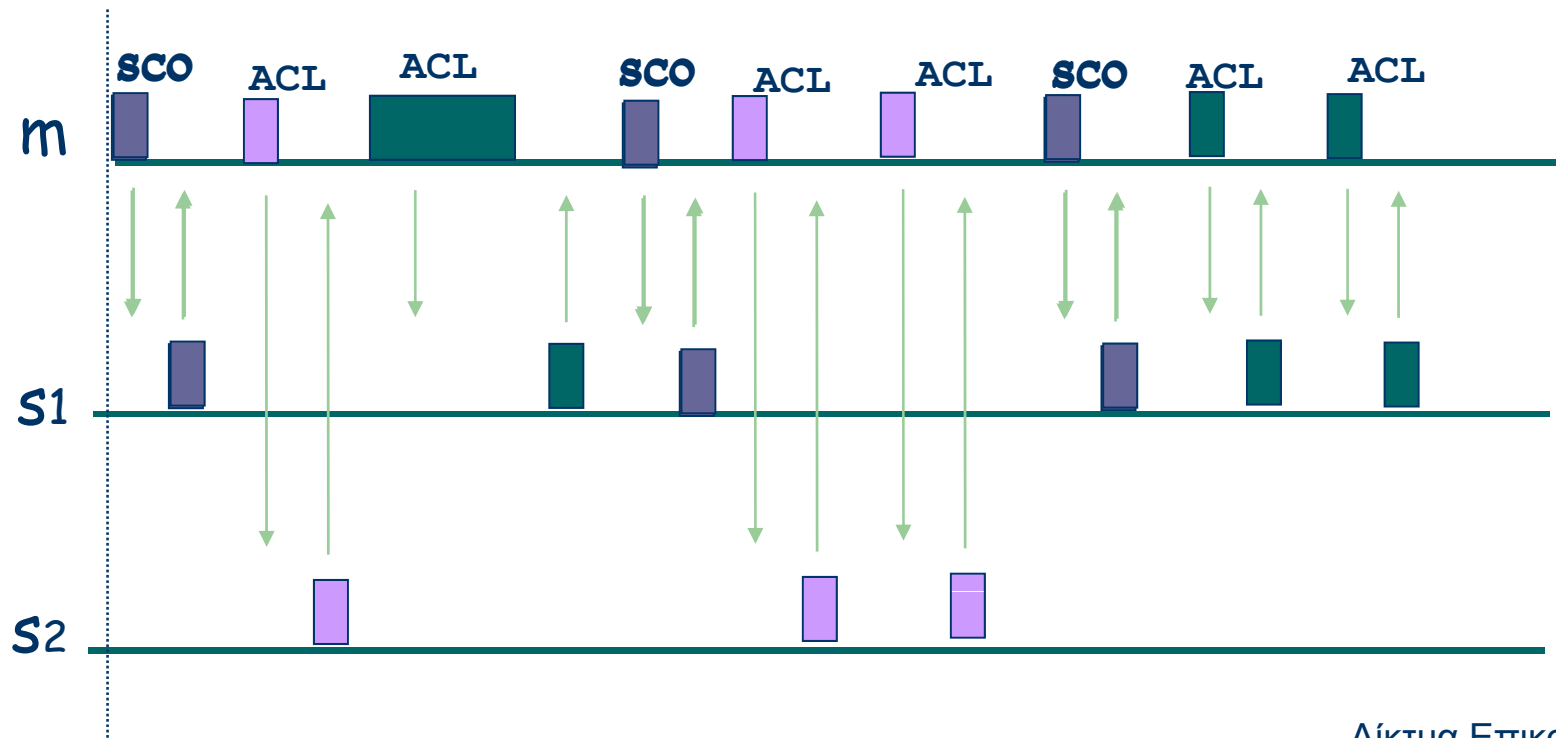
piconet



# Τύποι φυσικής ζεύξης



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

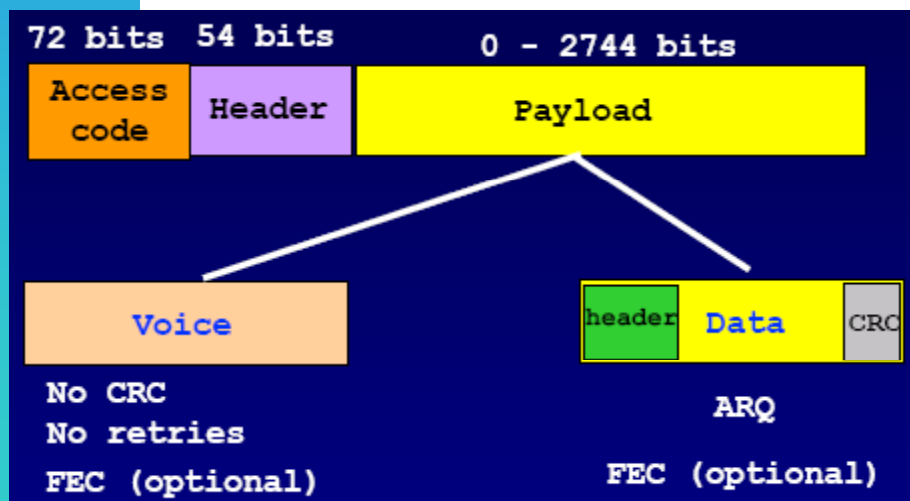
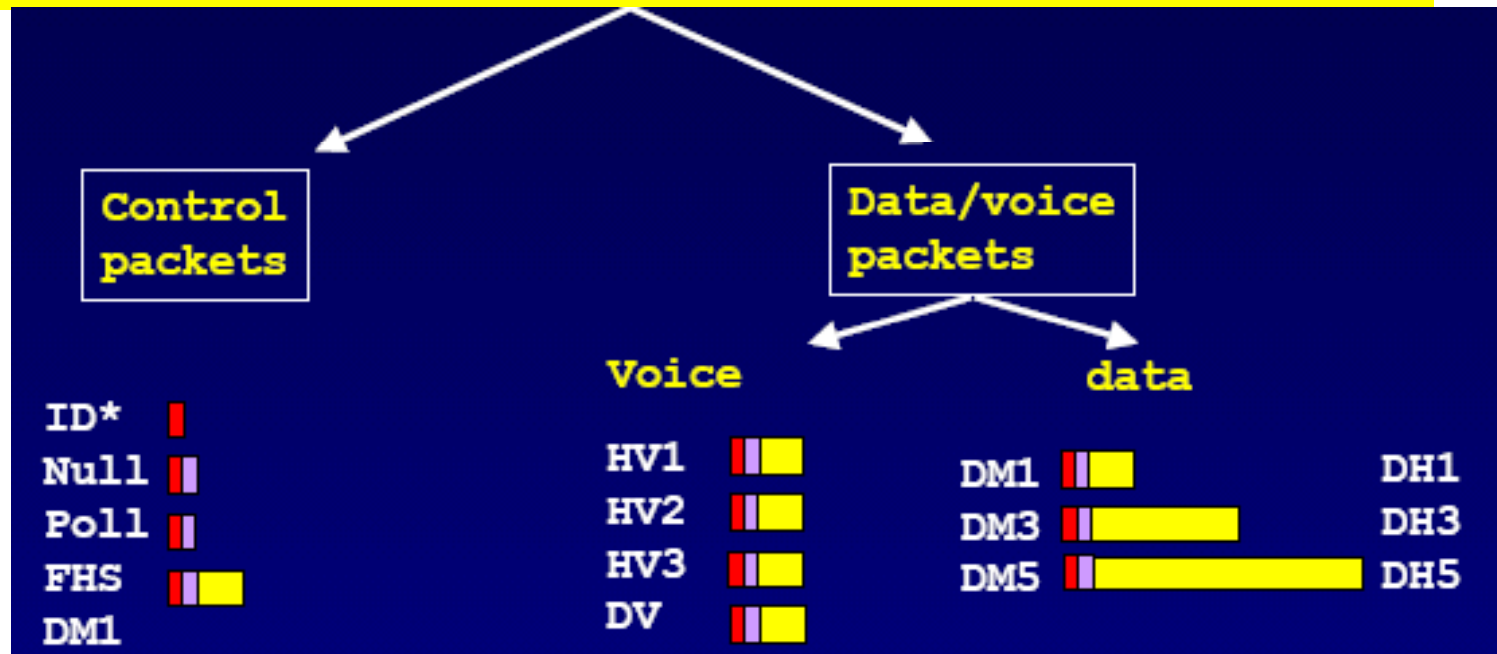


# Διευθυνσιοδότηση



- 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

# 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

# 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

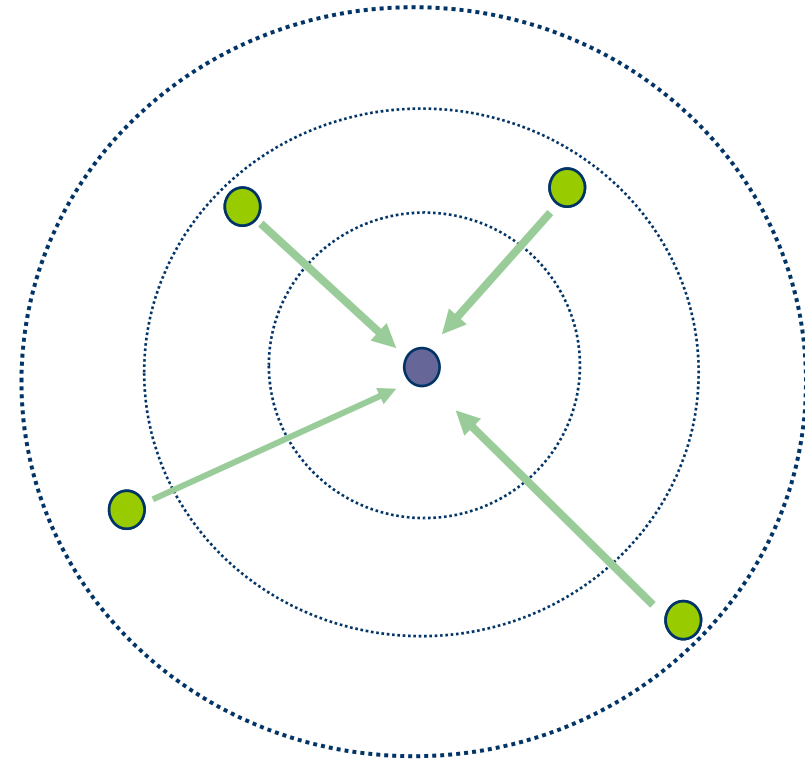
ACL

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

# Εγκατάσταση σύνδεσης



- 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 τον κωδικό πρόσβασής του, το ρολόι του και κάποιες άλλες πληροφορίες για τον slave.

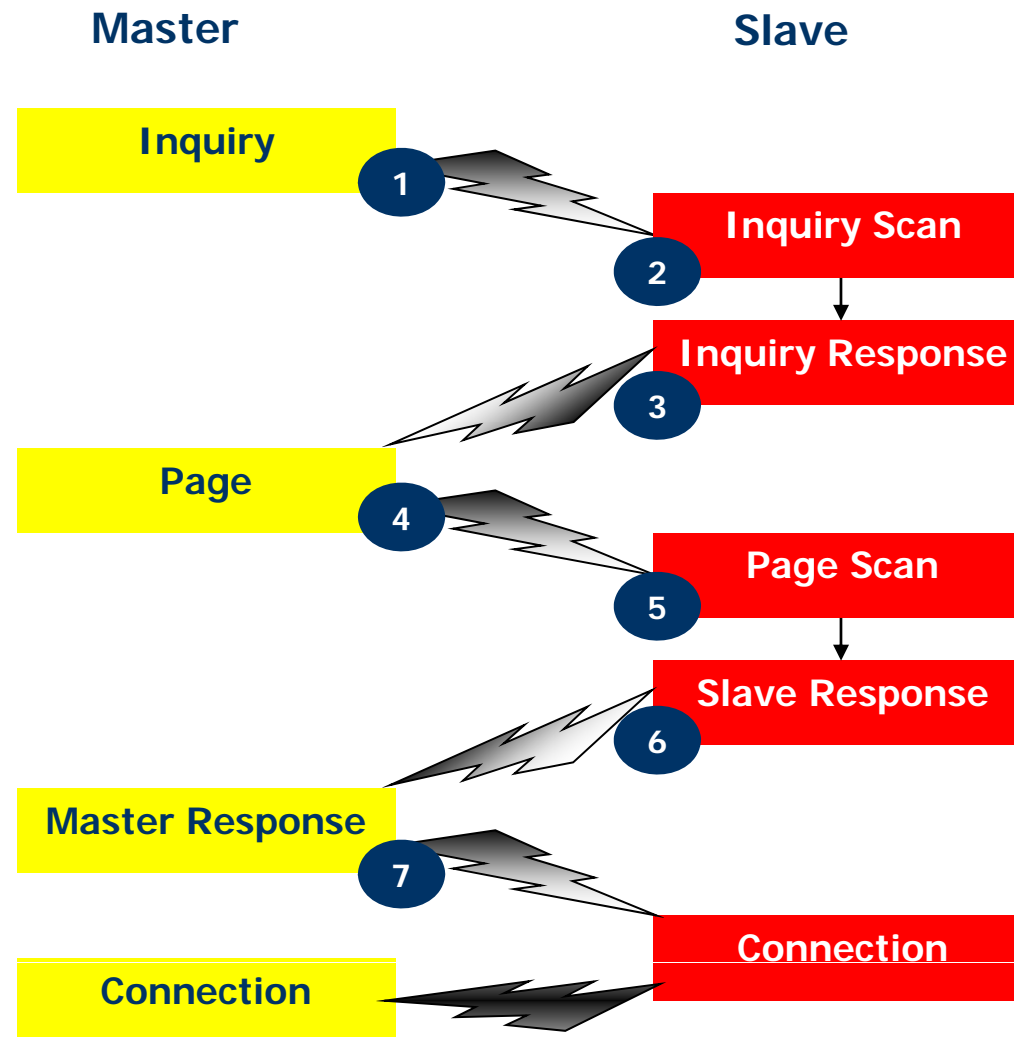
**4. Page**: ο master στέλνει μηνύματα page μεταδίδοντας την device access code (DAC) του slave σε διαφορετικά hop channels.

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

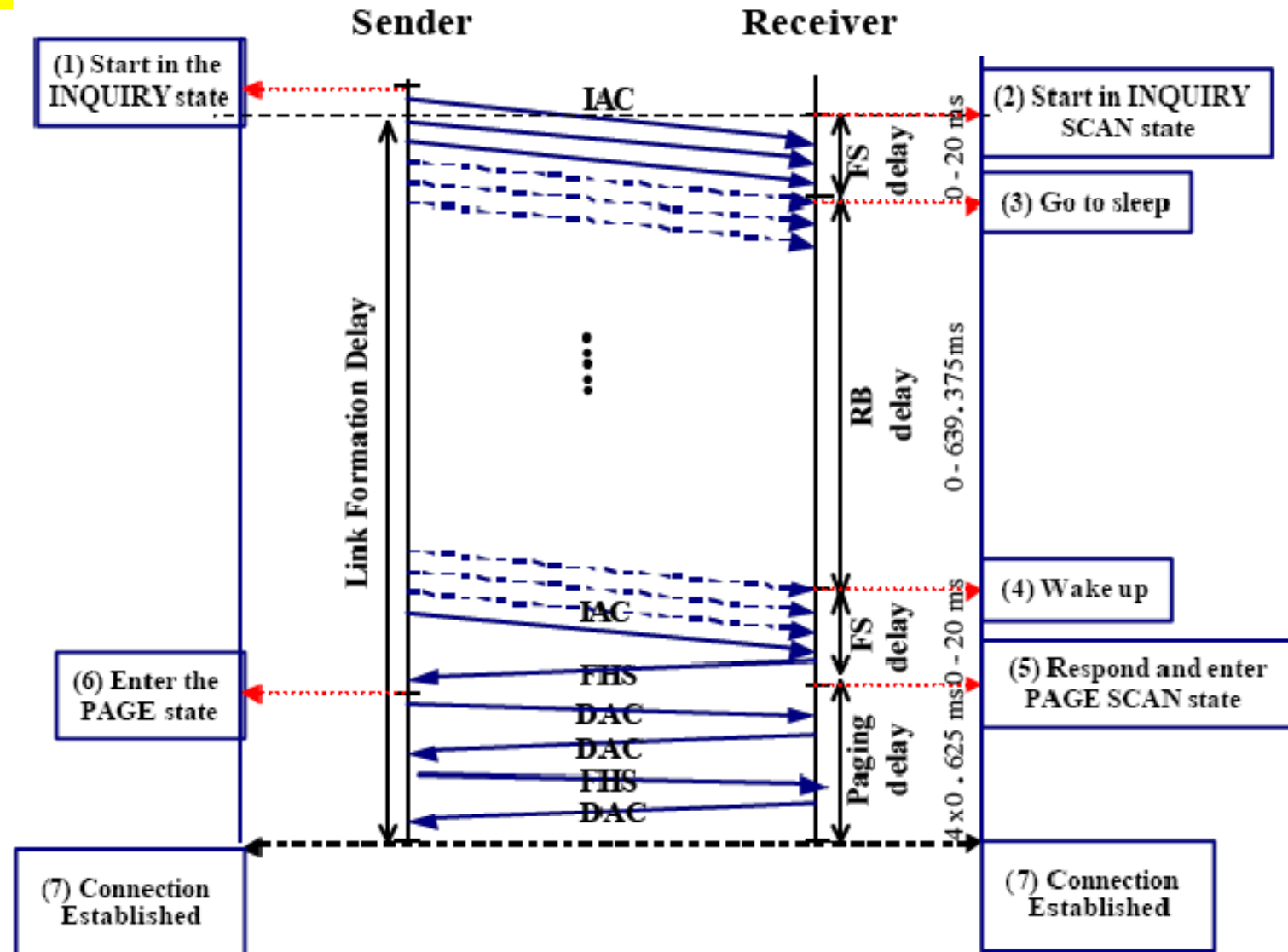
**6. Slave Response**: ο slave απαντάει στο μήνυμα page του master

**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

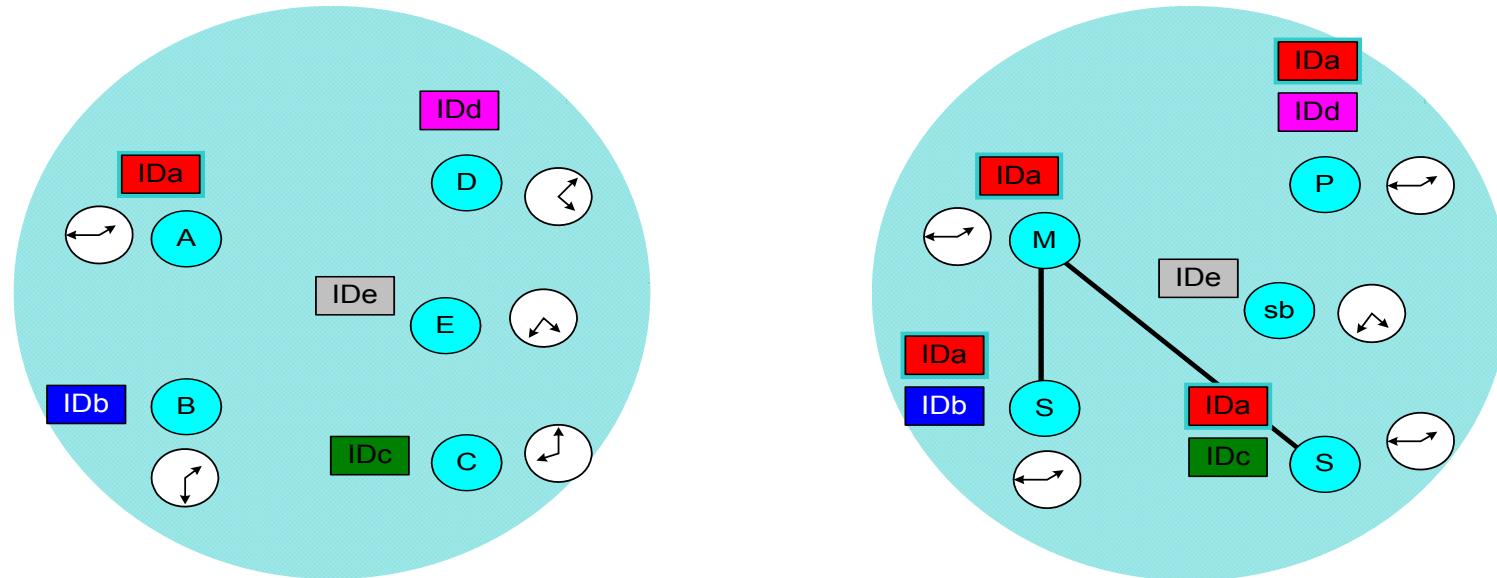


FS: Frequency Synchronization

DAC: Device Access Code

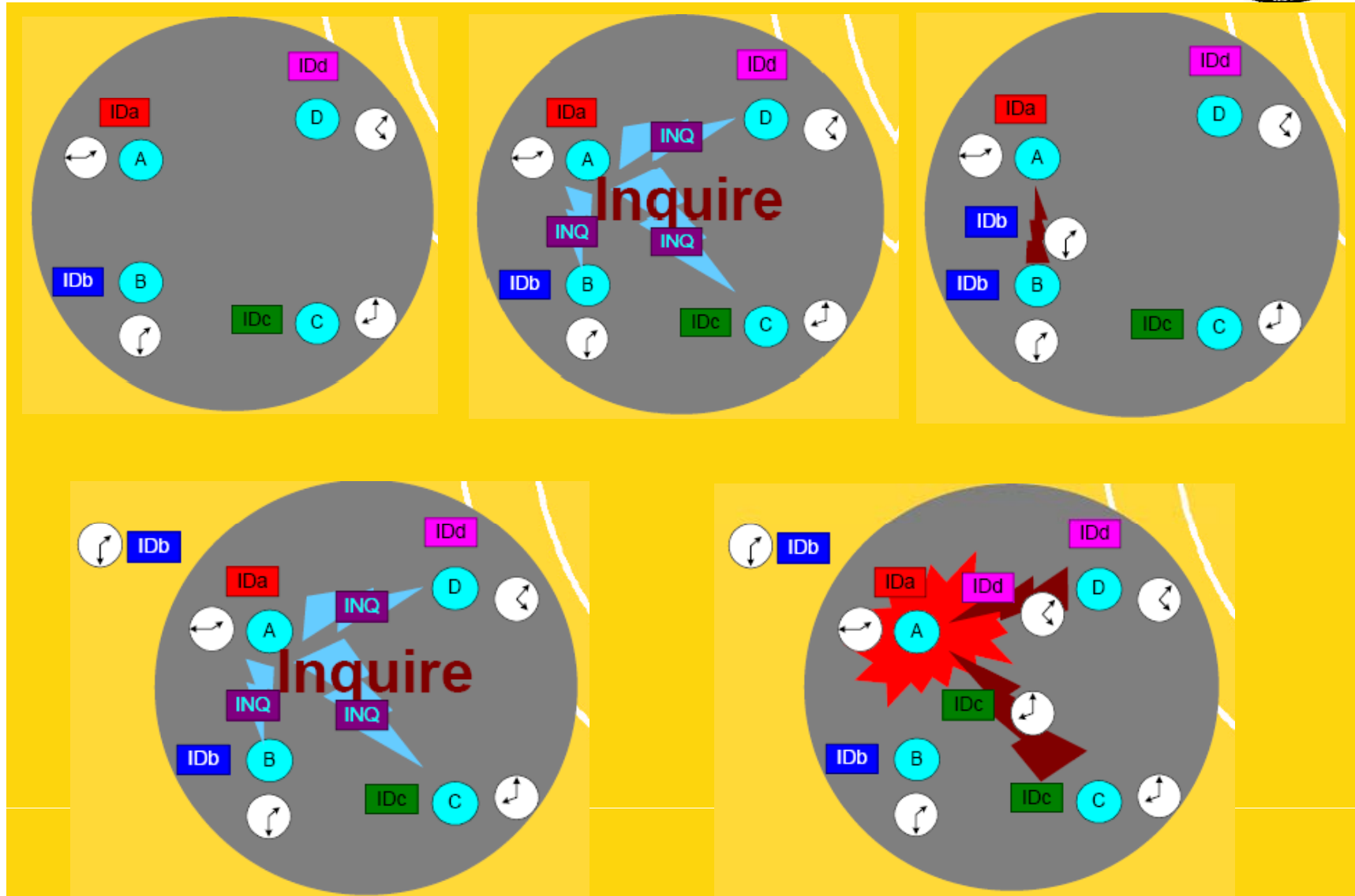
IAC: Inquiry Access Code

# Piconet

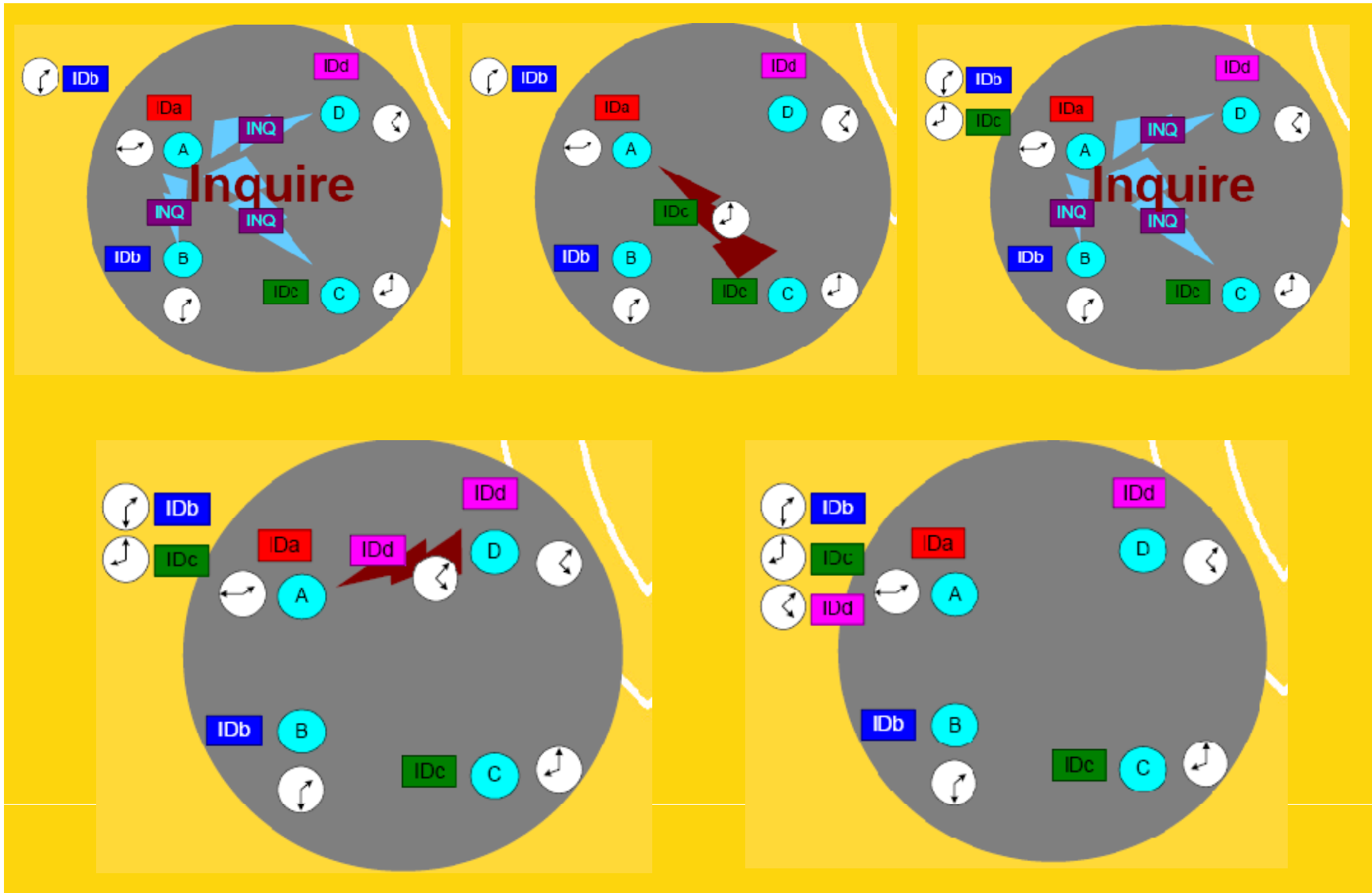


- Όλες οι συσκευές σε ένα piconet κάνουν τις ίδιες μεταπηδήσεις
- Κατά τον σχηματισμό ενός piconet, ο master δίνει στους slaves το *clock* και την *device ID*
- Το σχέδιο μεταπήδησης καθορίζεται από την *device ID* του master (48-bit)
- Η φάση μεταπήδησης καθορίζεται από το *Clock*

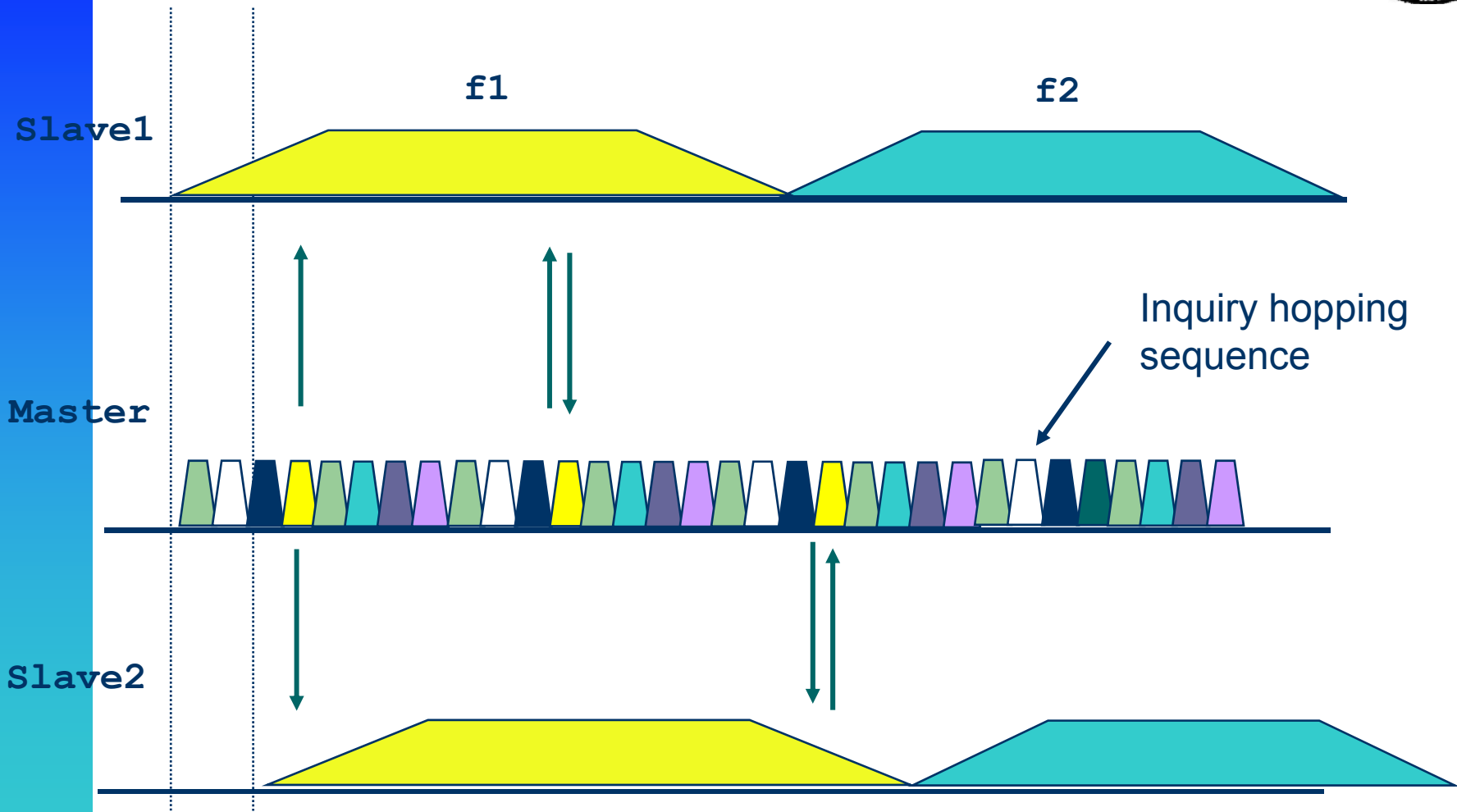
# Inquire



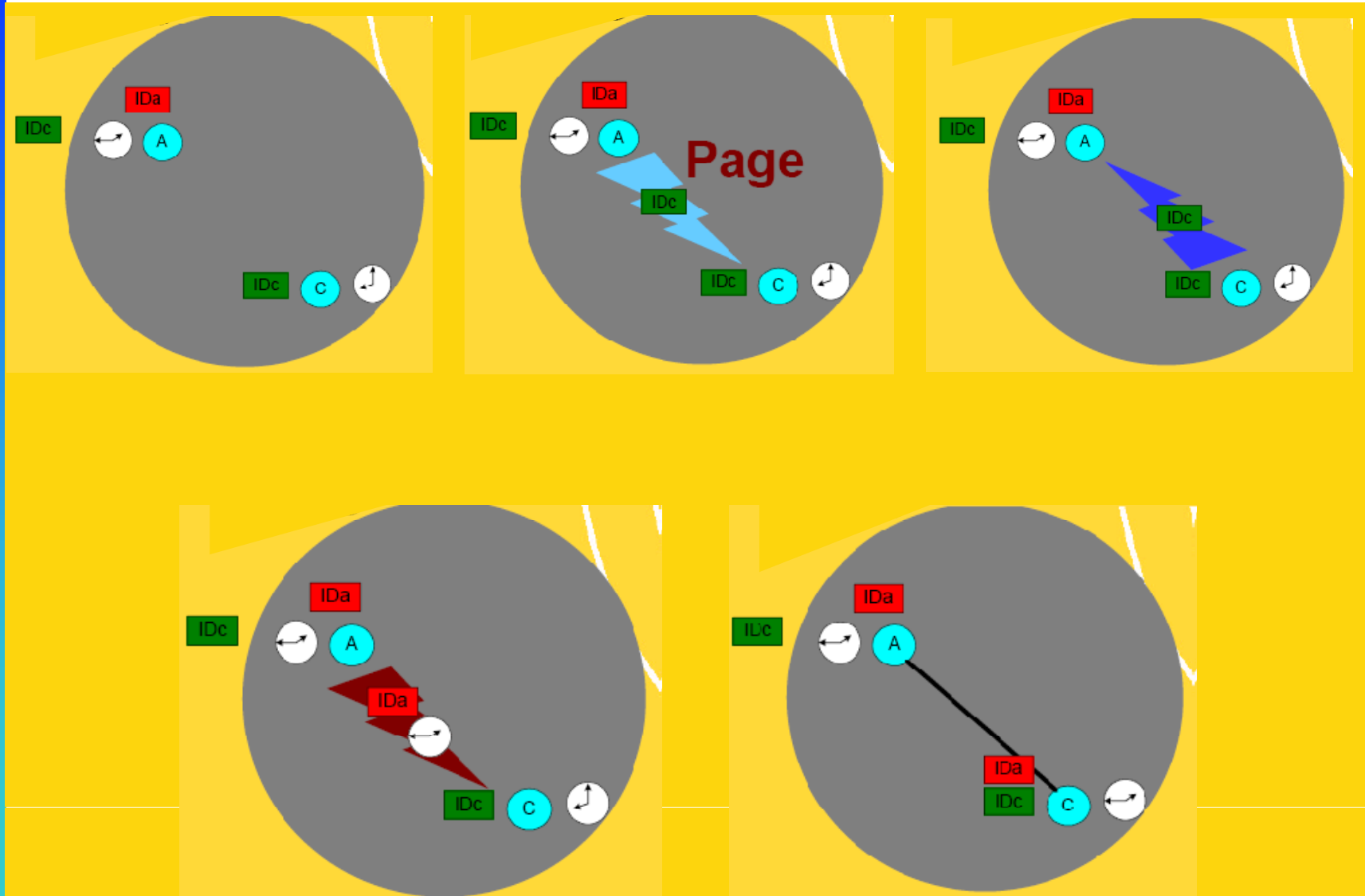
# Inquire



# Inquiry στο πεδίο του χρόνου



# 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 χρονοσχιστές sniff.
- Μόνο για τον τρόπο ACL.

# Βασική ζώνη: κατάσταση σύνδεσης



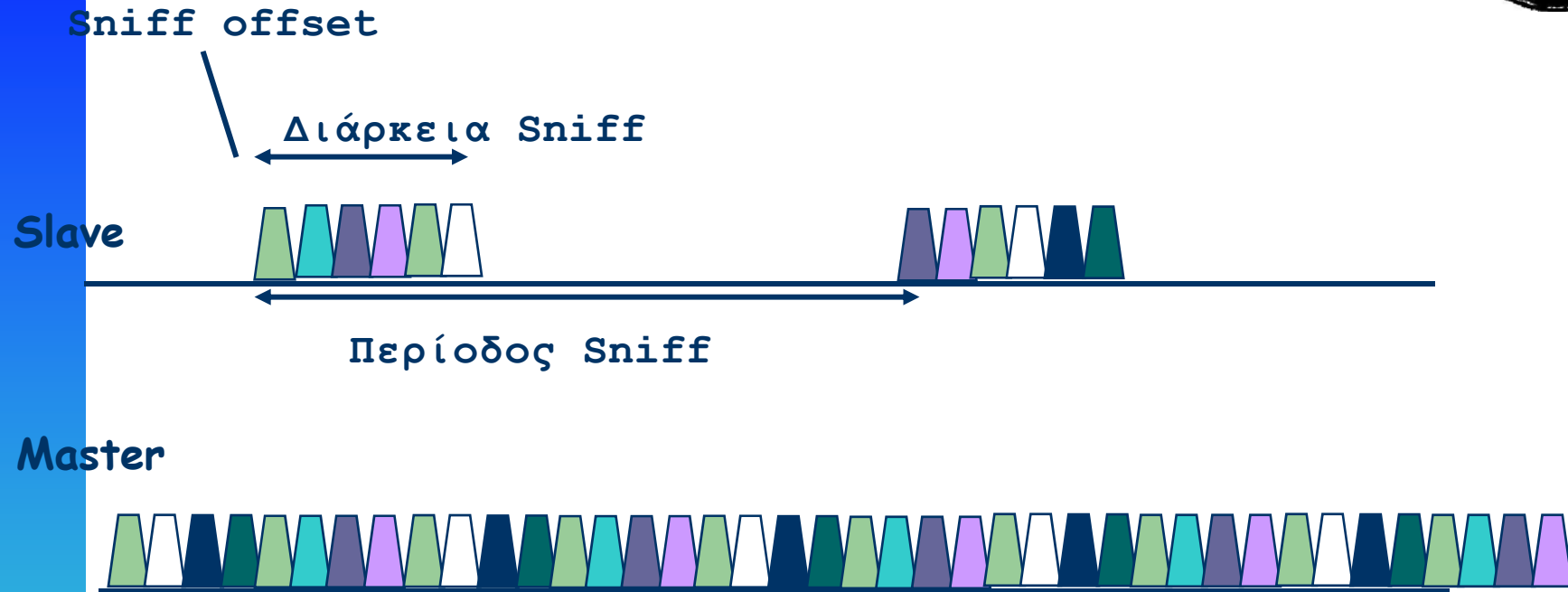
## ● Hold mode

- 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

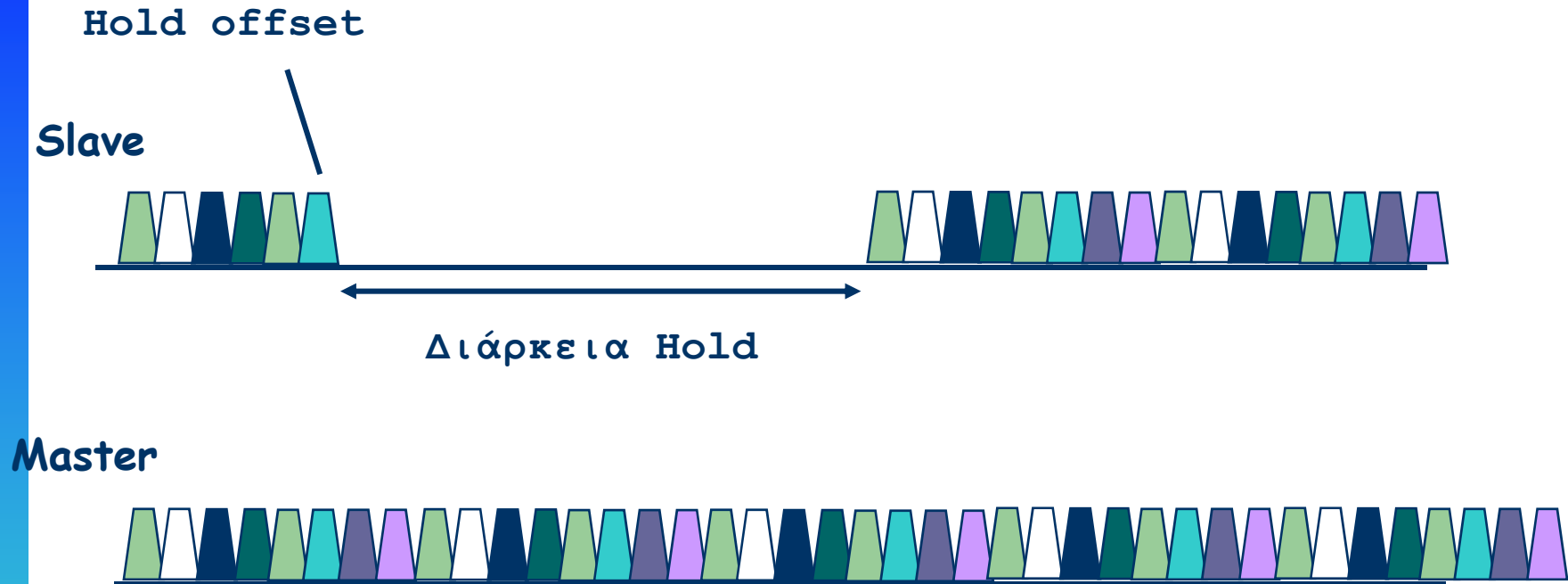
- Ο slave παραδίδει την AM\_ADDR.
- Ακούει περιοδικά για μετάδοση κάποιας πιλοτικής συχνότητας για να συγχρονιστεί και χρησιμοποιεί PM\_ADDR για να βγει από την κατάσταση park.

# Λειτουργία χαμηλής ισχύος (Sniff)

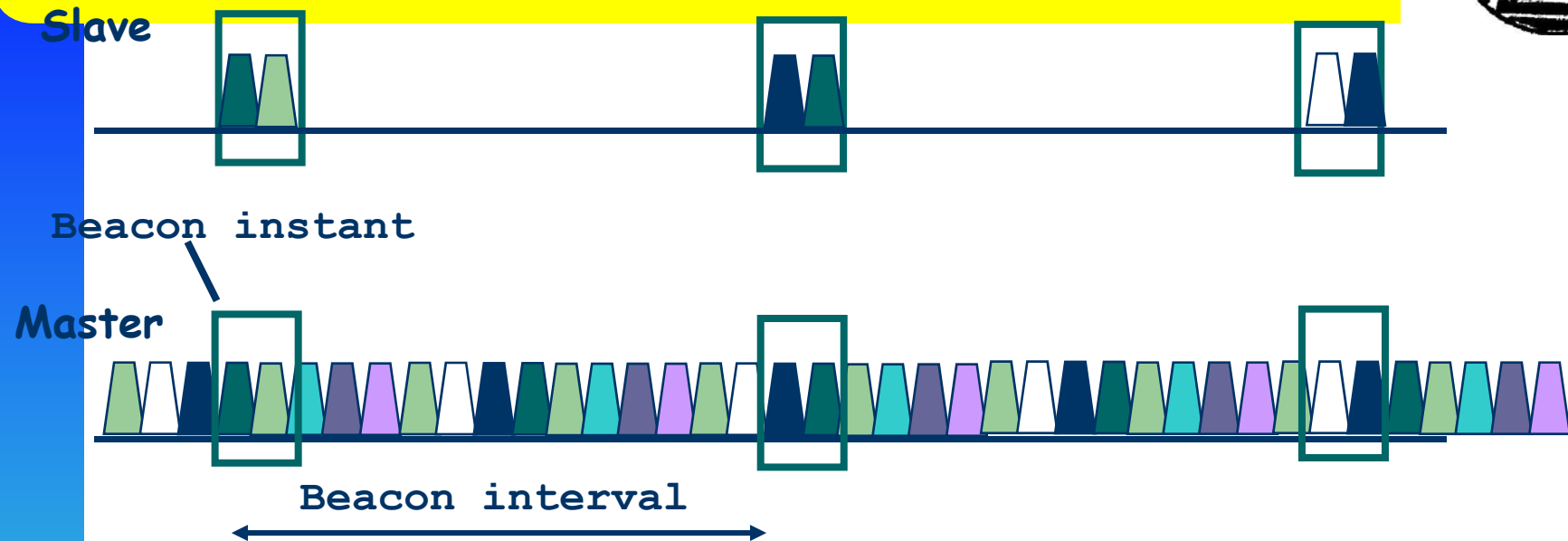


- Η κίνηση περιορίζεται σε περιοδικές sniff χρονοσχισμές

# Λειτουργία χαμηλής ισχύος (hold)



# Λειτουργία χαμηλής ισχύος (Park)

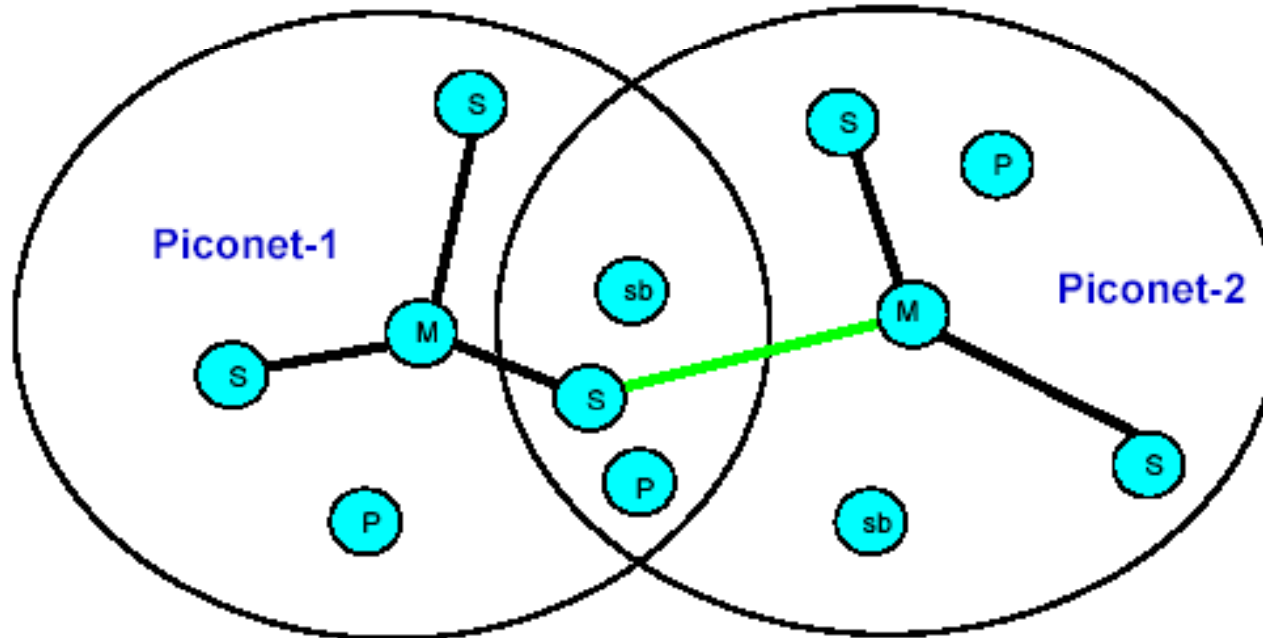


- Εξοικονόμηση ισχύος + διατήρηση μόνο 7 slave σε ένα riconet
- Παύση διεύθυνσης ενεργού μέλους, διατήρηση συγχρονισμού
- Επικοινωνία με μηνύματα εκπομπής LMP

# Bluetooth: Scatternet



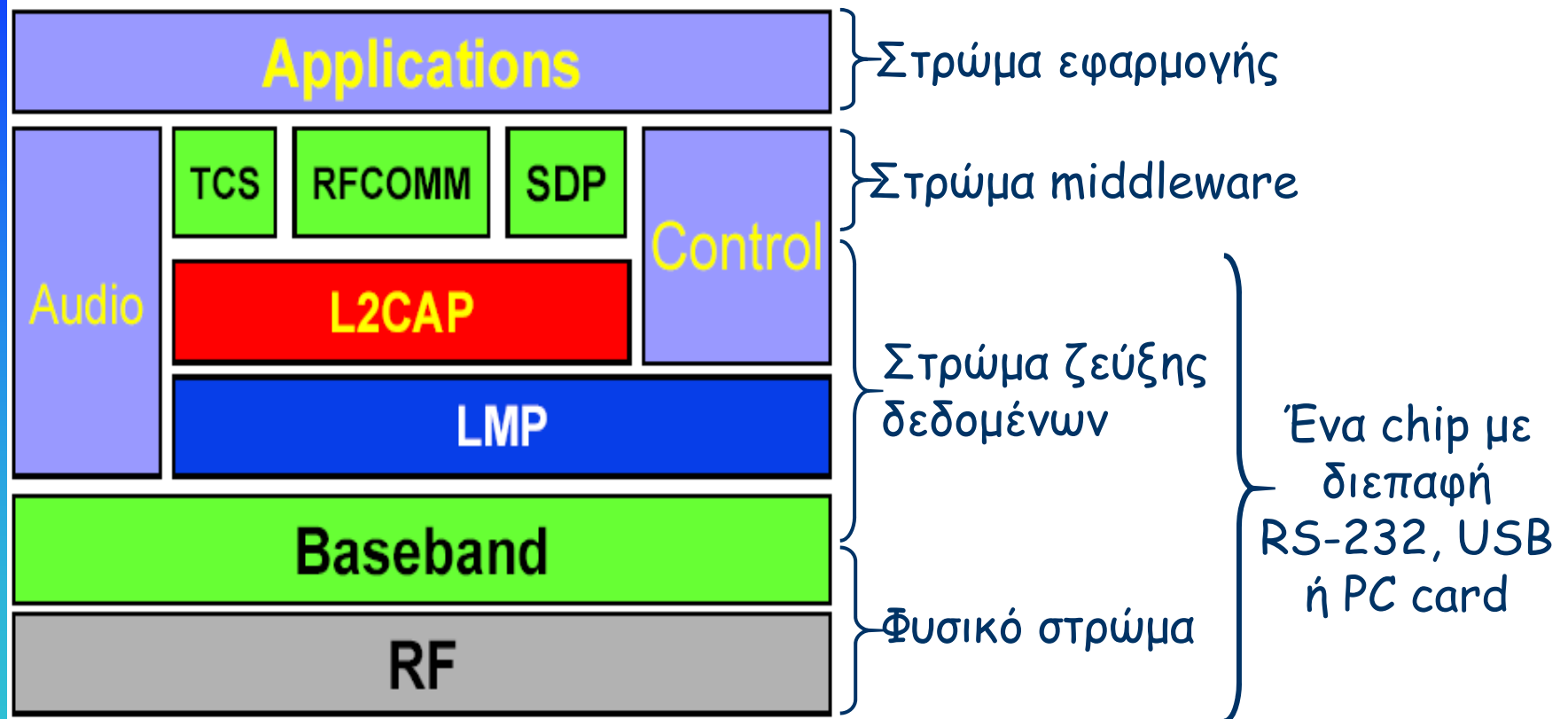
## Scatternet



M: master  
S: slave  
Sb: stand by  
P: parked/hold

Κάθε κόμβος έχει μια διεύθυνση 12-bit

# Bluetooth: Στοιβα πρωτοκόλλων



# Bluetooth: Στοίβα πρωτοκόλλων



- **RF**: καθορίζει την ασύρματη μετάδοση bit από τον M στον S
- **Baseband**: καθορίζει τον έλεγχο ζεύξης σε επίπεδο bit και πλαισίου (κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση, πήδημα 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

