



# ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασύρματα Δίκτυα  
Επικοινωνιών



# Περίληψη

- Ασύρματα συστήματα
  - Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συχνοτήτων
  - Ζώνες λειτουργίας των ασυρμάτων δικτύων
  - Επίδραση του ασύρματου περιβάλλοντος στα δίκτυα επικοινωνιών
- Ασύρματα τοπικά δίκτυα
  - Οικογένεια IEEE 802.11
- Ασύρματα προσωπικά δίκτυα
  - Bluetooth
- Διασύνδεση τοπικών δικτύων



# Ασύρματα συστήματα

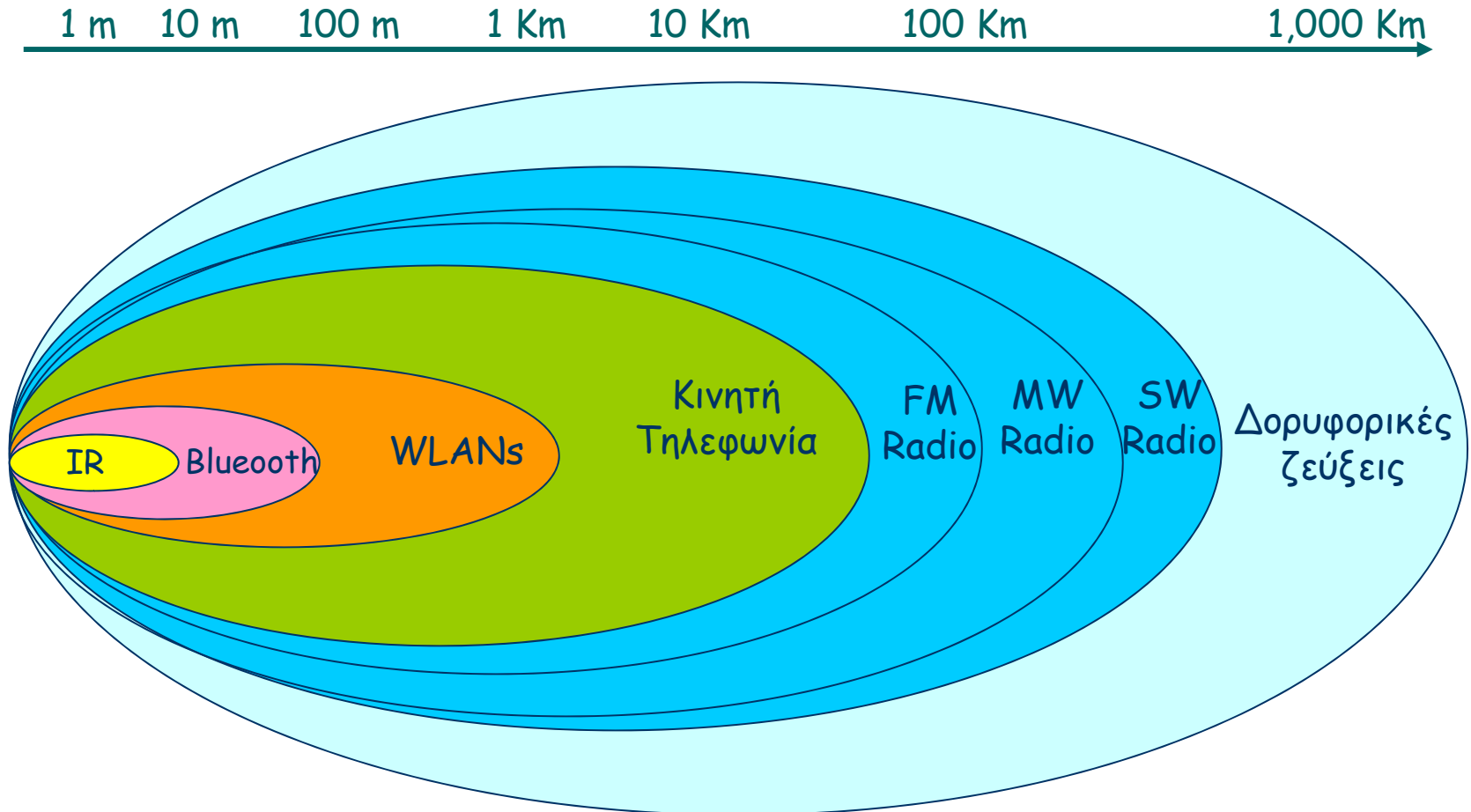
## Παραδείγματα

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

# Ασύρματα συστήματα



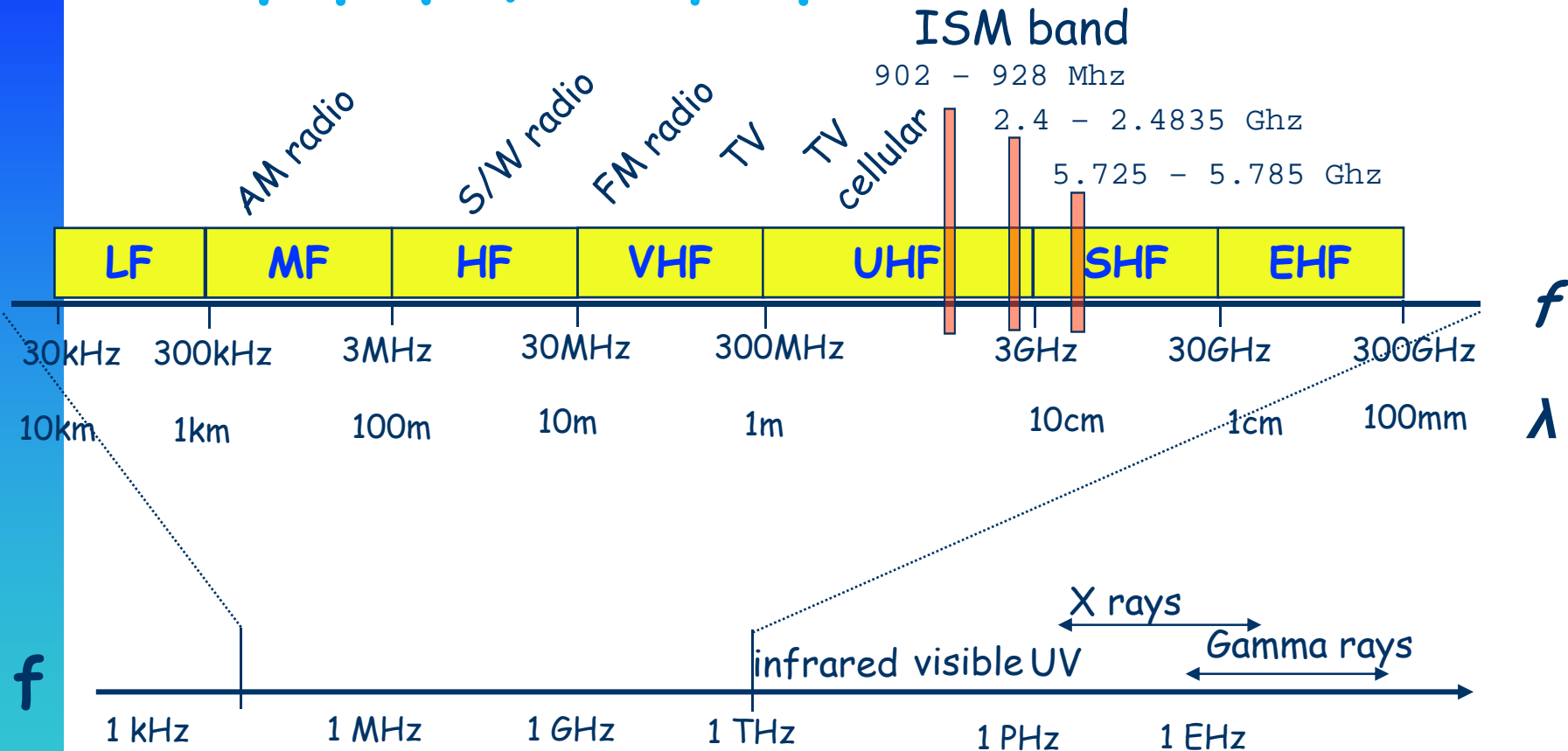
## Εμβέλεια



# Ασύρματα συστήματα



## Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

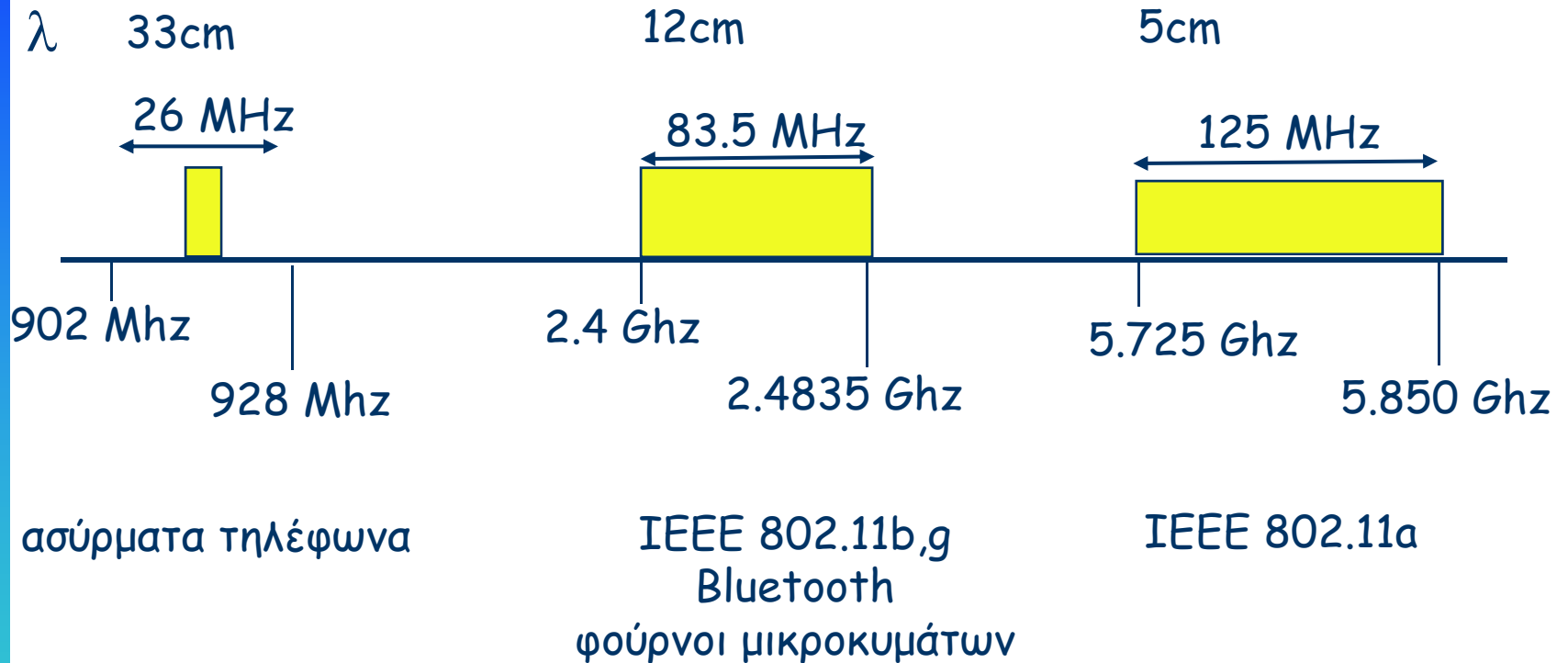


Τα χαρακτηριστικά διάδοσης είναι διαφορετικά σε κάθε ζώνη συχνοτήτων

# Ασύρματα συστήματα



## Μη αδειοδοτούμενο φάσμα



# Ασύρματα συστήματα



## Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



### Εκπομπή TV

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



### FM Radio

- 88 έως 108 MHz



### Ψηφιακή TV

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



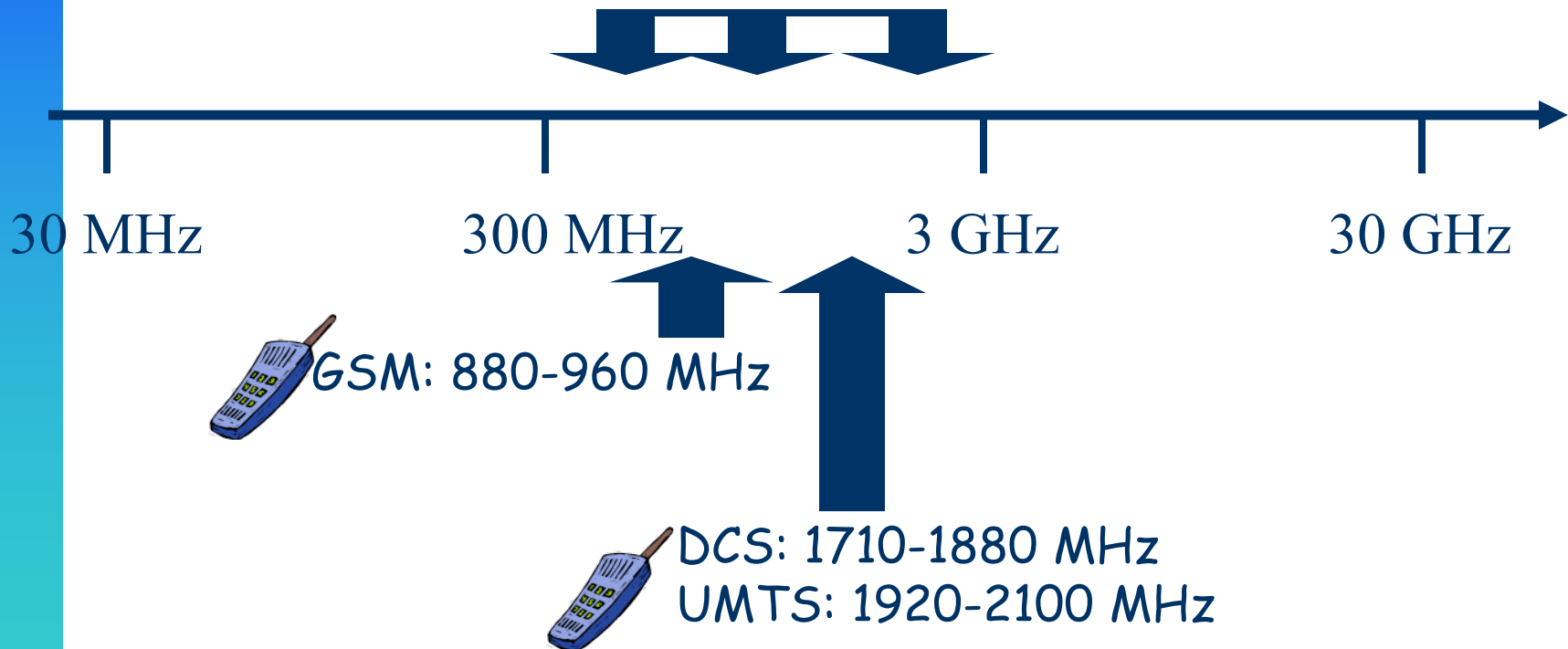
# Ασύρματα συστήματα



## Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



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

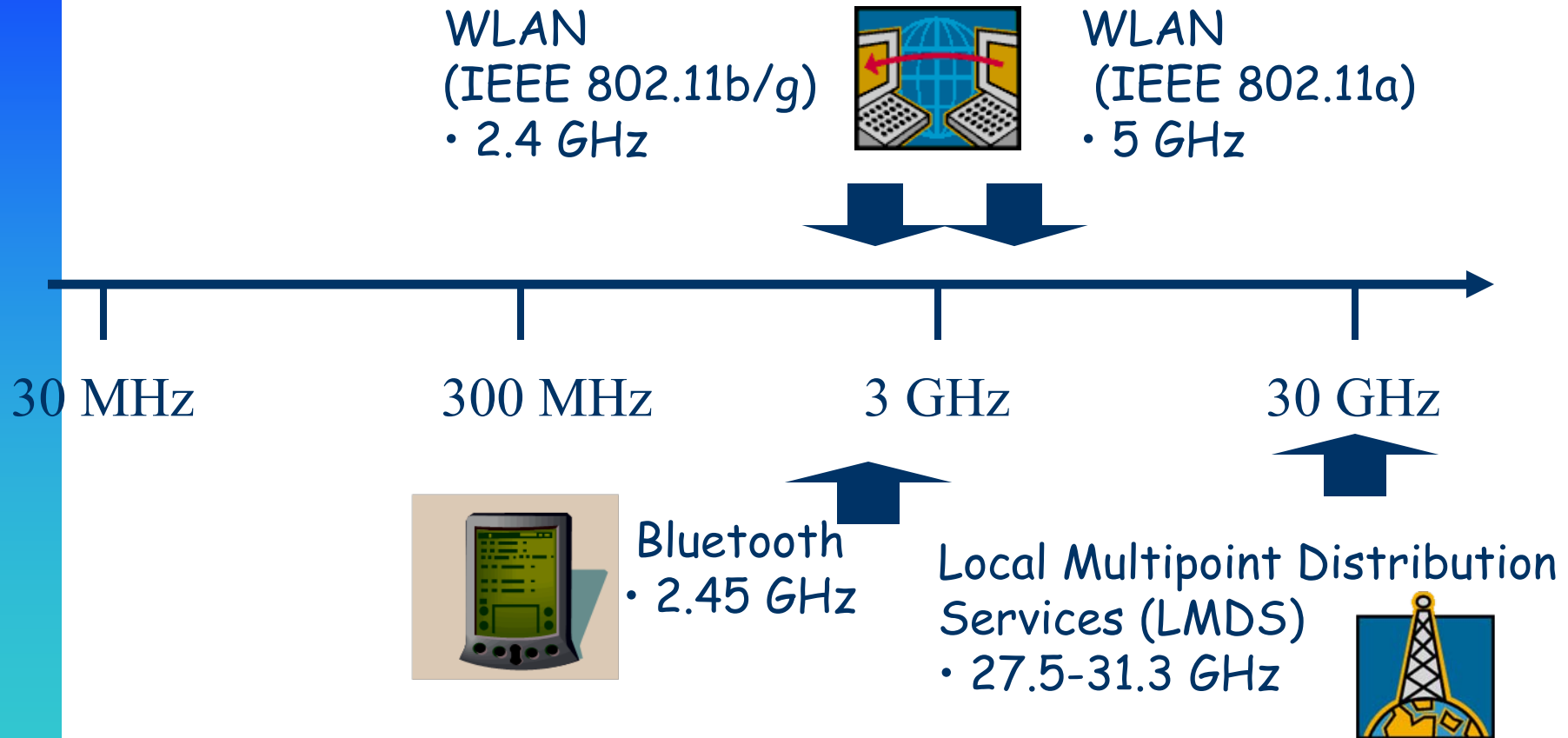




# Ασύρματα συστήματα



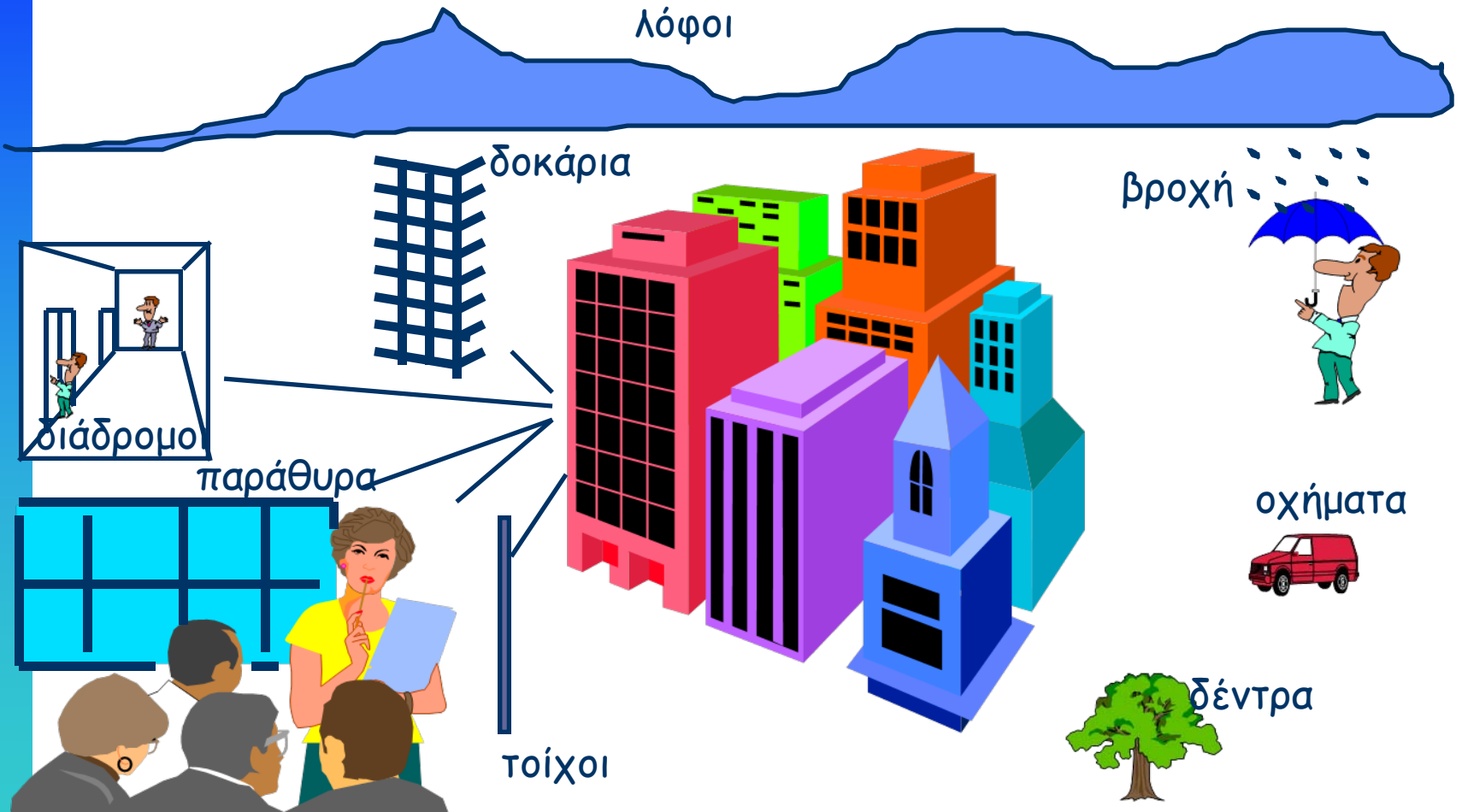
## Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



# Ασύρματα συστήματα



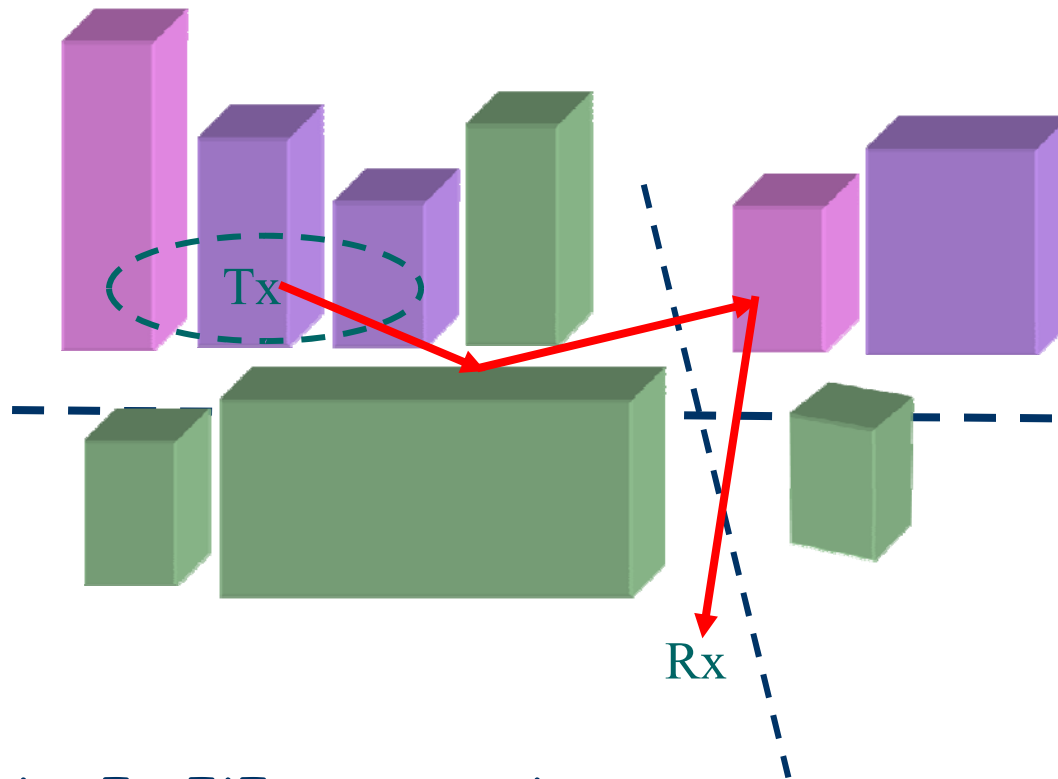
## Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών



# Ασύρματα συστήματα



## Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών



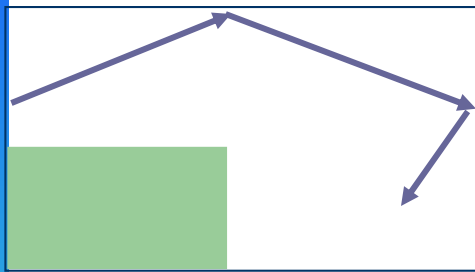
- Πώς διαδίδεται το σήμα;
- Πόση εξασθένηση υπεισέρχεται;
- Πώς φαίνεται το σήμα στον δέκτη;

# Ασύρματα συστήματα

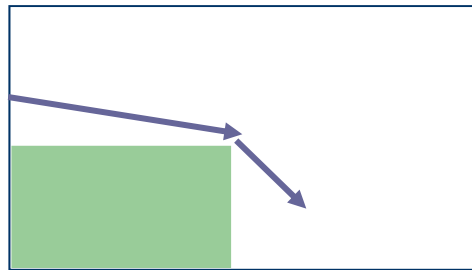


## Διάδοση στο ασύρματο περιβάλλον

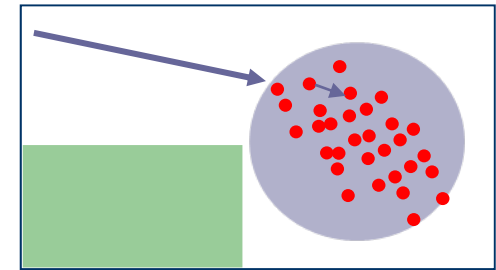
### Τρεις βασικοί μηχανισμοί διάδοσης



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  $T_x-R_x$



# Ασύρματα συστήματα

## 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.



# Ασύρματα συστήματα

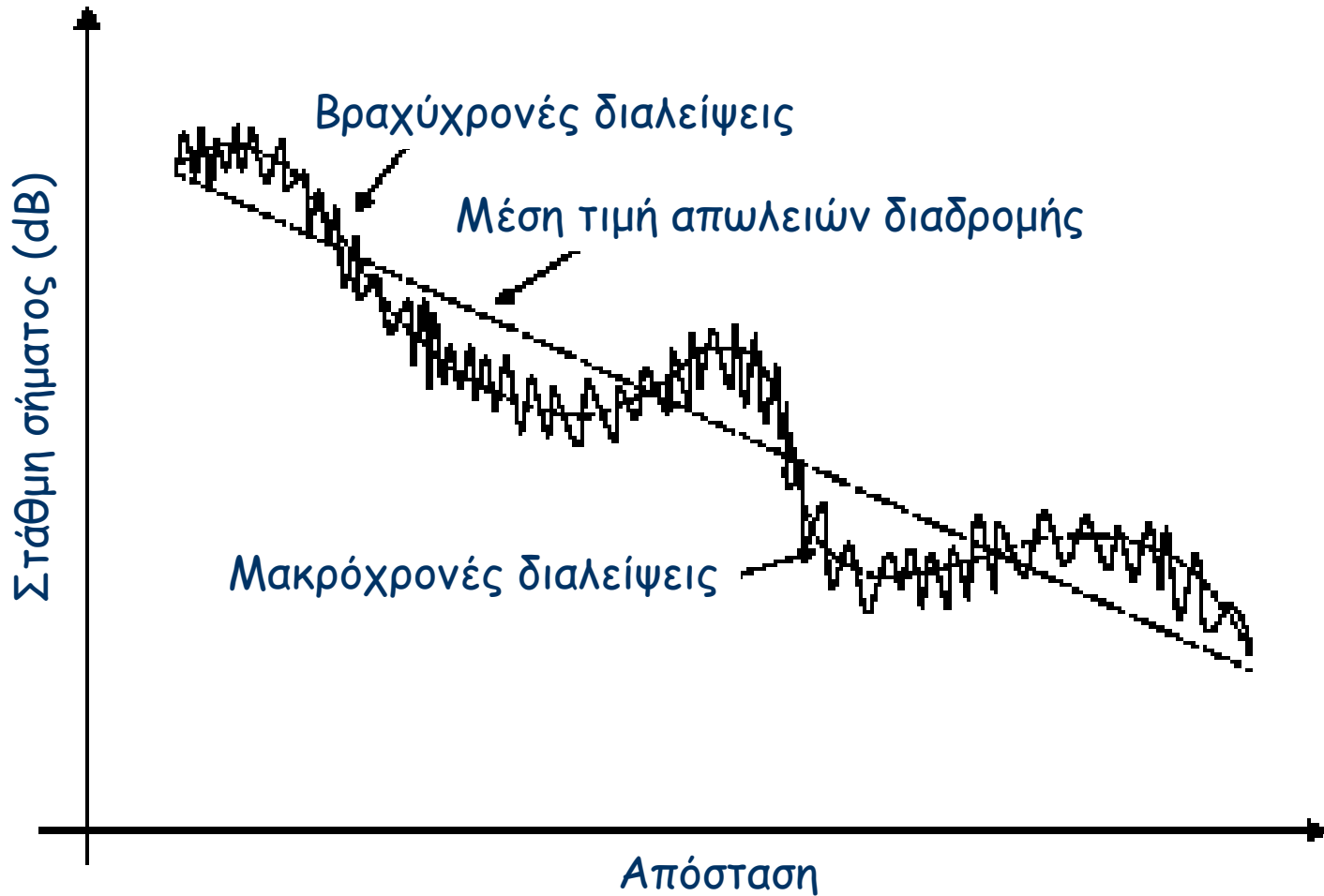
## Ανασχετικοί παράγοντες: Παρεμβολές

- 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

# Ασύρματα συστήματα



## Ανασχετικοί παράγοντες: Διαλείψεις





# Ασύρματα συστήματα

## 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





# Ασύρματα συστήματα

## Διαφορική λήψη

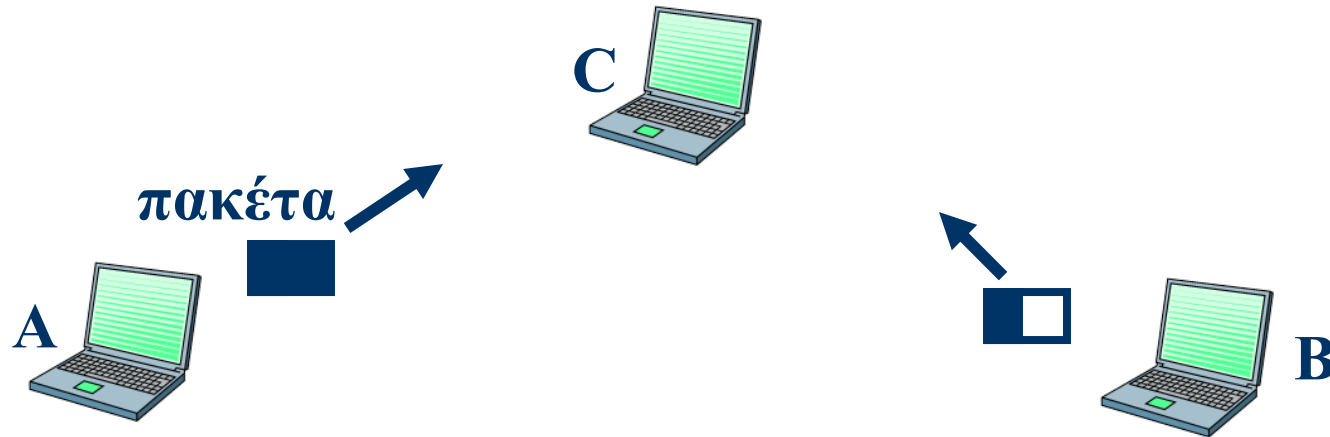
- Ένα σχήμα διαφορικής λήψης εξάγει πληροφορία από πολλά σήματα που καταφθάνουν από διαφορετικές διαδρομές με διαλείψεις
- Κατάλληλος συνδυασμός αυτών των σημάτων περιορίζει την επίδραση των διαλείψεων και βελτιώνει την αξιοπιστία της μετάδοσης
- Στη διαφορική λήψη χώρου, οι κεραιές απέχουν τουλάχιστον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





# Ασύρματα συστήματα

## 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.



# Ασύρματα συστήματα

## 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



# Ασύρματα συστήματα

## Ασφάλεια

- Οι απαιτήσεις ασφάλειας 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



- 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)
- Μπορεί να συνυπάρχουν με ενσύρματα συστήματα



# Ασύρματα LAN

## Σχεδιαστικοί στόχοι

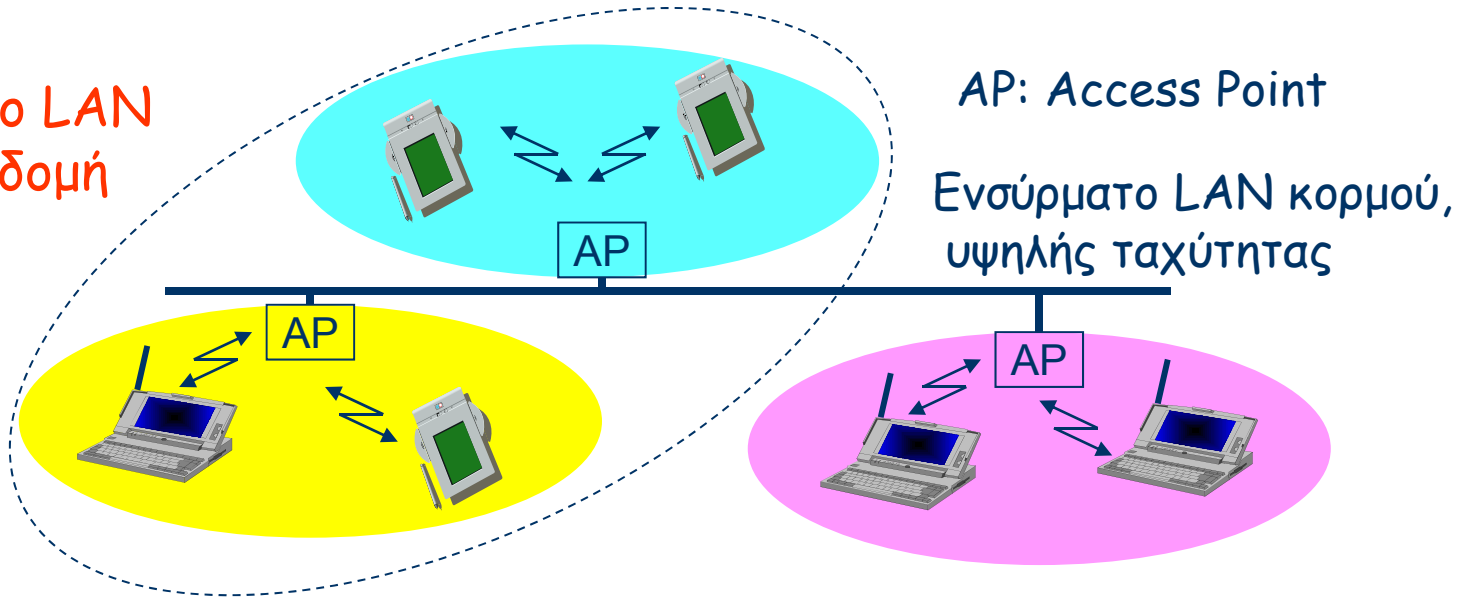
- Διέλευση
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού σταθμών
- Επικοινωνία με σταθμούς ενσύρματων LAN
- Περιοχή κάλυψης ακτίνας 50 ÷ 150 m
- Περιορισμένη κατανάλωση ισχύος από τους κινητούς host
- Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια επικοινωνίας
- Λειτουργία χωρίς άδεια
- Κινητικότητα (διαπομπή/περιαγωγή)
- Δυναμική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

# Ασύρματα LAN

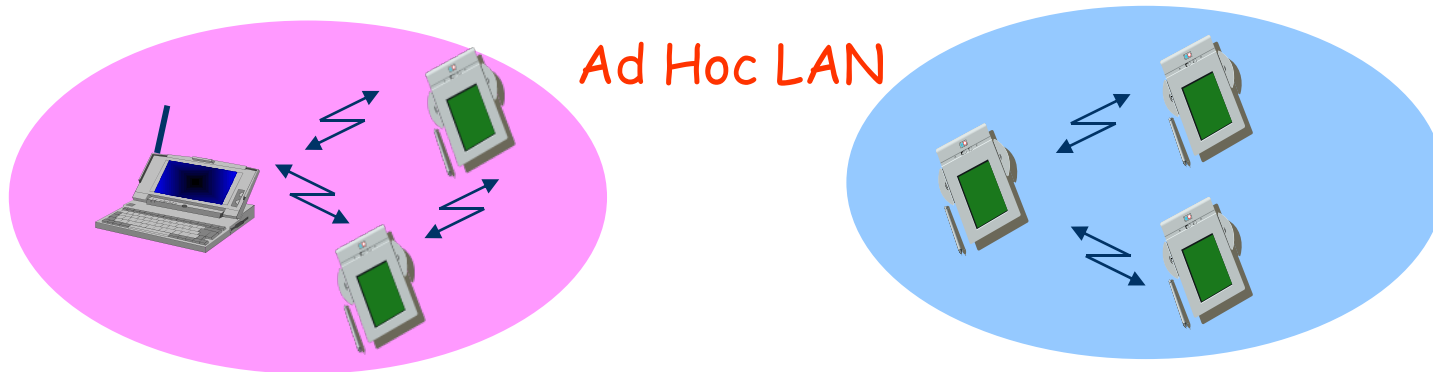


## Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN

Ασύρματο LAN  
με υποδομή

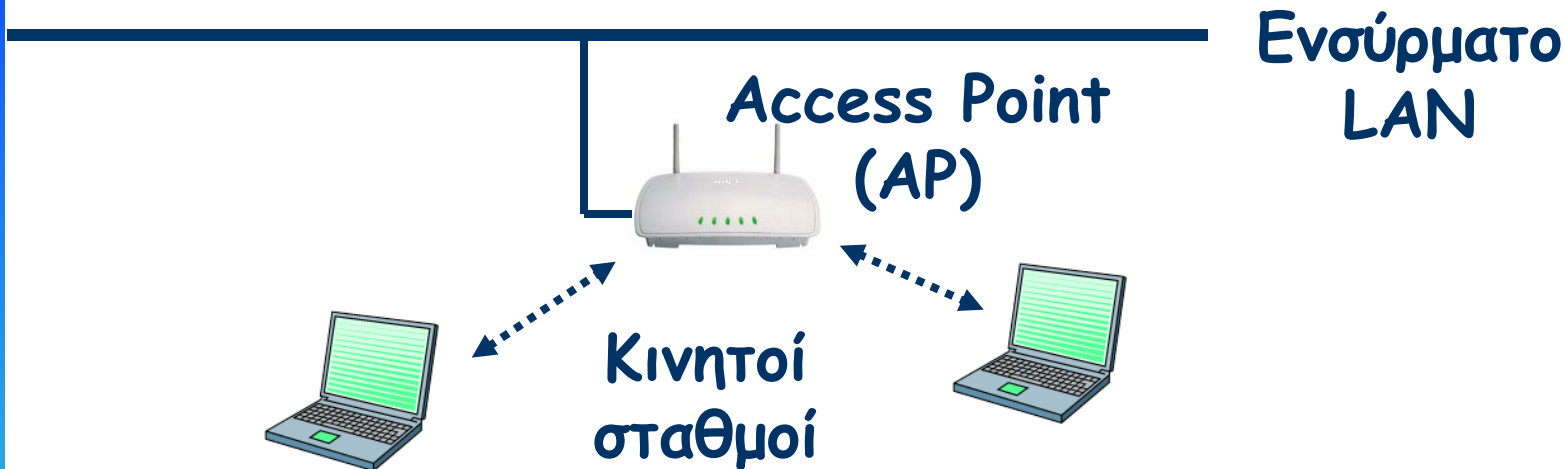


Ad Hoc LAN





## Δίκτυο με υποδομή (1)

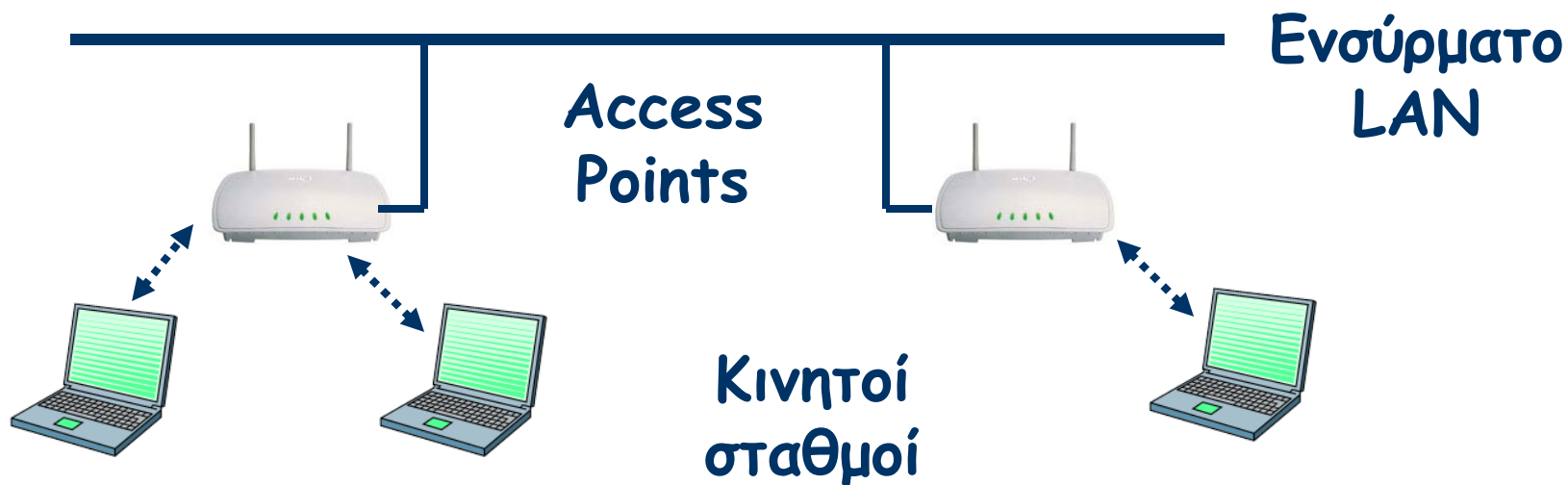


- Basic Service Set (BSS)
- Το σημείο πρόσβασης λειτουργεί ως τοπική γέφυρα
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μέσω του AP, το οποίο αναμεταβιβάζει πλαίσια από και προς τους κινητούς σταθμούς





## Δίκτυο με υποδομή (2)

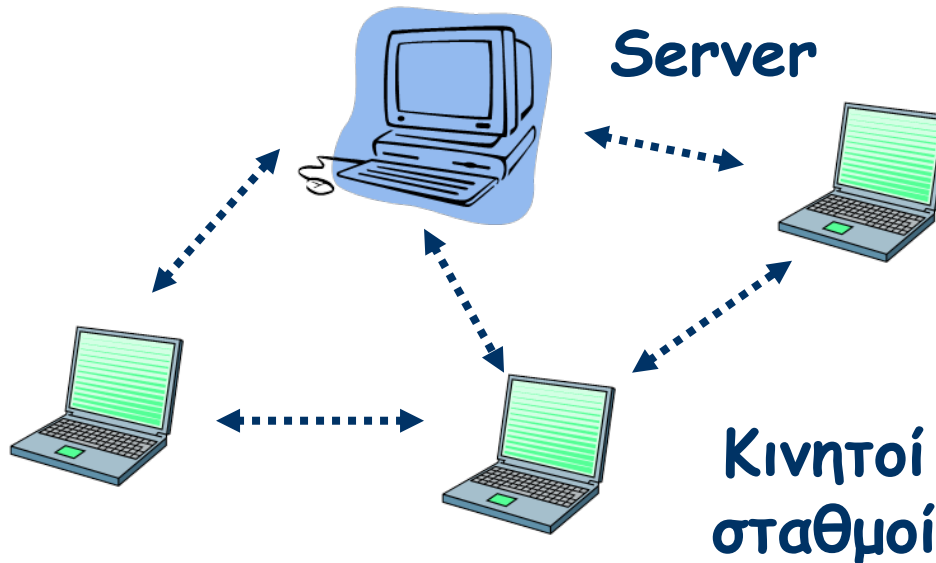


- Extended Service Set (ESS)
- Σύνολο από BSS με υποδομή
- Τα AP επικοινωνούν μεταξύ τους για να προωθούν τα πλαίσια μεταξύ των BSS και να διευκολύνουν τη μετακίνηση των σταθμών μεταξύ των BSS



# Ασύρματα LAN

## Δίκτυο Ad Hoc



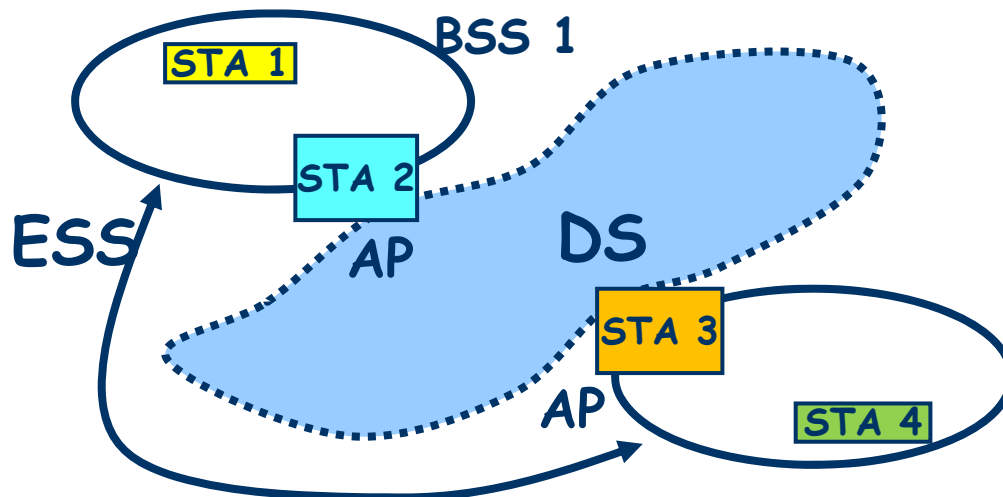
- Independent Basic Service Set (IBSS)
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μεταξύ τους
- Όταν δεν υπάρχει άμεση ζεύξη μεταξύ δύο σταθμών, ένας τρίτος μπορεί να λειτουργεί ως αναμεταβιβαστής (multi-hop communications)



# Ασύρματα LAN

## Σύστημα διανομής

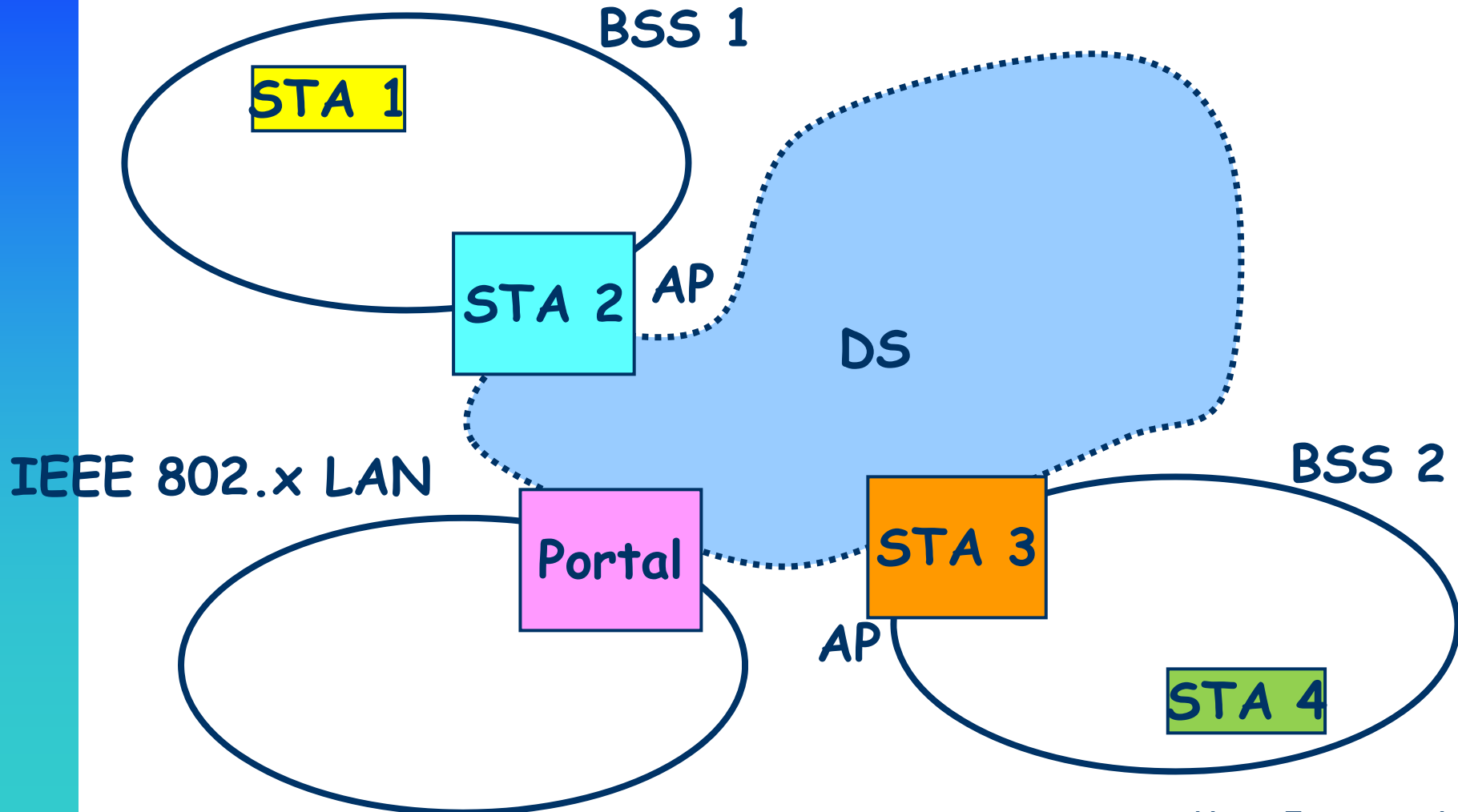
- Το σύστημα διανομής (distribution system - DS) χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των BSS
- **Ενσωματωμένο:** Ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο
- **Ενσύρματο:** Τα AP συνδέονται με καλώδια
- **Ασύρματο:** Τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο



# Ασύρματα LAN



## Ολοκλήρωση με ενσύρματα LAN



# IEEE 802.11



## IEEE 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 (IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, κλπ.) επιτρέπουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και (στην περίπτωση του 802.11a) διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων

# IEEE 802.11



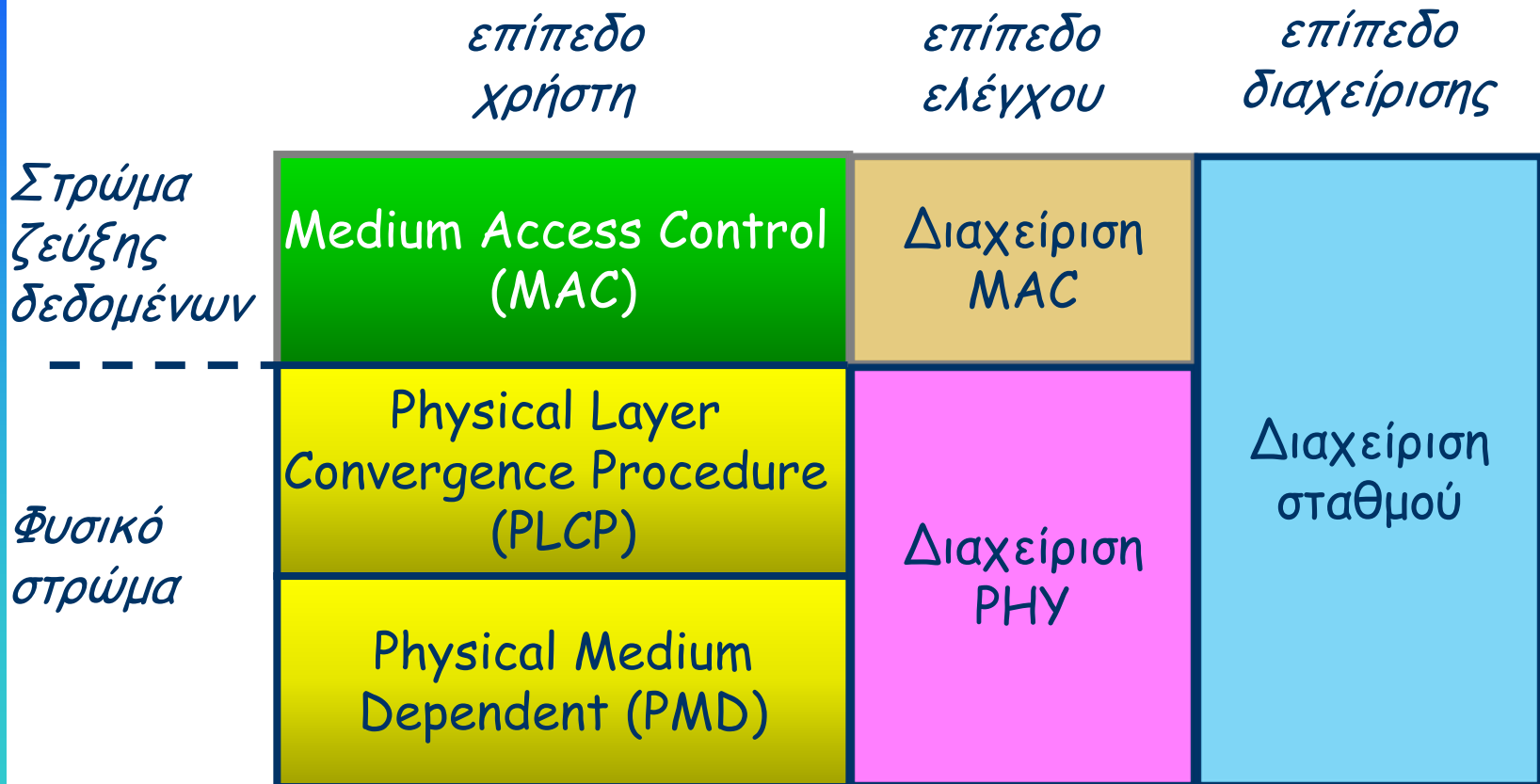
## Οικογένεια IEEE 802.11

- IEEE 802.11a
  - Μέχρι 54 Mbps στη ζώνη 5 GHz
  - Χρησιμοποιεί OFDM
- IEEE 802.11b (Wi-Fi)
  - 11 Mbps (με μετάπτωση στα 5.5, 2 και 1 Mbps) στη ζώνη 2.4 GHz
  - Χρησιμοποιεί DSSS
- IEEE 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

# IEEE 802.11



## Μοντέλο αναφοράς





## Μοντέλο αναφοράς

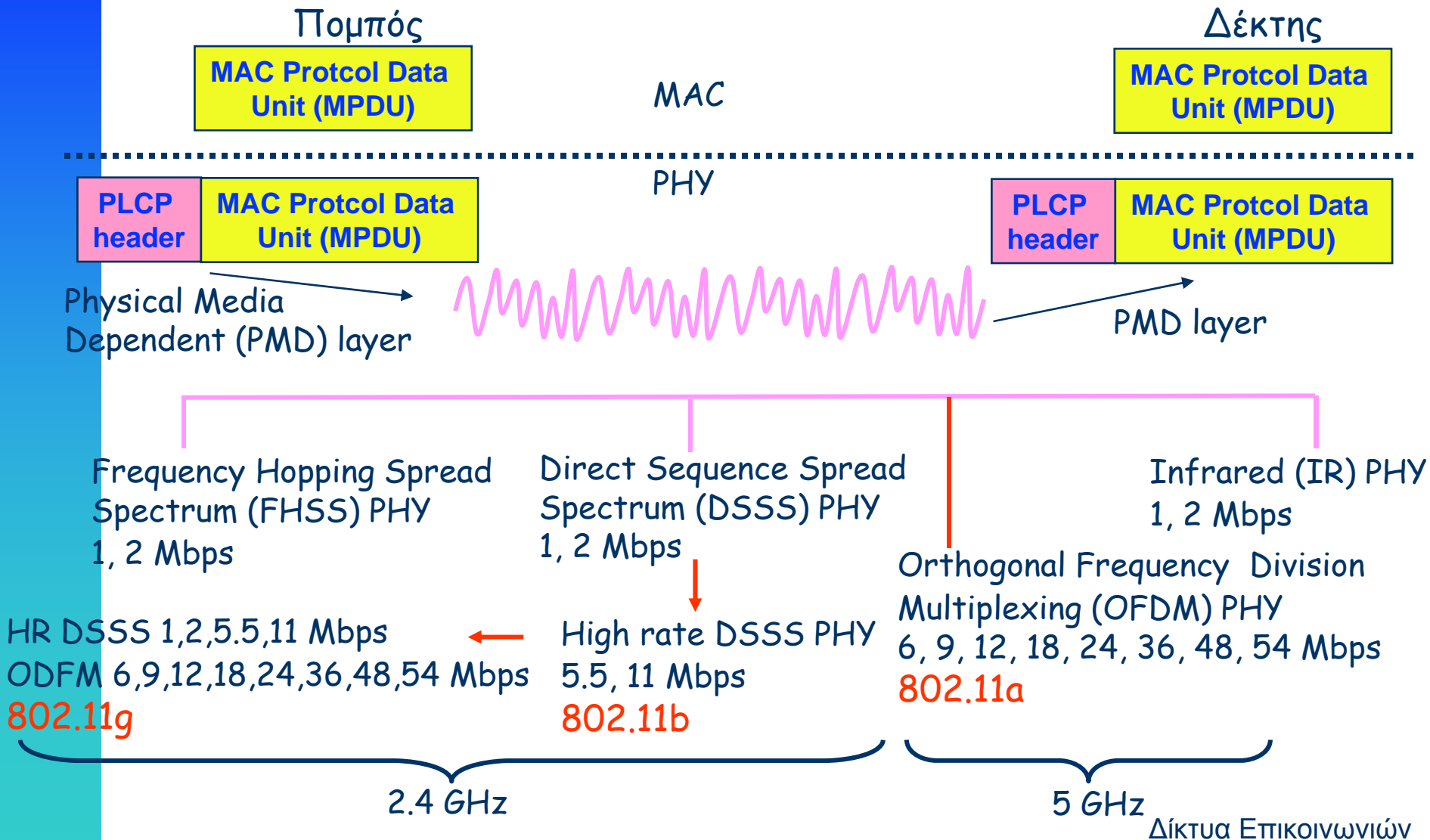
- Physical Medium Dependent (PMD)
  - Καθορίζει τον τρόπο εκπομπής και λήψης δεδομένων στο μέσο μετάδοσης
  - Εξαρτάται από το κατά πόσο χρησιμοποιείται DSSS, FHSS ή IR
- Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)
  - Αντιστοιχίζει την PDU του MAC σε πακέτο κατάλληλο για μετάδοση στο στρώμα PMD
  -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



# IEEE 802.11



## Πρόσβαση στο φυσικό στρώμα





## 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
  - Παθητική ή Ενεργητική σάρωση
- 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



## MAC: Μέθοδοι πρόσβασης

- 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



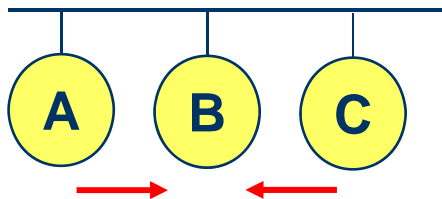
## Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD;

- 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**

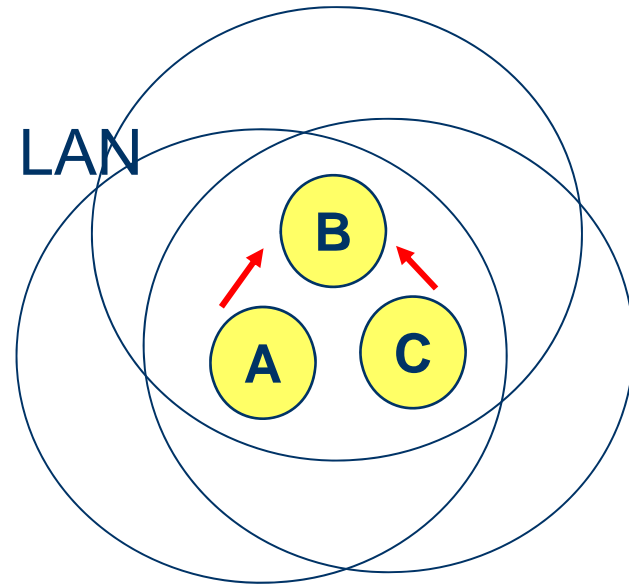


## Διαφορά ασύρματων και ενσύρματων LAN

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

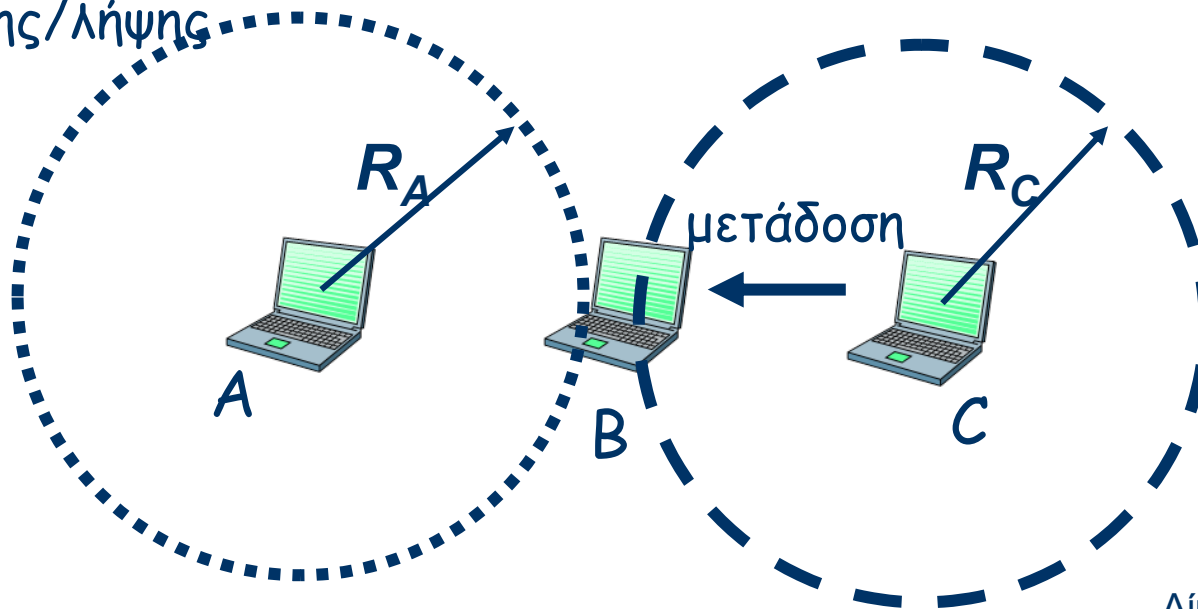




## Το πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

- 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

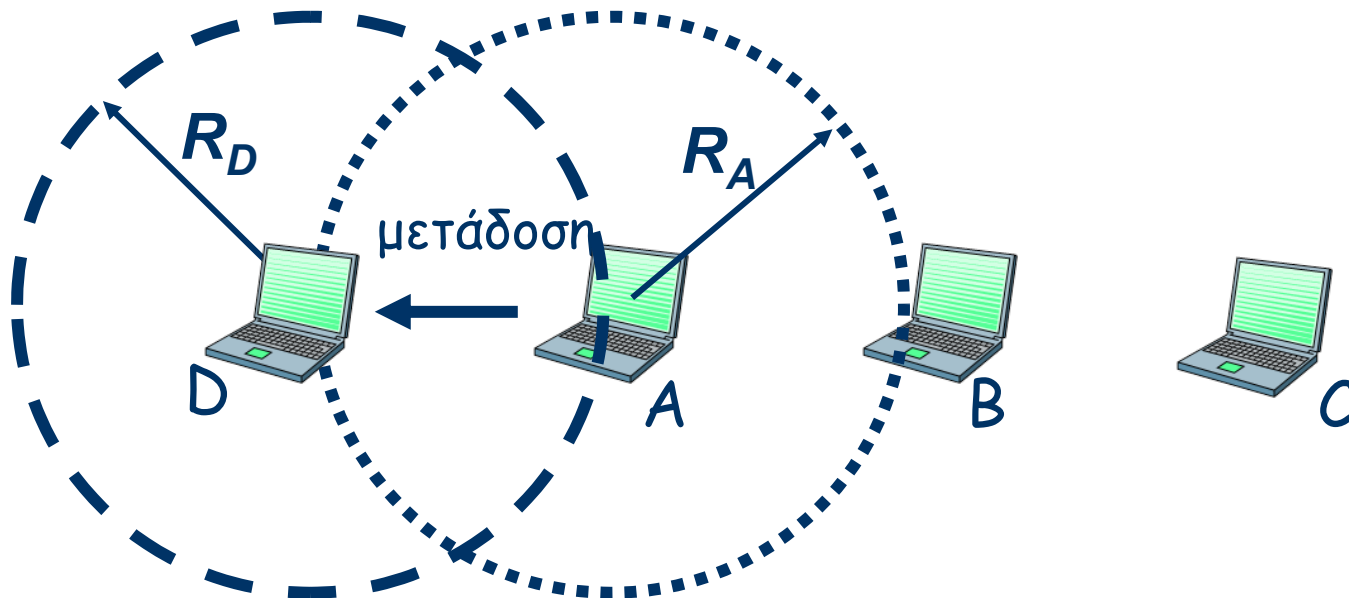
Εμβέλεια  
μετάδοσης/λήψης  
του A





## Το πρόβλημα εκτεθειμένου κόμβου

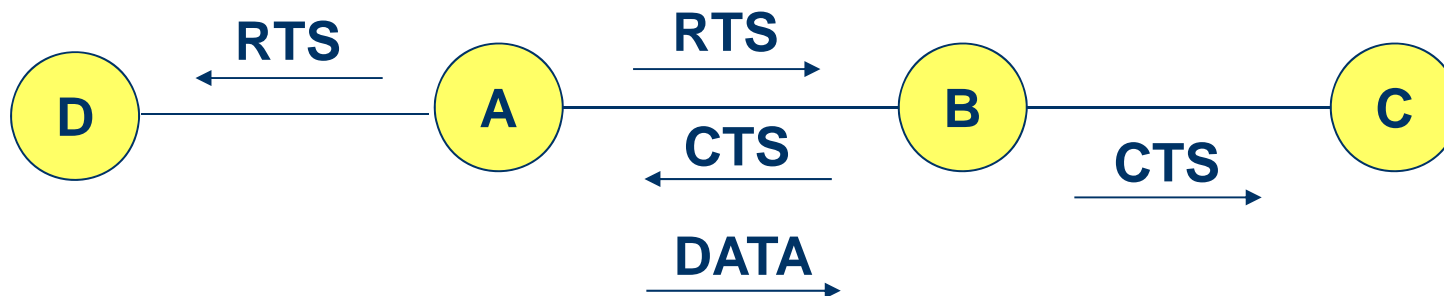
- Ο σταθμός Β θέλει να μεταδώσει στον C, αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει στη μετάδοση του A προς τον D
  - **Απέχει από τη μετάδοση (μειωμένη απόδοση)**





## 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*)



## CSMA/CA

- Ο σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει, ακούει το μέσο
- Εάν είναι κατειλημμένο, περιμένει να ελευθερωθεί
- Εάν είναι ανενεργό, μεταδίδει μετά από μια περίοδο αποχής (περίοδος ανταγωνισμού)
  - Η περίοδος ανταγωνισμού (αποχής) είναι το άθροισμα μιας υποχρεωτικής ελάχιστης περιόδου συν μιας τυχαίας περιόδου οπισθοχώρησης (0 έως το παράθυρο ανταγωνισμού)
  - Έτσι αποφεύγονται συγκρούσεις λόγω πολλών σταθμών που μεταδίδουν αμέσως μόλις ακούσουν ότι το μέσο είναι ελεύθερο



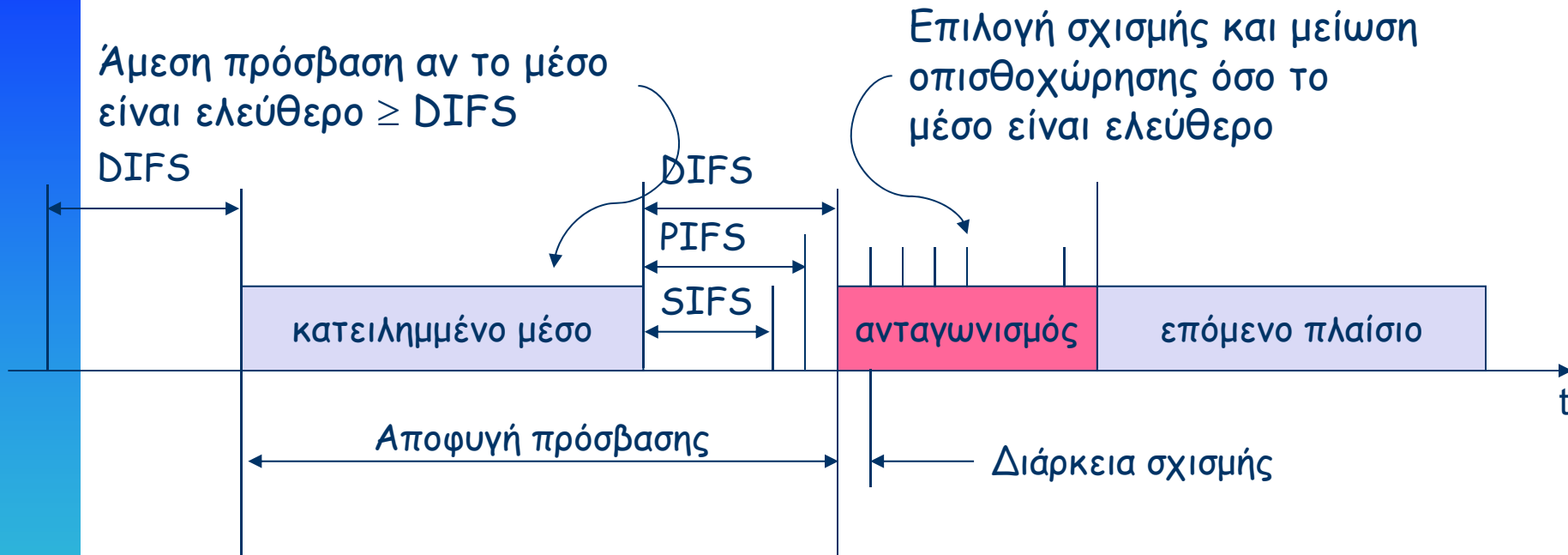
## CSMA/CA

- Δεν γίνεται ανίχνευση σύγκρουσης, αλλά εάν το πλαίσιο δεν επιβεβαιωθεί (ACK), ο σταθμός υποθέτει ότι έχει συμβεί σύγκρουση
  - Ο σταθμός επαναμεταδίδει, όμως τώρα το παράθυρο ανταγωνισμού διπλασιάζεται
    - εκθετική οπισθοχώρηση παρόμοια με το IEEE 802.3
- Προαιρετικά, ο πομπός και ο δέκτης μπορούν να δεσμεύσουν τον δίαυλο μέσω ανταλλαγής πλαισίων RTS/CTS
- Η μείωση της διέλευσης λόγω της περιόδου αποχής αντισταθμίζεται από τις λιγότερες αναμεταδόσεις



## CSMA/CA

Άμεση πρόσβαση αν το μέσο είναι ελεύθερο  $\geq$  DIFS



- Αναγκαία κενά για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου
  - SIFS = Short Interframe Space
  - PIFS = PCF Interframe Space = SIFS + 1
  - DIFS = DCF Interframe Space = PIFS + 1
- Μετρητής οπισθοχώρησης εκφρασμένος σε πλήθος σχισμών



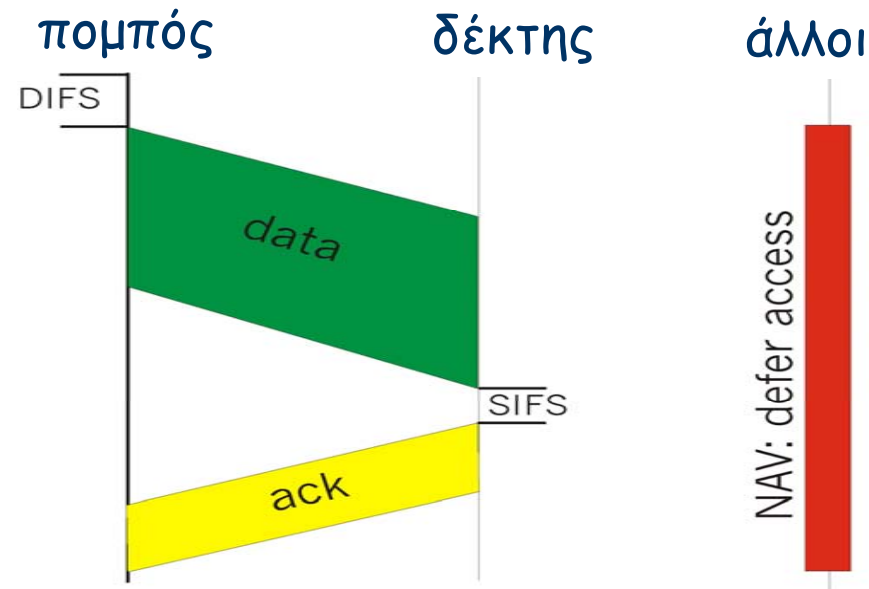
## CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

### 802.11 CSMA: εκπομπή

- αν ο δίαυλος είναι αδρανής για **DIFS sec**
- τότε στέλνεται ένα πλαίσιο (δεν ανιχνεύονται συγκρούσεις)
- αν ο δίαυλος είναι κατειλημμένος τότε γίνεται αναβολή πρόσβασης

### 802.11 CSMA λήψη:

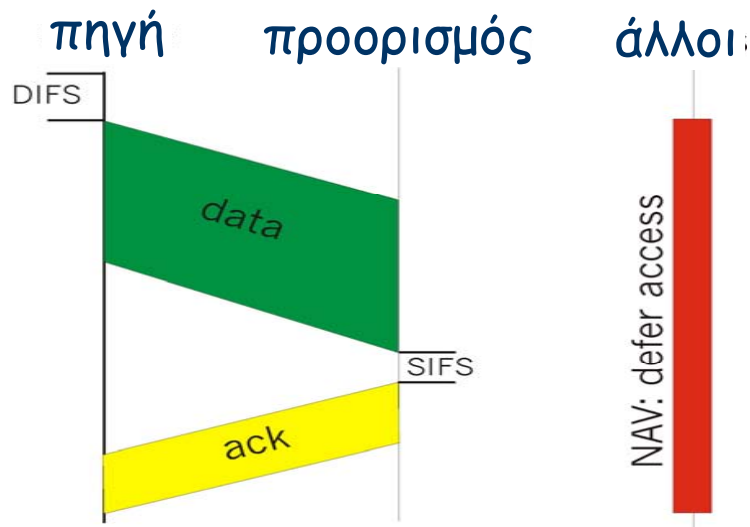
- αν το πλαίσιο ληφθεί σωστά αποστέλλεται ACK μετά από **SIFS sec**  
(απαιτείται ACK λόγω του κρυμμένου τερματικού)





## CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

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

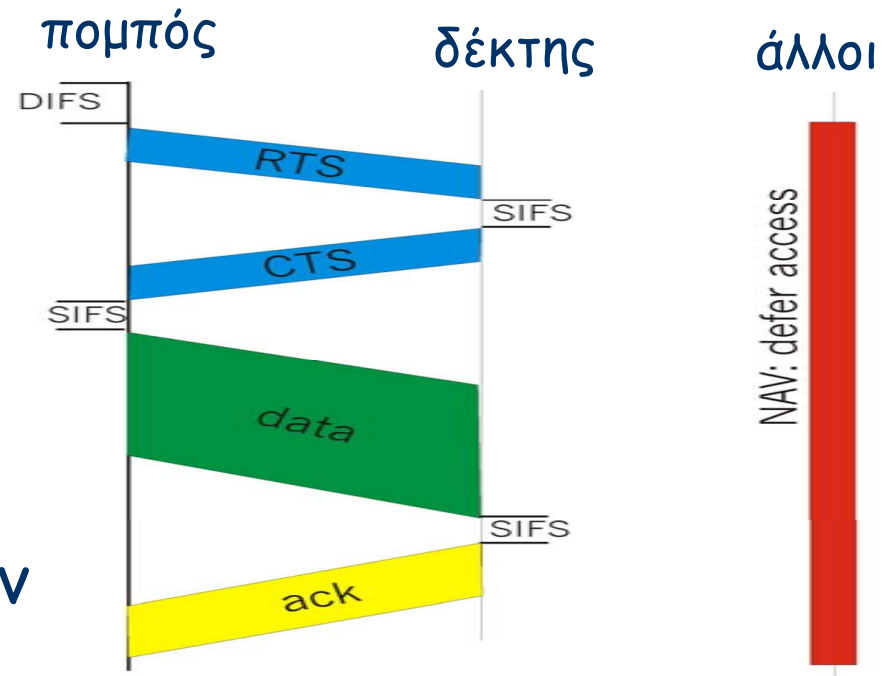






## CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

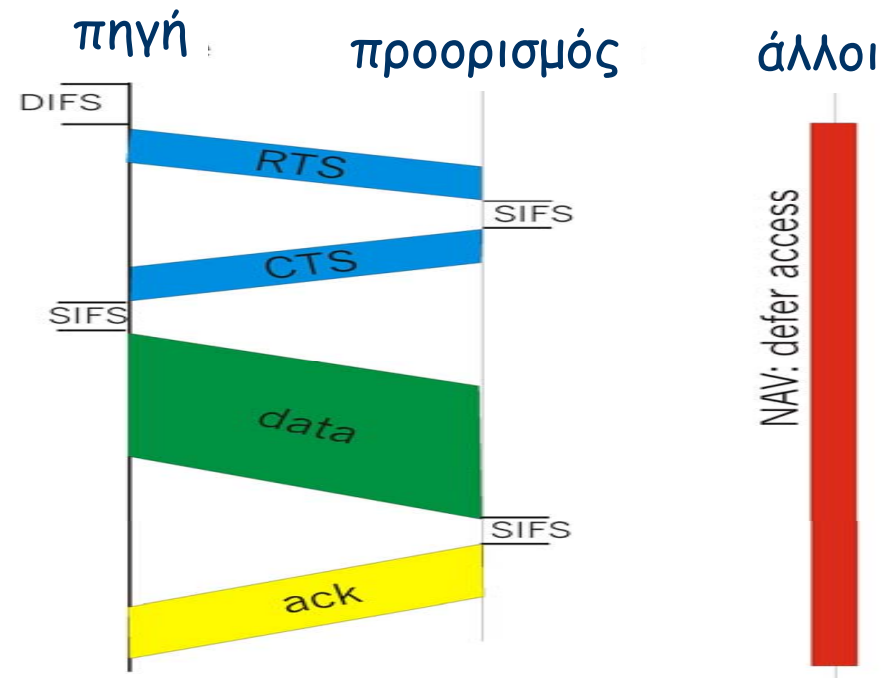
- **CSMA/CA με σαφή κράτηση του διαύλου**
  - πομπός: στέλνει RTS (request to send)
  - δέκτης: απαντά με CTS (clear to send)
- το CTS κρατάει τον δίαυλο για τον πομπό, ειδοποιώντας τους (τυχόν κρυμμένους) σταθμούς
  - αποφυγή συγκρούσεων λόγω κρυμμένων σταθμών





## CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

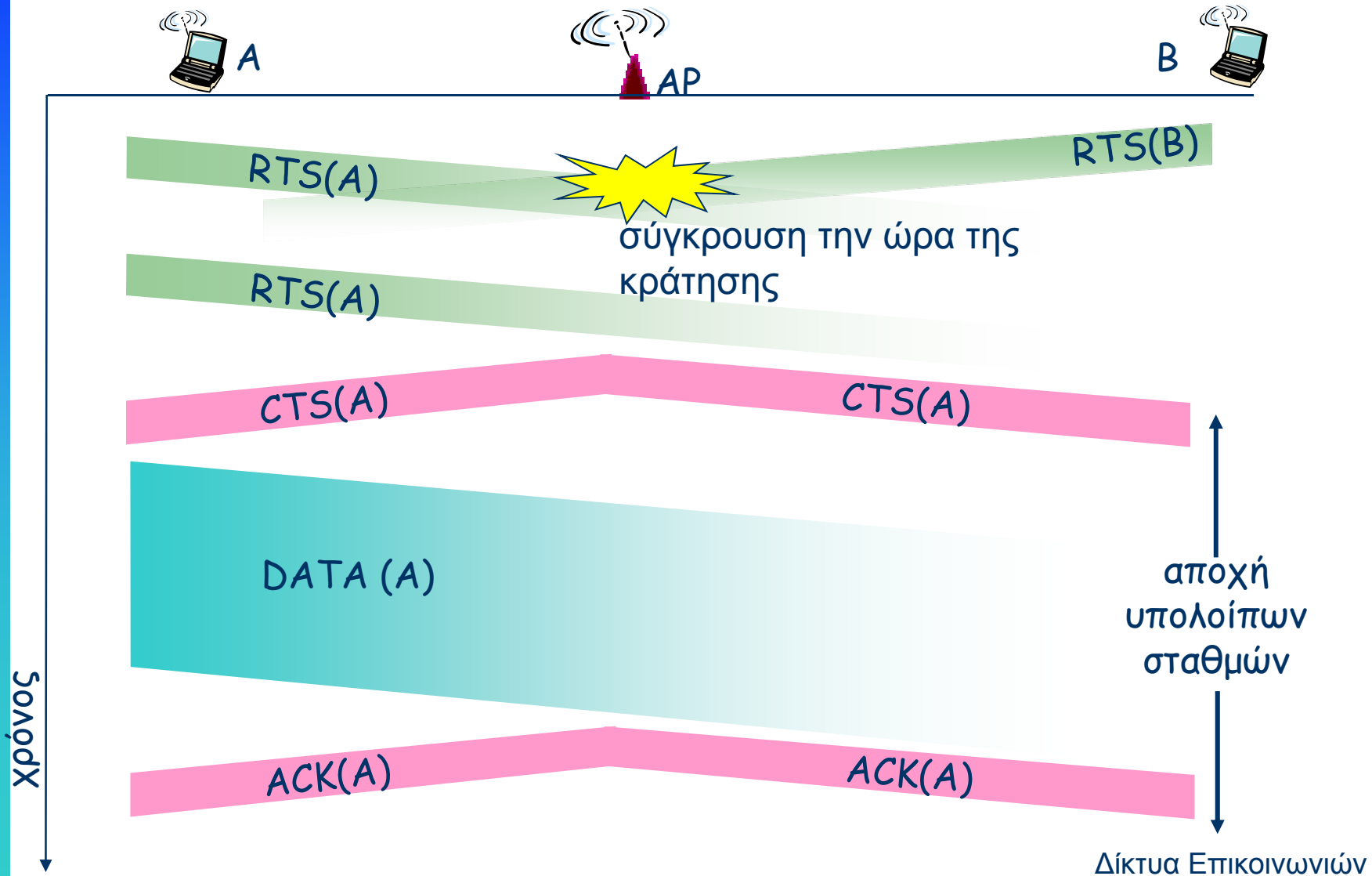
- σύντομα RTS και CTS:
  - μικρότερη πιθανότητα σύγκρουσης
  - μικρότερης διάρκειας σύγκρουσης
  - αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος (*virtual carrier sense*)



# IEEE 802.11



## Virtual Carrier Sense



# Bluetooth



- Τεχνολογία αντικατάστασης των καλωδίων
- Μικρής εμβέλειας ασύρματες ζεύξεις
- Μικρό, φθηνό radio chip για να εγκαθίσταται σε υπολογιστές, τηλέφωνα, palmtop, εκτυπωτές, κλπ.
  - ασύρματη μετάδοση + βασική ζώνη (ψηφιακό μέρος) με ένα chip
- 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

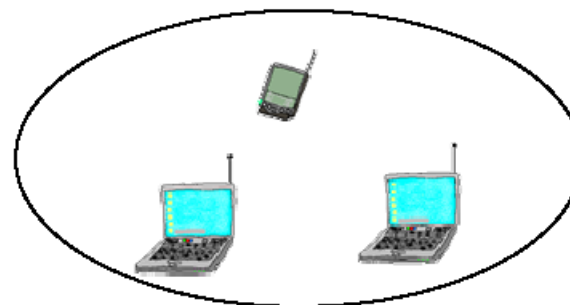
# Bluetooth



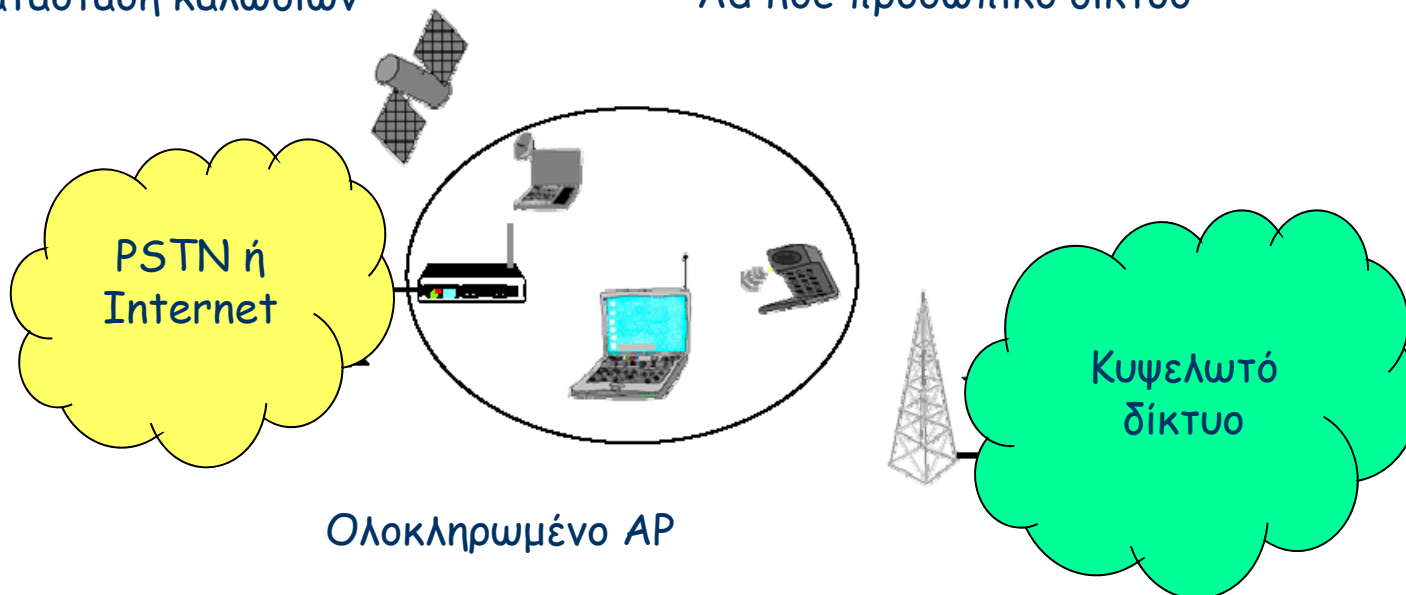
## Σενάρια εφαρμογής



Αντικατάσταση καλωδίων



Ad hoc προσωπικό δίκτυο



# Bluetooth



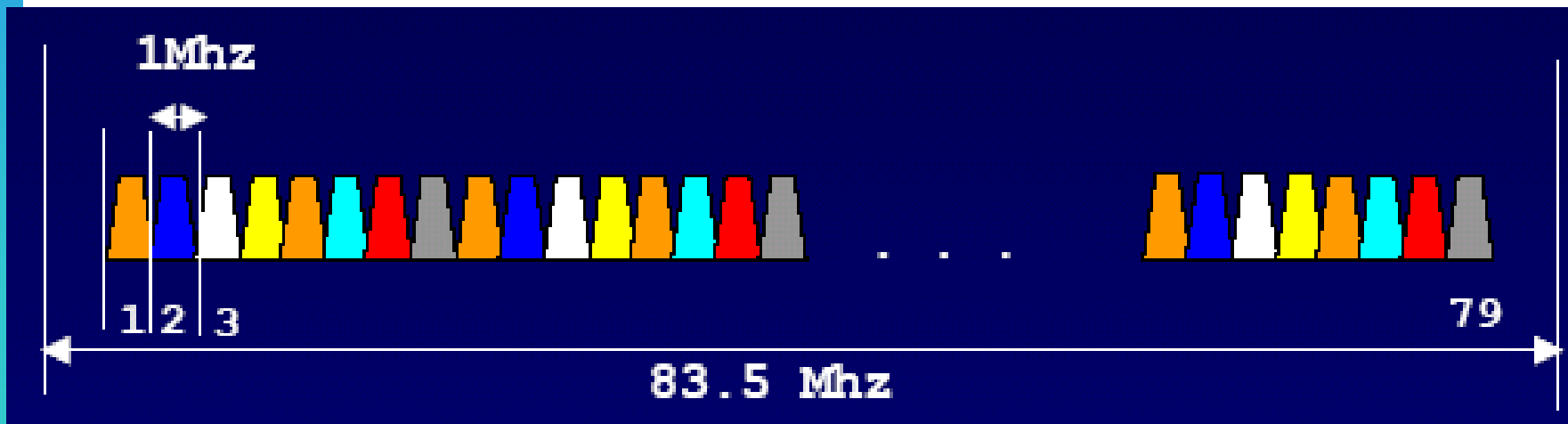
## Ασύρματη ζεύξη

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

Εμβέλεια: 10-100 m

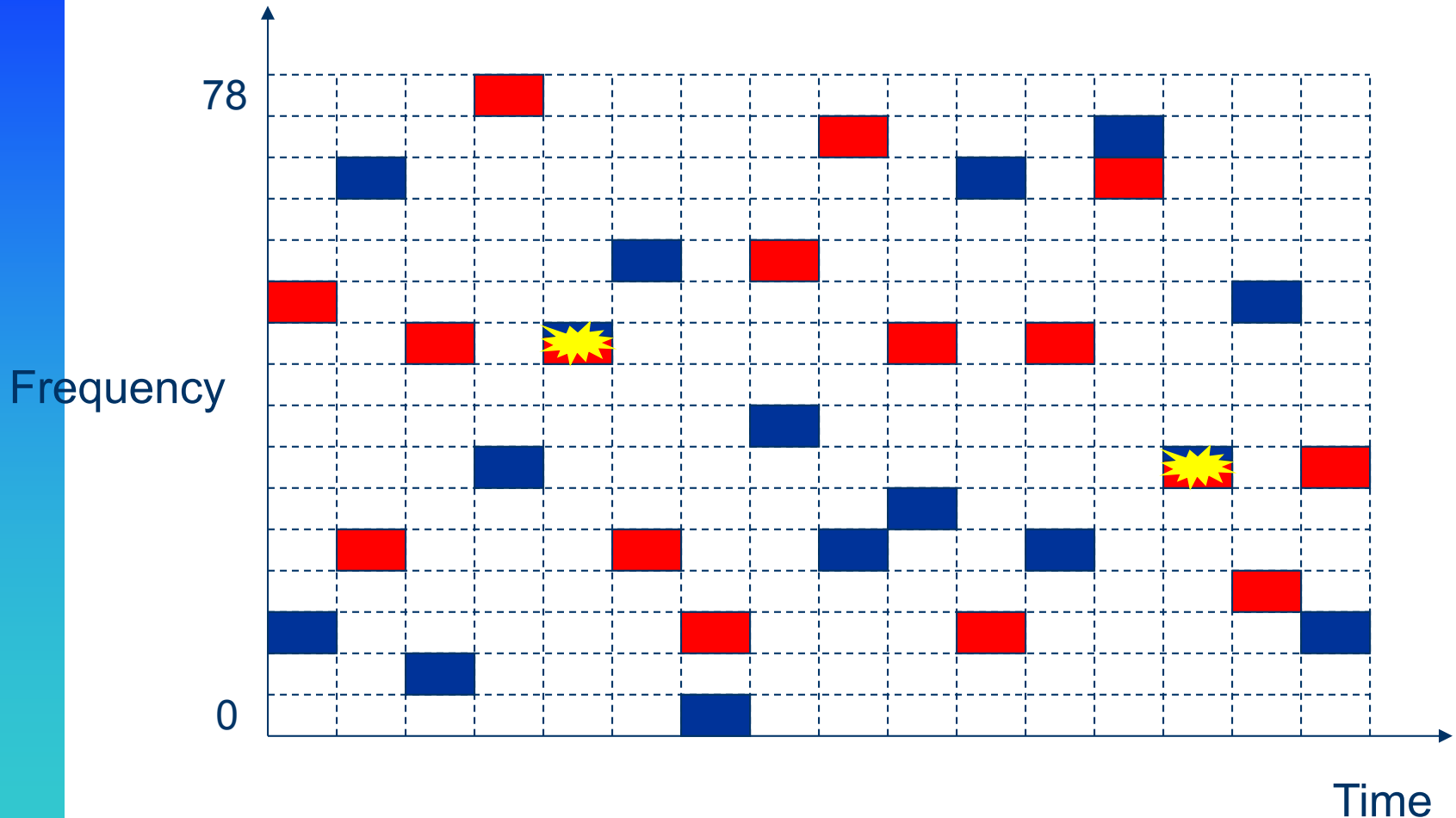
- Class I – 100 m
- Class II – 20 m
- Class III – 10 m



# Bluetooth



## Frequency hopping



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



# Bluetooth

## 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.

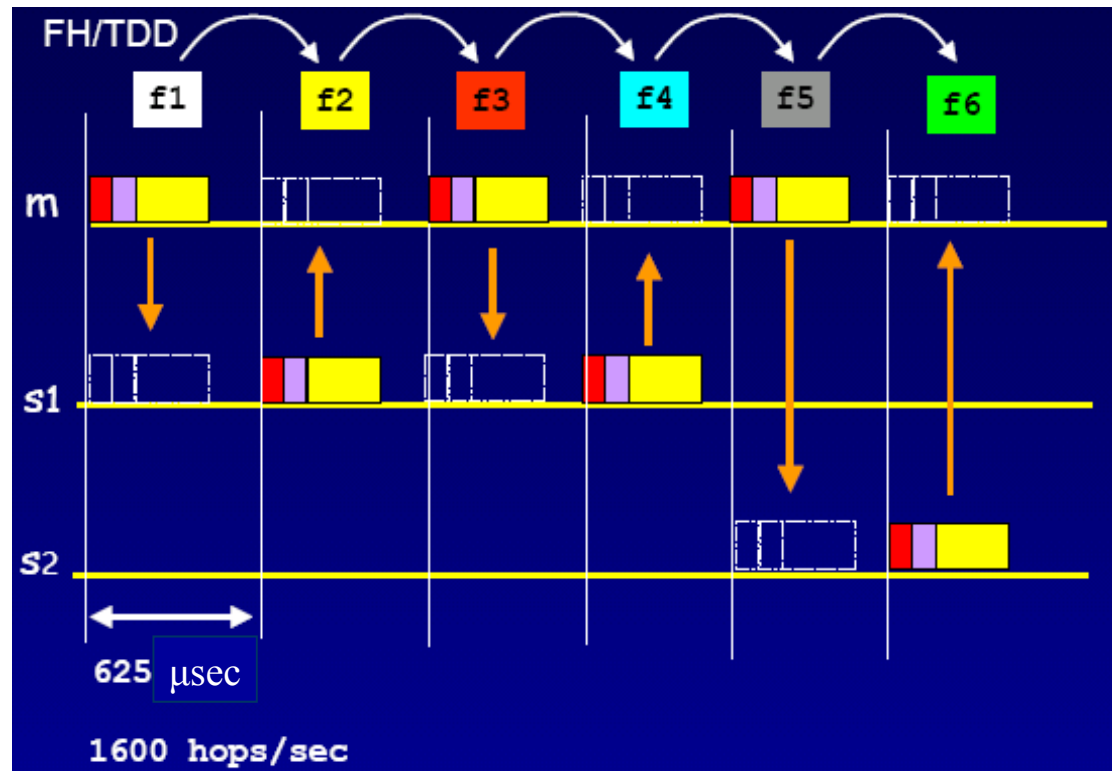
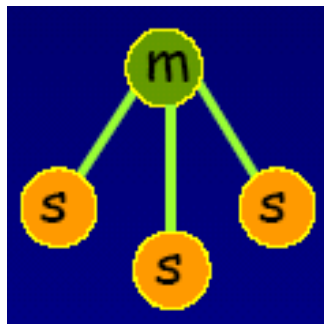




## Φυσικό στρώμα

- 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

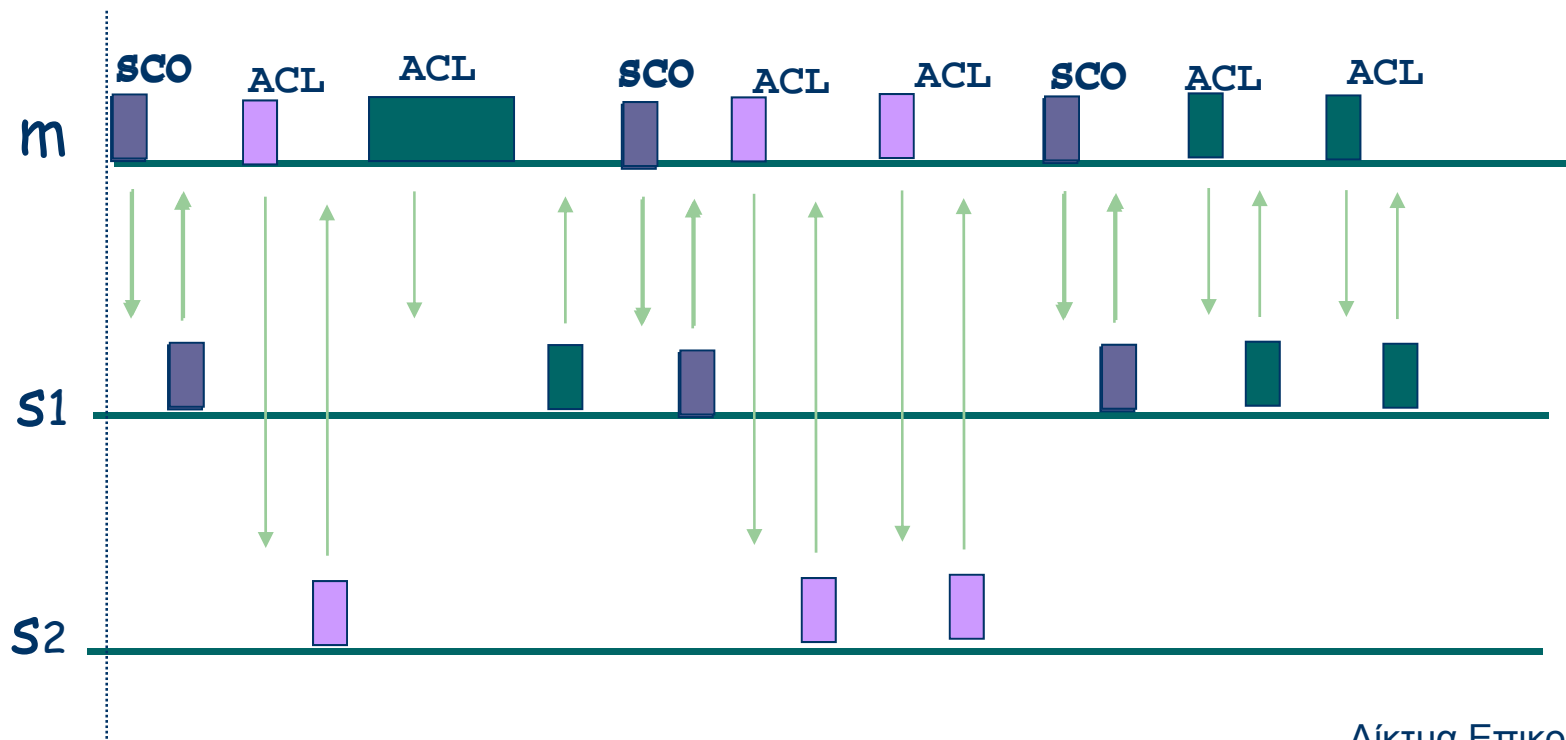




# Bluetooth

## Τύποι φυσικής ζεύξης

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





# Bluetooth

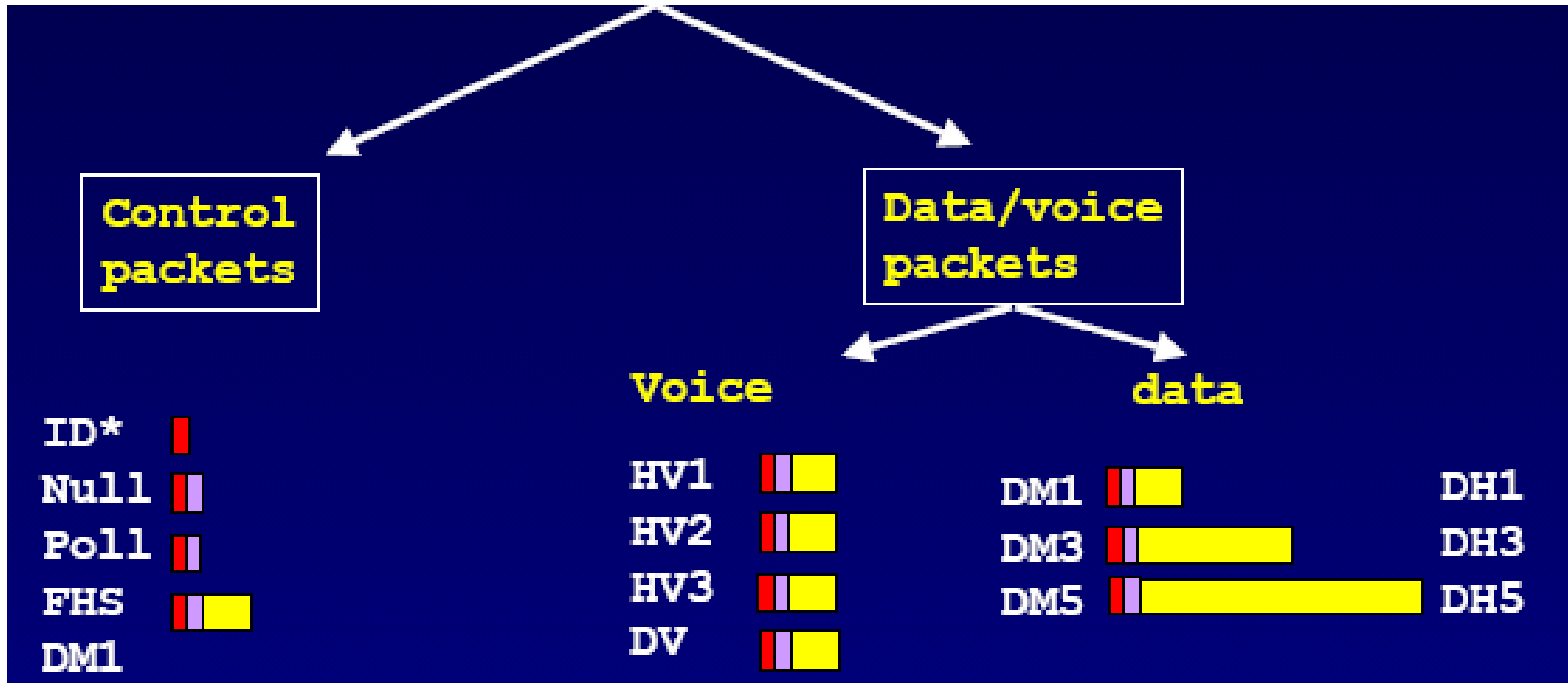
## Διευθυνσιοδότηση

- 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



## Τύποι πακέτων

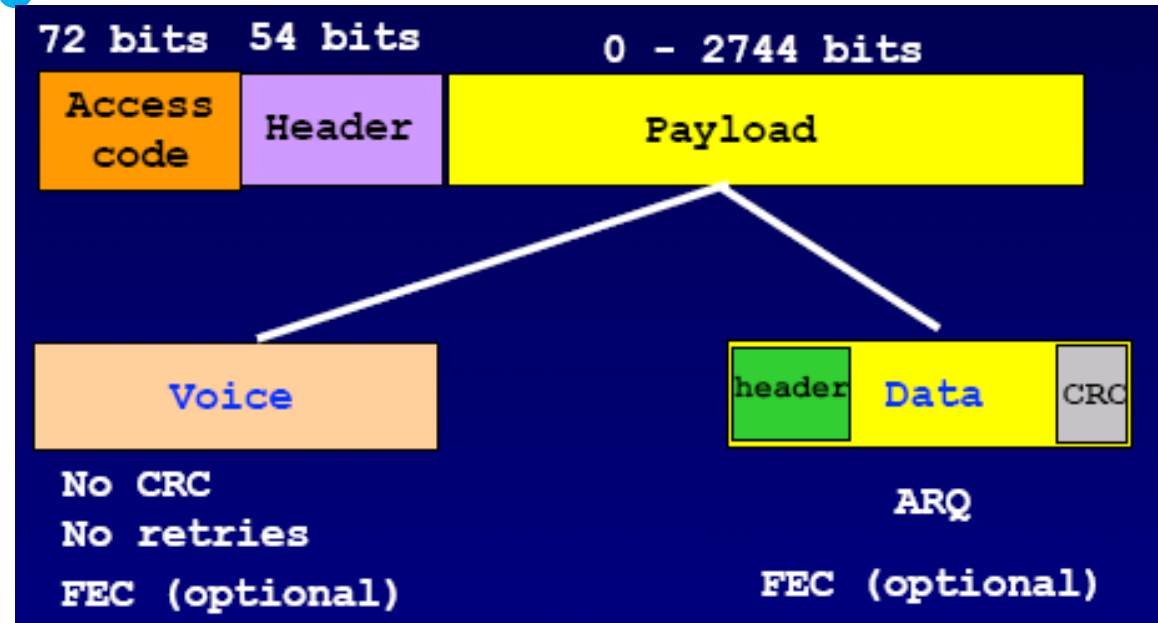


HV: High-quality Voice  
DV: Data and Voice  
DM: Data Medium rate  
DH: Data High rate

# 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

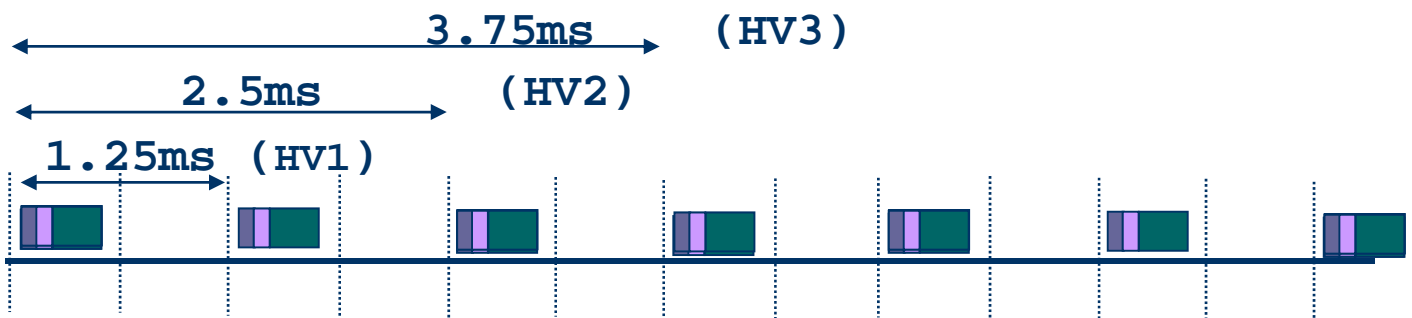
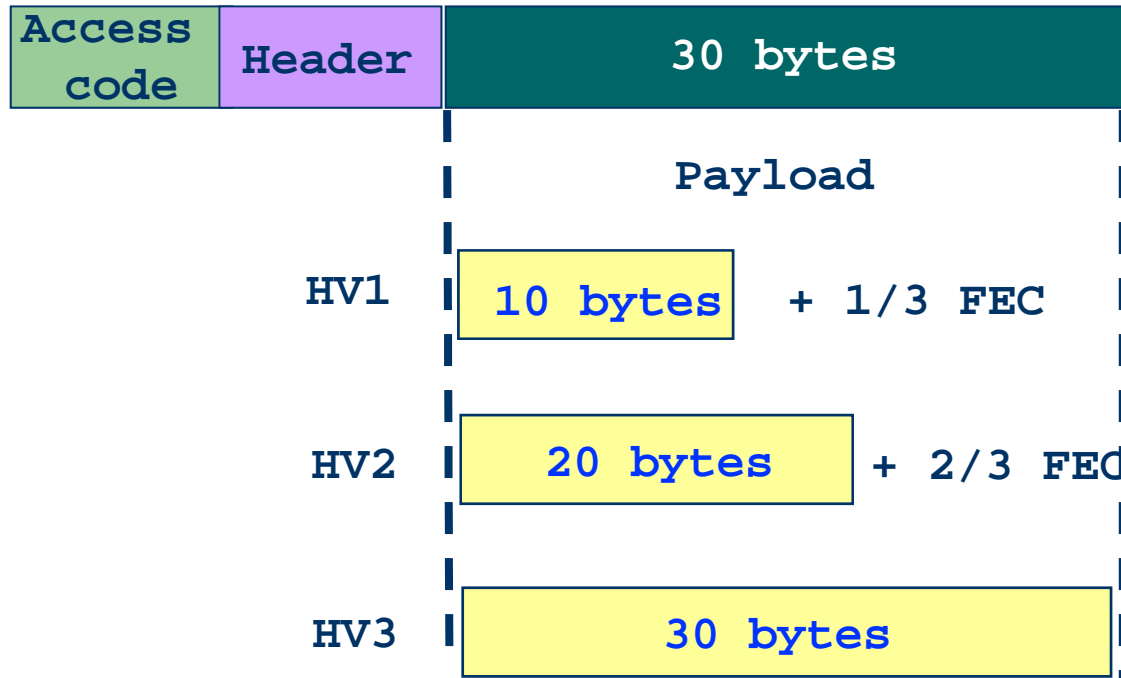
total    18 bits

Encode with 1/3 FEC to get 54 bits

# Πακέτα φωνής (HV1, HV2, HV3)



72 bits 54 bits 240 bits = 366 bits





# Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM1 και DH1

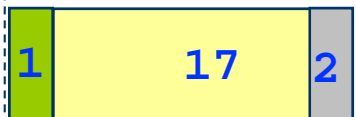
625  $\mu$ s

72 bits 54 bits 240 bits = 366 bits



Payload

DM1



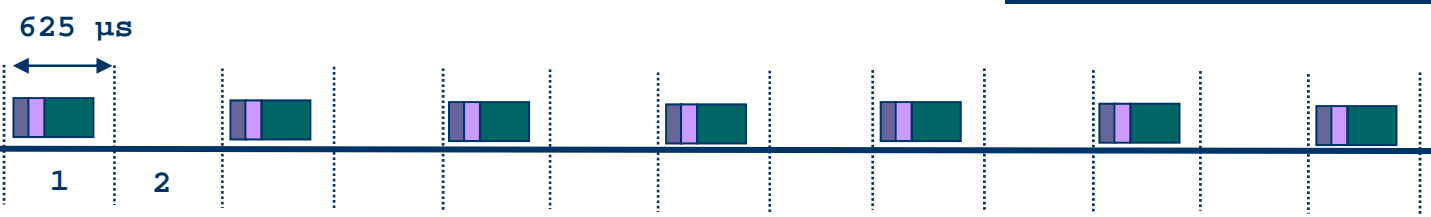
2/3  
FEC

DH1



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

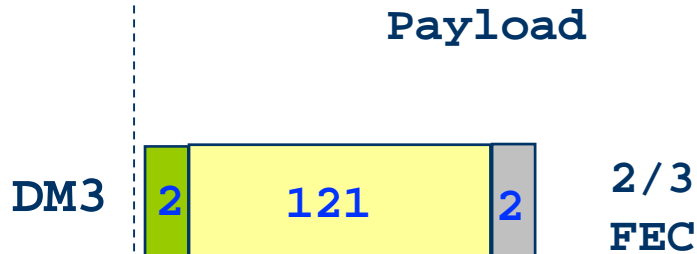
↑	27		172.8
↓	27		172.8



# 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

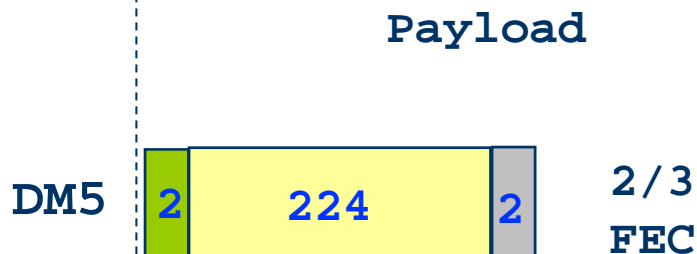




# Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM5 και DH5



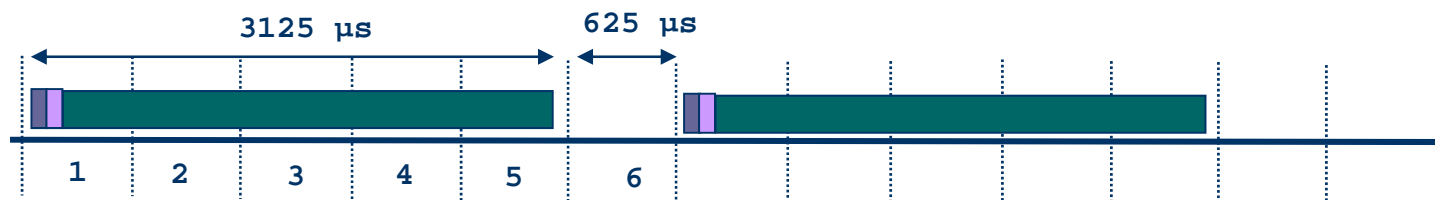
3125  $\mu$ s



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



↑	339		723.2
↓	27		57.6



# Bluetooth



## Τύποι πακέτων

### 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

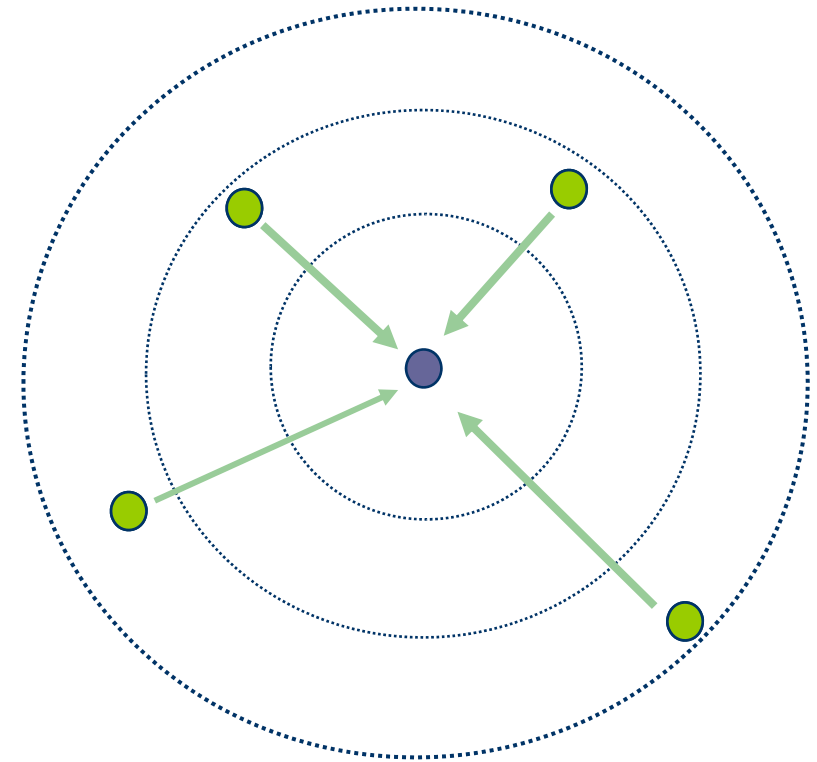
Packet	Timeslots	CRC	FEC	Symmetric (kbps)	Asymmetric (kbps)	
					Forward	Reverse
DM1	1	Yes	Yes	108	108	108
DH1	1	Yes	-	172	172	172
DM3	3	Yes	Yes	258	387	54
DH3	3	Yes	-	390	585	86
DM5	5	Yes	Yes	286	477	36
DH5	5	Yes	-	433	723	57
AUX	1	-	-	185	185	185



# Bluetooth

## Piconet: Εγκατάσταση σύνδεσης

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



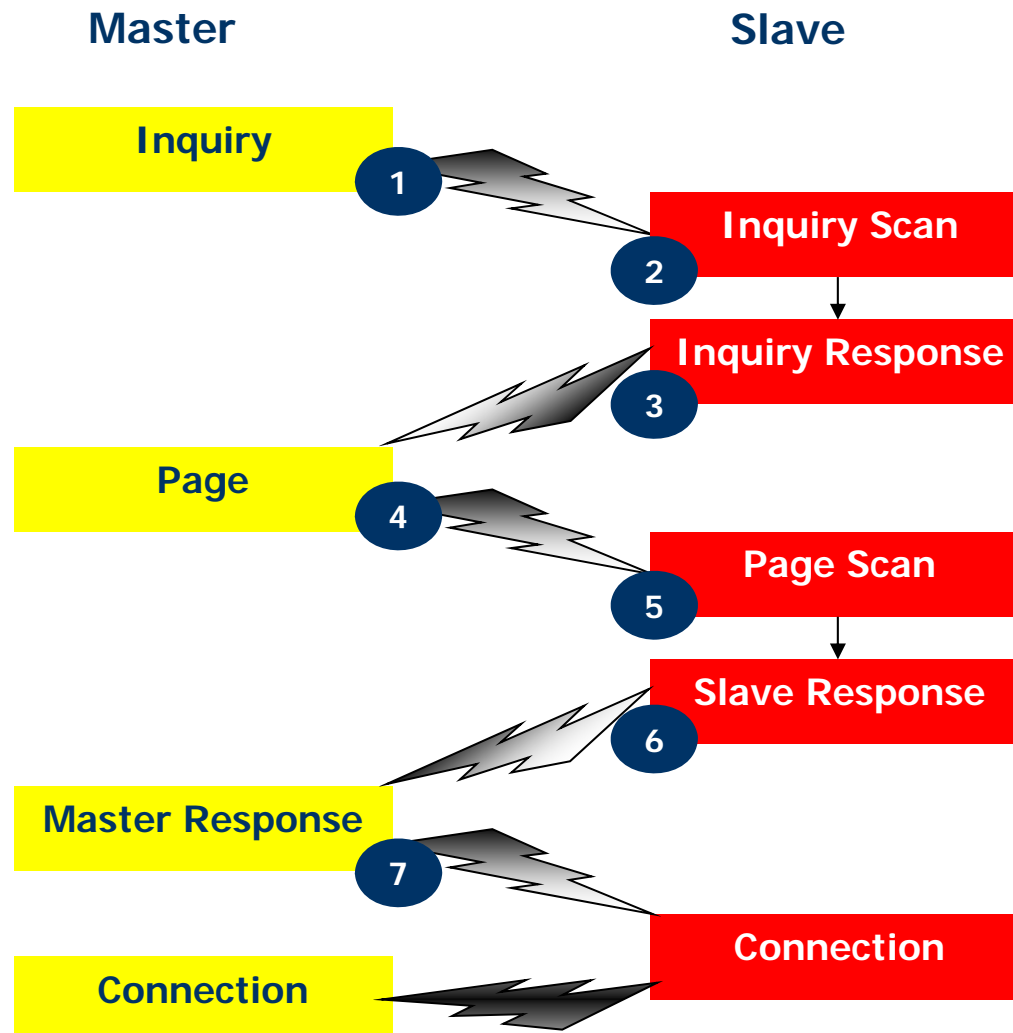


## Σχηματισμός Piconet

- 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

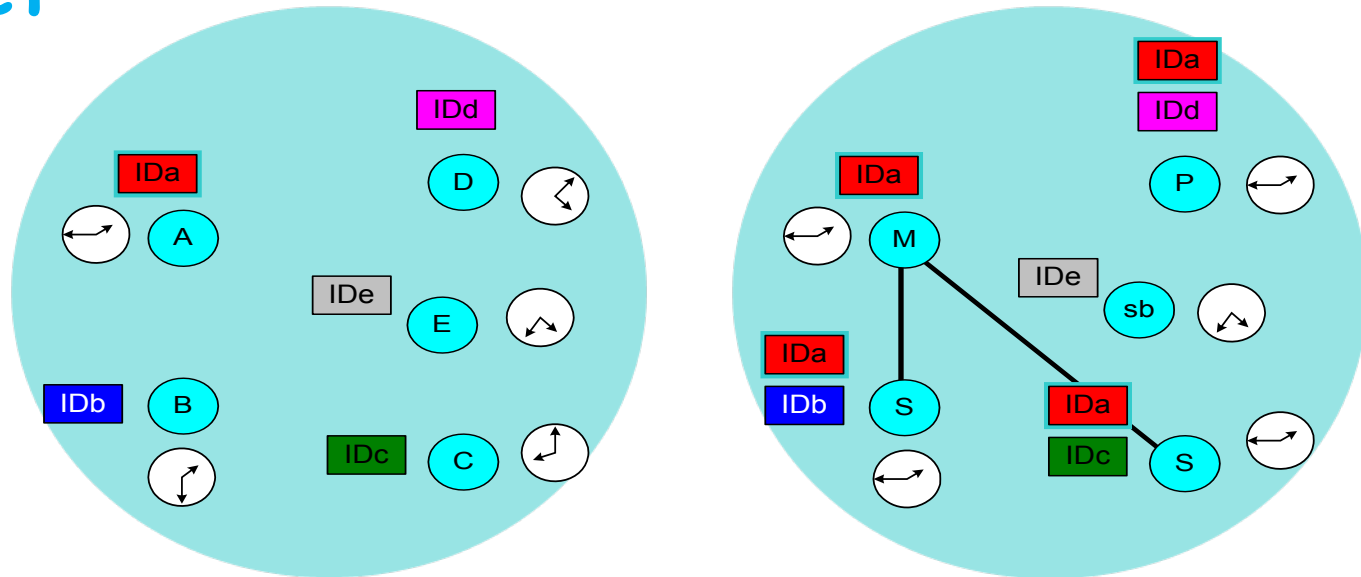


## Σχηματισμός piconet





## Piconet

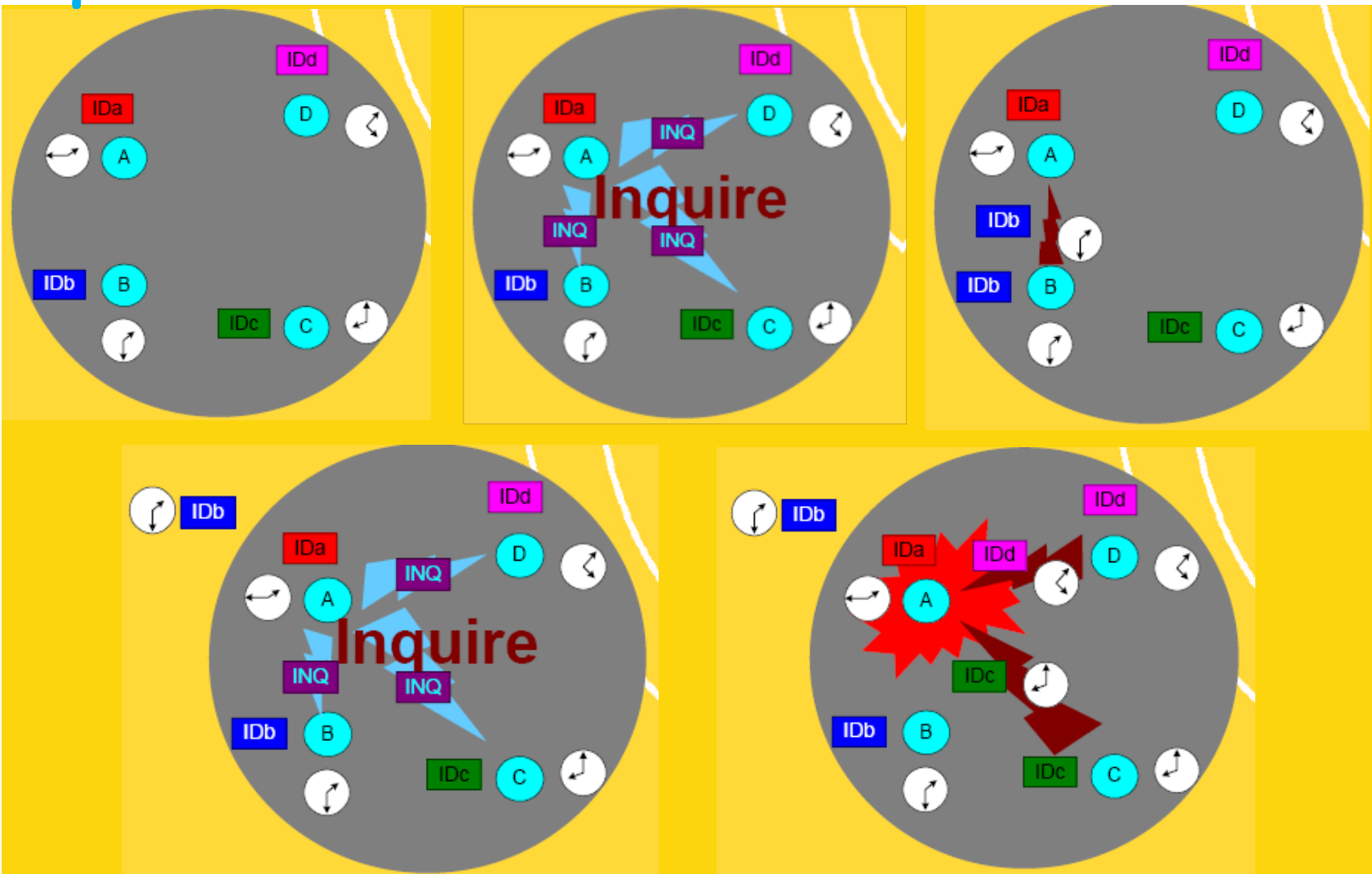


- Όλες οι συσκευές σε ένα piconet κάνουν τις ίδιες μεταπηδήσεις
- Κατά τον σχηματισμό ενός piconet, ο master δίνει στους slaves το *clock* και την *device ID*
- Το σχέδιο μεταπήδησης καθορίζεται από την *device ID* του master (48-bit)
- Η φάση μεταπήδησης καθορίζεται από το *Clock*

# Bluetooth



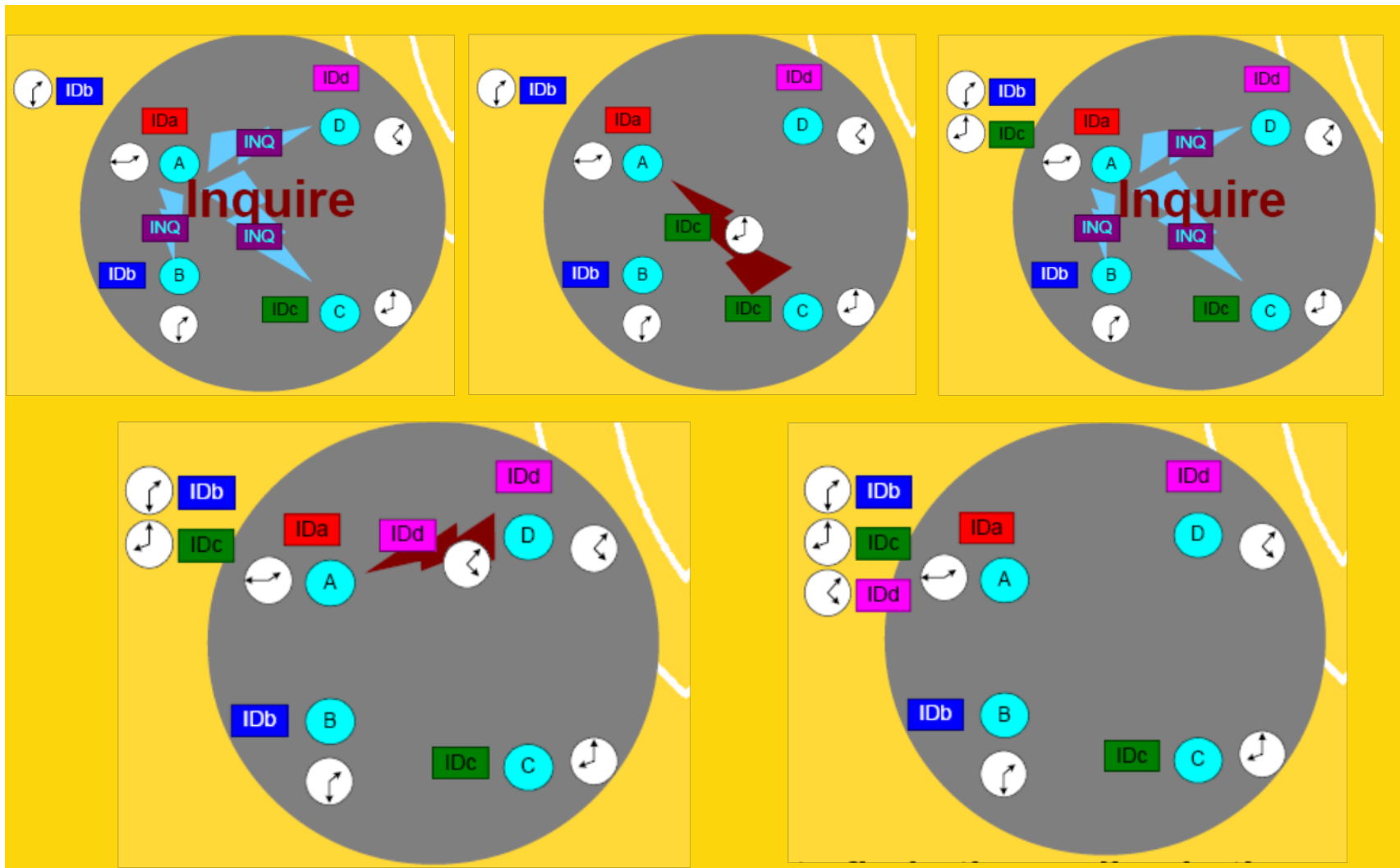
## Inquire



# Bluetooth



## Inquire

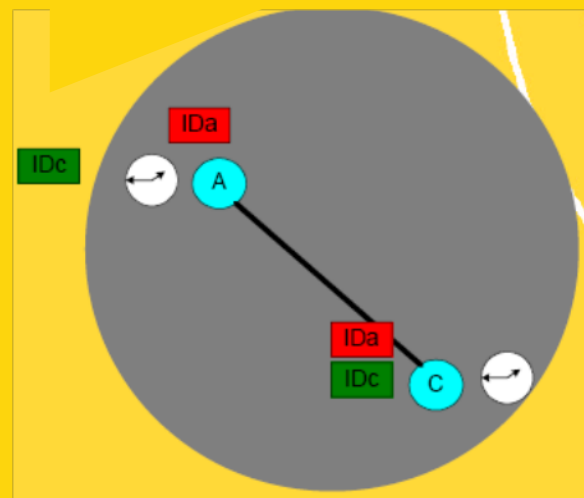
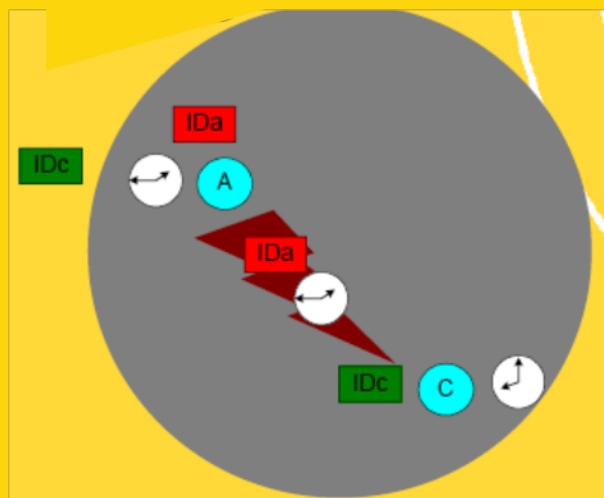
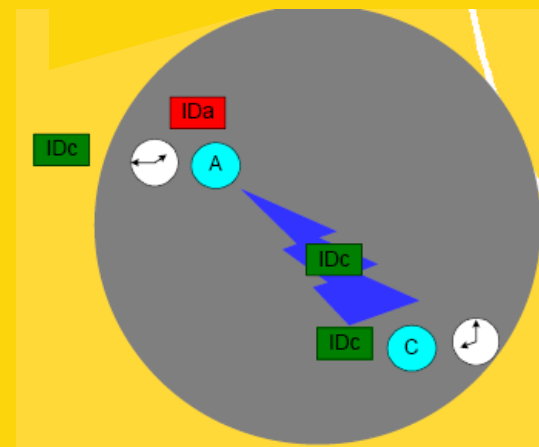
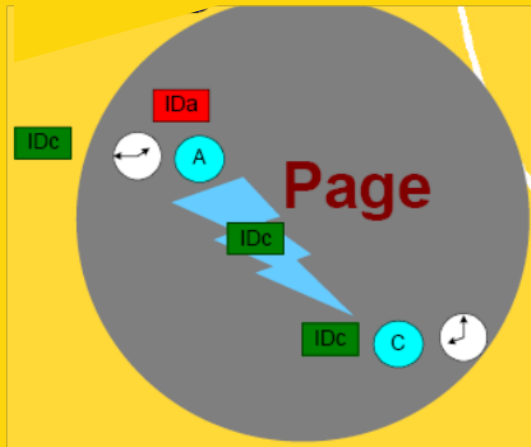
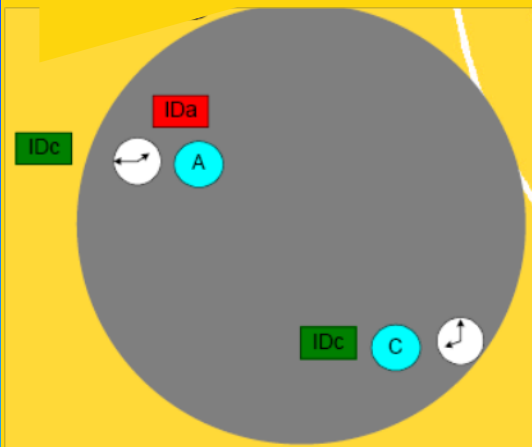




# Bluetooth



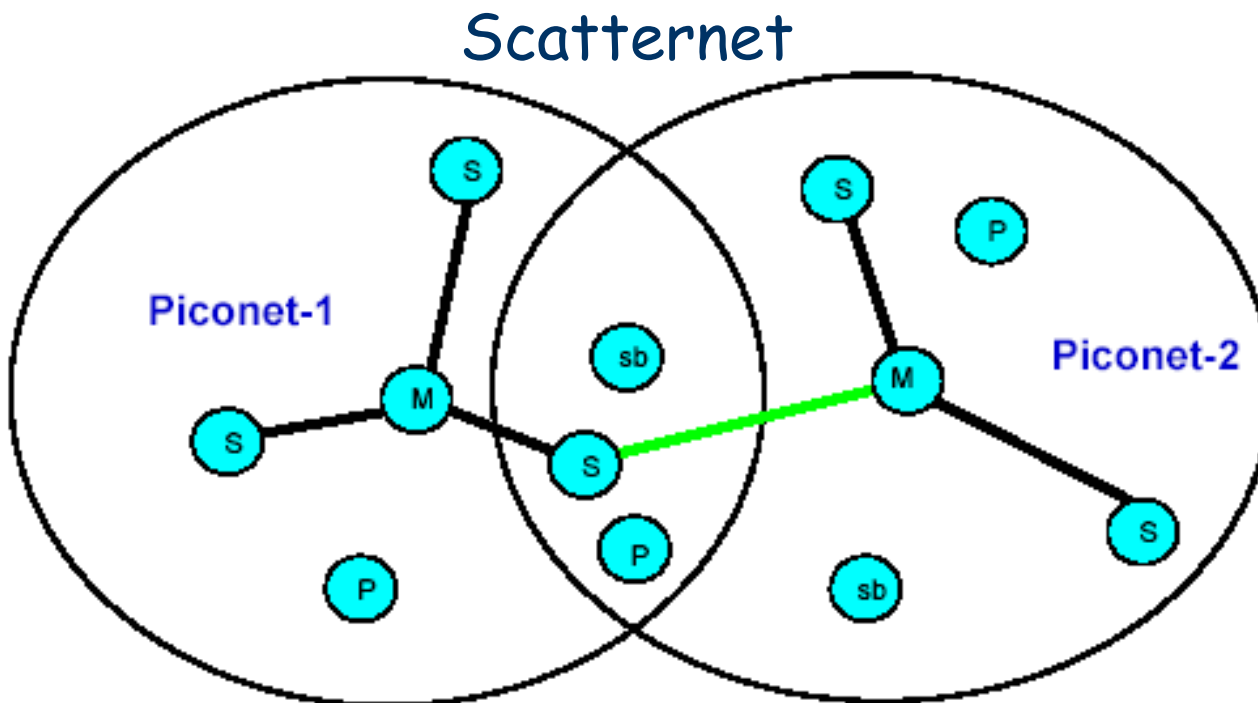
## Paging



# Bluetooth



## Scatternet



M: master

S: slave

Sb: stand by

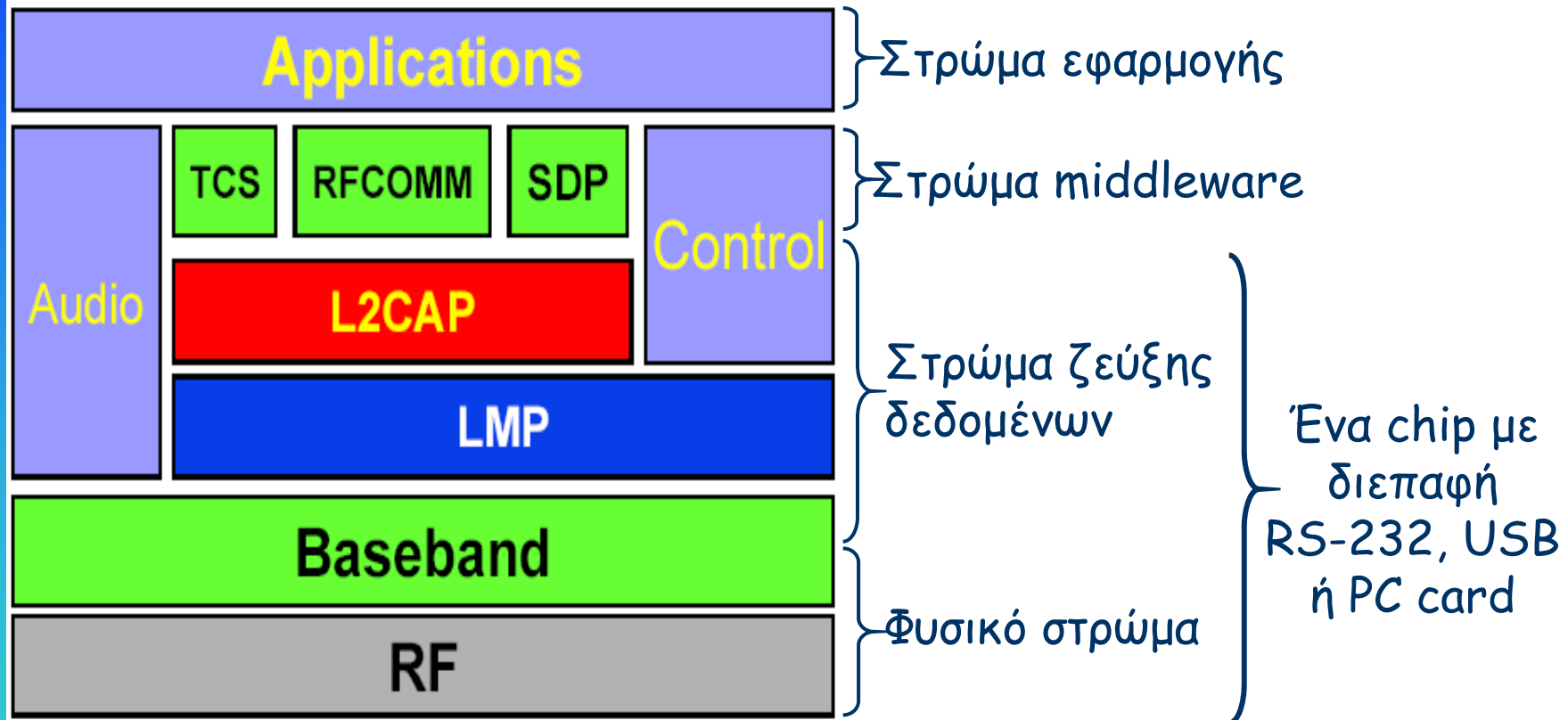
P: parked/hold

Κάθε κόμβος έχει μια διεύθυνση 12-bit

# Bluetooth



## Στοιβά πρωτοκόλλων

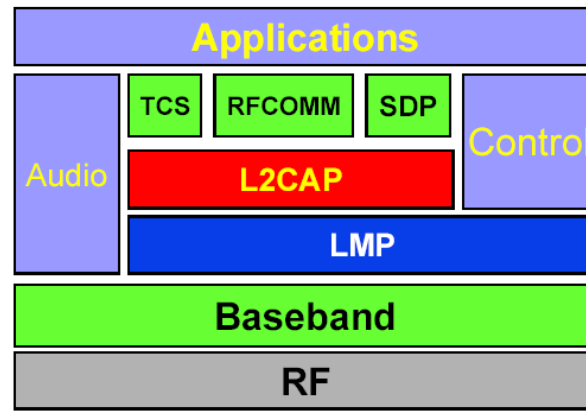




# Bluetooth

## Στοιβα 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





# Διασύνδεση LAN

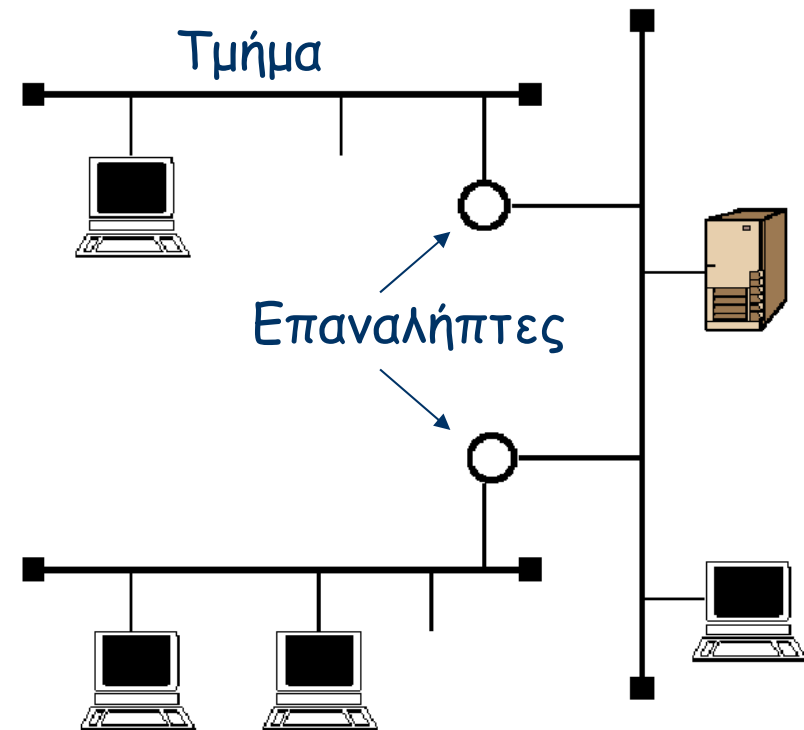
- Επαναλήπτες (Repeaters)
- Hubs
- Γέφυρες (Bridges)
- Μεταγωγείς (Switches)
  - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες.
  - Ό,τι αναφερθεί για τις γέφυρες ισχύει επίσης και για τους μεταγωγείς.

# Διασύνδεση LAN



## 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

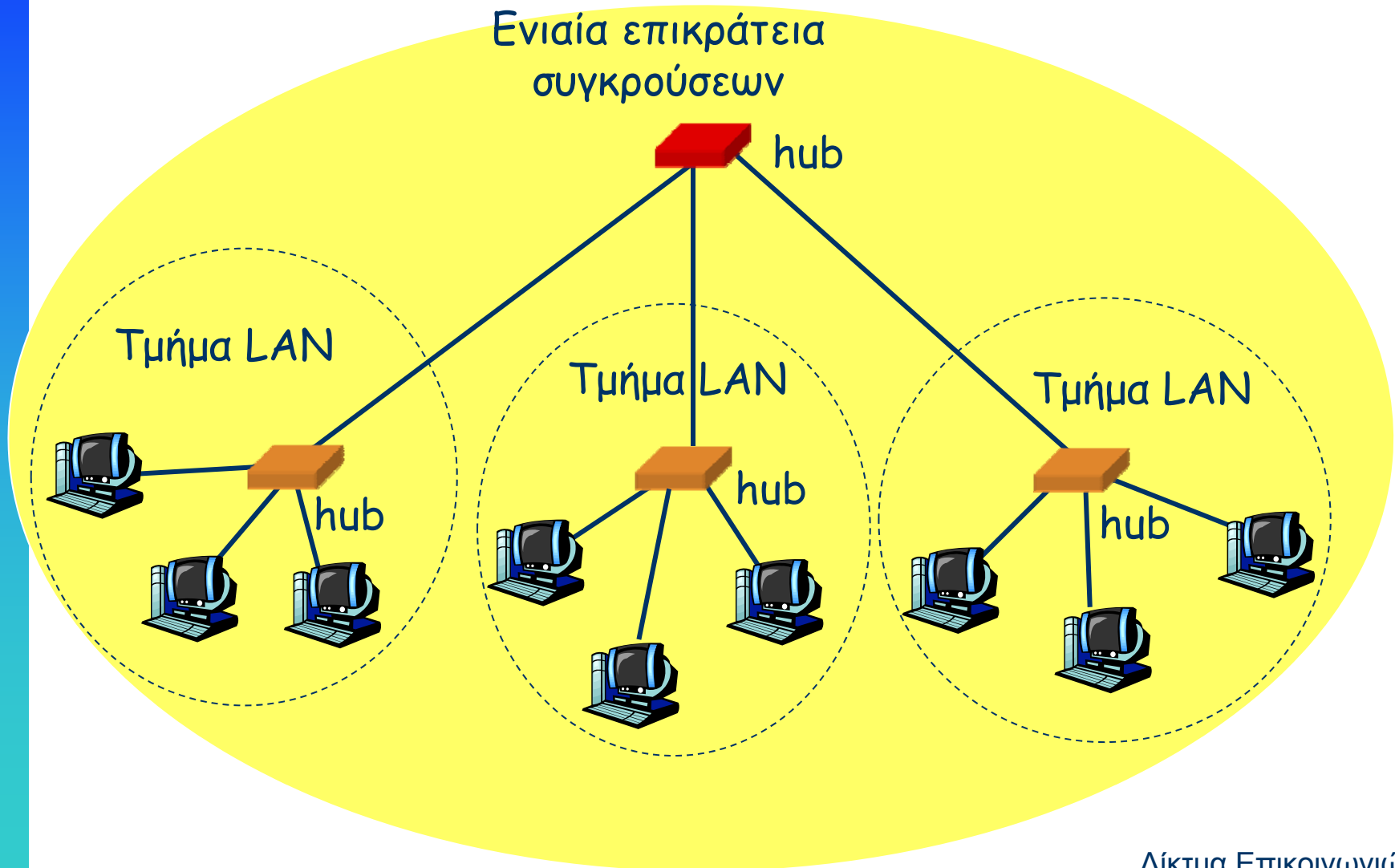


# Διασύνδεση LAN



## Διασύνδεση με hub

Ενιαία επικράτεια  
συγκρούσεων



# Διασύνδεση LAN



## 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)



# Διασύνδεση LAN



## 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
  - τον μέγιστο αριθμό κόμβων ανά επικράτεια συγκρούσεων
  - τη μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων ανά επικράτεια συγκρούσεων
  - τον μέγιστο αριθμό επιπέδων σε πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική

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

# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα

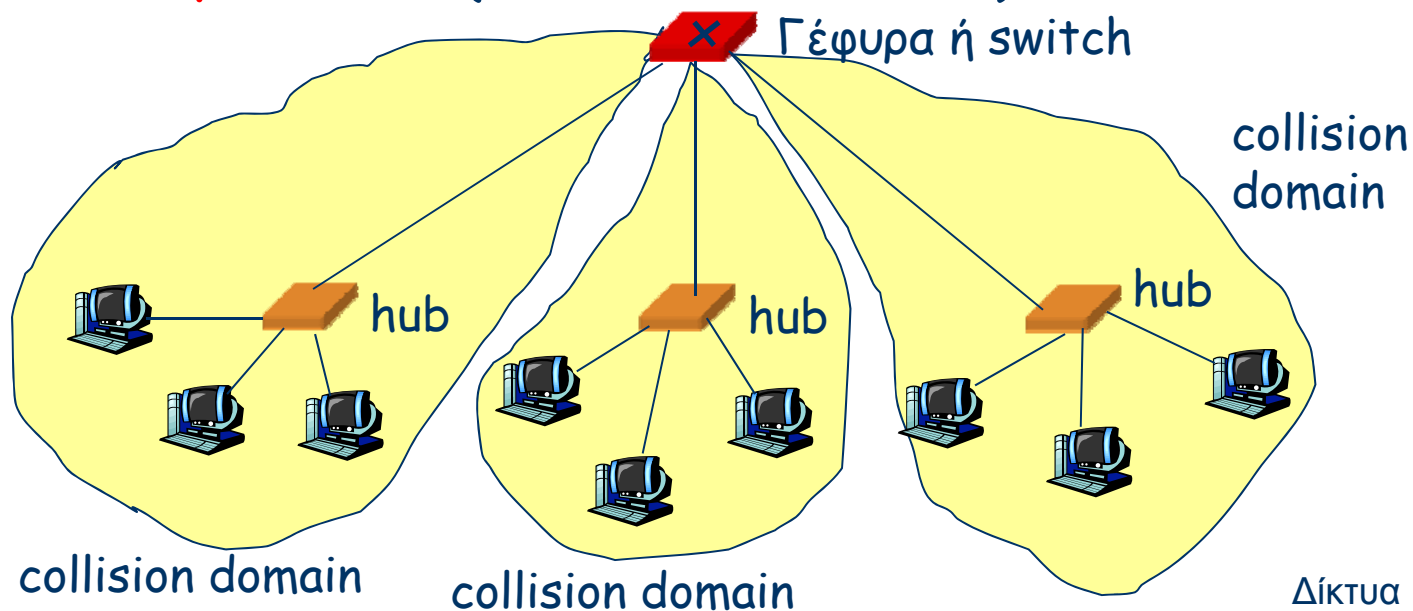
- **Συσκευή στρώματος ζεύξης δεδομένων**
  - αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet
  - εξετάζει την επικεφαλίδα του πλαισίου και το προωθεί **επιλεκτικά** βάσει της διεύθυνσης MAC του προορισμού
  - όταν το πλαίσιο πρόκειται να προωθηθεί σε κάποιο τμήμα, χρησιμοποιεί CSMA/CD για την πρόσβαση στο τμήμα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

# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα: απομόνωση κίνησης

- Η εγκατάσταση γέφυρας χωρίζει το LAN σε τμήματα LAN
- η γέφυρα φιλτράρει τα πλαίσια:
  - μερικά πλαίσια κάποιου τμήματος LAN δεν προωθούνται συνήθως σε άλλα τμήματα LAN
  - τα τμήματα αποτελούν ξεχωριστές **ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΕΣ ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΩΝ** (collision domains)



# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα: 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**

# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα: Αυτοεκπαίδευση

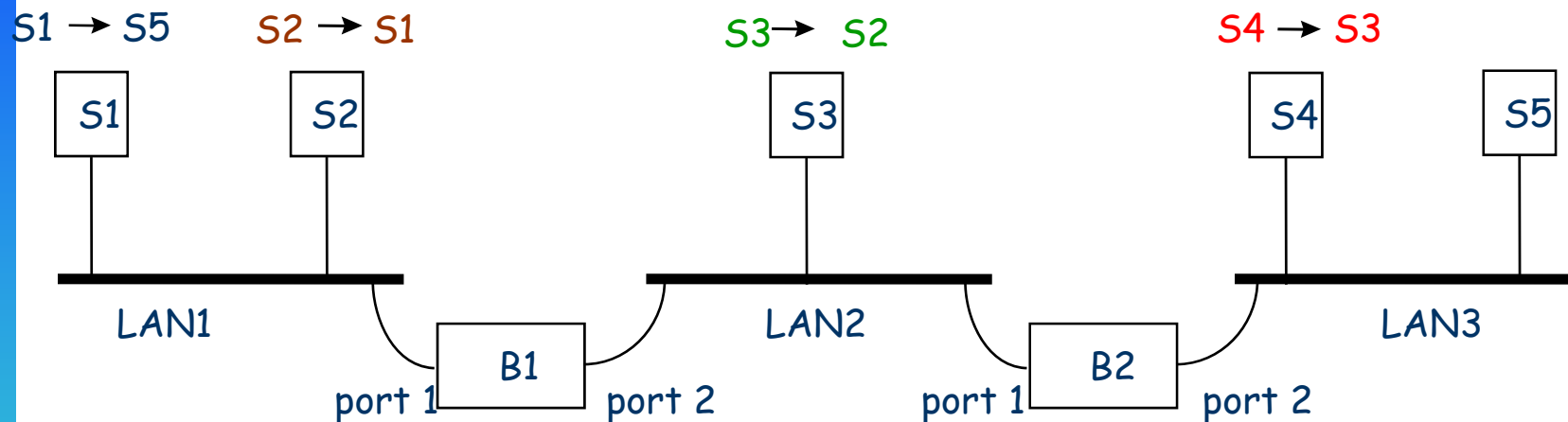
- η γέφυρα **μαθαίνει** ποιοι host είναι προσβάσιμοι και από ποιες διεπαφές: διατηρεί πίνακα προώθησης
  - όταν λαμβάνεται ένα πλαίσιο, η γέφυρα **"μαθαίνει"** τη **θέση του αποστολέα**, δηλαδή το LAN εισόδου
  - καταγράφει τη θέση του αποστολέα στον **πίνακα προώθησης**
- καταχώρηση στον πίνακα προώθησης:
  - (Node MAC Address, Bridge Interface, Time Stamp)
  - οι παλιές καταχωρήσεις στον πίνακα προώθησης διαγράφονται (ο χρόνος διατήρησης μπορεί να είναι 60 min)

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

# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα: ΑΥΤΟΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2

# Διασύνδεση LAN



## Γέφυρα: Φιλτράρισμα/Πρωώθηση πλαισίων

Όταν η γέφυρα λαμβάνει ένα πλαίσιο :

Συμβουλευέται τον πίνακα χρησιμοποιώντας την MAC dest. address

**if** υπάρχει εγγραφή για τον προορισμό  
**then**{

**if** ο προορισμός είναι στο τμήμα από όπου ήρθε το πλαίσιο  
**then** απορρίπτει το πλαίσιο

**else** προωθεί το πλαίσιο στην έξοδο που αναφέρει ο πίνακας

}

**else** χρησιμοποιεί **πλημμύρα**

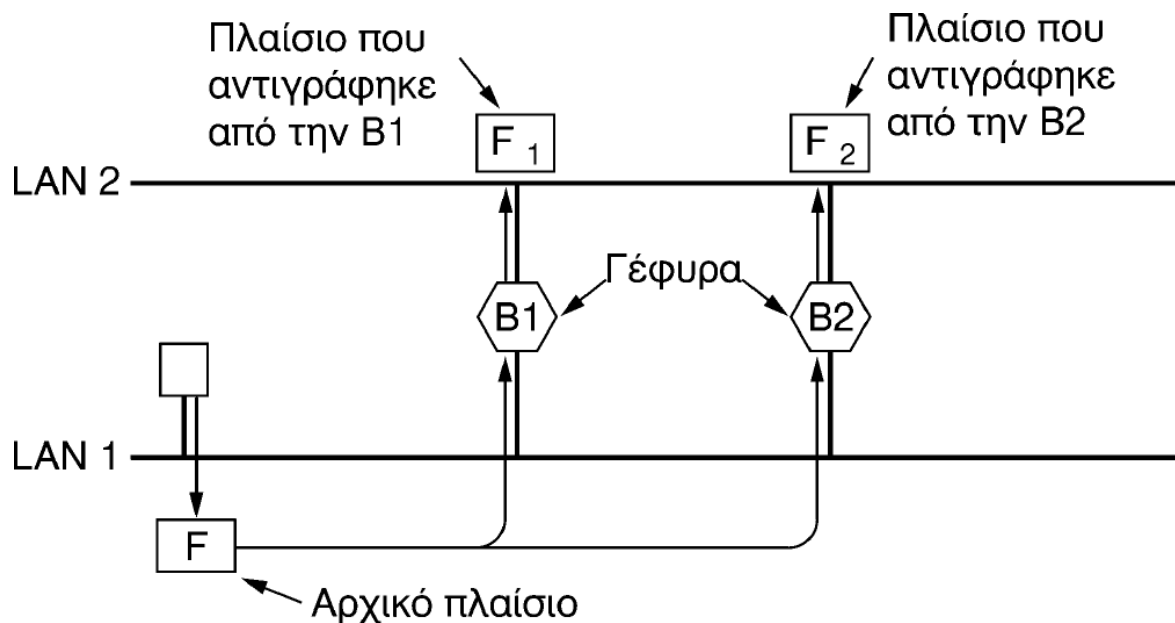
*προωθεί το πλαίσιο σε όλες τις εξόδους εκτός εκείνης από την οποία ήρθε*

# Διασύνδεση LAN



## 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



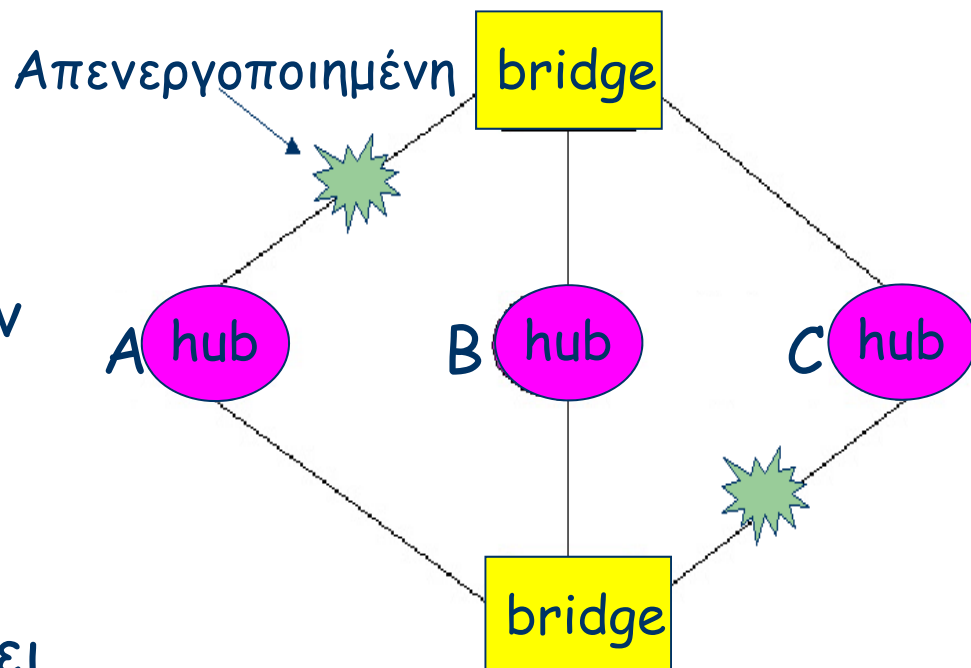


# Διασύνδεση LAN



## 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)





# Διασύνδεση LAN

## Διασύνδεση με μεταγωγέα

Ο μεταγωγέας πακέτων Ethernet γενικεύει τις γέφυρες

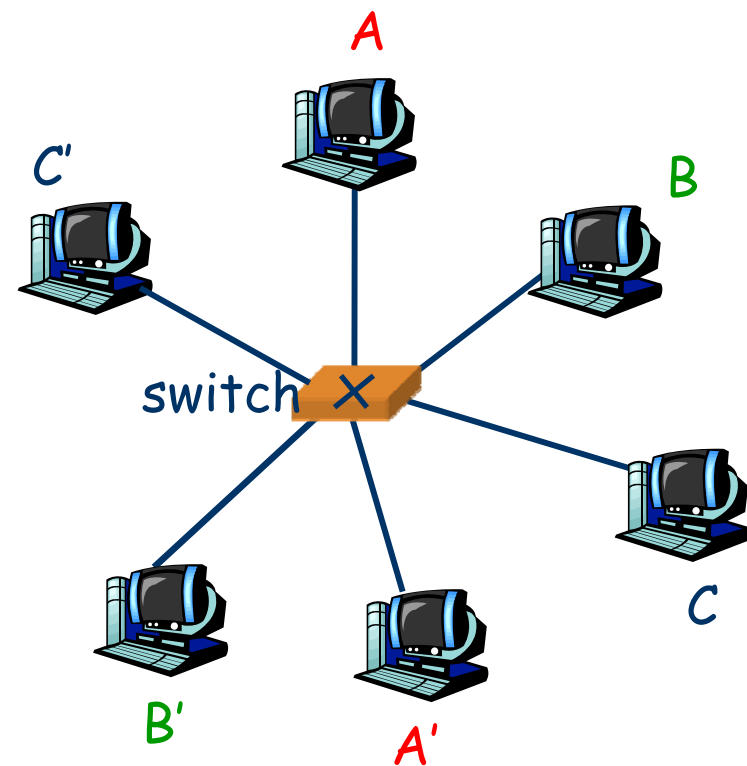
- Η μεταγωγή απαλείφει τις συγκρούσεις
- Η προσωρινή αποθήκευση αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό
- Δεν απαιτείται πρόσβαση στο μέσο

# Διασύνδεση LAN



## 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

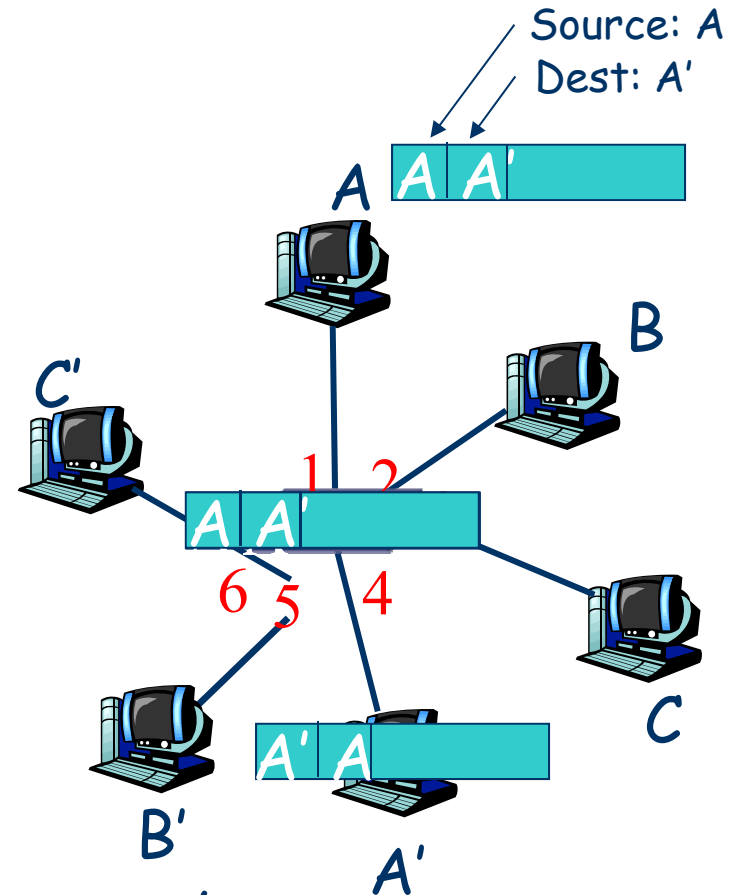


# Διασύνδεση LAN



## Μεταγωγέας: Αυτοεκπαίδευση-προώθηση

- προορισμός πλαισίου άγνωστος: **πλημμύρα**
- θέση προορισμού A γνωστή: **επιλεκτική αποστολή**



MAC addr	Port
A	1
A'	4

Πίνακας μεταγωγέα  
(αρχικά άδειος)

# Διασύνδεση LAN



## LAN με μεταγωγή

