



ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασύρματα Δίκτυα
Επικοινωνιών



- 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

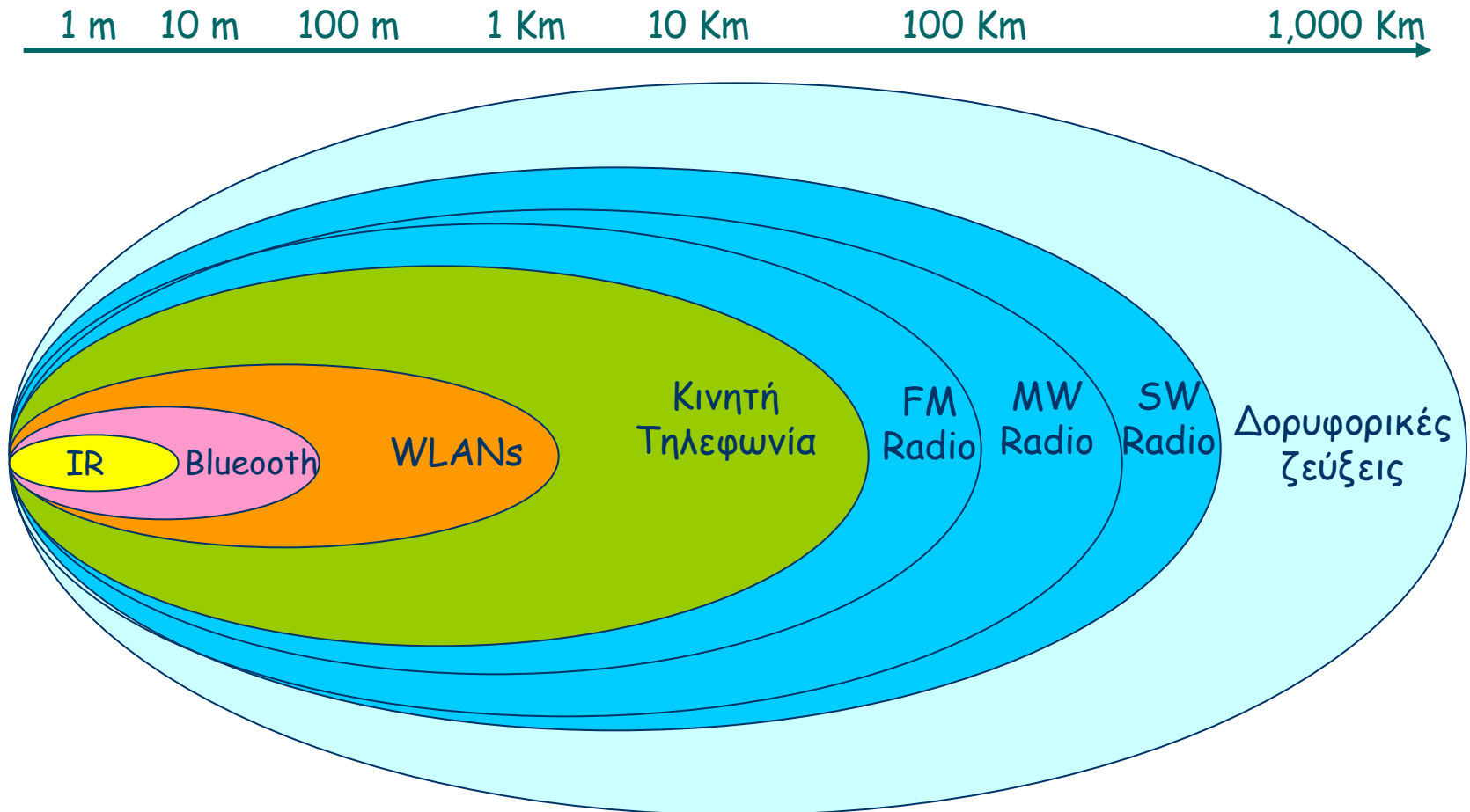
Παραδείγματα

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| ➤ 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



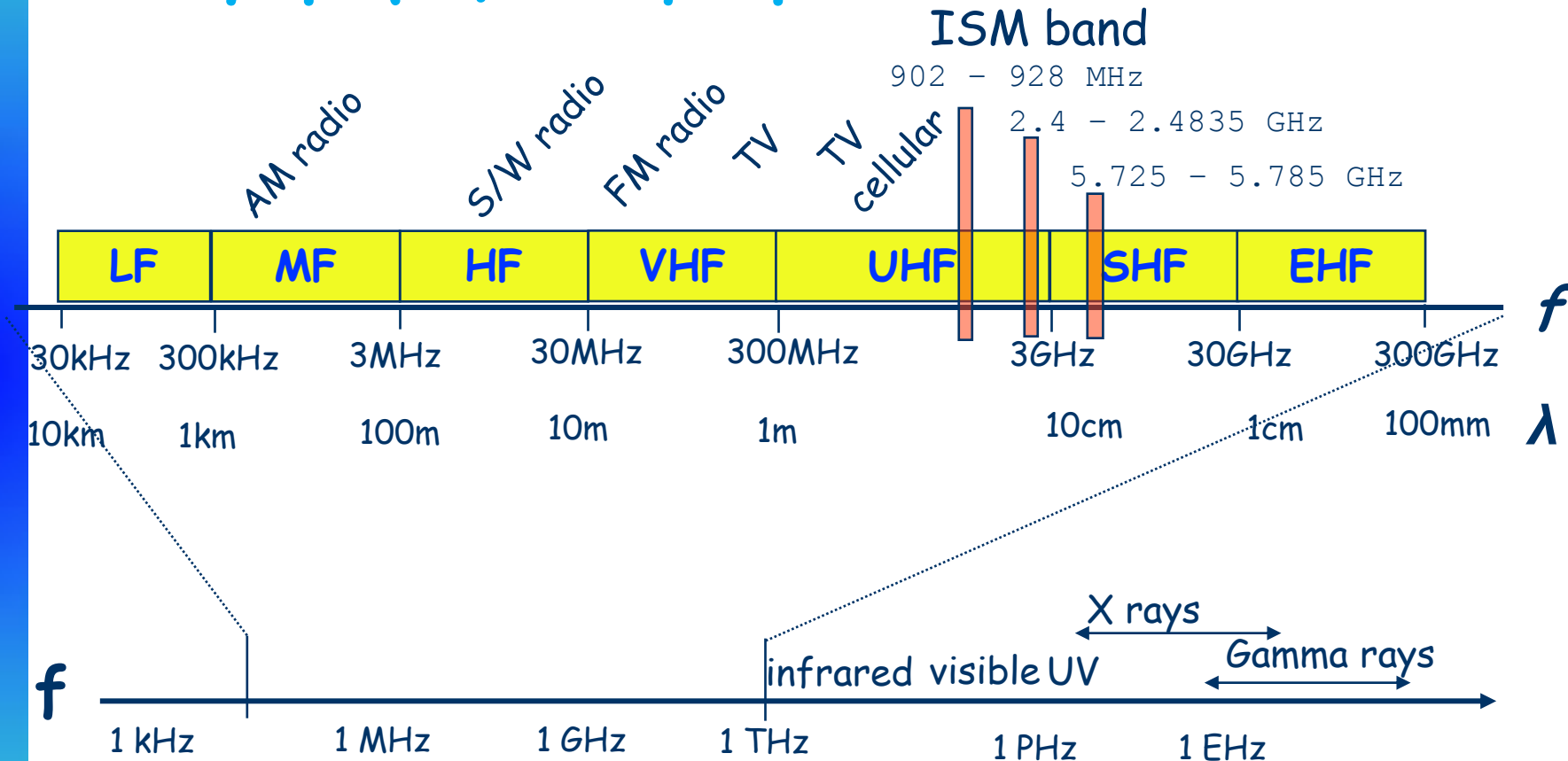
Εμβέλεια



Ασύρματα συστήματα



Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

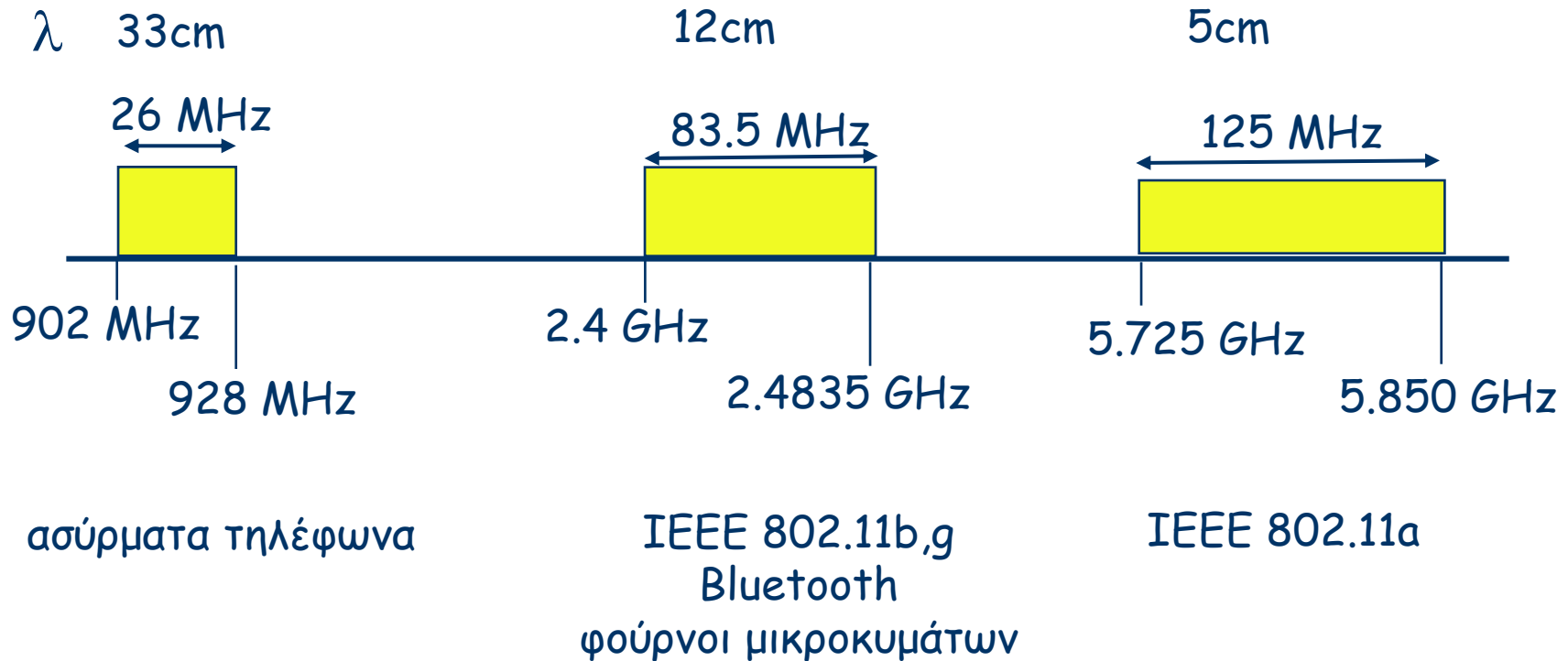


Τα χαρακτηριστικά διάδοσης είναι διαφορετικά σε κάθε ζώνη συχνοτήτων



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



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



Ασύρματα συστήματα

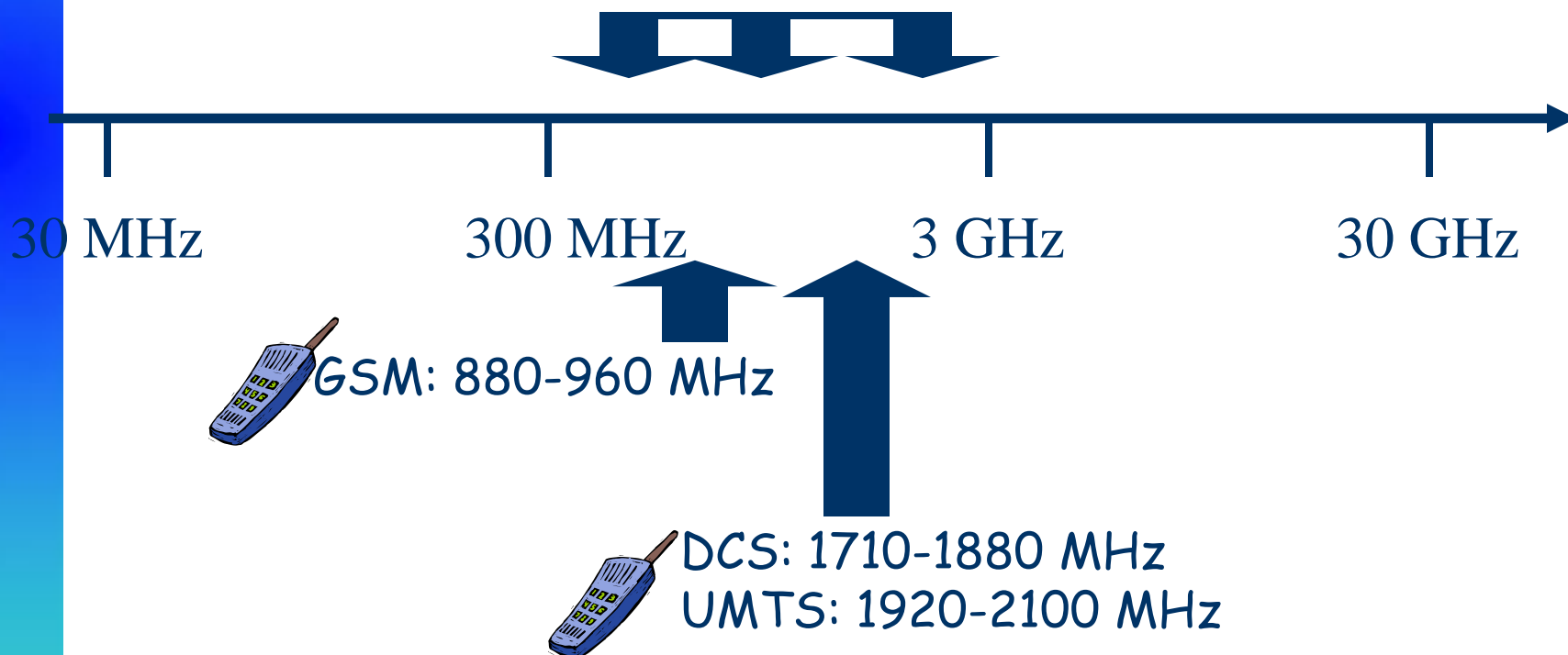


Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων



3G Ασύρματα συστήματα ευρείας ζώνης

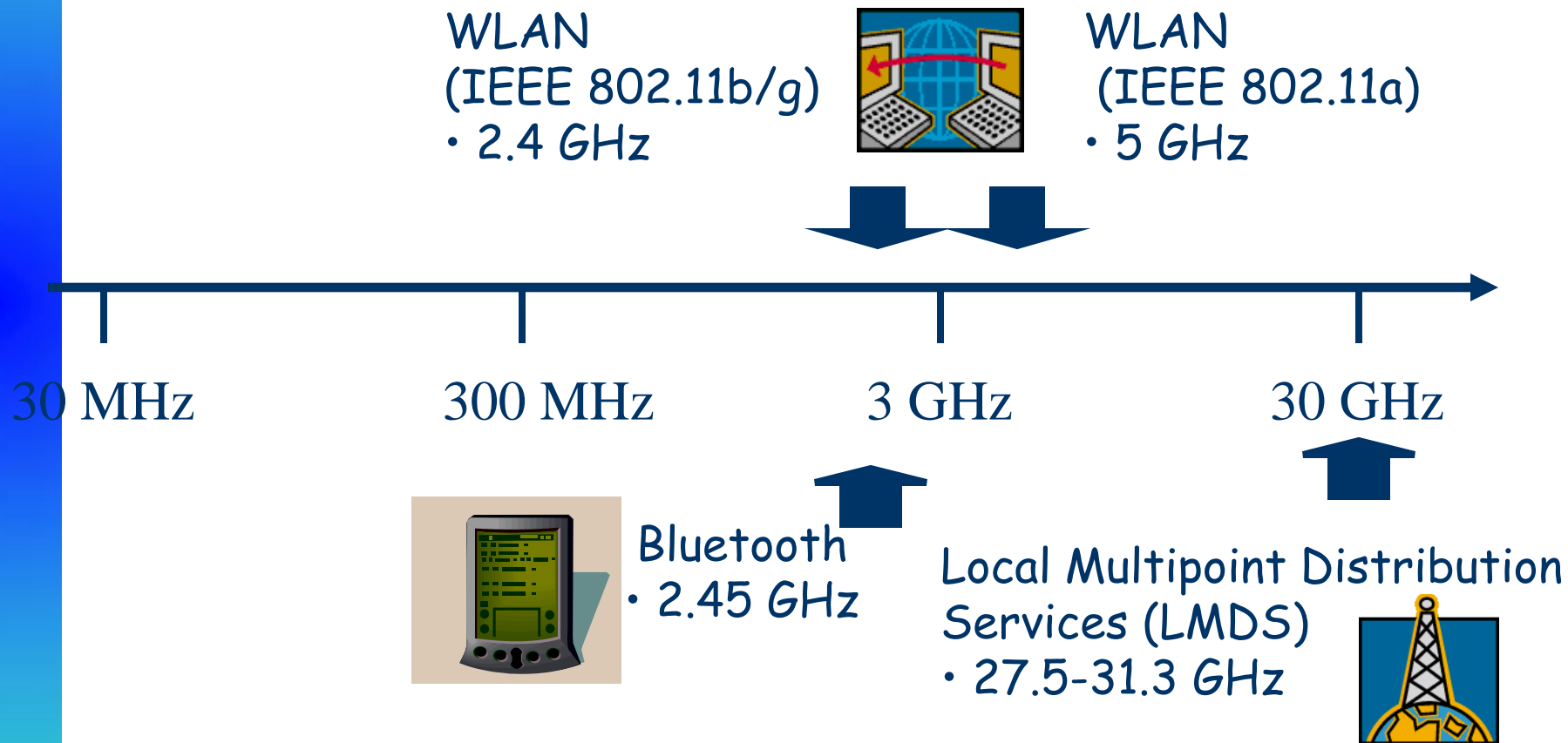
• 746-794 MHz, 1.7-1.85 GHz, 2.5-2.7 GHz



Ασύρματα συστήματα



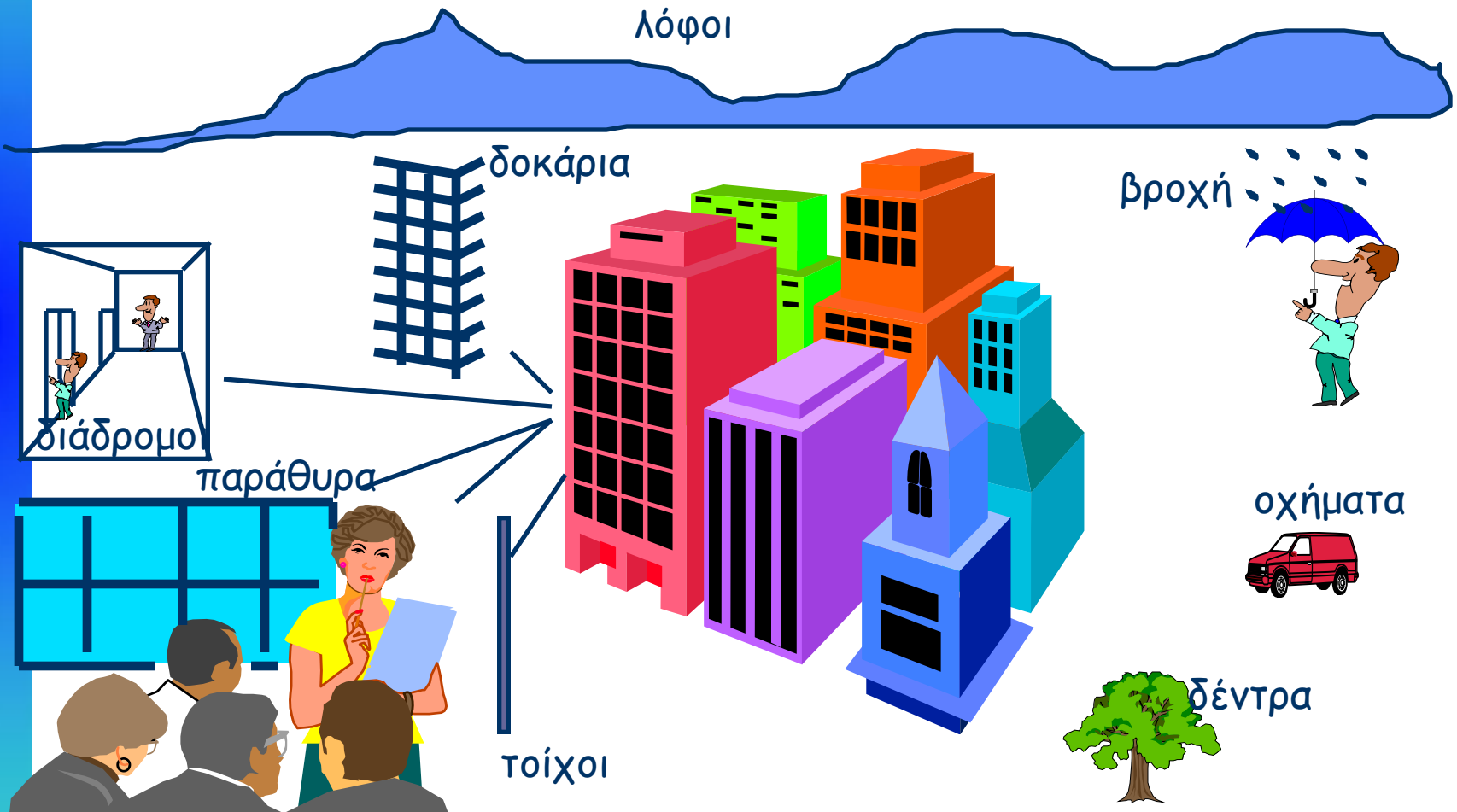
Ζώνες λειτουργίας των ασύρματων δικτύων





Ασύρματα συστήματα

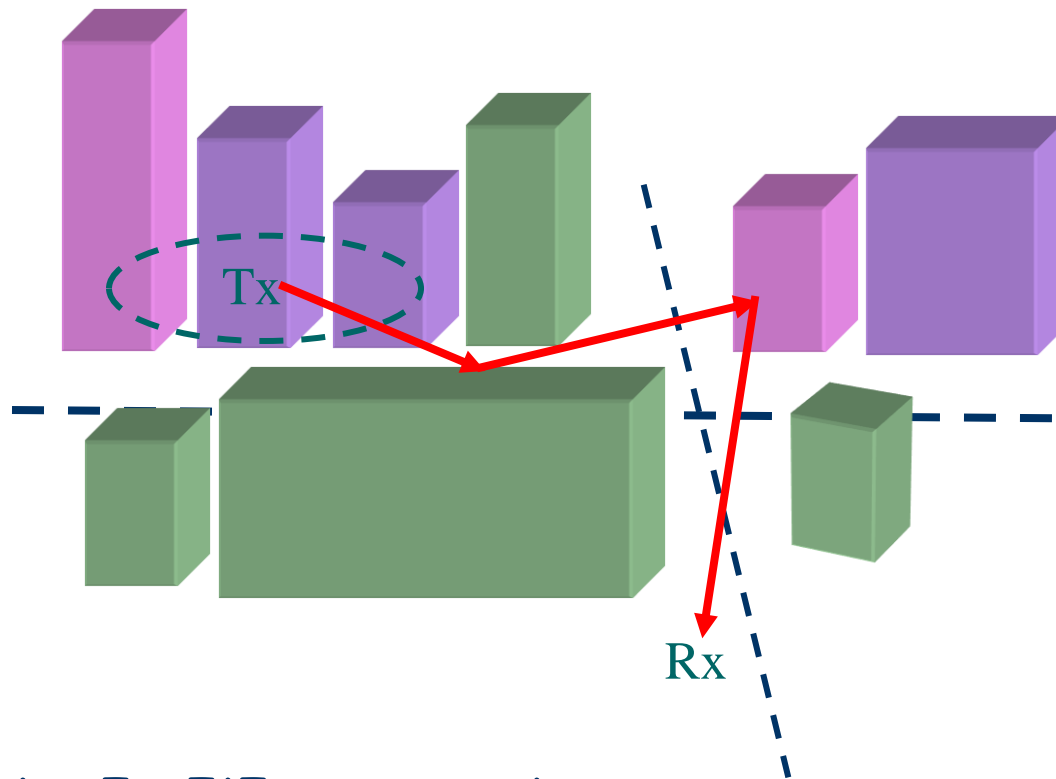
Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών





Ασύρματα συστήματα

Το περιβάλλον των ασυρμάτων επικοινωνιών



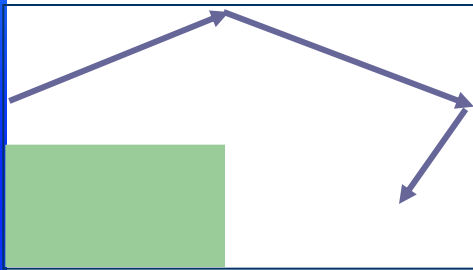
- Πώς διαδίδεται το σήμα;
- Πόση εξασθένηση υπεισέρχεται;
- Πώς φαίνεται το σήμα στον δέκτη;



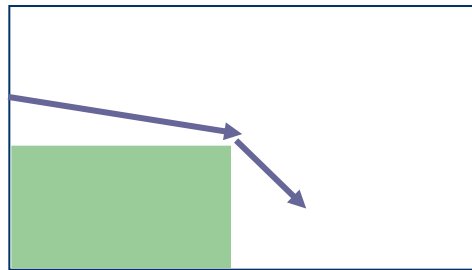
Ασύρματα συστήματα

Διάδοση στο ασύρματο περιβάλλον

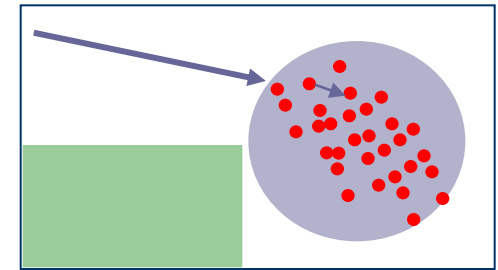
Τρεις βασικοί μηχανισμοί διάδοσης



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 Tx-Rx.

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



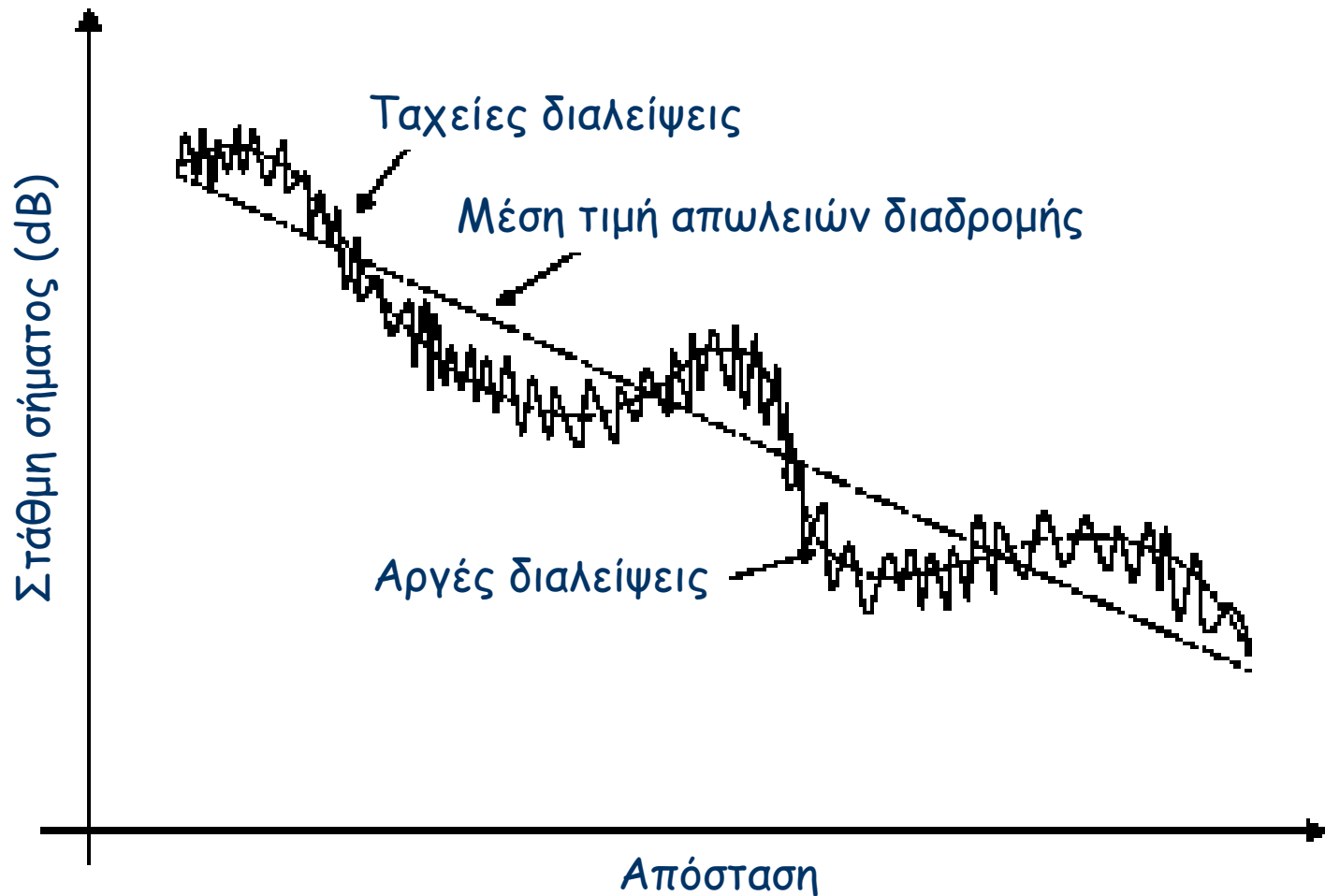
Ανασχετικοί παράγοντες: Παρεμβολές

- 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 και θόρυβο (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

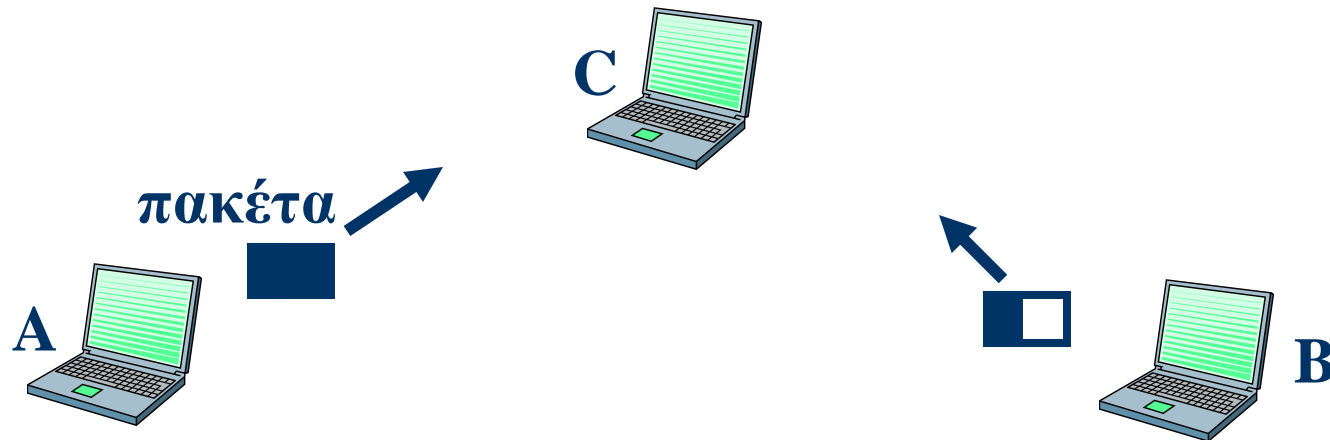
- Ένα σχήμα διαφορικής λήψης εξάγει πληροφορία από πολλά σήματα που καταφθάνουν από διαφορετικές διαδρομές με διαλείψεις.
- Κατάλληλος συνδυασμός αυτών των σημάτων περιορίζει την επίδραση των διαλείψεων και βελτιώνει την αξιοπιστία της μετάδοσης.
- Στη διαφορική λήψη χώρου, οι κεραίες απέχουν τουλάχιστον 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

- Το μέγεθος του τερματικού, η κατανάλωση ισχύος, η εργονομία, κλπ. παίζουν ενδιαφέροντα ρόλο στην υποστήριξη της κινητικότητας και της νομαδικότητας.
 - Mobile computing: προϋποθέτει αδιάλειπτη κινητικότητα.
 - 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.



Σχεδιαστικοί στόχοι

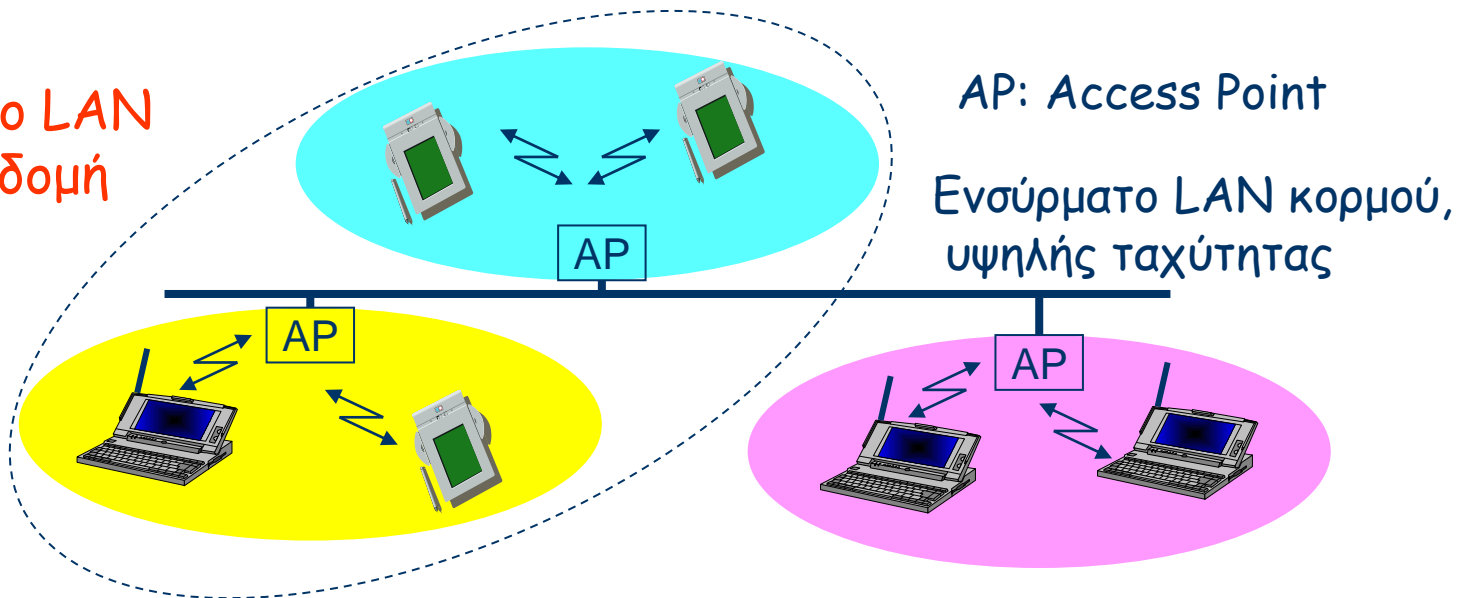
- Διέλευση
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού σταθμών
- Επικοινωνία με σταθμούς ενσύρματων LAN
- Περιοχή κάλυψης ακτίνας $50 \div 150$ m
- Περιορισμένη κατανάλωση ισχύος από τους κινητούς host
- Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια επικοινωνίας
- Λειτουργία χωρίς άδεια
- Κινητικότητα (διαπομπή/περιαγωγή)
- Δυναμική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

Ασύρματα LAN

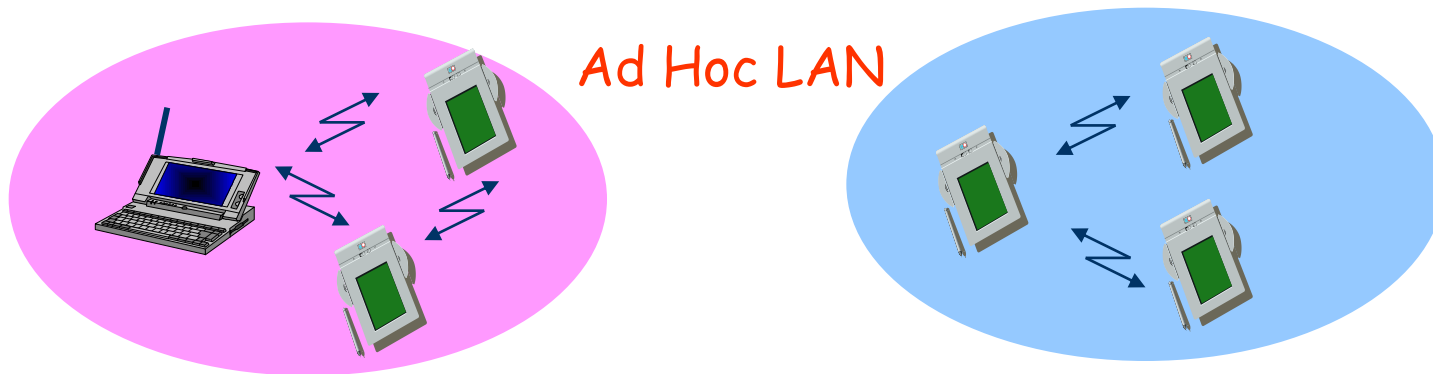


Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN

Ασύρματο LAN
με υποδομή

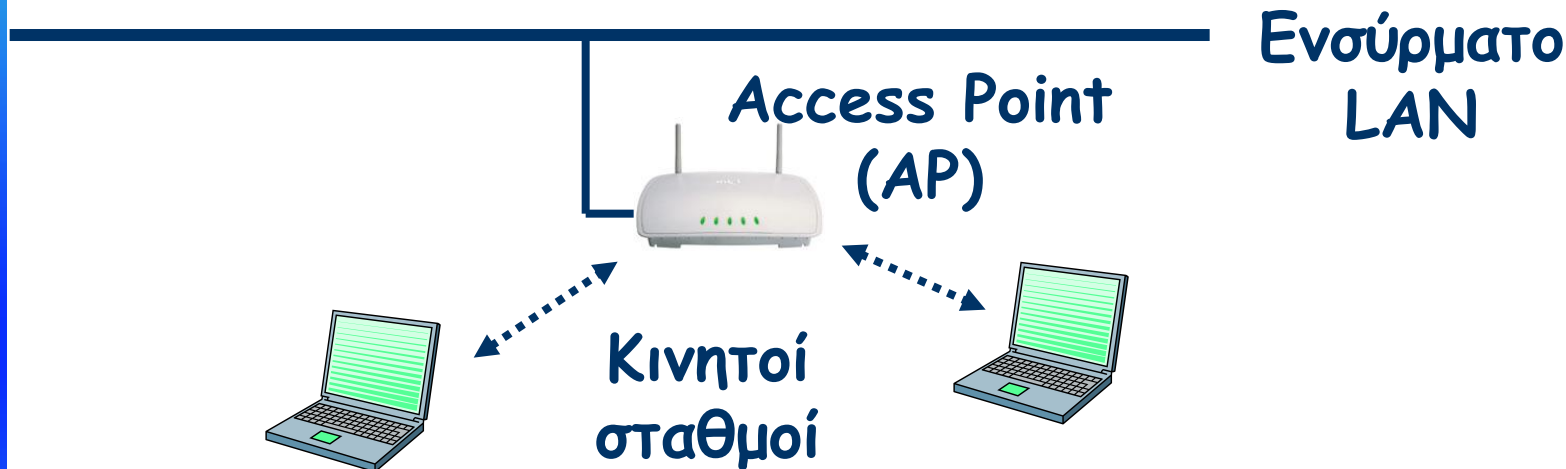


Ad Hoc LAN





Δίκτυο με υποδομή (1)

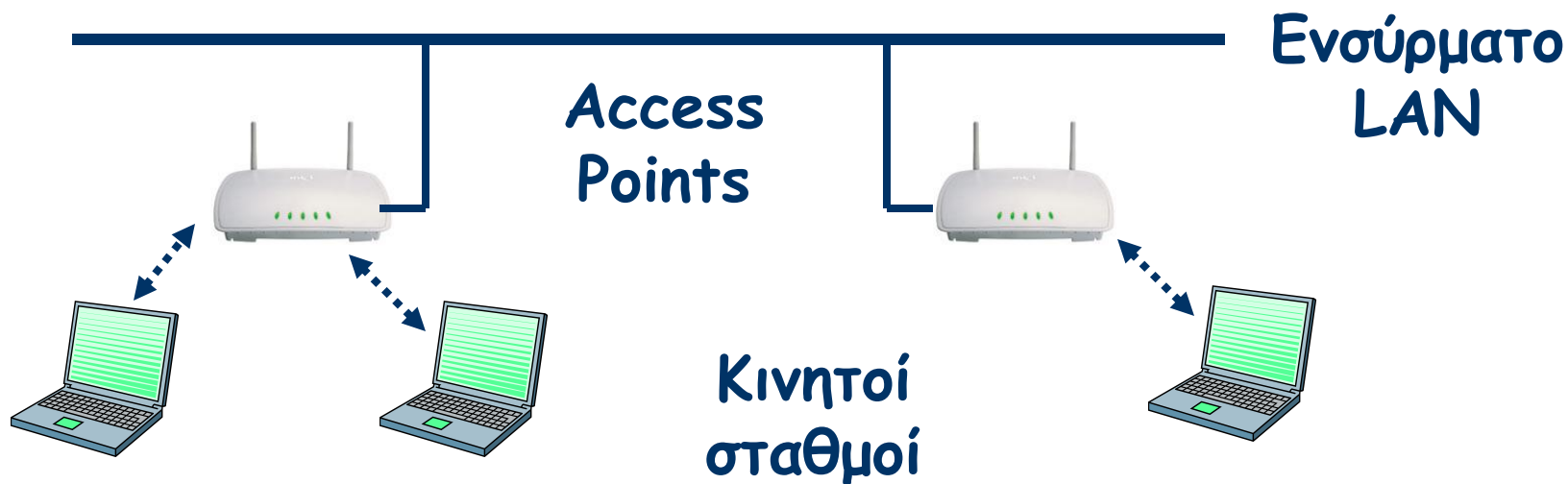


- Basic Service Set (BSS)
- Το σημείο πρόσβασης λειτουργεί ως τοπική γέφυρα.
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μέσω του AP, το οποίο αναμεταβιβάζει πλαίσια από και προς τους κινητούς σταθμούς.

Ασύρματα LAN



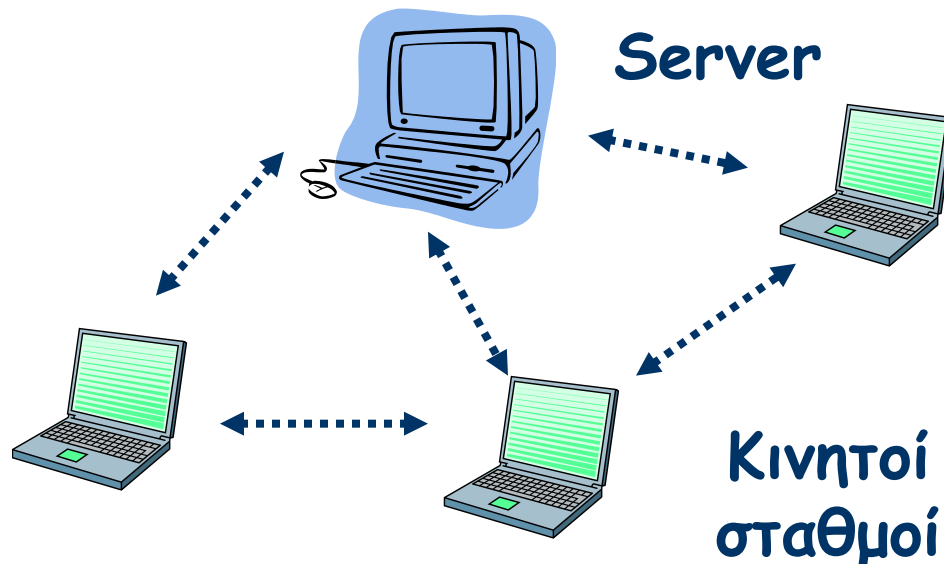
Δίκτυο με υποδομή (2)



- 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

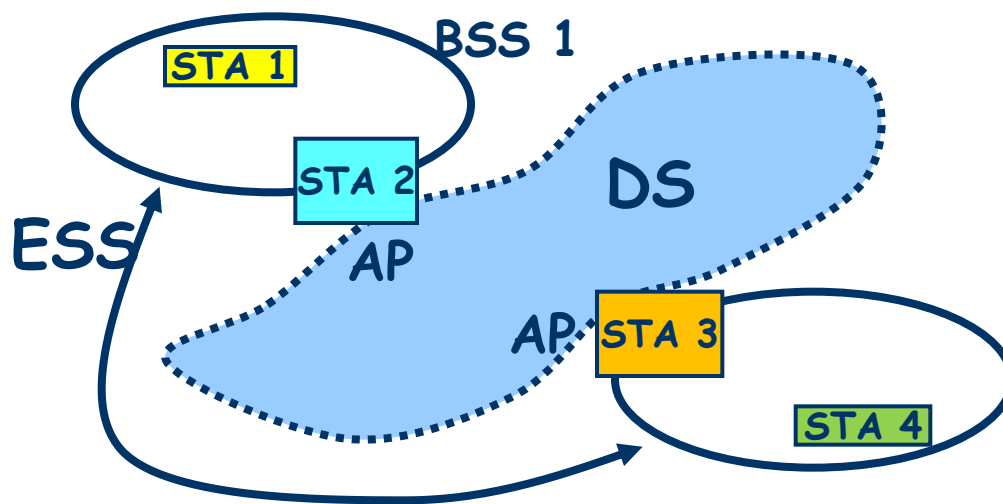


- Independent Basic Service Set (IBSS).
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Όταν δεν υπάρχει άμεση ζεύξη μεταξύ δύο σταθμών, ένας τρίτος μπορεί να λειτουργεί ως αναμεταβιβαστής (multi-hop communications).



Σύστημα διανομής

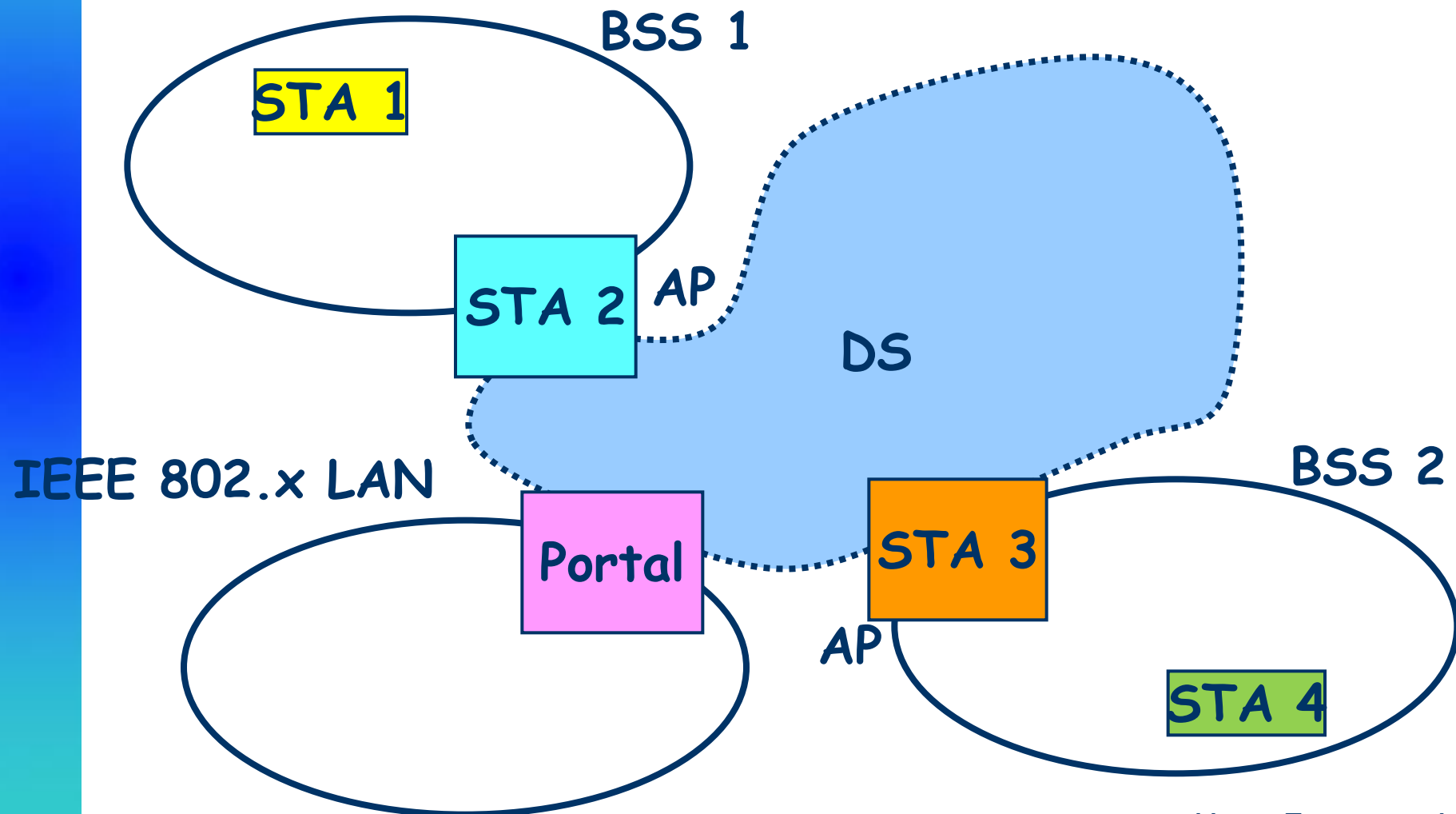
- Το σύστημα διανομής (distribution system - DS) χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των BSS.
- **Ενσωματωμένο:** Ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο.
- **Ενσύρματο:** Τα AP συνδέονται με καλώδια.
- **Ασύρματο:** Τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο.



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.

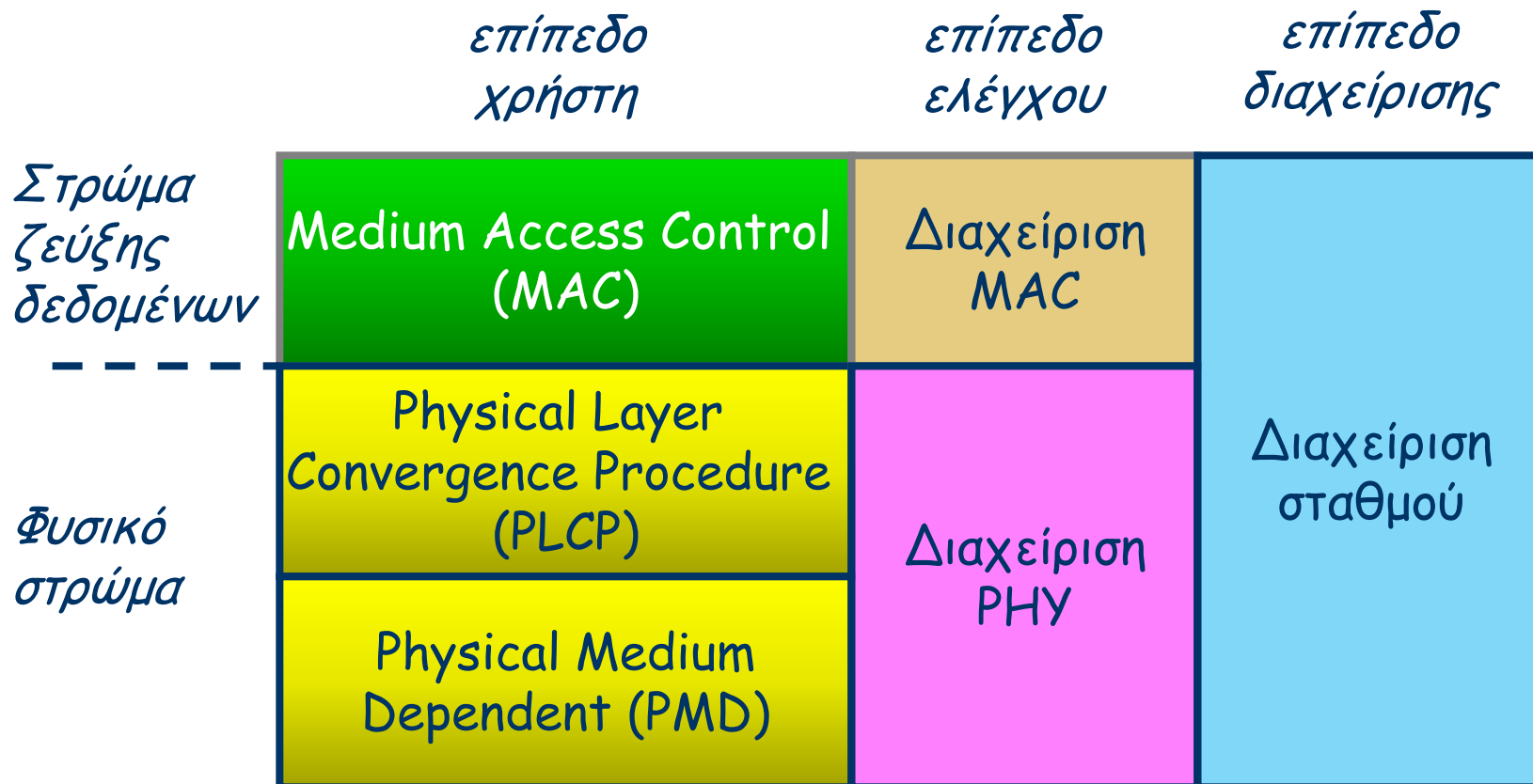


Οικογένεια IEEE 802.11

- 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



Μοντέλο αναφοράς





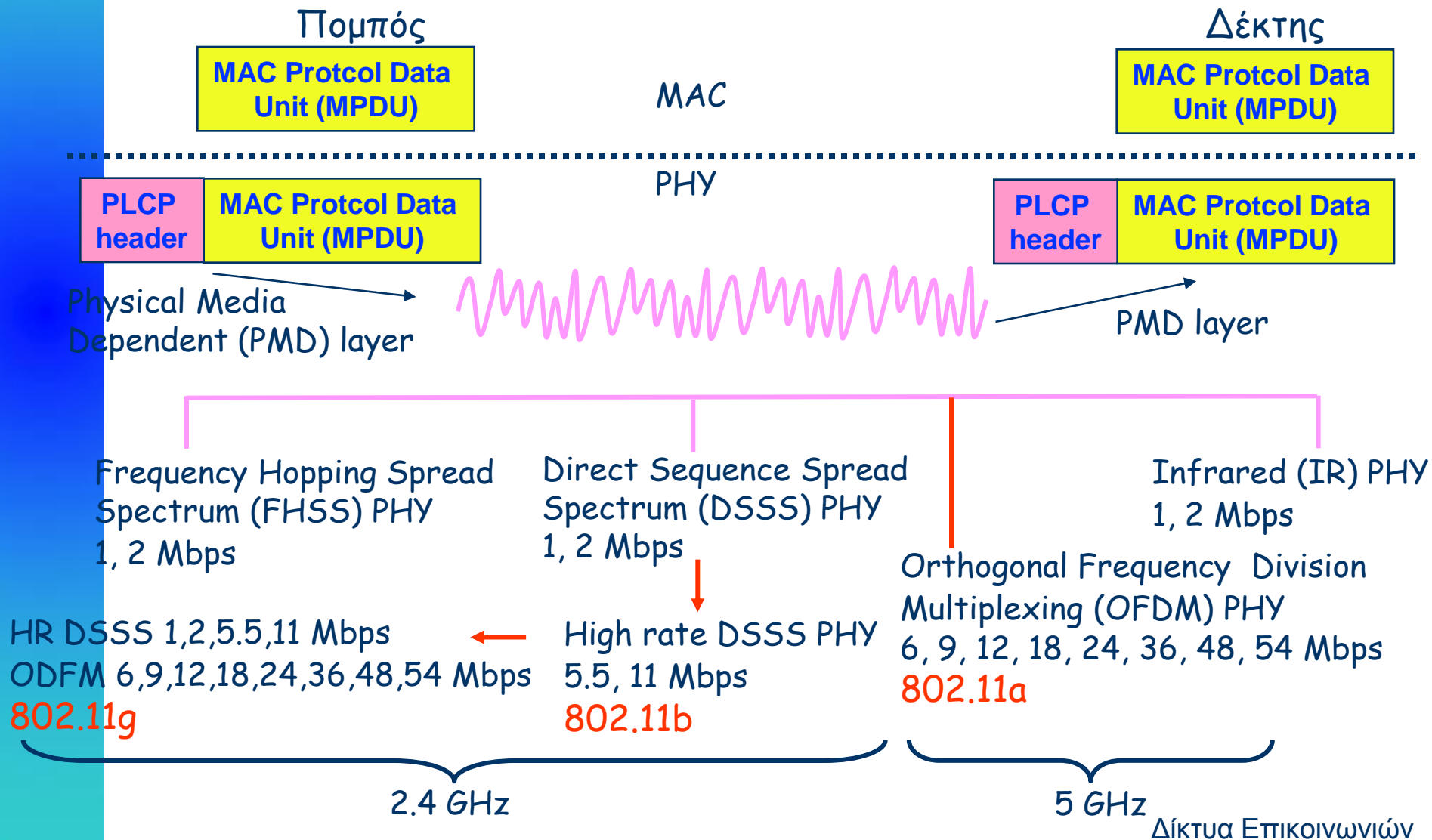
Μοντέλο αναφοράς

- 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.



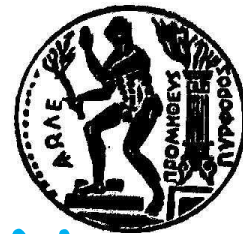
Φυσική ανίχνευση φέροντος

- 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.



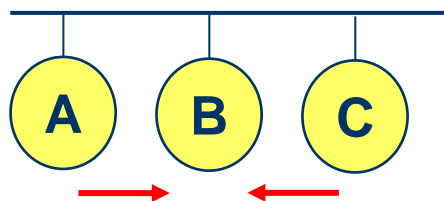
Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD:

- 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**.

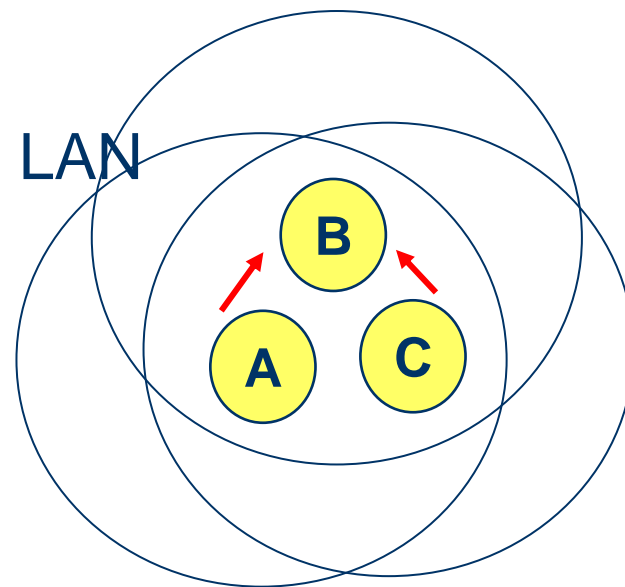


Διαφορά ασύρματων και ενσύρματων LAN

Ethernet LAN



Ασύρματο LAN



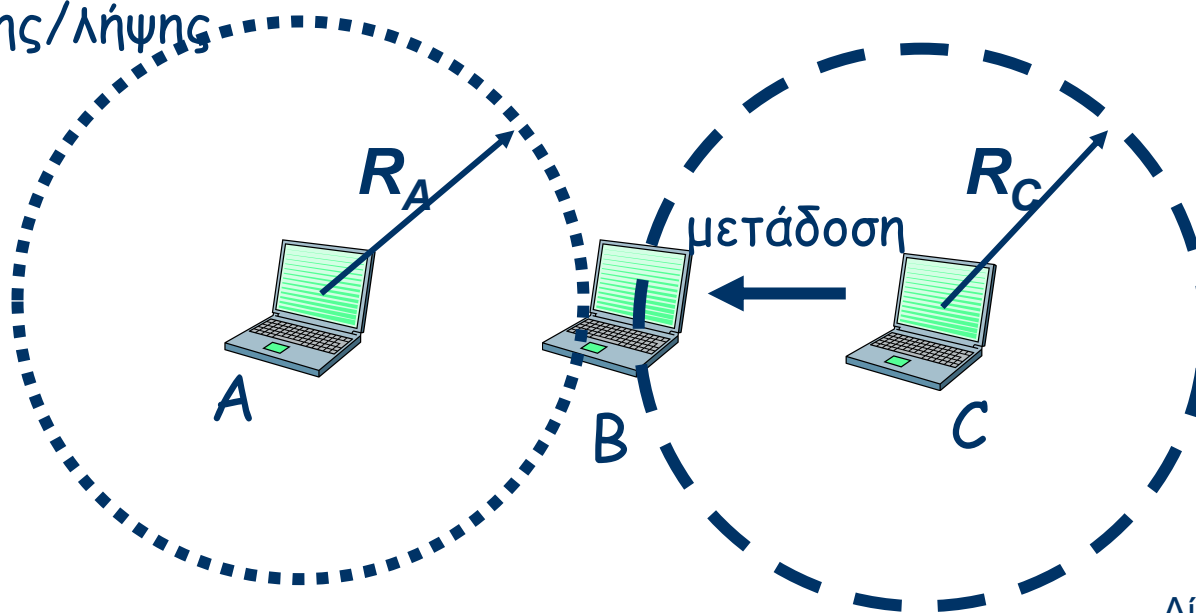
- Εάν amφότεροι οι A και C αντιληφθούν ταυτόχρονα το κανάλι άδειο θα στείλουν.
 - Στο Ethernet, η σύγκρουση θα ανιχνευθεί από τον **αποστολέα**.
 - Στα ασύρματα LAN, μόνο ο **παραλήπτης** την ανιχνεύει.



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

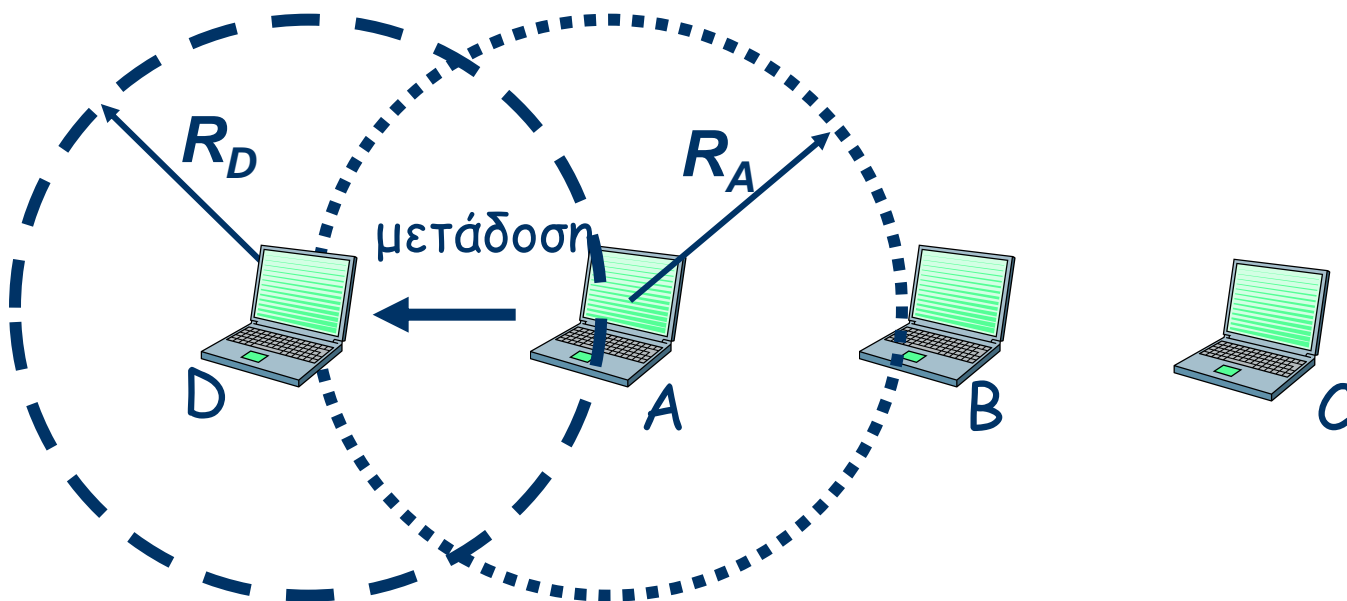
Εμβέλεια
μετάδοσης/λήψης
του A





Το πρόβλημα εκτεθειμένου κόμβου

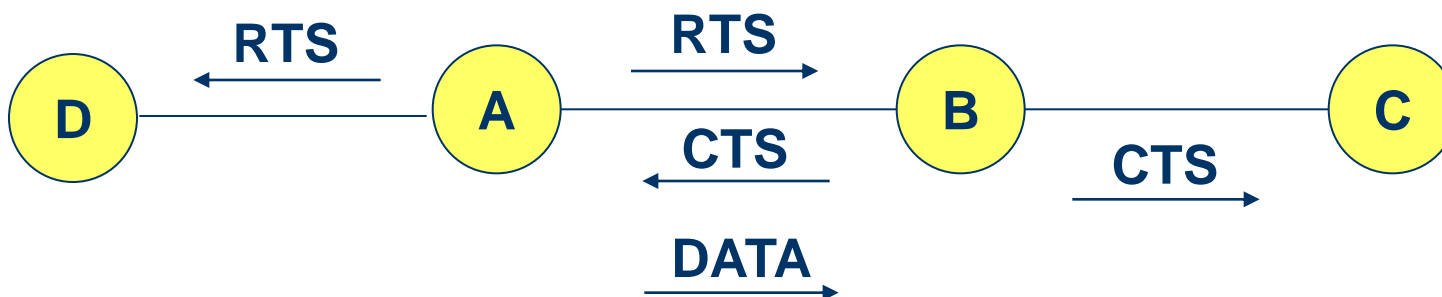
- Ο σταθμός B θέλει να μεταδώσει στον C, αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει στη μετάδοση του A προς τον D.
- **Απέχει από τη μετάδοση (μειωμένη απόδοση)**





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 ελεύθερο, μεταδίδει μετά από μια περίοδο αποχής (περίοδος ανταγωνισμού).
 - Η περίοδος ανταγωνισμού (αποχής) είναι το άθροισμα μιας υποχρεωτικής ελάχιστης περιόδου και 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.

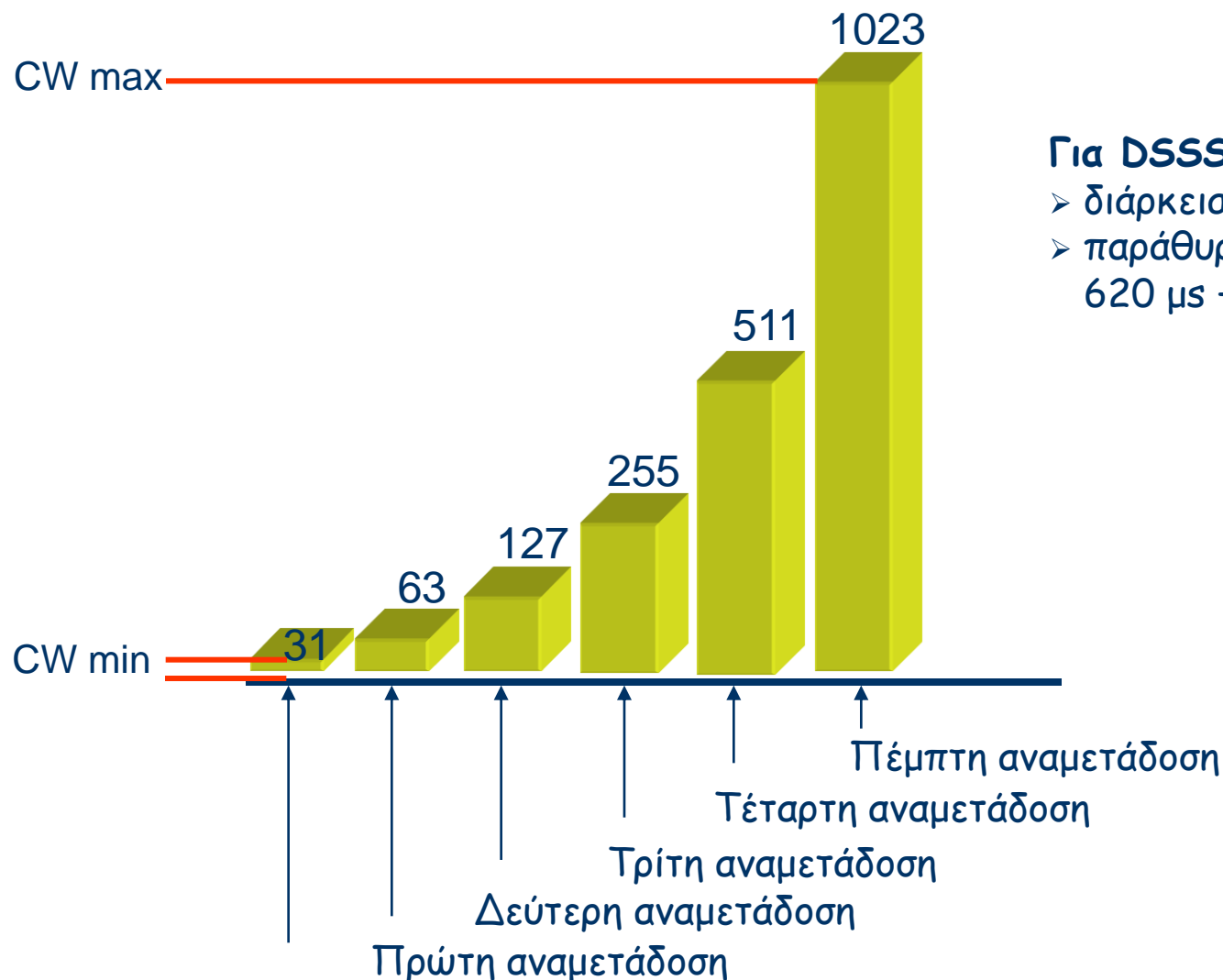


CSMA/CA

- 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: Παράθυρο ανταγωνισμού



Για DSSS PHY

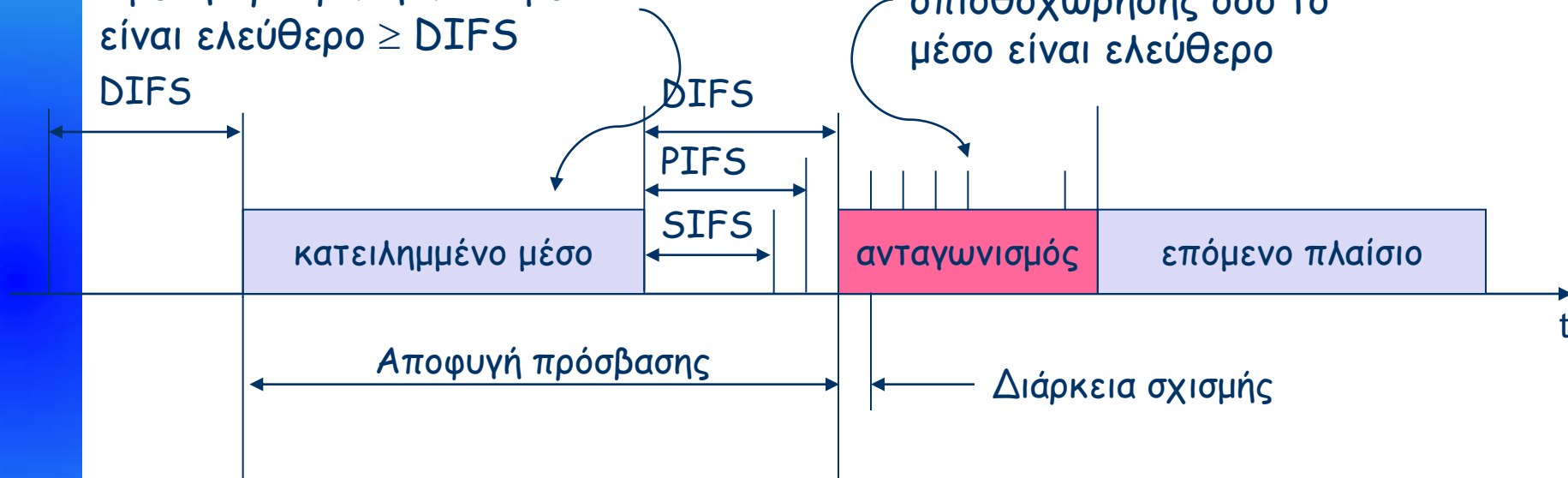
- διάρκεια σχισμής = 20 μ s
- παράθυρο ανταγωνισμού = 620 μ s \div 20.46 ms



CSMA/CA

Άμεση πρόσβαση αν το μέσο είναι ελεύθερο $\geq \text{DIFS}$

Επιλογή σχισμής και μείωση οπισθοχώρησης όσο το μέσο είναι ελεύθερο



- 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



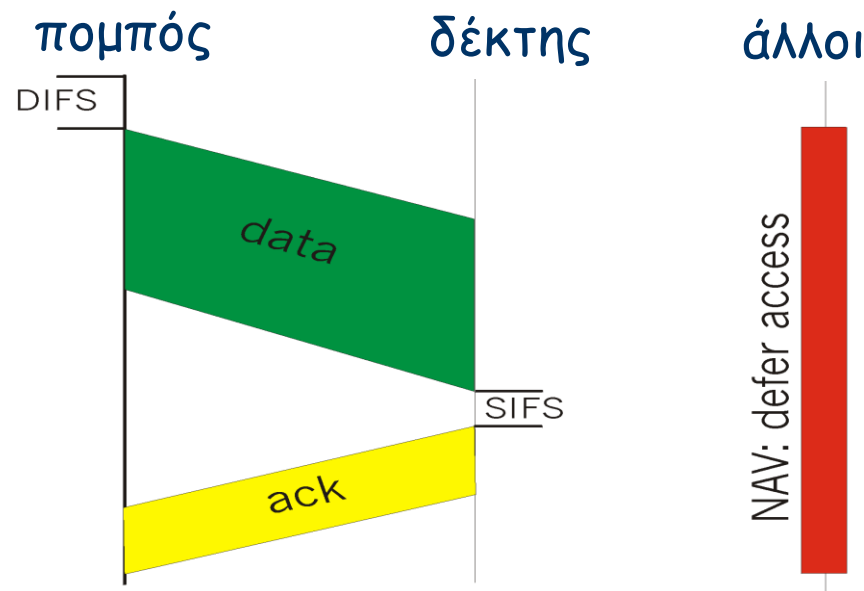
CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

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:

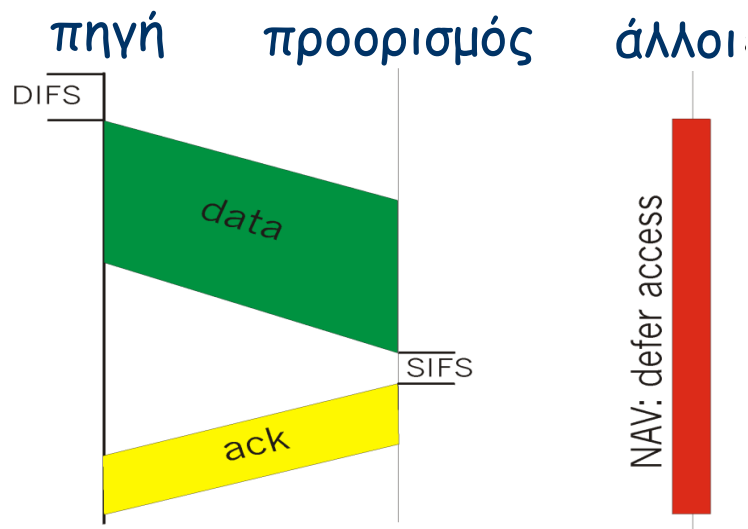
- αν το πλαίσιο ληφθεί σωστά αποστέλλεται ACK μετά από **SIFS** sec
(απαιτείται ACK λόγω του κρυμμένου τερματικού)





CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

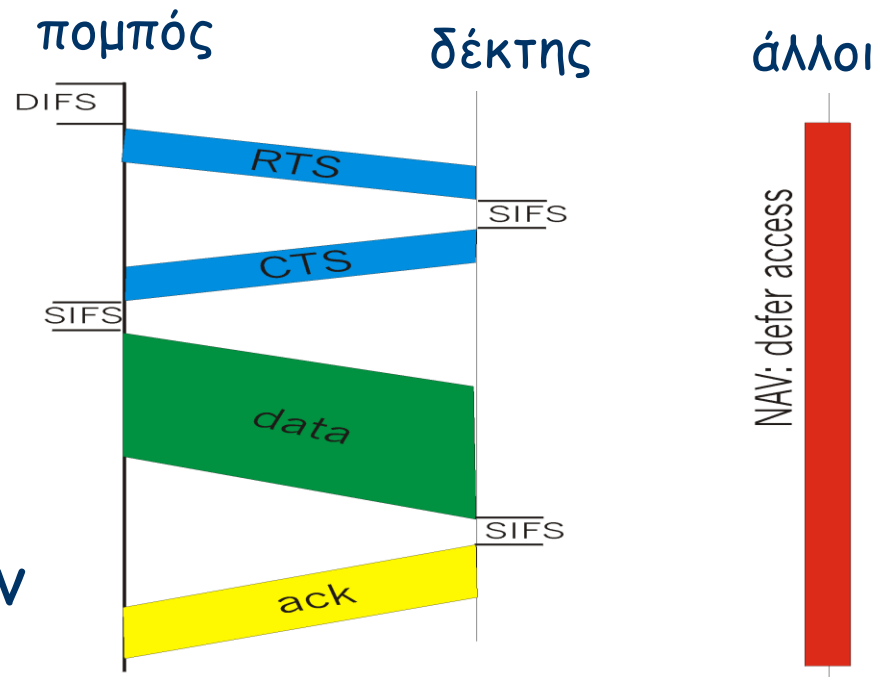
- το πλαίσιο 802.11 έχει πεδίο που δείχνει τη διάρκεια μετάδοσης
- τούτο επιτρέπει στους άλλους σταθμούς να καθορίσουν τον ελάχιστο χρόνο αποχής **NAV** (Network Allocation Vector)
- οι υπόλοιποι σταθμοί που ακούν, δεν επιχειρούν πρόσβαση για χρονικό διάστημα NAV





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.

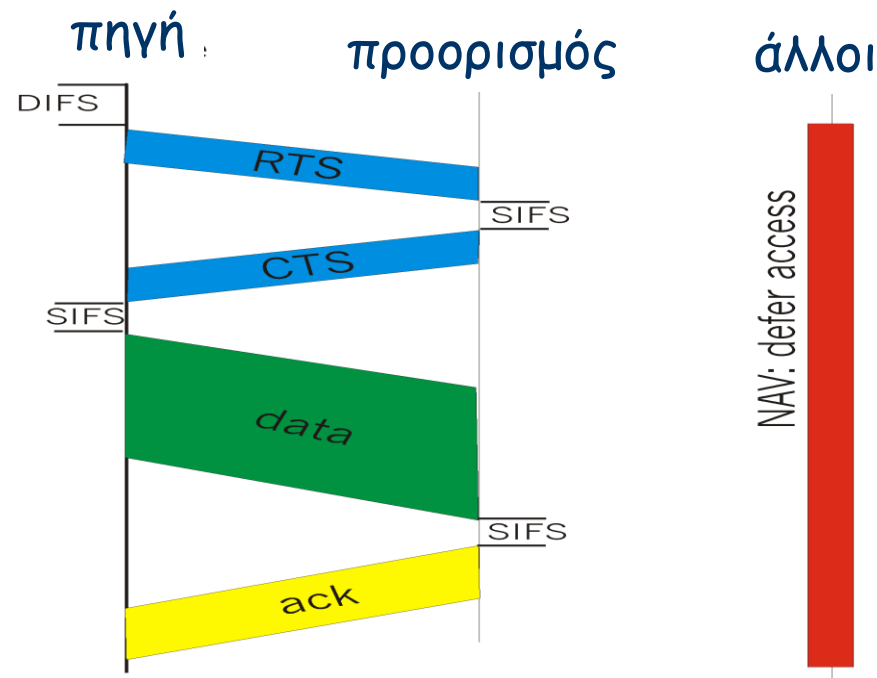




CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

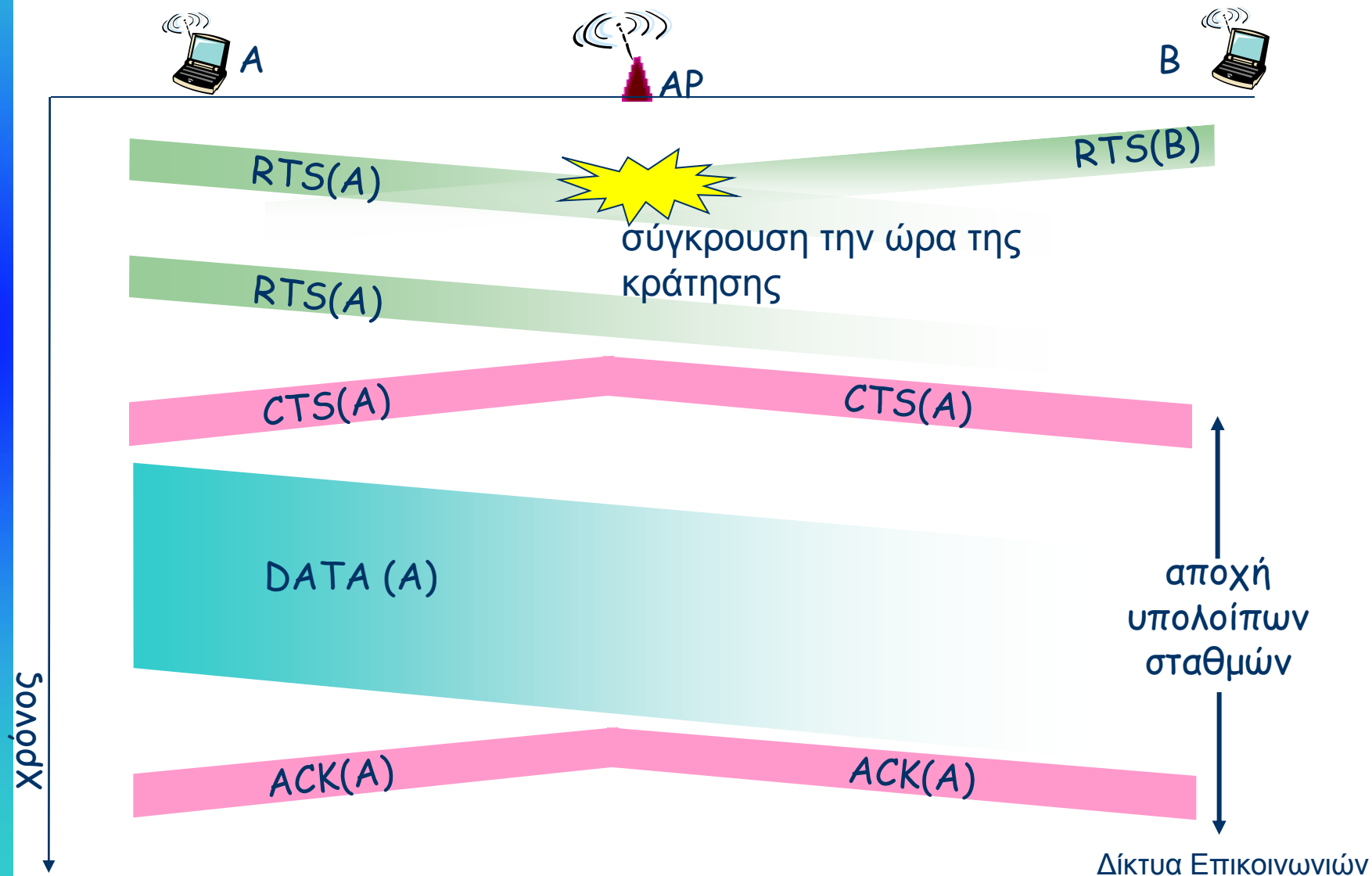
➤ Σύντομα RTS και CTS:

- Μικρότερη πιθανότητα σύγκρουσης
- Μικρότερη διάρκεια σύγκρουσης
- Αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sense)





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.

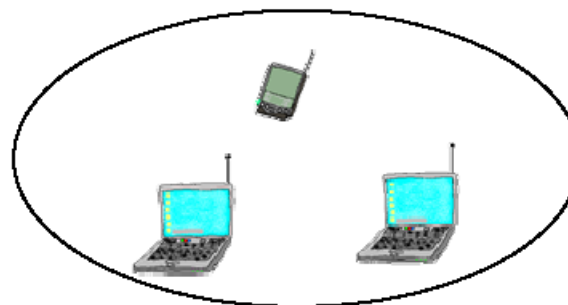
Bluetooth



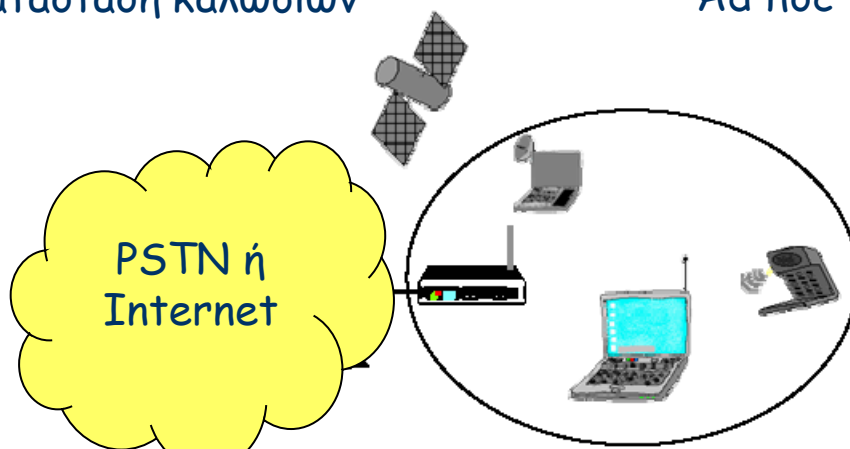
Σενάρια εφαρμογής



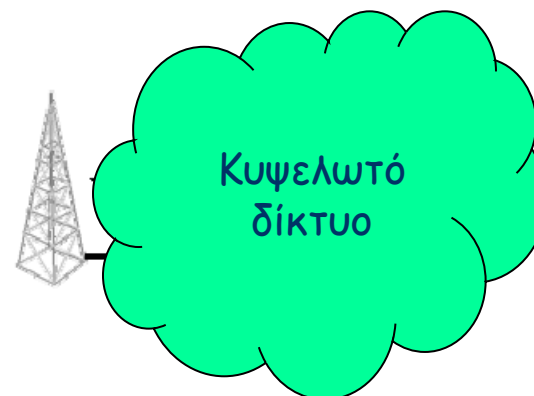
Αντικατάσταση καλωδίων



Ad hoc προσωπικό δίκτυο



Ολοκληρωμένο AP



Bluetooth



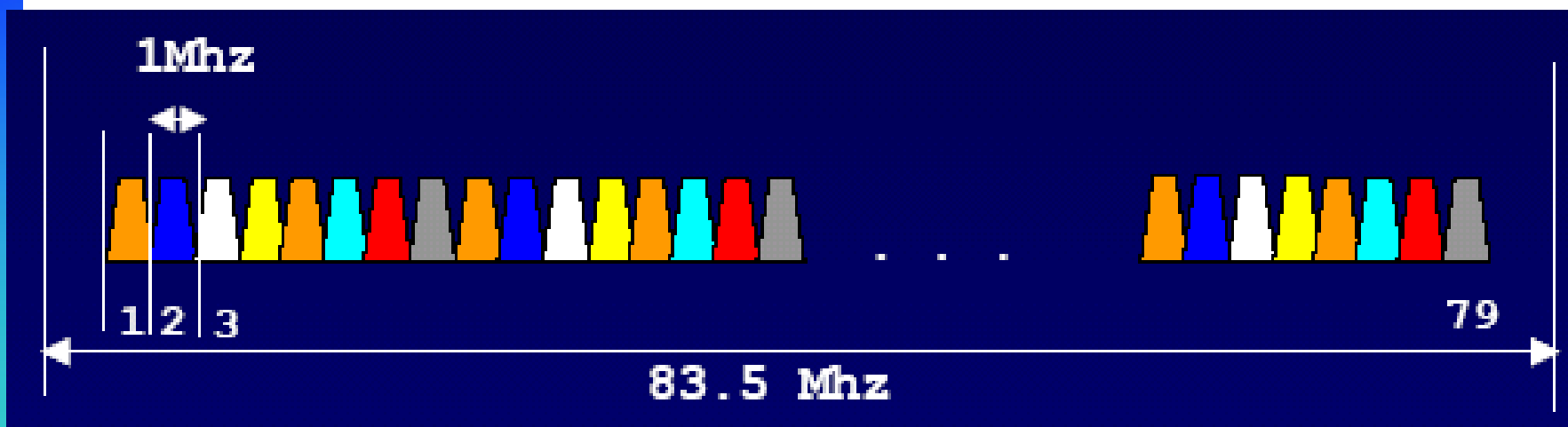
Ασύρματη ζεύξη

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 $10^6/\text{s}$

Εμβέλεια: 10-100 m

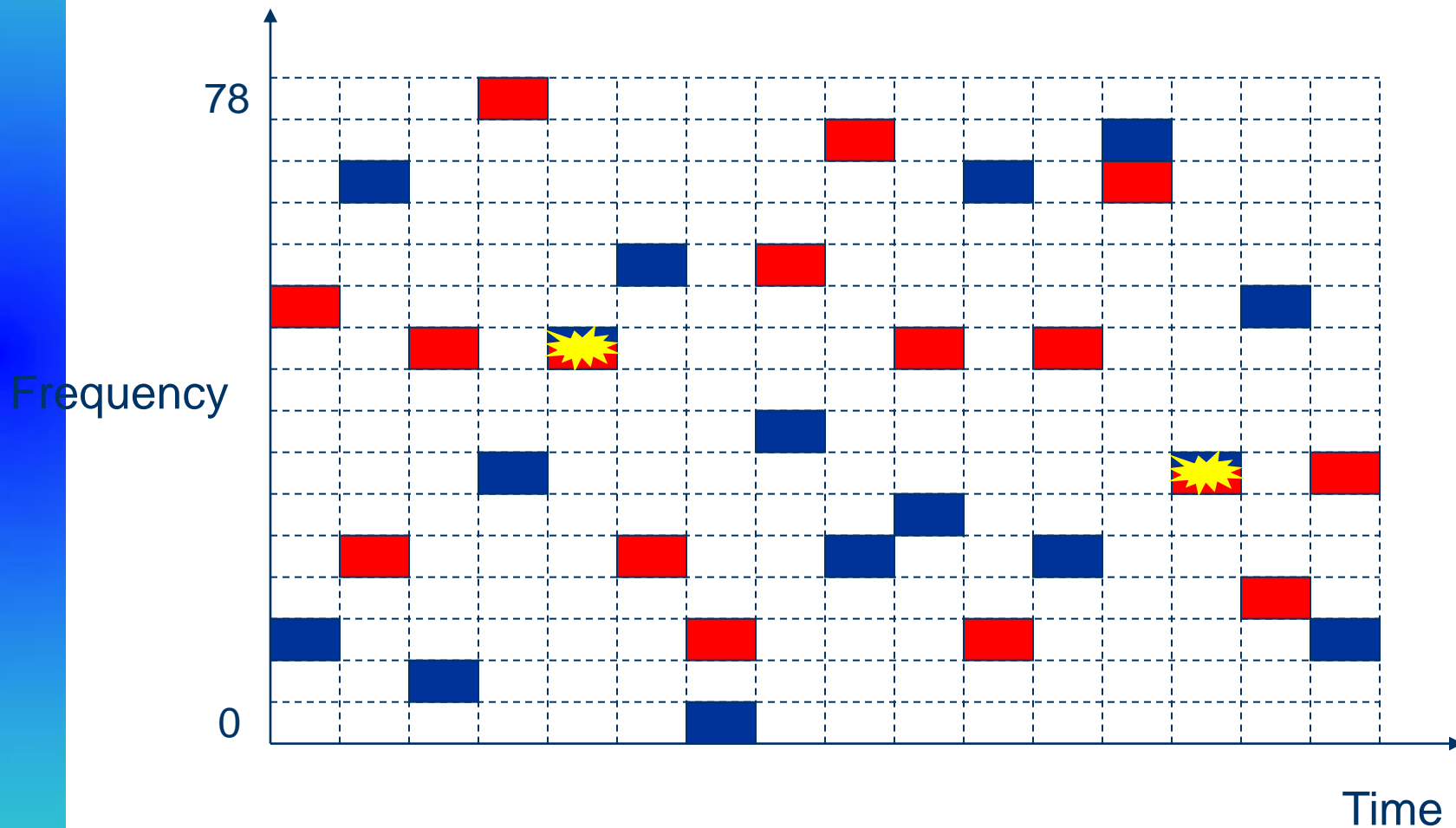
- Class I – 100 m (100mW)
- Class II – 20 m (2.5mW)
- Class III – 10 m (1mW)



Bluetooth



Frequency hopping



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



Παραμβολές

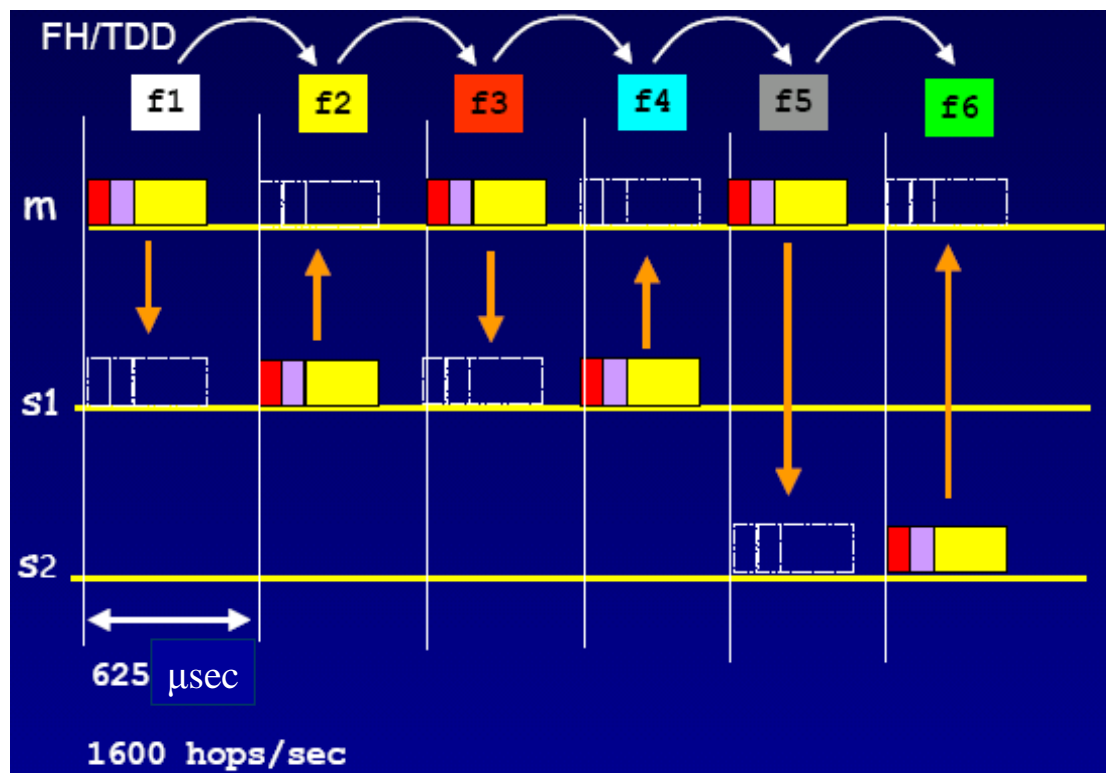
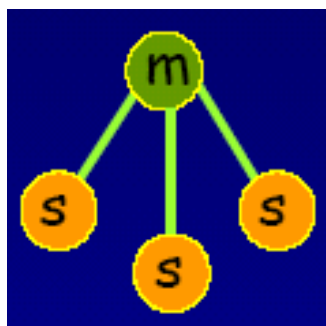
- Frequency hopping
- Μικρή εμβέλεια
- Έλεγχος ισχύος
- FEC και ARQ
- Μικρά πακέτα και ταχείες επαληθεύσεις
- Άλλες συσκευές στη ζώνη ISM π.χ. WLAN, φούρνοι μικροκυμάτων, κλπ.
- Adaptive Frequency Hopping (AFH) προτείνεται στο IEEE 802.15.1.



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.

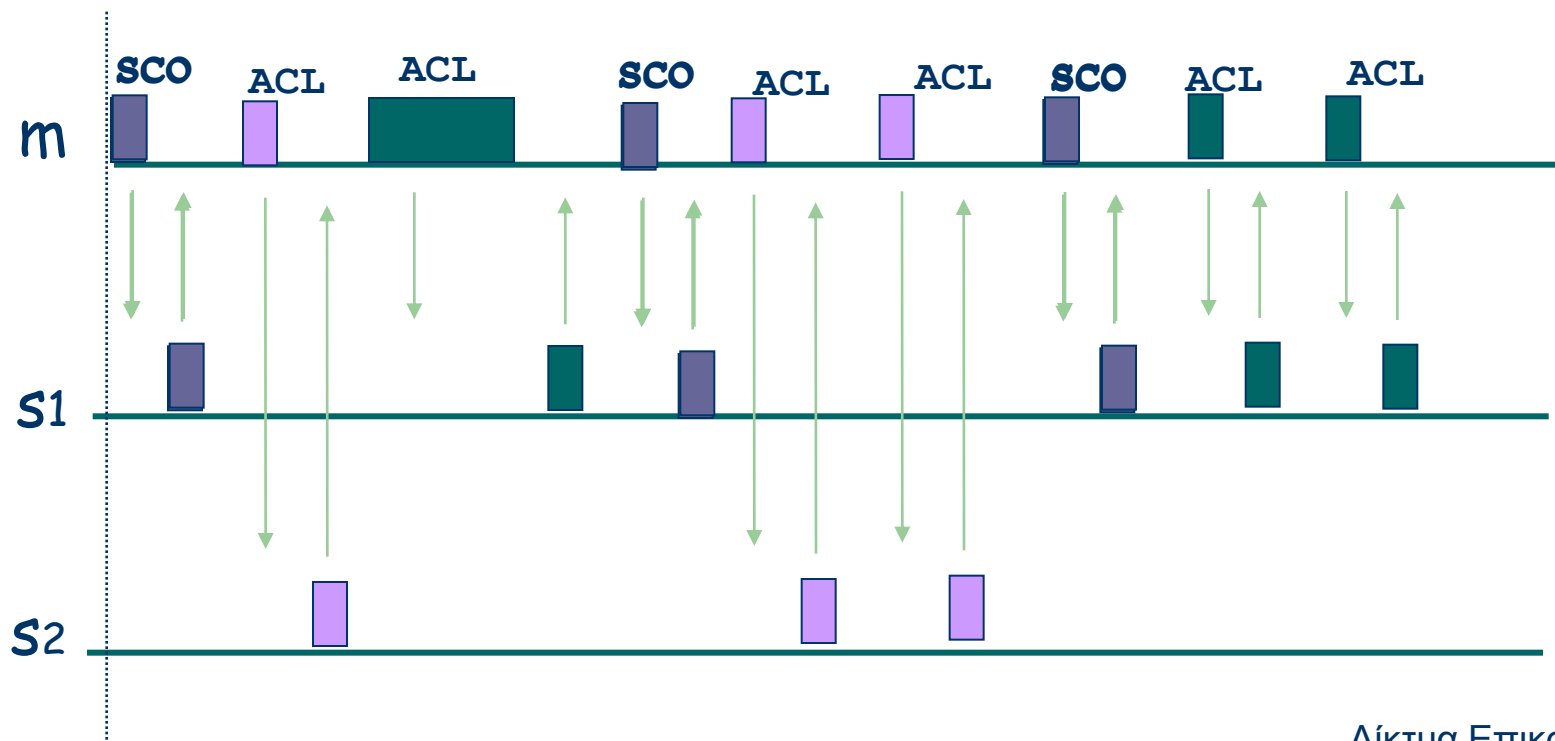
piconet





Τύποι φυσικής ζεύξης

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



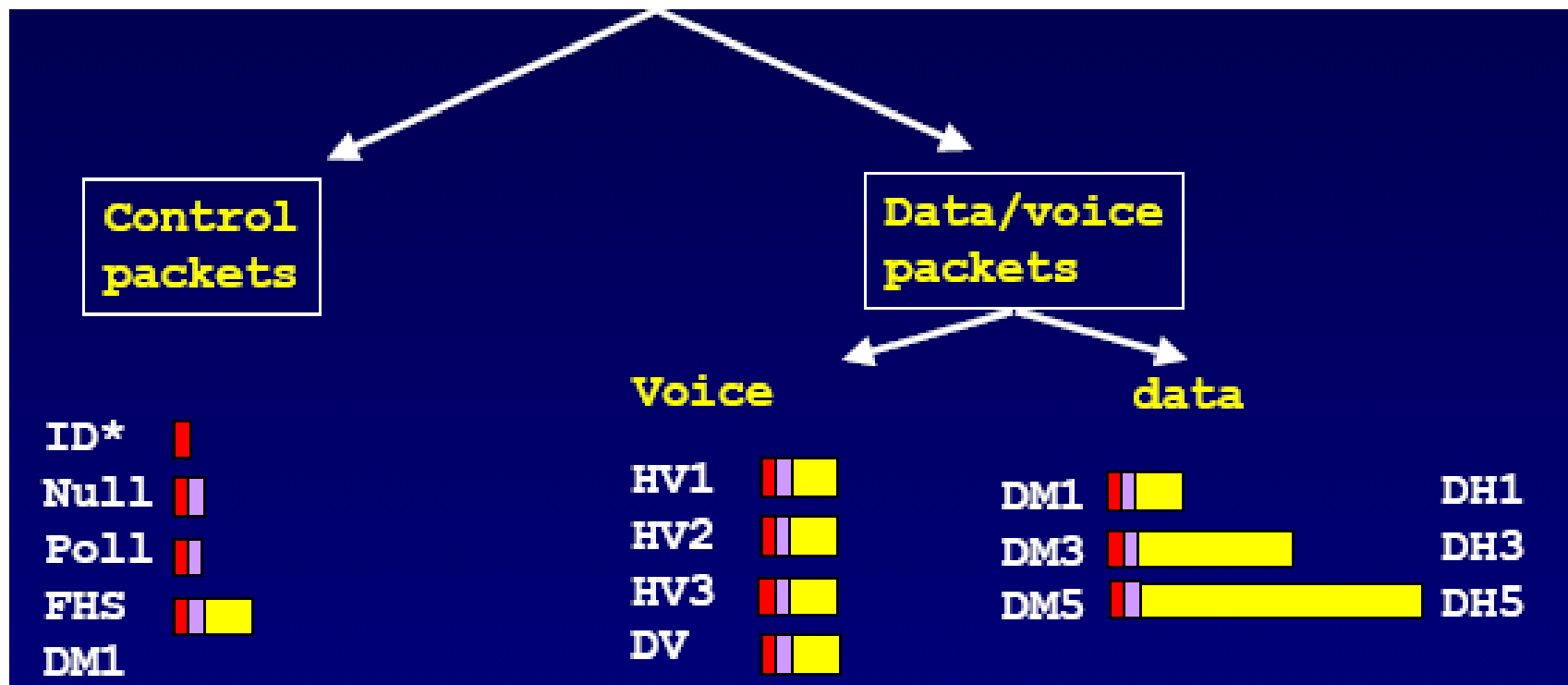


Διευθυνσιοδότηση

- 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



Τύποι πακέτων

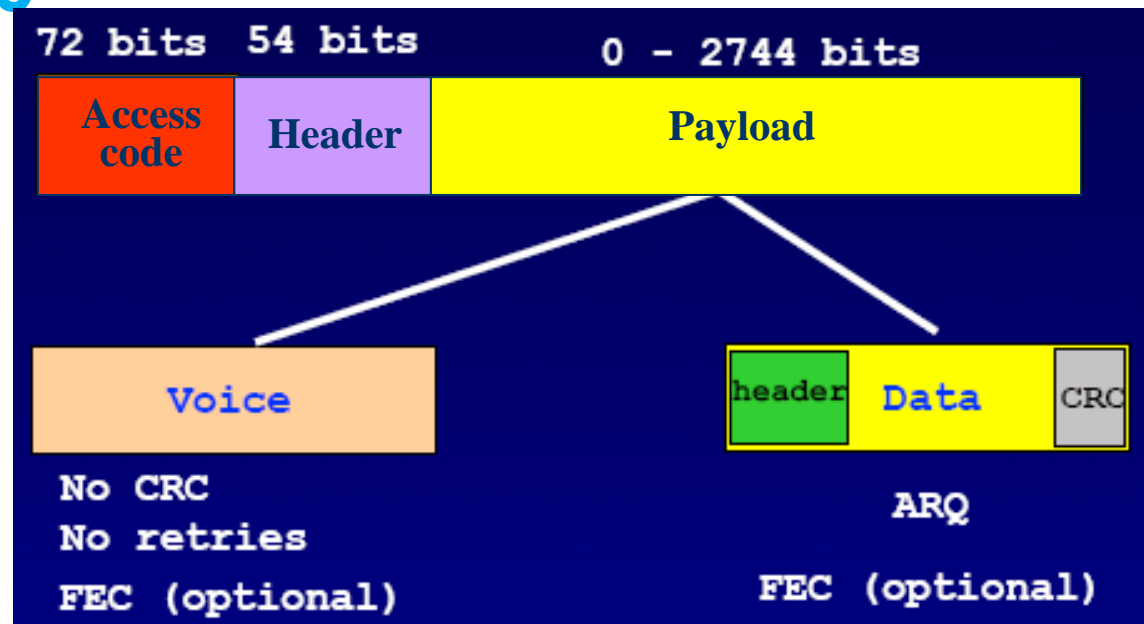


HV: High-quality Voice
DV: Data and Voice
DM: Data Medium rate
DH: Data High rate

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

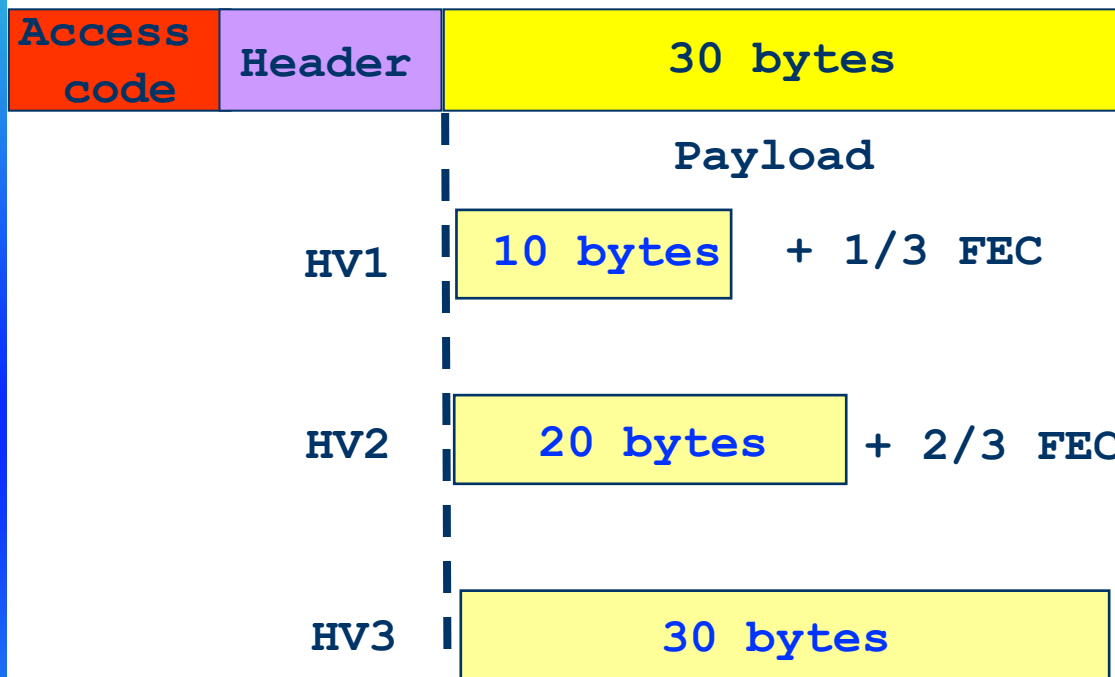
total 18 bits

Encode with 1/3 FEC to get 54 bits

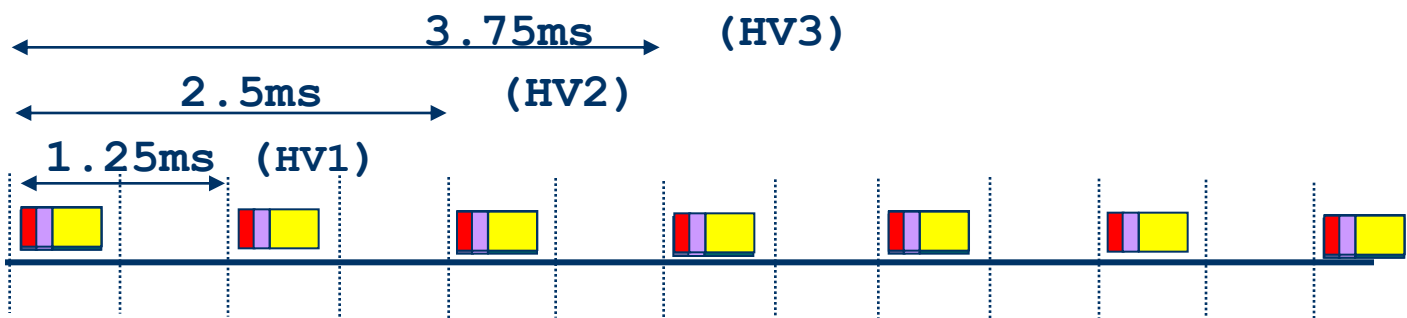
Πακέτα φωνής (HV1, HV2, HV3)



72 bits 54 bits 240 bits = 366 bits



Dir	Size	Freq	Rate
↑	10	1600/2	64.0
↑	20	1600/4	64.0
↑	30	1600/6	64.0





Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM1 και DH1

625 μ s

72 bits

54 bits

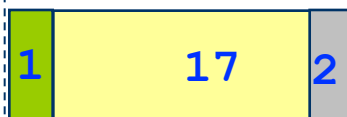
240 bits

= 366 bits



Payload

DM1



2/3
FEC

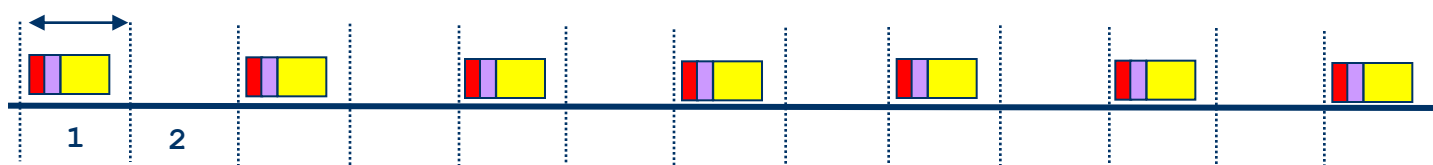
DH1



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

↑	27	172.8
↓	27	172.8

625 μ s



Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM3 and DH3



1875 μ s

72 bits
Access code

54 bits
Header

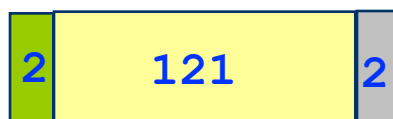
1500 bits

= 1626 bits



Payload

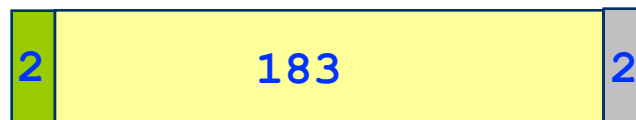
DM3



2/3
FEC

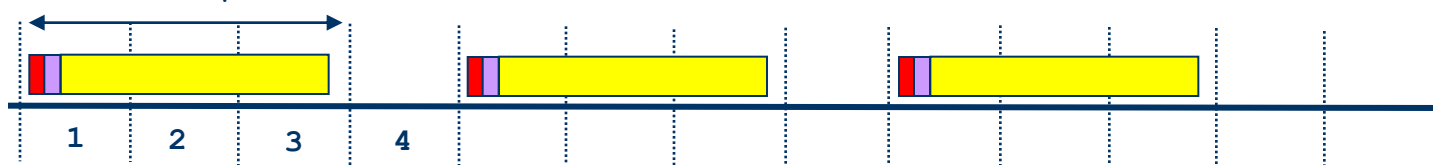
Dir	Size	Freq	Rate
↑	121	1600/4	387.2
↓	17		54.4

DH3



↑	183	585.6
↓	27	86.4

1875 μ s



Υπολογισμός ρυθμού μετάδοσης: DM5 και DH5



3125 μ s

72 bits
Access Code

54 bits
Header

2744 bits

= 2870 bits



Payload

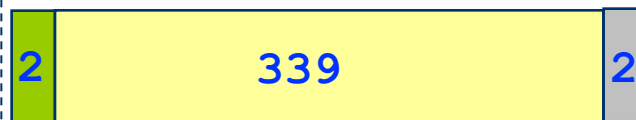
DM5



2/3
FEC

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

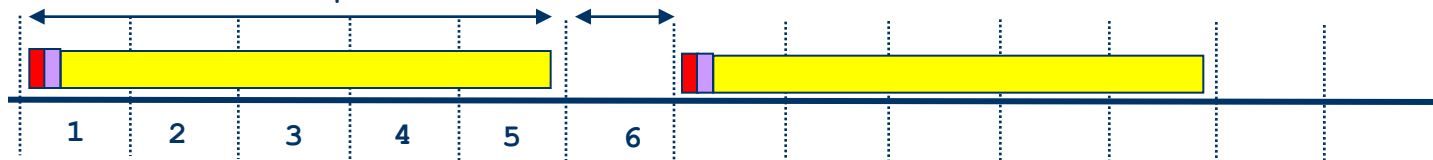
DH5



↑	339		723.2
↓	27		57.6

3125 μ s

625 μ s



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

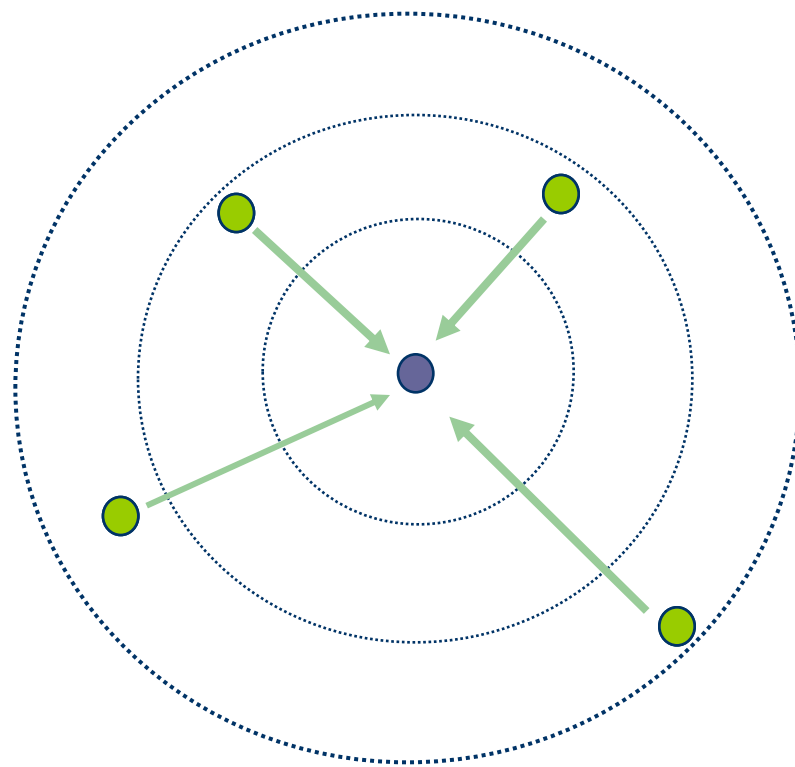
Packet	Timeslots	CRC	FEC	Symmetric (kbps)	Asymmetric (kbps)	
					Forward	Reverse
DM1	1	Yes	Yes	108	108	108
DH1	1	Yes	-	172	172	172
DM3	3	Yes	Yes	258	387	54
DH3	3	Yes	-	390	585	86
DM5	5	Yes	Yes	286	477	36
DH5	5	Yes	-	433	723	57
AUX	1	-	-	185	185	185



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



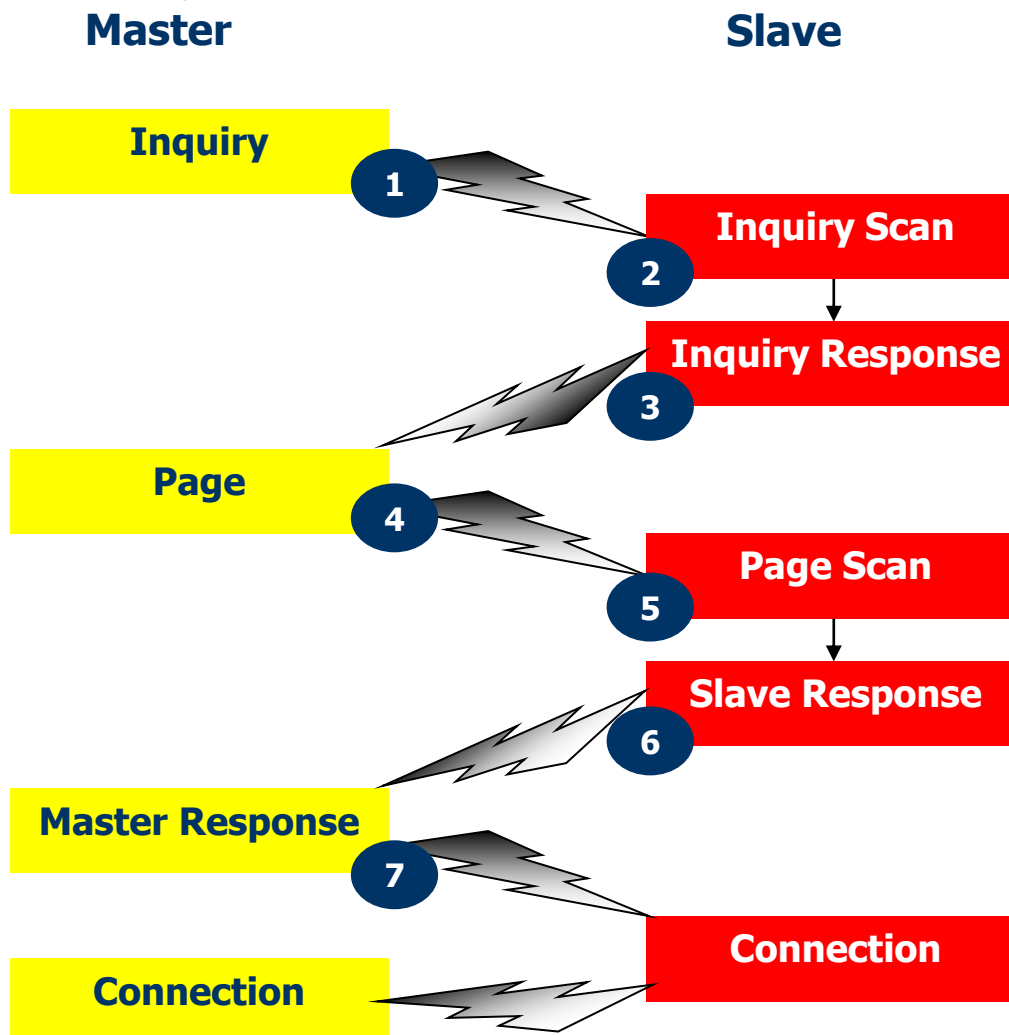


Σχηματισμός Piconet

- 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.



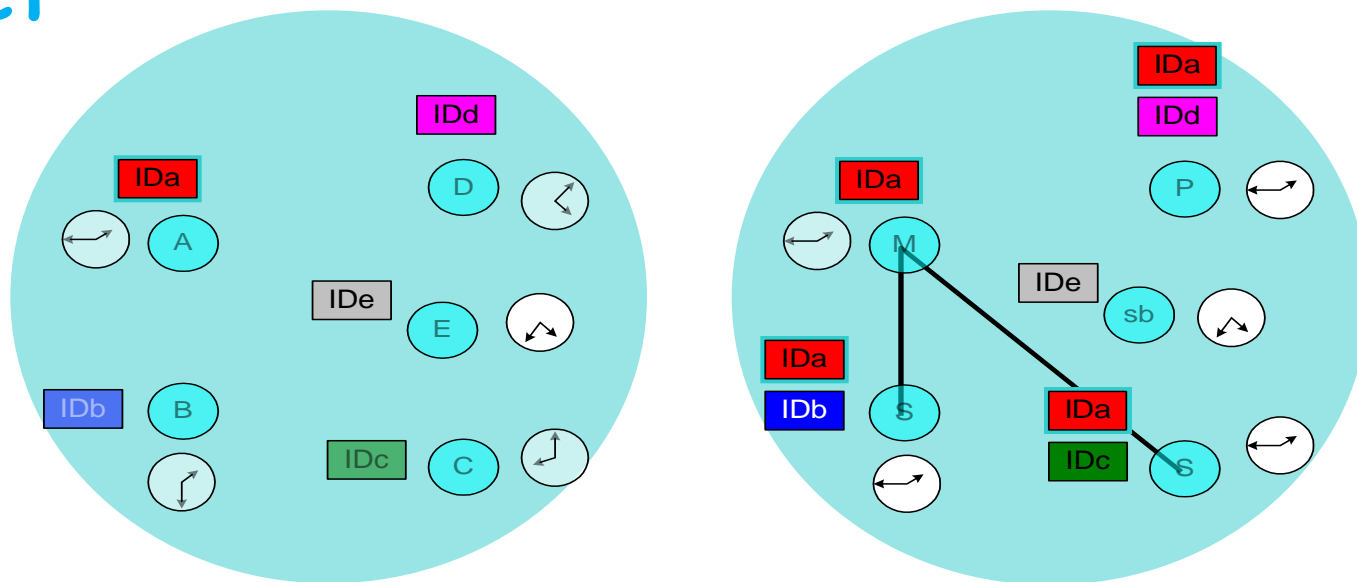
Σχηματισμός piconet



Bluetooth



Piconet

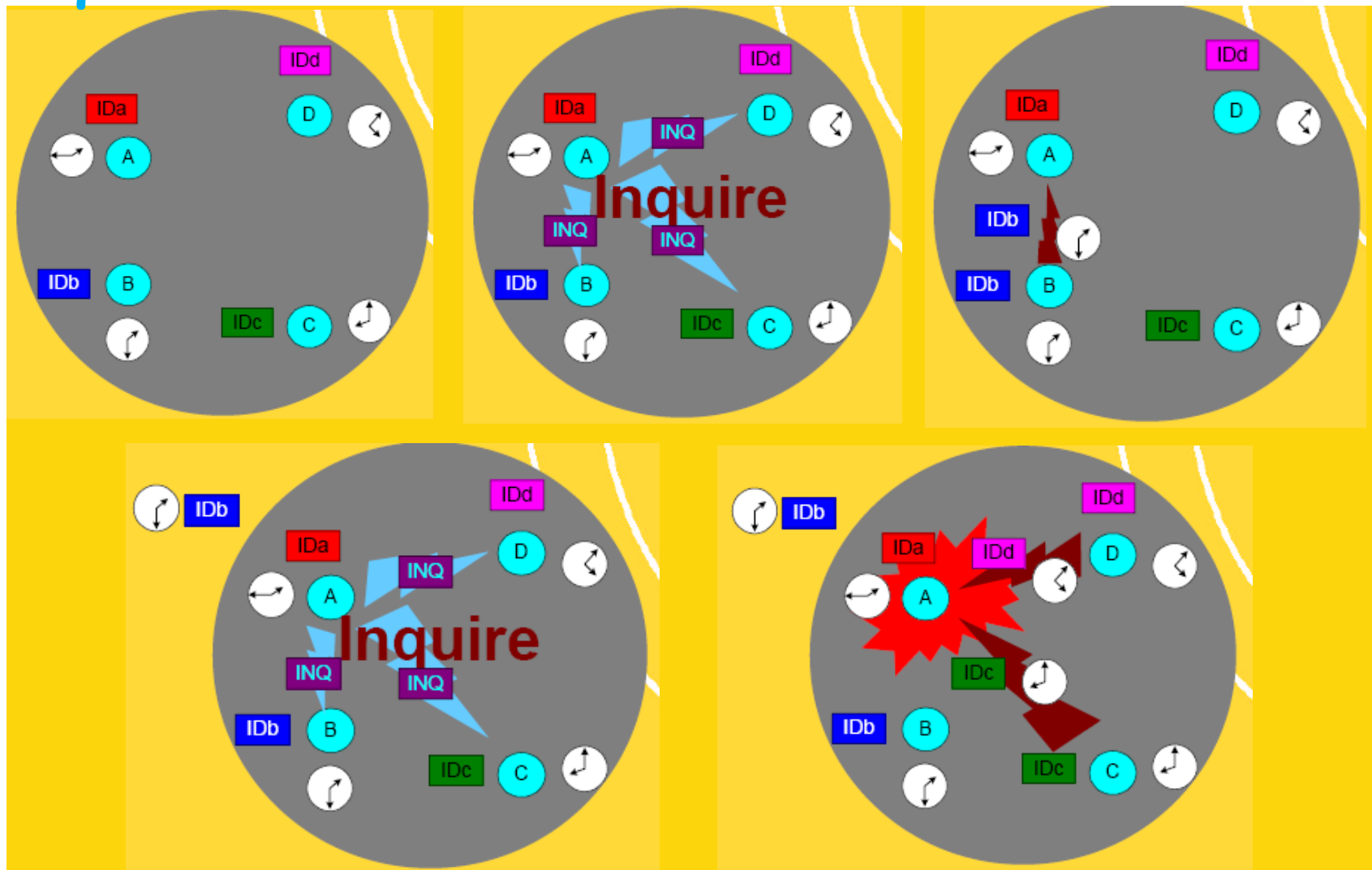


- Όλες οι συσκευές σε ένα piconet κάνουν τις ίδιες μεταπηδήσεις
- Κατά τον σχηματισμό ενός piconet, ο master δίνει στους slaves το *clock* και την *device ID*
- Το σχέδιο μεταπήδησης καθορίζεται από την *device ID* του master (48-bit)
- Η φάση μεταπήδησης καθορίζεται από το *Clock*

Bluetooth



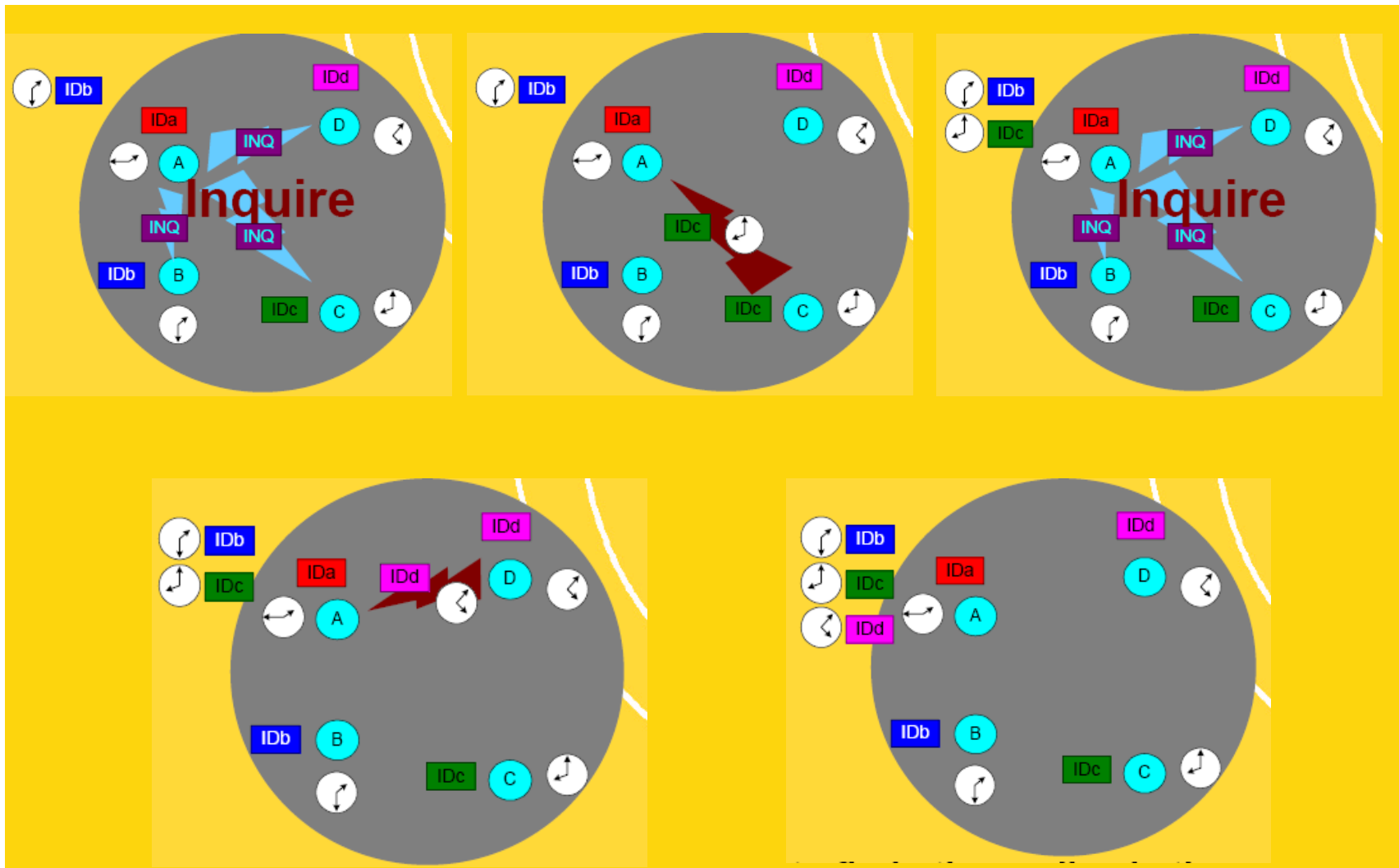
Inquire



Bluetooth



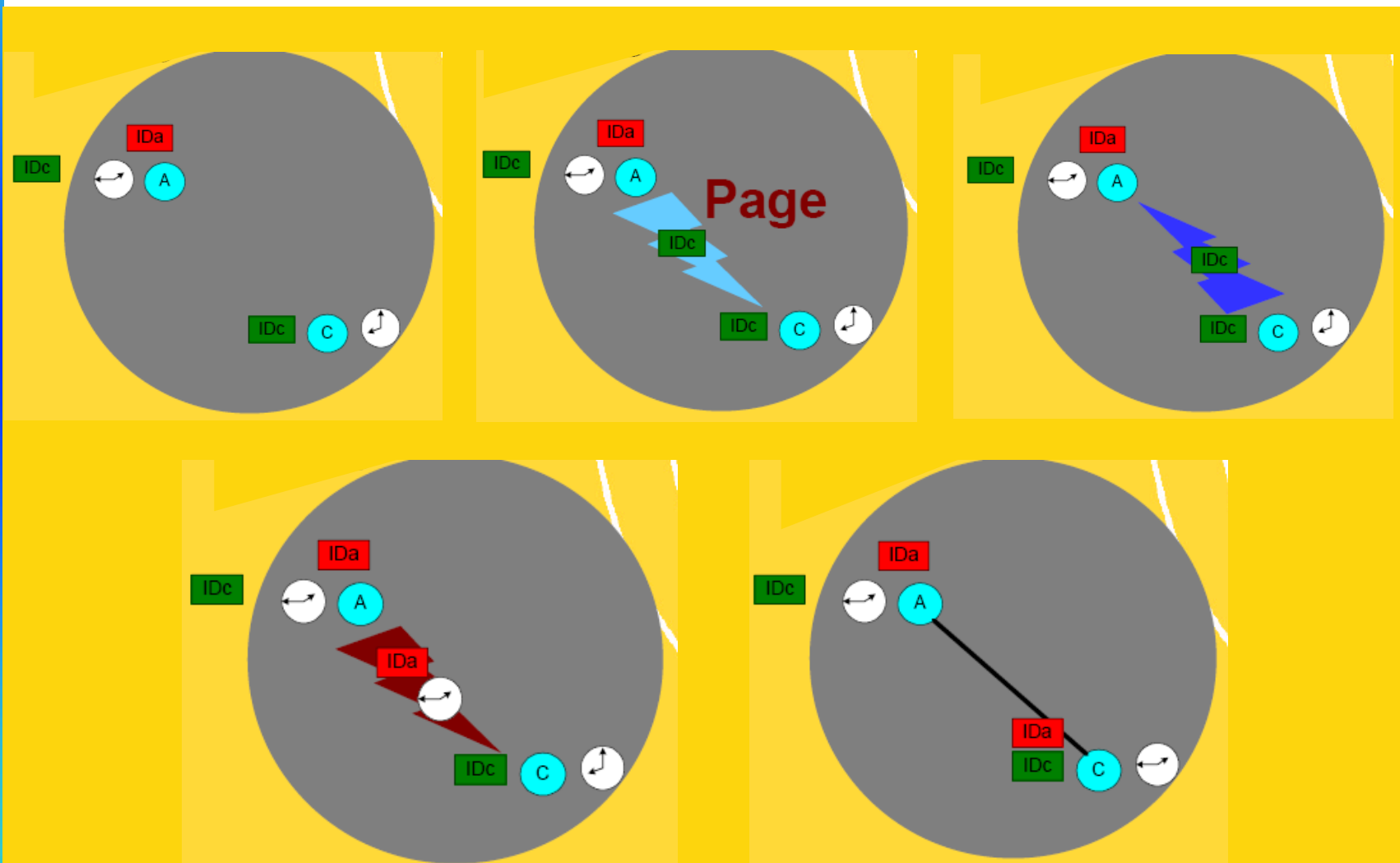
Inquire



Bluetooth



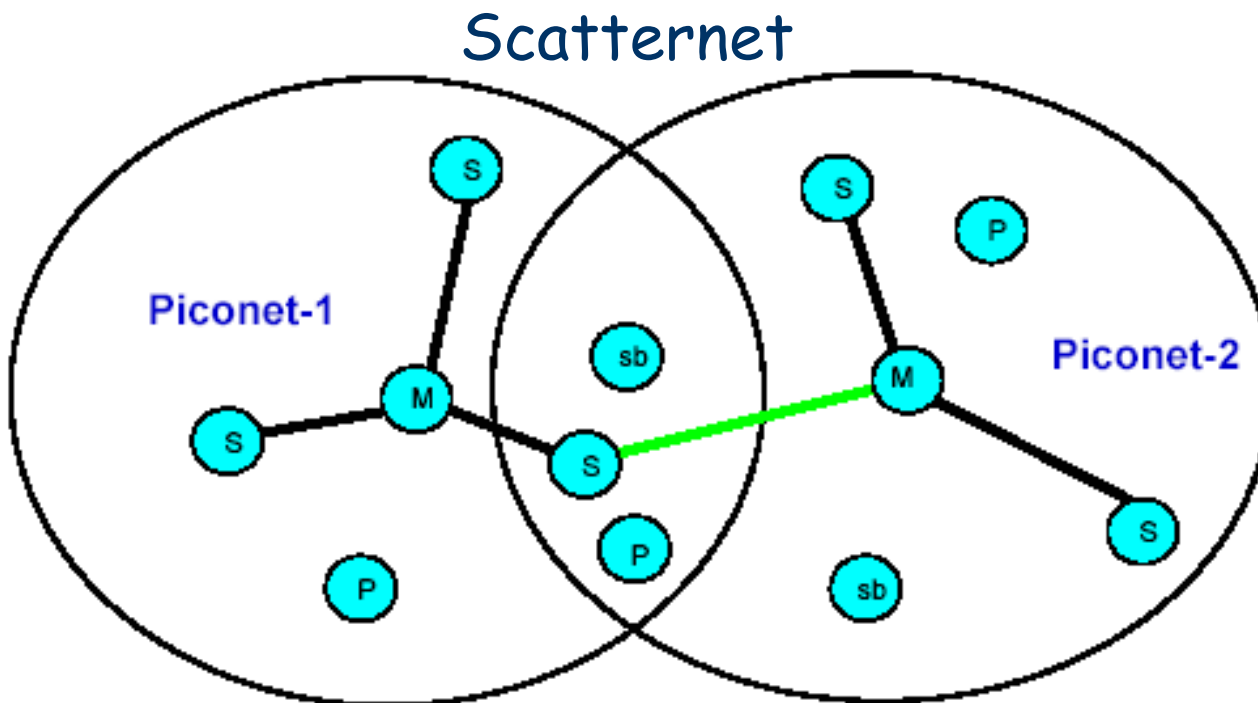
Paging



Bluetooth



Scatternet



M: master

S: slave

Sb: stand by

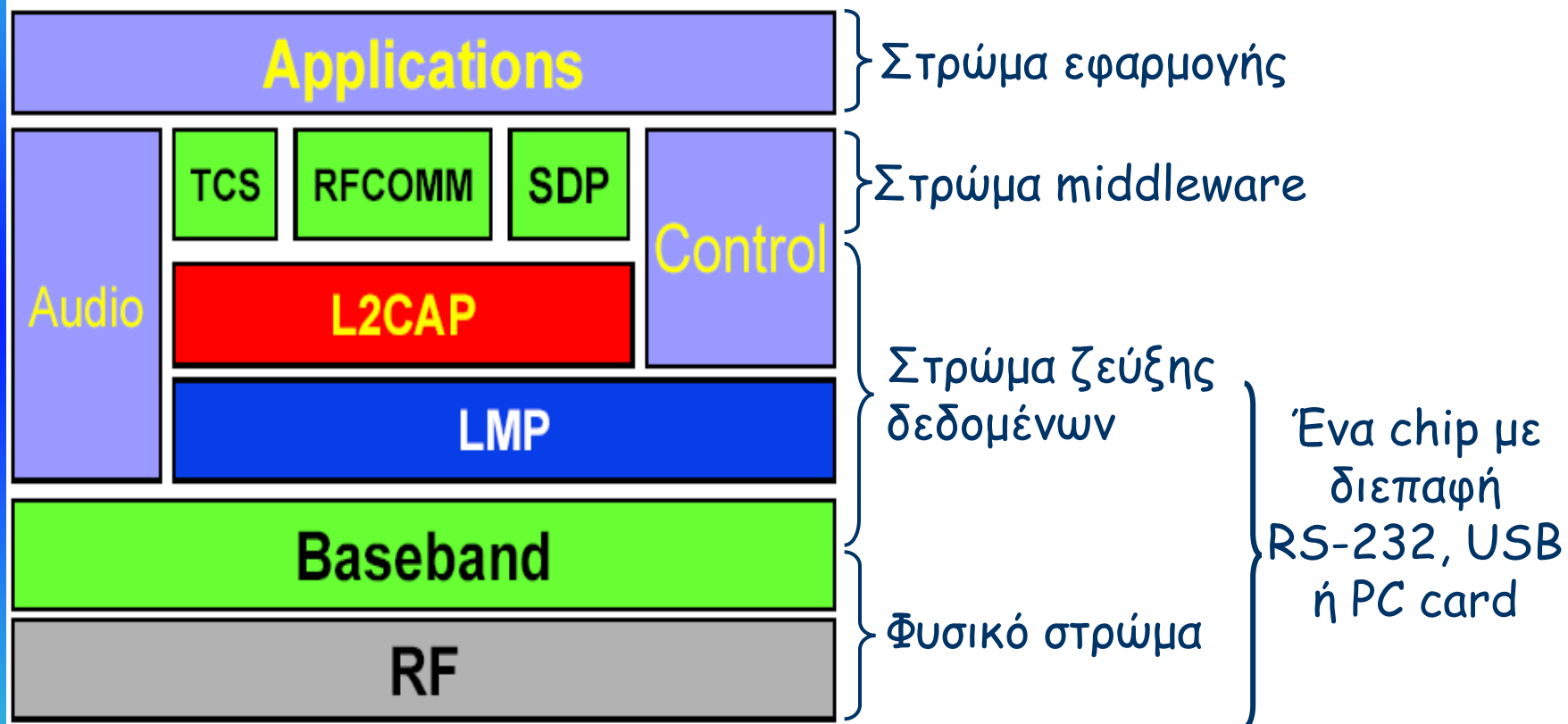
P: parked/hold

Κάθε κόμβος έχει μια διεύθυνση 12-bit

Bluetooth



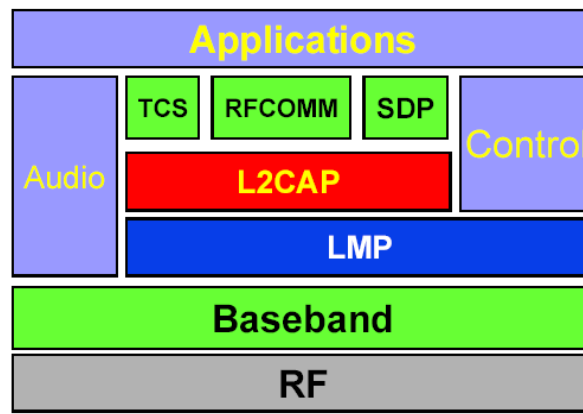
Στοίβα πρωτοκόλλων





Στοιβά πρωτοκόλλων

- **RF**: καθορίζει την ασύρματη μετάδοση bit μεταξύ Μ και Σ.
- **Baseband**: καθορίζει τον έλεγχο ζεύξης σε επίπεδο bit και πλαισίου (κωδικοποίηση, κρυπτογράφηση, πηδμήμα συχνοτήτων).
- **LMP**: διαμορφώνει τις ζεύξεις προς τις άλλες συσκευές (πιστοποίηση αυθεντικότητας, κρυπτογράφηση, κατάσταση των μονάδων στο piconet, προγραμματισμό κίνησης, μορφή πακέτου).
- **L2CAP (Logical Link Control Adaptation Protocol)**: 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



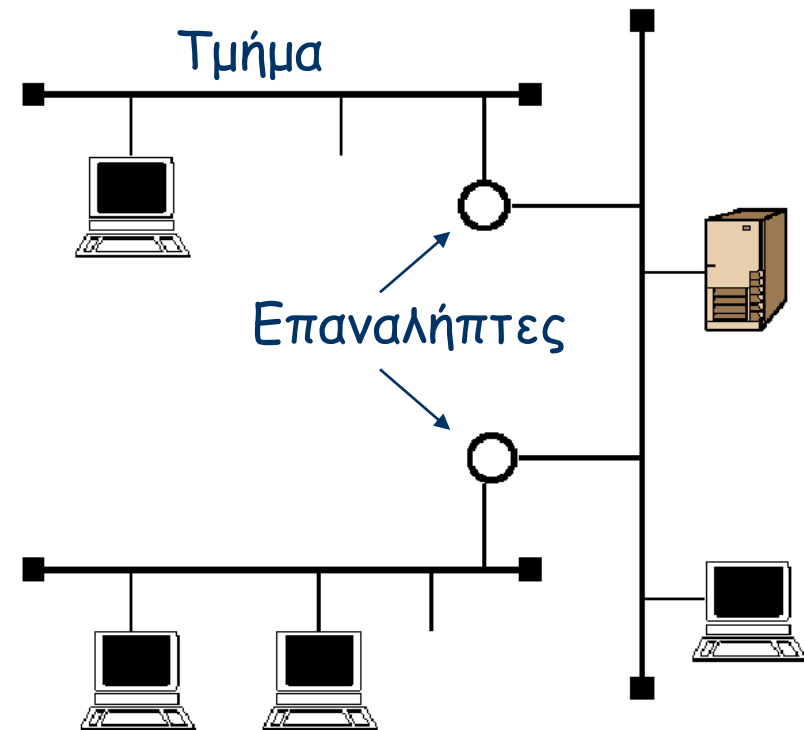
- Επαναλήπτες (Repeaters)
- Hubs
- Γέφυρες (Bridges)
- Μεταγωγείς (Switches)
 - Οι μεταγωγείς είναι στην ουσία γέφυρες με πολλές πόρτες.
 - Ό,τι αναφερθεί για τις γέφυρες ισχύει επίσης και για τους μεταγωγείς.

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.

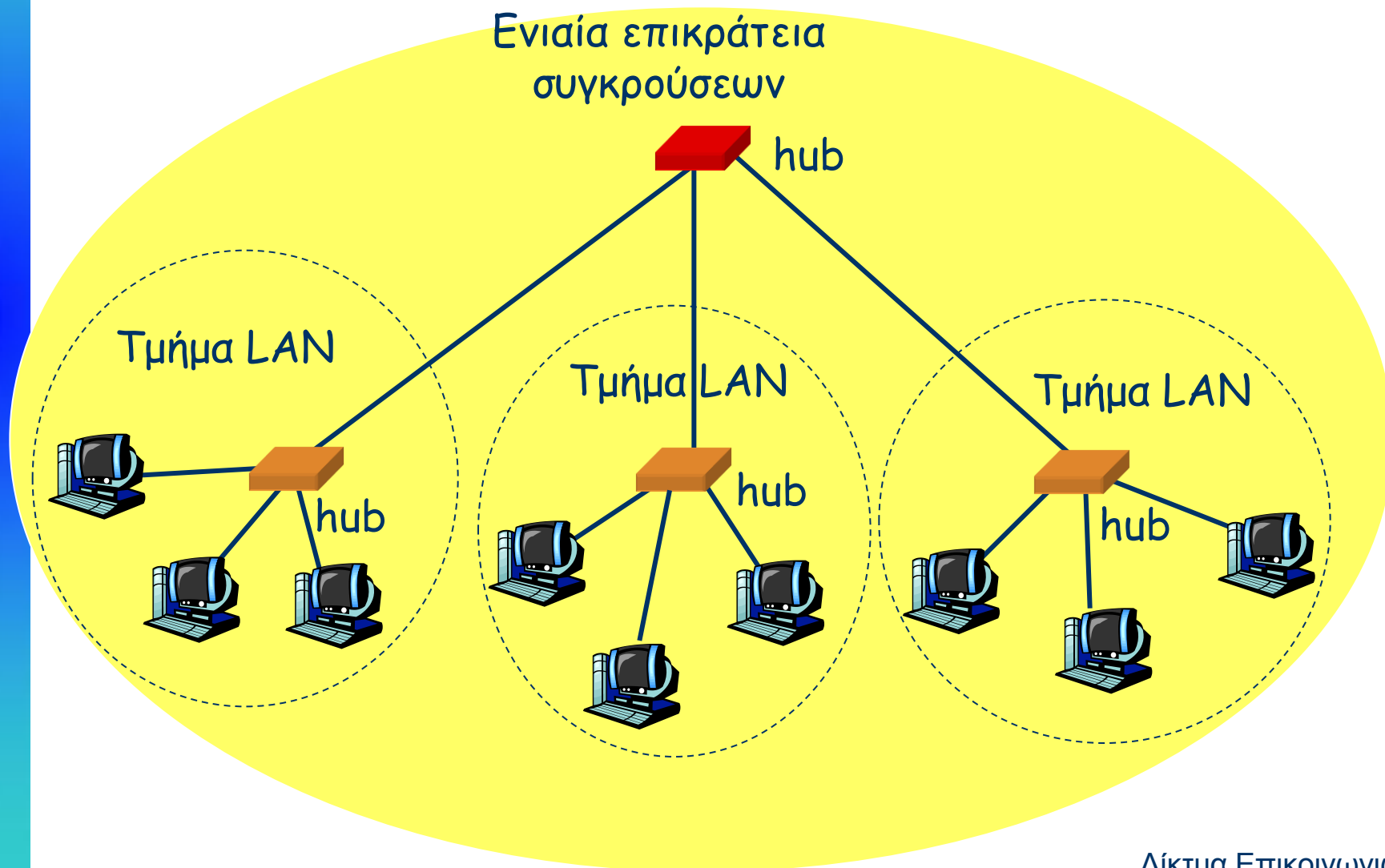


Διασύνδεση LAN



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

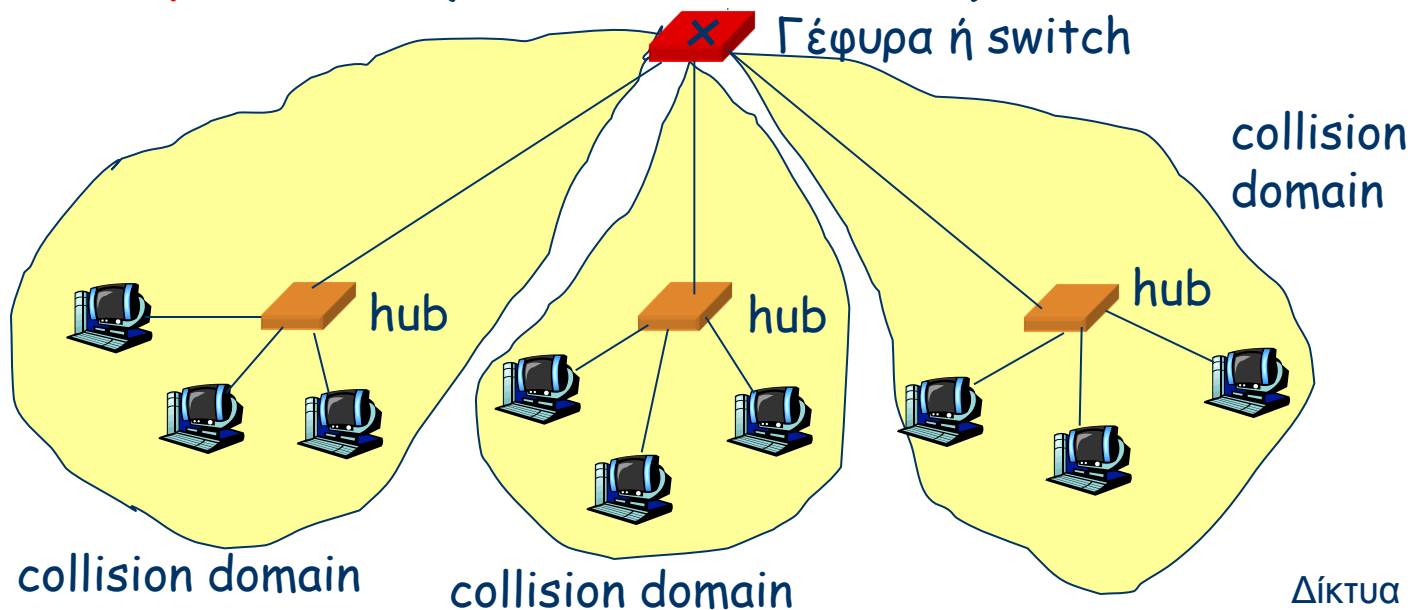
- **Συσκευή στρώματος ζεύξης δεδομένων**
 - Αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet.
 - Εξετάζει την επικεφαλίδα του πλαισίου και το προωθεί **επιλεκτικά** βάσει της διεύθυνσης MAC του προορισμού.
 - Όταν το πλαίσιο πρόκειται να προωθηθεί σε κάποιο τμήμα, χρησιμοποιεί CSMA/CD για την πρόσβαση στο τμήμα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

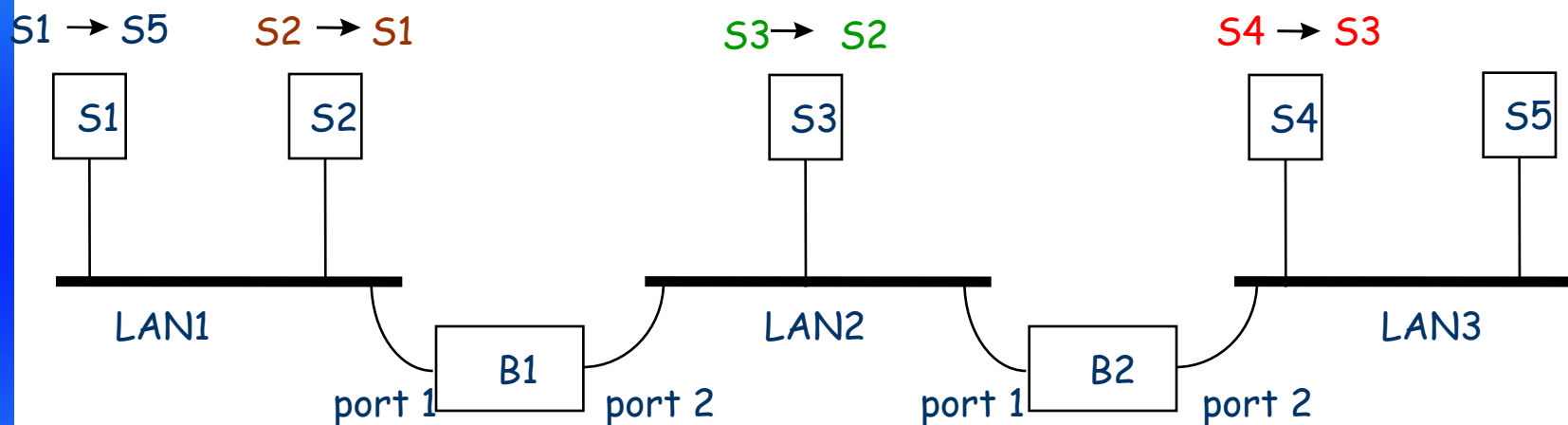
- Η γέφυρα **μαθαίνει** ποιοι host είναι προσβάσιμοι και από ποιες διεπαφές και διατηρεί έναν πίνακα προώθησης.
 - Όταν λαμβάνεται ένα πλαίσιο, η γέφυρα **"μαθαίνει"** τη **θέση του αποστολέα**, δηλαδή το LAN εισόδου.
 - Καταγράφει τη θέση του αποστολέα στον **πίνακα προώθησης**.
- Καταχώρηση στον πίνακα 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: Αυτοεκπαίδευση



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2

Διασύνδεση LAN



Γέφυρα: 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
```

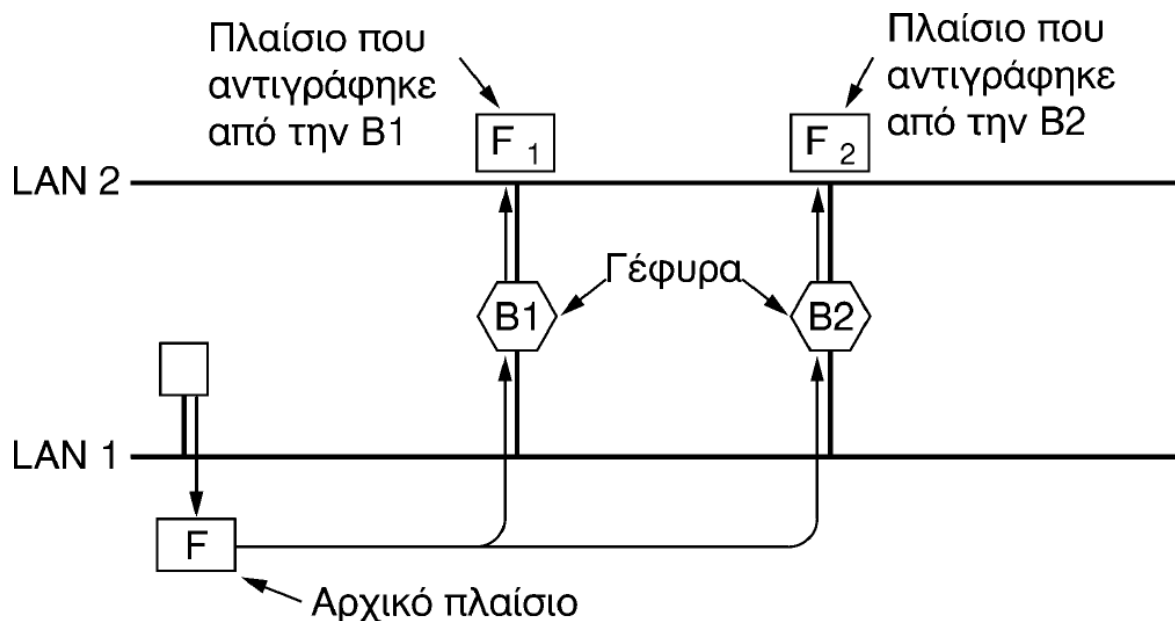
προωθεί το πλαίσιο σε όλες τις εξόδους εκτός εκείνης από την οποία ήρθε

Διασύνδεση LAN



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.

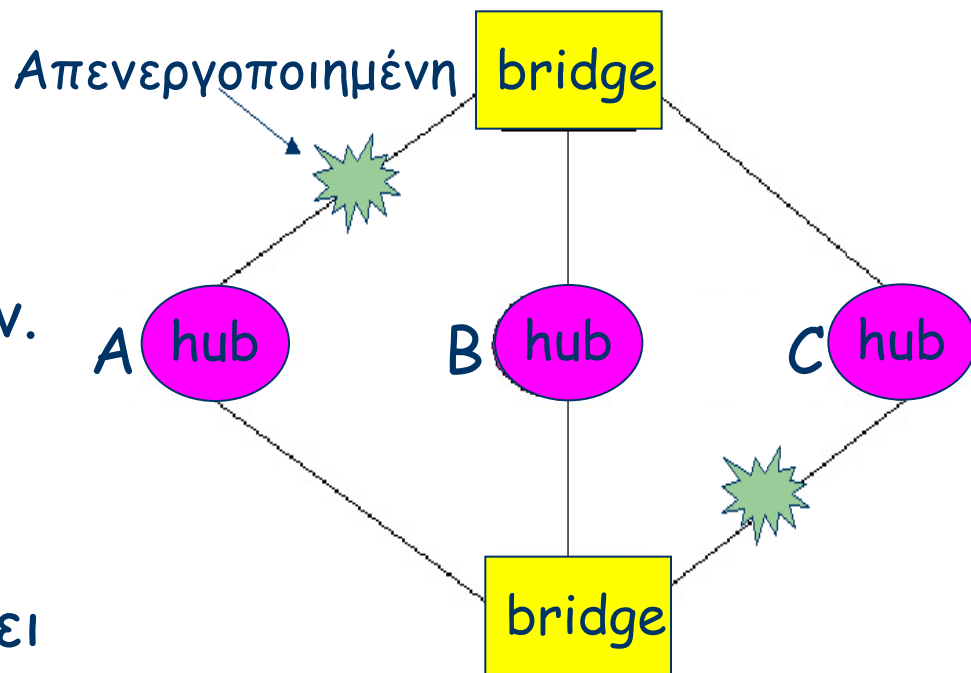


Διασύνδεση LAN



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)





Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών

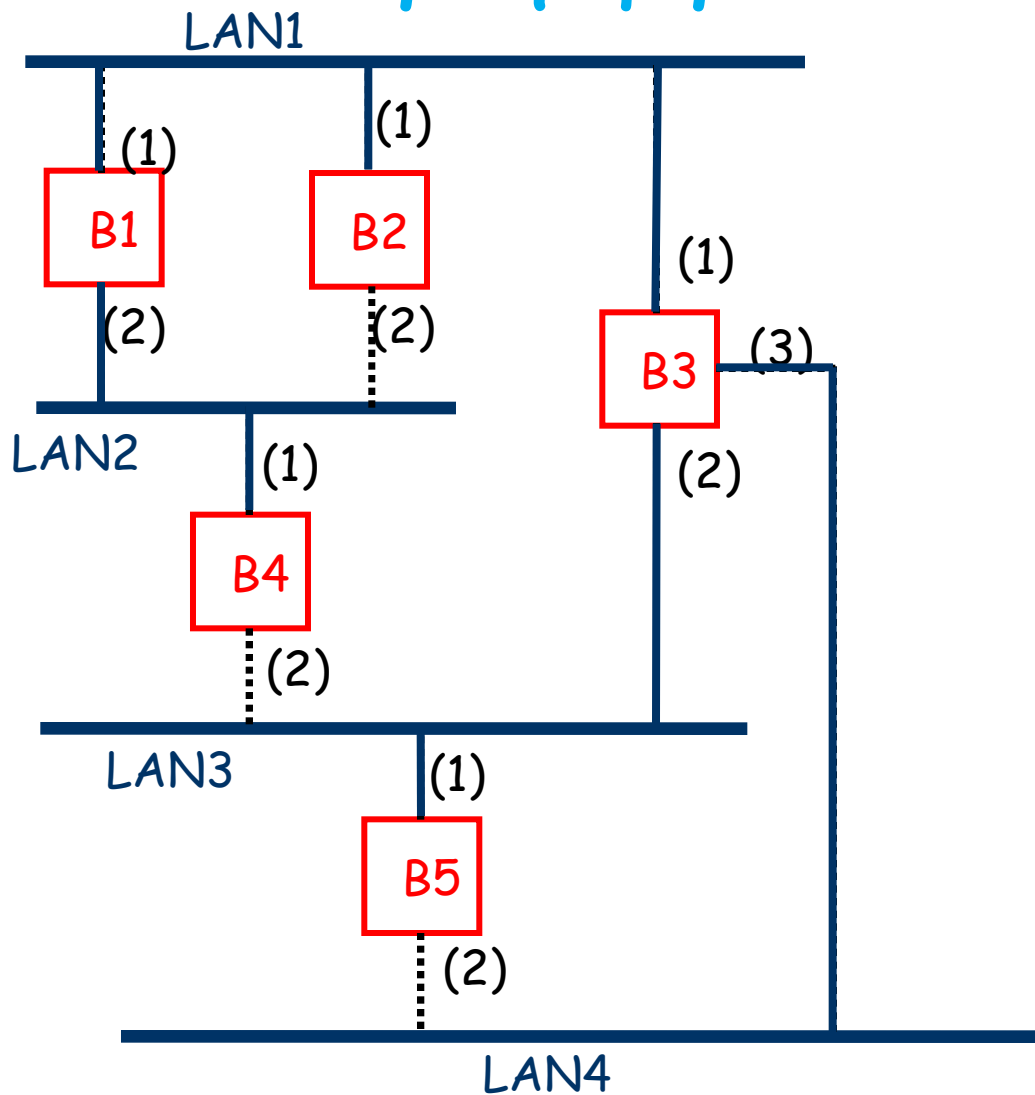
Πώς οι γέφυρες εγκαθιστούν επικαλύπτον δέντρο;

- 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.

Διασύνδεση LAN



Επικαλύπτον δέντρο γεφυρών



Διασύνδεση LAN



Διασύνδεση με μεταγωγέα

Ο μεταγωγέας πακέτων Ethernet αποθηκεύει και προωθεί πλαίσια Ethernet.

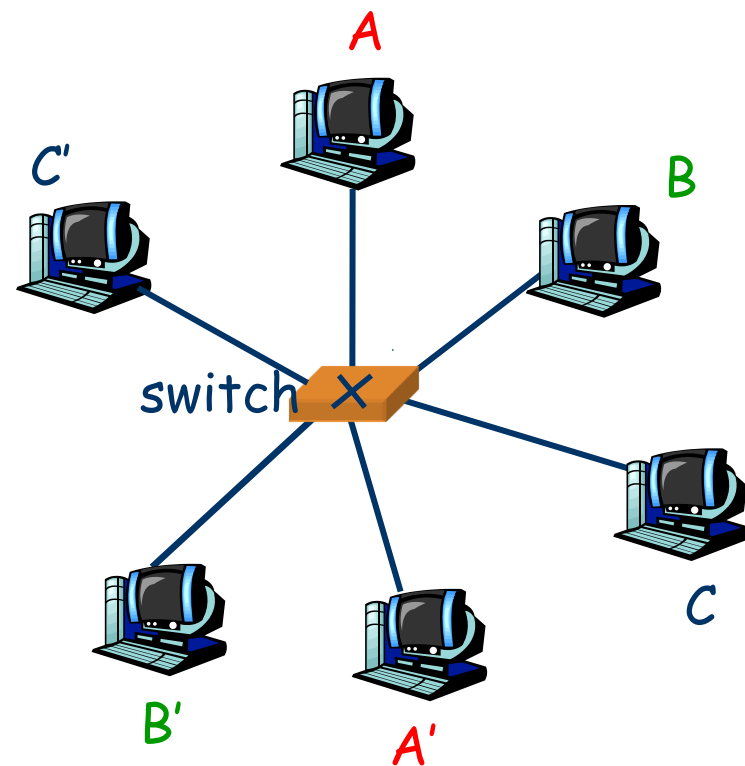
- Κάθε θύρα αποθηκεύει τα εισερχόμενα πλαίσια.
- Τα εισερχόμενα πλαίσια εξετάζονται και μεταφέρονται στην κατάλληλη έξοδο.
- Κάθε εισερχόμενη γραμμή είναι και ένα πεδίο σύγκρουσης.
- Η μεταγωγή απαλείφει τις συγκρούσεις.
- Η προσωρινή αποθήκευση αντιμετωπίζει τον ανταγωνισμό.
- Δεν απαιτείται πρόσβαση 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

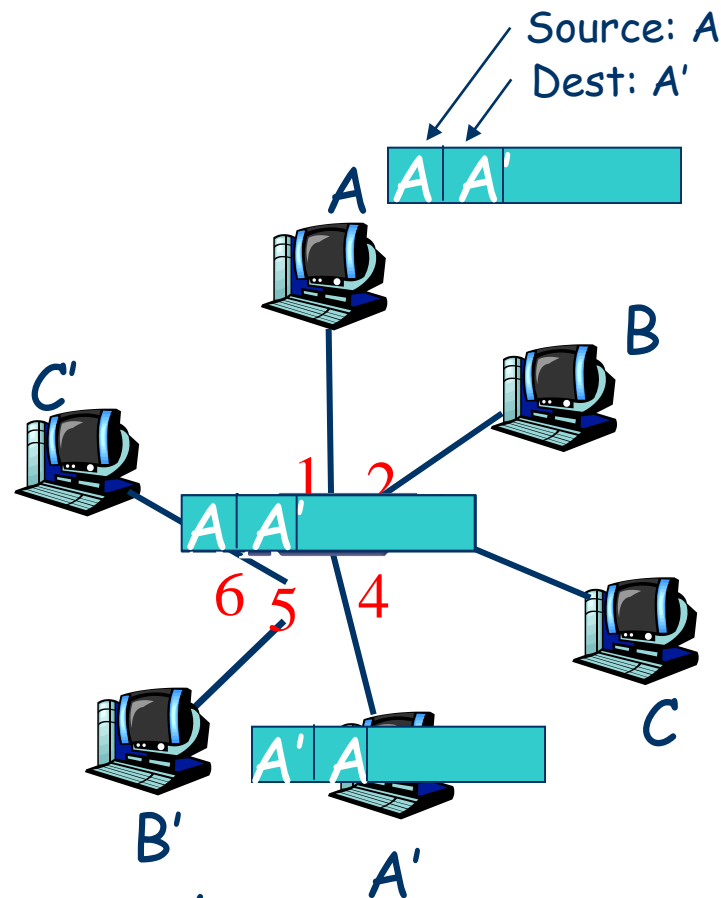


Μεταγωγέας: Αυτοεκπαίδευση-προώθηση

- 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

