

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
(Wireless LOCAL AREA NETWORKS
- WLANs)

Μοντέλο Αναφοράς Open Systems Interconnection (OSI)



ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

ΣΥΝΟΔΟΣ

ΜΕΤΑΦΟΡΑ

ΔΙΚΤΥΟ

ΖΕΥΞΗ

ΦΥΣΙΚΟ

Οι διαφορές ασύρματων και ενσύρματων δικτύων εντοπίζονται σε αυτά τα δύο επίπεδα.

Κίνητρα για τη χρήση ασύρματων τοπικών δικτύων

- Ένα ασύρματο LAN (WLAN) κάνει χρήση ενός ασύρματου μέσου μετάδοσης για ένα τοπικό δίκτυο.
- Τα WLANs προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα:
 - ✓ εξασφαλίζουν απαιτήσεις κινητικότητας κόμβων, μετεγκατάστασης, και δικτύωση ad hoc
 - ✓ Παρέχουν κάλυψη σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία καλωδίωσης, πχ διατηρητέα κτήρια, κάστρα κλπ
 - ✓ Μπορούν να συνυπάρχουν με ενσύρματα δίκτυα
 - ✓ Παρέχουν υψηλό ρυθμό μετάδοσης σε φορητά τερματικά, π.χ. μέσα με κτίρια, πανεπιστημιούπολεις, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα.

Απαιτήσεις ασύρματου LAN (WLAN) (1)

- **Ρυθμοαπόδοση:** Το πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μέσου (medium access control, MAC) θα πρέπει να επιτύχει όσο το δυνατόν πιο αποδοτική χρήση του ασύρματου μέσου διάδοσης.
- **Υποστήριξη μεγάλου αριθμού κόμβων**
- **Διασύνδεση του WLAN με το δίκτυο κορμού LAN**
- **Περιοχή εξυπηρέτησης:** Η τυπική διάμετρος της περιοχής κάλυψης ενός δικτύου LAN είναι 100-300 μέτρα.
- **Χαμηλή κατανάλωση ισχύος μπαταρίας:** Οι κινητοί σταθμοί (smartphones, tablets, laptops) τροφοδοτούνται από μπαταρίες που δεν έχουν μεγάλη διάρκεια. Επομένως, δεν είναι κατάλληλο ένα πρωτόκολλο MAC το οποίο απαιτεί από τους κινητούς κόμβους να παρακολουθούν συνεχώς τα σημεία πρόσβασης ή να εμπλέκονται σε συχνές χειραψίες με το σημείο πρόσβασης. Τα WLANs συχνά διαθέτουν μηχανισμούς για τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος, όπως κατάσταση ύπνου (sleep mode), τους οποίους ενεργοποιούν όταν δε χρησιμοποιούν το δίκτυο.

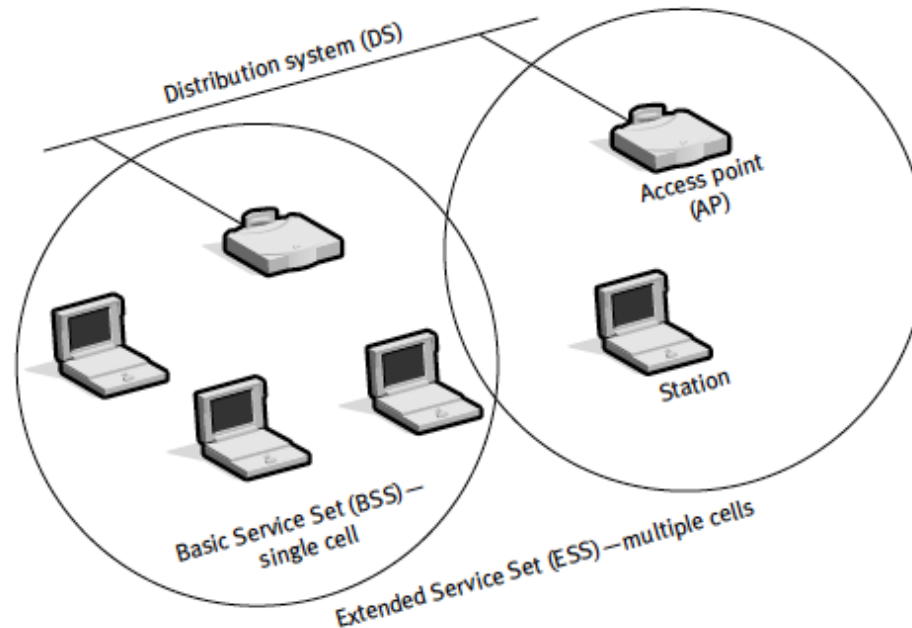
Απαιτήσεις ασύρματου LAN (WLAN) (2)

- **Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια εκπομπής:** Η σχεδίαση ενός WLAN πρέπει να μπορεί να προσφέρει αξιόπιστη μετάδοση ακόμα και σε περιβάλλον παρεμβολών και να προσφέρει κάποιο επίπεδο προστασίας από υποκλοπές.
- **Λειτουργία γειτονικών δικτύων:** Ο σχεδιασμός του WLAN θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη ότι είναι πιθανό στην ίδια περιοχή να λειτουργούν δυο ή περισσότερα WLANs, που έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή ύπαρξη παρεμβολών μεταξύ των WLANs.
- **Λειτουργία χωρίς άδεια (license-free):** Είναι επιθυμητό οι χρήστες να μπορούν να αγοράσουν και να λειτουργήσουν προϊόντα WLANs χωρίς να πρέπει να εξασφαλίσουν άδεια λειτουργίας για τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από το WLAN.
- **Μεταπομπή/περιαγωγή: (handoff/roaming):** Το πρωτόκολλο MAC που χρησιμοποιείται από το WLAN θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα στους κινητούς σταθμούς να μετακινούνται από μια κυψέλη σε άλλη.
- **Δυναμική διαμόρφωση:** Τα WLANs πρέπει να επιτρέπουν τη δυναμική και αυτοποιημένη προσθήκη, διαγραφή και μετεγκατάσταση των τερματικών συστημάτων χωρίς να παρενοχλούνται οι άλλοι χρήστες.

Διάρθρωση

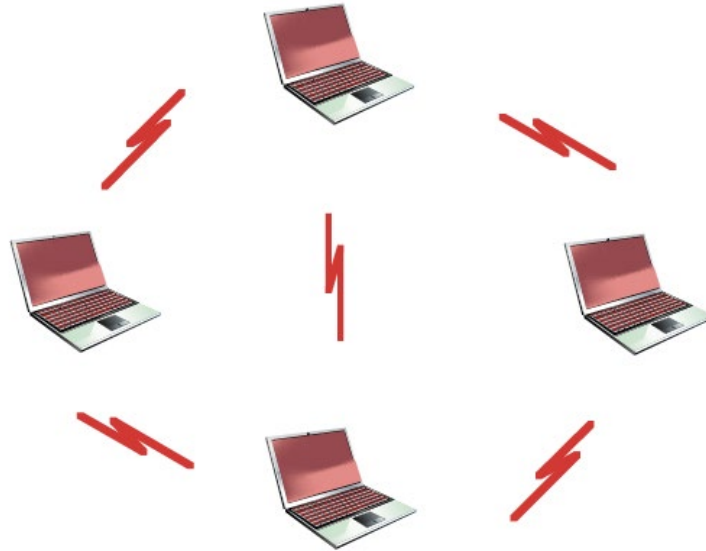
- Εκτός από την περίπτωση μικρών γραφείων ή οικιακής χρήσης, ένα ασύρματο LAN χρησιμοποιεί μια διάταξη πολλαπλών κυψελών.
- Οι γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικές κεντρικές συχνότητες μέσα στην ίδια ζώνη για την αποφυγή παρεμβολών.
- Είναι εφικτή η αυτόματη μεταπομπή των κινητών σταθμών. Όταν το AP λάβει ένα σήμα που γίνεται αδύναμο μπορεί αυτόματα με μεταπομπή να το μεταβιβάσει στο πλησιέστερο γειτονικό AP.

Αρχιτεκτονικές WLANs: Ασύρματο LAN με υποδομή



- Σύνολο βασικών υπηρεσιών (Basic Service Set, BSS) ή σύνολο εκτεταμένων υπηρεσιών (Extended Service Set, ESS). Το ESS είναι σύνολο από BSS και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των σημείων πρόσβασης (access points, APs) και διευκολύνει τη μετακίνηση των σταθμών μεταξύ των BSS.
- Οι σταθμοί επικοινωνούν μέσω του σημείου πρόσβασης AP, το οποίο αναμεταβιβάζει πλαίσια από και προς τους κινητούς σταθμούς.

Αρχιτεκτονικές WLANs: Ad Hoc LAN



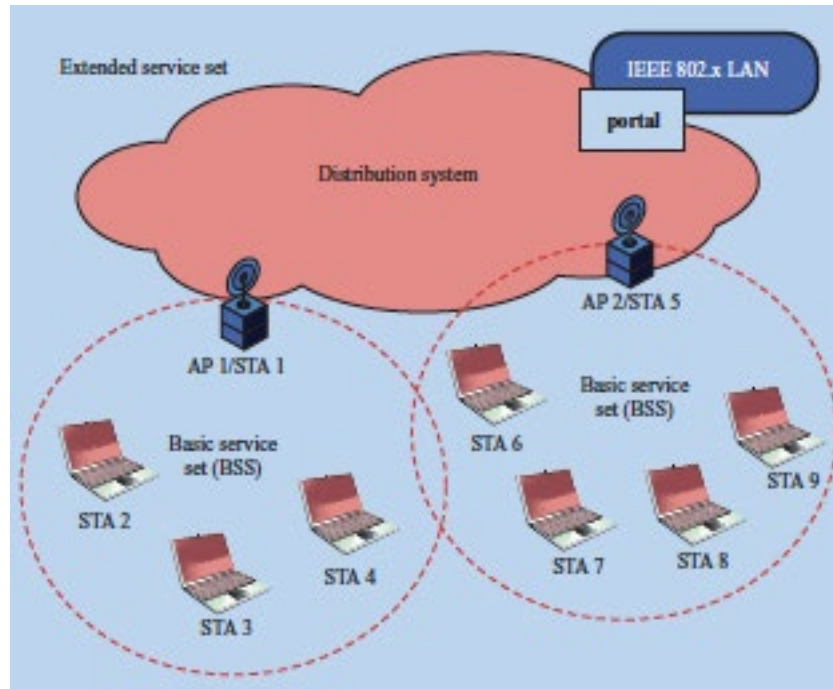
- Independent Basic Service Set (IBSS)
- Οι σταθμοί μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Όταν δεν υπάρχει άμεση ζεύξη μεταξύ δύο σταθμών, ένας τρίτος σταθμός μπορεί να λειτουργεί ως relay (αναμεταδότης).

Αρχιτεκτονική του 802.11

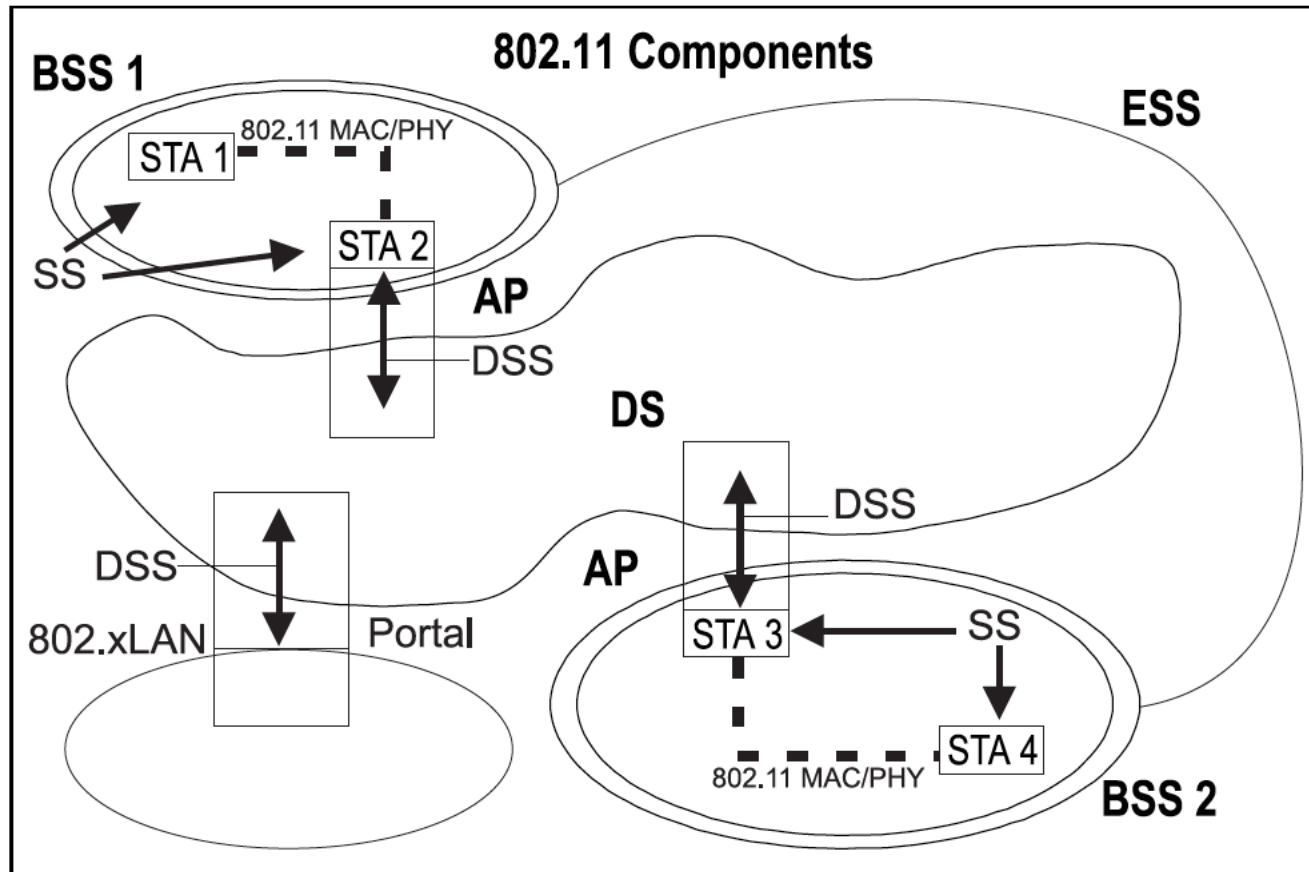
- Σταθμός: Κάθε συσκευή που περιέχει ένα επίπεδο **MAC** και ένα **φυσικό επίπεδο** τα οποία συμμορφώνονται με το IEEE 802.11.
- Σημείο πρόσβασης (access point, AP): Ο σταθμός που παρέχει πρόσβαση στο σύστημα διανομής μέσω του **ασύρματου μέσου μετάδοσης** για τους συσχετισμένους σταθμούς. Το AP λειτουργεί ως μία γέφυρα και σημείο αναμετάδοσης.
- Λειτουργία συντονισμού: Καθορίζει πότε ένας σταθμός που λειτουργεί σε ένα BSS έχει το δικαίωμα να εκπέμψει και να λάβει δεδομένα.
- Ένα BSS μπορεί να είναι απομονωμένο ή μπορεί να συνδέεται σε ένα κεντρικό σύστημα διανομής (distribution system, DS) διαμέσου ενός σημείου πρόσβασης.
- Όταν ένας σταθμός σε ένα BSS επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο σταθμό του ίδιου BSS, τότε στέλνεται αρχικά ένα πλαίσιο MAC από την πηγή στο AP και έπειτα από το AP στο σταθμό-προορισμό.
- Όταν ένας σταθμός σε ένα BSS επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν απομακρυσμένο σταθμό, στέλνεται ένα πλαίσιο MAC από το σταθμό στο AP και έπειτα αναμεταδίδεται από το AP στο DS στο δρόμο του για το σταθμό προορισμού.

Σύστημα διανομής – distribution system

- Το σύστημα διανομής χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των BSS και μπορεί αν είναι:
 - ✓ Ενσωματωμένο: Ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο.
 - ✓ Ενσύρματο: Τα AP συνδέονται με καλώδια
 - ✓ Ασύρματο: Τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο.



Ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική IEEE 802.11



Μοντέλο αναφοράς IEEE 802.11

- Το φυσικό επίπεδο χωρίζεται σε 2 επιμέρους υποεπίπεδα:
 - ✓ **Υποεπίπεδο εξαρτώμενο από το φυσικό μέσο (physical medium dependent sublayer, PMD):** Ορίζει τα χαρακτηριστικά και τη μέθοδο εκπομπής και λήψης δεδομένων των χρηστών διαμέσου ενός ασύρματου μέσου ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους σταθμούς
 - ✓ **Διαδικασία σύγκλισης φυσικού επιπέδου (physical layer convergence procedure, PLCP):** Ορίζει μια μέθοδο απεικόνισης των μονάδων δεδομένων του επιπέδου MAC του 802.11 πρωτοκόλλου σε πακέτο κατάλληλο για μετάδοση στο στρώμα PMD. Επίσης, πραγματοποιεί ανίχνευση φέροντος.
- Επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (**medium access control, MAC**), το οποίο περιλαμβάνει τις παρακάτω λειτουργίες:
 - ✓ Κατά την εκπομπή, σύνθεση των δεδομένων σε πλαίσια με πεδία διεύθυνσης και ανίχνευσης σφαλμάτων.
 - ✓ Κατά τη λήψη, αποσύνθεση των πλαισίων και εκτέλεση αναγνώρισης διευθύνσεων και ανίχνευση σφαλμάτων.
 - ✓ Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης.

Έλεγχος πρόσβασης μέσου του 802.11

- Το επίπεδο MAC του 801.11 καλύπτει τρεις λειτουργικές περιοχές:
 - ✓ αξιόπιστη παράδοση δεδομένων,
 - ✓ έλεγχο πρόσβασης
 - ✓ ασφάλεια.

Τύποι μετάβασης βάσει της κινητικότητας

- Χωρίς μετάβαση (no transition): Ένας σταθμός αυτού του τύπου είναι είτε σταθερός ή κινείται μόνο μέσα στα όρια της εμβέλειας της απευθείας επικοινωνίας των σταθμών ενός BSS που βρίσκονται σε επικοινωνία.
- Μετάβαση BSS (BSS transition): Αυτή η μετάβαση ορίζεται ως μία μετακίνηση σταθμού από ένα BSS σε ένα άλλο BSS μέσα στο ίδιο ESS. Η λειτουργία διεθυνσιοδότησης πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει τη νέα θέση του σταθμού.
- Μετάβαση ESS (ESS transition): Είναι πολύ πιθανό να συμβεί διακοπή της επικοινωνίας.

Υπηρεσίες του 802.11

- Παράδοση mac service data unit
- Διανομή μηνυμάτων μέσα σε ένα distribution system
 - ✓ Διανομή: χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πλαισίων από έναν σταθμό ενός BSS σε ένα σταθμό ενός άλλου BSS.
 - ✓ Ενοποίηση; Δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μεταξύ ενός σταθμού σε IEEE 802.11 LAN και ενός ενσύρματου LAN.
- Υπηρεσίες συσχέτισης
 - ✓ Συσχέτιση: Αποκαθιστά μια αρχική συσχέτιση μεταξύ ενός σταθμού και ενός AP
 - ✓ Επανασυσχέτιση: Δίνει τη δυνατότητα σε μία ήδη υφιστάμενη συσχέτιση να μεταφερθεί από ένα AP σε ένα άλλο.
 - ✓ Αποσυσχέτιση: Είναι μια ειδοποίηση ότι μία υφιστάμενη συσχέτιση τερματίζεται. Ένας σταθμός θα πρέπει να δώσει αυτή την πληροφορία πριν φύγει από ένα ESS ή πριν απενεργοποιηθεί.
- Υπηρεσίες ασφαλείας
 - ✓ Πιστοποίηση
 - ✓ Αποπιστοποίηση
 - ✓ Ιδιωτικότητα

Αξιόπιστη παράδοση δεδομένων

- Όπως συμβαίνει σε κάθε ασύρματο δίκτυο, ένα WLAN που χρησιμοποιεί το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC του IEEE 802.11 μπορεί να εμφανίσει μεγάλο βαθμό αναξιοπιστίας.
- Αν και αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιμετωπιστεί με μηχανισμούς αξιοπιστίας σε υψηλότερο επίπεδο, για την αποφυγή μεγάλης καθυστέρησης είναι πιο αποτελεσματικό η αντιμετώπιση των σφαλμάτων να γίνει στο επίπεδο MAC.
- Για αυτό το λόγο το IEEE 802.11 περιλαμβάνει ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων.
 - ✓ Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα πλαίσιο δεδομένων από έναν άλλο σταθμό επιστρέφει ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης λήψης (ACK) στον σταθμό πηγής.
 - ✓ Για να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο η αξιοπιστία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πλαίσια «αίτηση για αποστολή» (request to send, RTS), «έτοιμο για αποστολή» (clear to send, CTS).
 - ✓ Το RTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης της πηγής ότι αναμένεται μια ανταλλαγή.
 - ✓ Παρόμοια το CTS ειδοποιεί όλους του σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης του προορισμού ότι αναμένεται μια ανταλλαγή πλαισίων.

Λειτουργίες επιπέδου MAC

- Το χαμηλότερο υποεπίπεδο του επιπέδου MAC είναι η λειτουργία **κατανεμημένου συντονισμού (distributed coordination function)**.
- Η λειτουργία σημειακού συντονισμού (point coordination function, PCF) είναι ένας αλγόριθμος κεντρικού ελέγχου MAC που χρησιμοποιείται για να παρέχει υπηρεσία χωρίς ανταγωνισμό (contention free). Η λειτουργία PCF χτίζεται πάνω στη λειτουργία DCF και εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά της για να εξασφαλίσει πρόσβαση στους χρήστες της.

Λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού

- Χρησιμοποιείται αλγόριθμος ανίχνευσης φέροντος (carrier sense multiple access, CSMA) με δυνατότητα αποφυγής συγκρούσεων (collision avoidance).
- Η λειτουργία CSMA/CD ΔΕΝ περιλαμβάνεται.
- Χρησιμοποιείται χρόνος αδράνειας IFS
- Ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:
 - ✓ Ένας σταθμός με ένα πλαίσιο για εκπομπή ανιχνεύει το μέσο. Αν το μέσο είναι αδρανές, τότε περιμένει να δει αν παραμένει αδρανές για χρόνο ίσο με IFS. Αν συμβαίνει αυτό, τότε ο σταθμός μπορεί να εκπέμψει αμέσως.
 - ✓ Αν το μέσο είναι απασχολημένο, τότε ο σταθμός αναβάλλει την εκπομπή και συνεχίζει να παρακολουθεί το μέσο μέχρι να τελειώσει η τρέχουσα εκπομπή.
 - ✓ Μόλις τελειώσει η τρέχουσα εκπομπή, ο σταθμός καθυστερεί για άλλο ένα IFS. Αν το μέσο παραμείνει αδρανές για αυτή την περίοδο, τότε ο σταθμός υποχωρεί για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα (δυναμική εκθετική υποχώρηση) και ανιχνεύει ξανά το μέσο. Αν το μέσο εξακολουθεί να είναι αδρανές τότε ο σταθμός μπορεί να εκπέμψει. Αν το μέσο καταστεί απασχολημένο κατά τη διάρκεια του χρόνου υποχώρησης, ο χρονομετρητής υποχώρησης ακινητοποιείται και επανέρχεται όταν το μέσο γίνει πάλι αδρανές.
 - ✓ Αν η μετάδοση είναι ανεπιτυχής (δε ληφθεί επιβεβαίωση λήψης), τότε συμπεραίνεται ότι έχει συμβεί σύγκρουση.

Λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού

- Χρησιμοποιούνται τρεις τιμές για το IFS:
 - ✓ Σύντομο (short) IFS (SIFS): Το μικρότερης διάρκειας IFS που χρησιμοποιείται για όλες τις λειτουργίες άμεσης απάντησης, δλδ «επιβεβαίωση λήψης» (acknowledgement, ACK), «έτοιμο για αποστολή» (clear to send, CTS) και απόκριση σταθμοσκόπησης.
 - ✓ IFS για τη λειτουργία point coordination function, PCF (PIFS): Ένα μεσαίας διάρκειας IFS που χρησιμοποιείται από τον κεντροποιημένο ελεγκτή στη λειτουργία PCF όταν εκπεμπει σήματα σταθμοσκόπησης
 - ✓ IFS για τη λειτουργία distributed coordination function (DIFS): Χρησιμοποιείται για την υπόλοιπη συνηθισμένη ασύγχρονη κίνηση.

Λειτουργία σημειακού συντονισμού

- Η λειτουργία σημειακού συντονισμού (point coordination function) PCF είναι μια εναλλακτική μέθοδος που υλοποιείται πάνω στη λειτουργία DCF.
- Χρησιμοποιεί σταθμοσκόπηση (**polling**).
- Όταν ο σημειακός συντονιστής στέλνει σήματα σταθμοσκόπησης χρησιμοποιεί το διάστημα PIFS. Επειδή το PIFS είναι μικρότερο από το αντίστοιχο DIFS, ο σημειακός συντονιστής μπορεί να πάρει τον έλεγχο του μέσου.
- Για να μην αποκλειστεί όλη η ασύγχρονη κίνηση, ορίζεται ένα χρονικό διάστημα που λέγεται **υπερπλαίσιο**.
 - ✓ Κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους αυτού του διαστήματος, ο σημειακός συντονιστής στέλνει με κυκλική σειρά σήματα σταθμοσκόπησης σε όλους τους σταθμούς που είναι διαμορφωμένοι για σταθμοσκόπηση.
 - ✓ Στη συνέχεια, ο σημειακός συντονιστής αδρανεί για το υπόλοιπο μέρος του υπερπλαισίου, επιτρέποντας μία περίοδο ανταγωνισμού για σύγχρονη πρόσβαση.

Τύποι πλαισίων MAC

Υπάρχουν τρεις τύποι πλαισίων MAC:

- Πλαίσια ελέγχου
- Πλαίσια δεδομένων
- Πλαίσια διαχείρισης

Πλαίσια Ελέγχου

- Τα πλαίσια ελέγχου χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του μηχανισμού πρόσβασης
- Οι τύποι πλαισίων ελέγχου είναι:
 - ✓ Power save – poll (PS-poll): Στέλνεται από ένα σταθμό που ήταν σε κατάσταση εξοικονόμησης ισχύος (power save mode) στο AP, με στόχο να ζητήσει από το AP να εκπέμψει ένα πλαίσιο που έχει αποθηκευτεί προσωρινά για αυτό το σταθμό.
 - ✓ Request to send (RTS)
 - ✓ Clear to send (CTS)
 - ✓ Επιβεβαίωση (ACK)
 - ✓ Τέλος της περιόδου χωρίς ανταγωνισμό (contention-free (CF)-end): Δηλώνει το τέλος μιας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό (αποτελεί μέρος του σημειακού συντονισμού)
 - ✓ Επιβεβαίωση της λήψης του CF-end (CF-End+CF-Ack): Τερματίζει την περίοδο χωρίς ανταγωνισμό και αποδεσμεύει του σταθμούς από τους σχετικούς περιορισμούς.

Πλαίσια δεδομένων

- Υπάρχουν 8 υποτύποι πλαισίων δεδομένων. Οι 4 που μεταφέρουν δεδομένα είναι:
 - ✓ Δεδομένα: Είναι το πιο απλό πλαίσιο δεδομένων. Χρησιμοποιείται τόσο σε μια περίοδο ανταγωνισμού όσο και σε μια περίοδο χωρίς ανταγωνισμό.
 - ✓ Data+CF-ACK: Μπορεί να σταλεί μόνο κατά τη διάρκεια μίας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό. Εκτός από τη μεταφορά δεδομένων, επιβεβαιώνει τη λήψη δεδομένων που έχουν ληφθεί προηγουμένως.
 - ✓ Data+CF-Poll: Χρησιμοποιείται από το σημειακό συντονιστή για την παράδοση δεδομένων σε ένα κινητό σταθμό να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων το οποίο μπορεί να έχει αποθηκευθεί προσωρινά.
 - ✓ Data+CF-ACK+CF-Poll: Συνδιάζει τις λειτουργίες των Data+CF-ACK και DATA+CF-Poll σε ένα μόνο πλαίσιο.
- Οι υπόλοιποι 4 υποτύποι ουσιαστικά δε μεταφέρουν δεδομένα.
 - ✓ Το πλαίσιο δεδομένων μηδενικής λειτουργίας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το bit διαχείρισης ισχύος (π.χ. μετάβαση σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος)
 - ✓ Τα υπόλοιπα 3 πλαίσια (CF-ACK, CF-Poll, CF-ACK+CF-Poll) έχουν την ίδια λειτουργικότητα με τους αντίστοιχους υποτύπους πλαισίων δεδομένων της προηγούμενης λίστας, αλλά χωρίς τα δεδομένα.

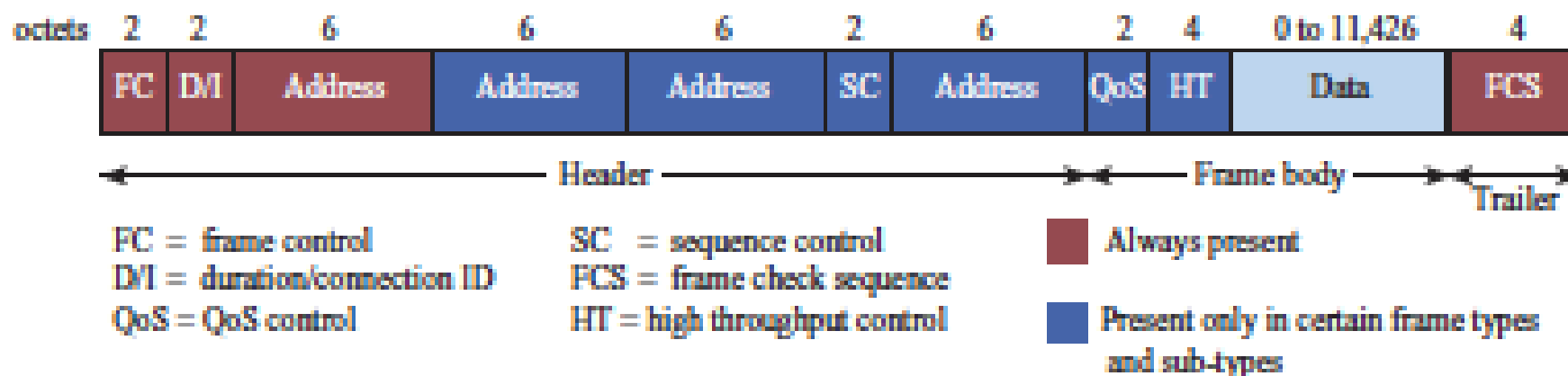
Πλαίσια διαχείρισης

- Τα πλαίσια διαχείρισης υποστηρίζουν τις υπηρεσίες (εκτός μεταφοράς δεδομένων) που προσφέρουν τα δίκτυα 802.11.
- Οι σημαντικότεροι υποτύποι πλαισίων διαχείρισης είναι:
 - ✓ Αίτηση συσχέτισης
 - ✓ Απάντηση συσχέτισης
 - ✓ Αίτηση επανασυσχέτισης
 - ✓ Απάντηση επανασυσχέτισης
 - ✓ Αποσυσχέτιση
 - ✓ Πιστοποίηση
 - ✓ Ακύρωση πιστοποίησης

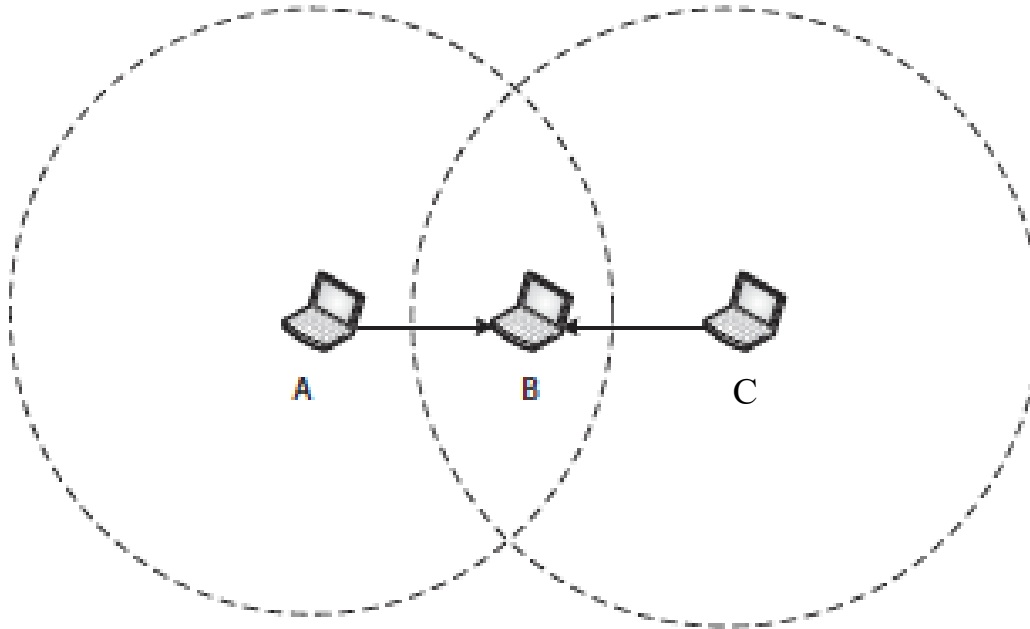
Πλαίσιο MAC IEEE 802.11

- ✓ **FC, Έλεγχος πλαισίου (Frame control):** δηλώνει τον τύπο του πλαισίου (ελέγχου, διαχείρισης, δεδομένων) και παρέχει πληροφορίες ελέγχου (π.χ. από ή προς DS, επανάληψη προσπάθειας, κτλ).
- ✓ **D/I, Αναγνωριστικό διάρκειας/σύνδεσης (duration/connection ID):** Αν χρησιμοποιείται ως πεδίο διάρκειας, δηλώνει τον χρόνο για τον οποίο θα εκχωρηθεί το κανάλι για μια επιτυχημένη εκπομπή. Σε πλαίσια ελέγχου, περιέχει ένα αναγνωριστικό συσχέτισης ή σύνδεσης.
- ✓ **Addresses (διευθύνσεις):** Περιέχει τις MAC διευθύνσεις των σταθμών που συμμετέχουν (αποστολέα, παραλήπτη, εκπέμποντος σταθμού, λαμβάνοντος σταθμού).
- ✓ **SC, Έλεγχος ακολουθίας (sequence control):** Χρησιμοποιείται για την αρίθμηση και ανασύνθεση των πλαισίων που στέλνονται μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη.
- ✓ **QoS, Έλεγχος ποιότητας εξυπηρέτησης (quality of service control):** Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την ποιότητα υπηρεσιών.
- ✓ **HT, Έλεγχος υψηλής ρυθμοαπόδοσης (high throughput control):** Περιλαμβάνει bits ελέγχου σχετικά με τη λειτουργία των 802.11n, 802.11ac, 802.11ad.
- ✓ **Δεδομένα (data):** Περιλαμβάνει τα δεδομένα. αν το πακέτο έχει μεγαλύτερο μέγεθος, τότε χρησιμοποιείται κατακερματισμός.
- ✓ **Ακολουθία ελέγχου πλαισίου:** Περιλαμβάνει κώδικα cyclic redundancy check (CRC) για την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων.

Πλαίσιο MAC IEEE 802.11

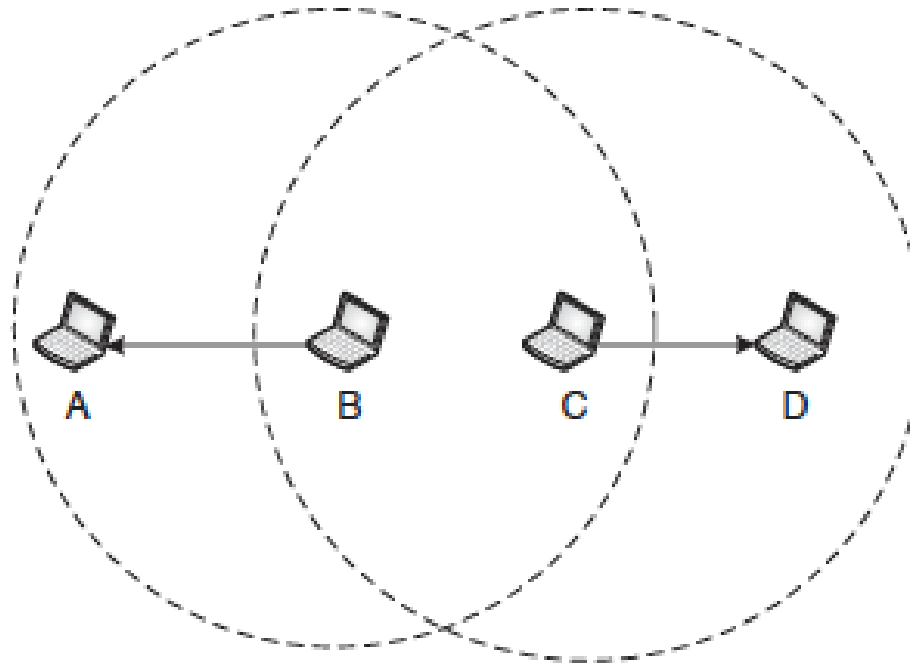


Carrier Sense Multiple Access – Το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου



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

Carrier Sense Multiple Access – Το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου



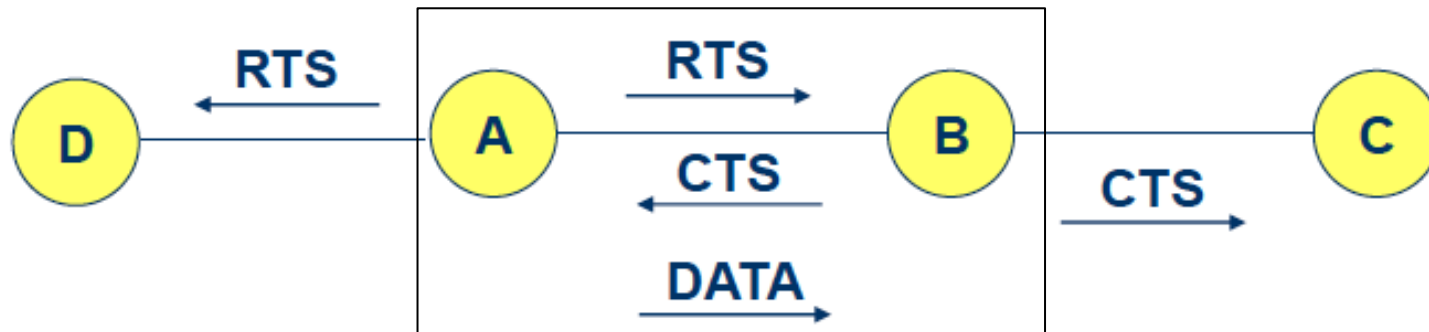
- Ο σταθμός B θέλει να μεταδώσει στον A, αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει τη μετάδοση του C στον D.
- Επομένως απέχει από τη μετάδοση, το οποίο οδηγεί σε μειωμένη απόδοση.

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

- Διαφέρει από το CSMA/CD, καθώς στηρίζεται στην αποφυγή και όχι την ανίχνευση συγκρούσεων.
- Χρησιμοποιείται στο IEEE 802.11(Wi-Fi).
- Το τερματικό που προσπαθεί να μεταδώσει ακούει το μέσο.
- Εάν το μέσο είναι κατειλημμένο, το τερματικό περιμένει να ελευθερωθεί.
- Εάν είναι ελεύθερο, το τερματικό μεταδίδει μετά από μια περίοδο αποχής (περίοδος ανταγωνισμού)
 - ✓ Η περίοδος ανταγωνισμού είναι το άθροισμα μιας υποχρεωτικής ελάχιστης περιόδου συν μιας τυχαίας περιόδου οπισθοχώρησης.
 - ✓ Με αυτό το τρόπο αποφεύγονται συγκρούσεις που μεταδίδουν αμέσως μόλις ακούσουν ότι το μέσο είναι ελεύθερο.
- Δε γίνεται ανίχνευση σύγκρουσης (collision detection), αλλά εάν το πλαίσιο δεν επιβεβαιωθεί (με χρήση acknowledgement), ο σταθμός υποθέτει ότι έχει γίνει σύγκρουση.
- Ο σταθμός επαναμεταδίδει, όμως τώρα το παράθυρο ανταγωνισμού διπλασιάζεται.
- Προαιρετικά ο πομπός και ο δέκτης μπορούν να στείλουν πλαίσια **request to send (RTS)** και **clear to send (CTS)**.
- Η χρήση του χρόνου αναμονής αντισταθμίζεται από την μείωση του ρυθμού των αναμεταδόσεων.

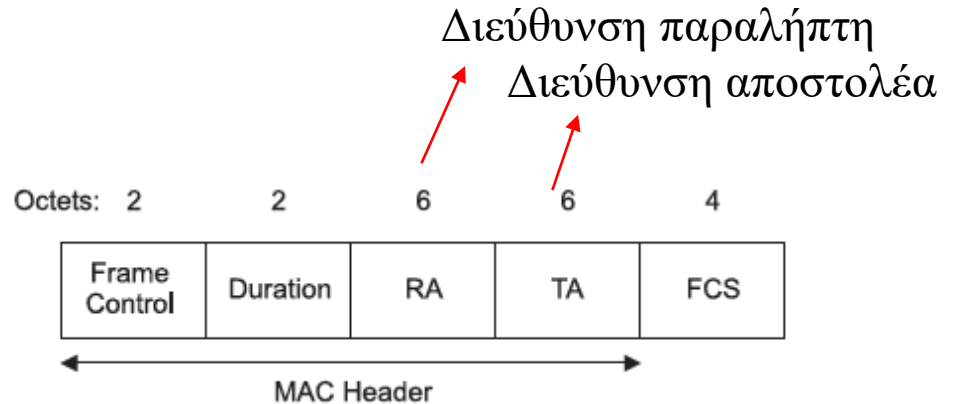
Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance using RTS/CTS

- ✓ Ο Α θέλει να επικοινωνήσει με τον Β.
- ✓ 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.
- ✓ Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος.

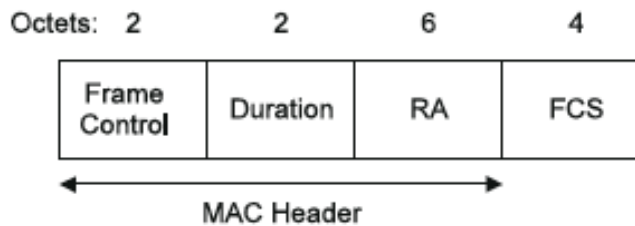


Παραδείγματα πλαισίων MAC

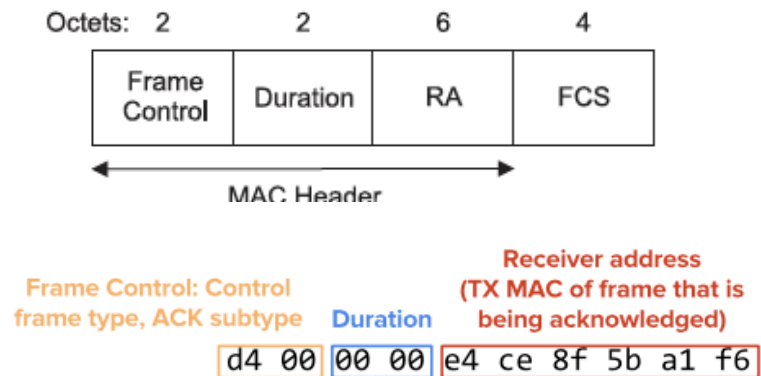
Request to send



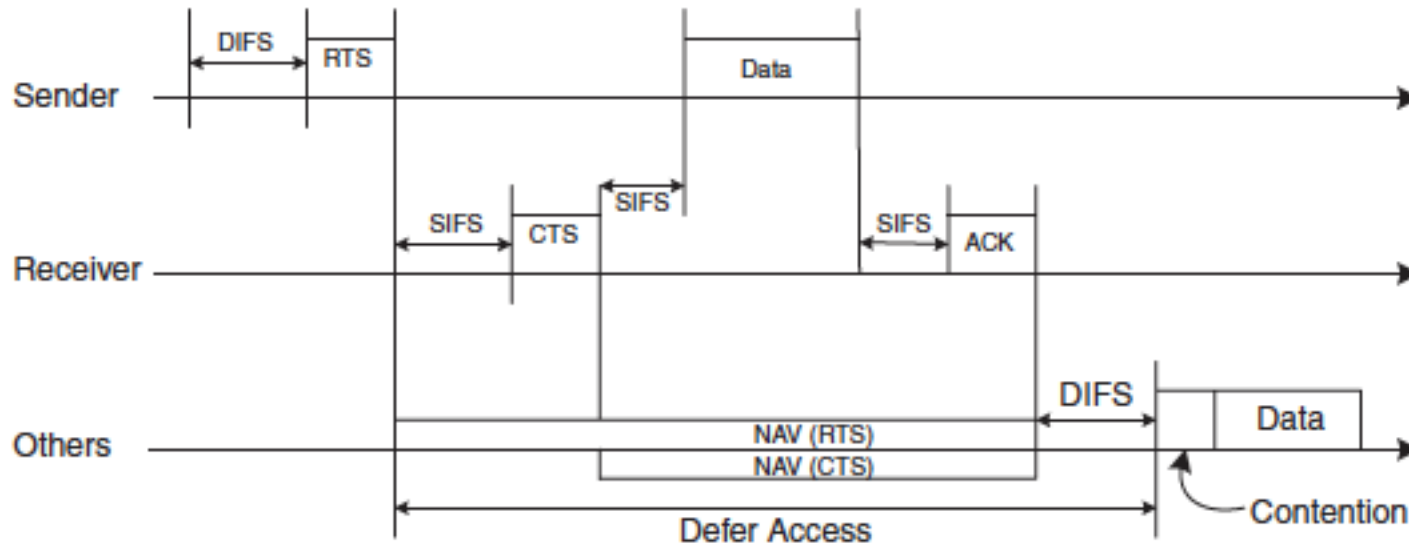
Clear to send



Acknowledgement



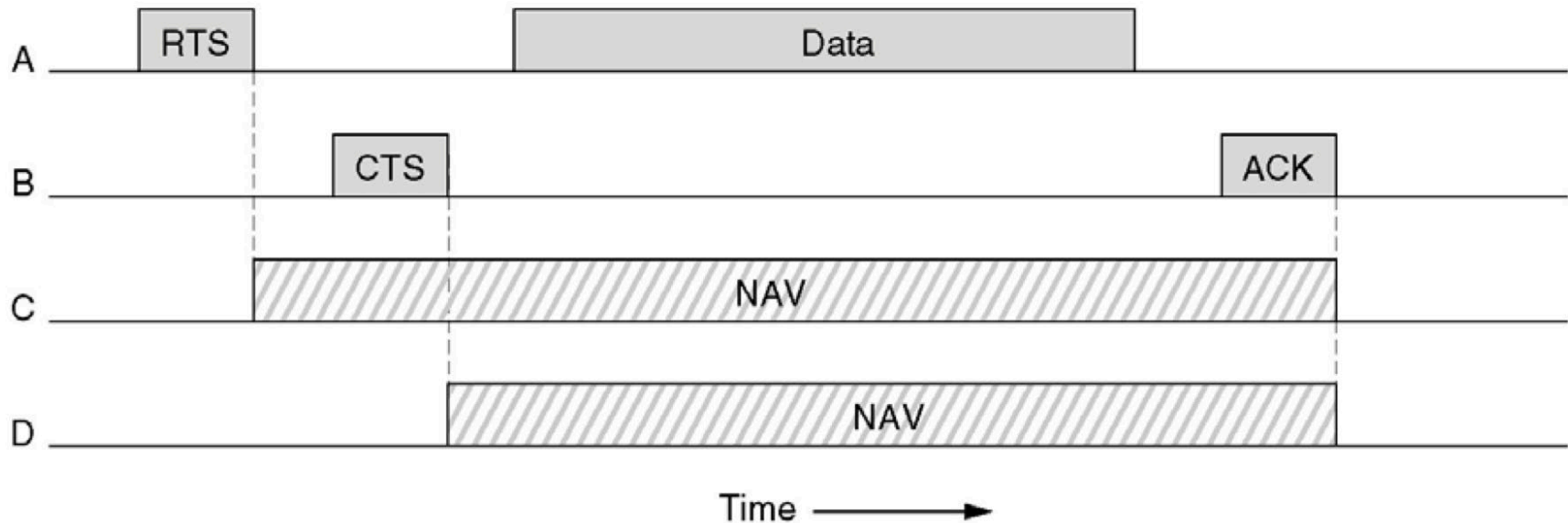
IEEE 802.11 RTS/CTS timing



- Μπορεί να γίνει και χρήση Network Allocation Vector (NAV)
 - ✓ Μετρητής (counter) που βασίζεται στην πληροφορία της διάρκειας σύνδεσης που στέλνεται σε ένα πακέτο.
 - ✓ Η χρήση του NAV περιορίζει τις ανάγκες για carrier sensing, εξοικονομώντας ισχύ.

IEEE 802.11 RTS/CTS timing

Ποιος χρήστης από τους C και D είναι πιο κοντά στον A?



Φυσικό Επίπεδο του IEEE 802.11

- Η πρώτη έκδοση του προτύπου, η οποία ονομάζεται απλά IEEE 802.11 εισάχθηκε το 1997, αλλά είναι απαρχαιωμένη. Περιλαμβάνει το επίπεδο MAC και 3 προδιαγραφές φυσικού επιπέδου, μία για τη ζώνη υπέρυθρων (δεν έχει πλέον εφαρμογή) και δύο για τη ζώνη Industrial Scientific Medical
 - ✓ Frequency-hopping spread spectrum (FHSS)
 - ✓ Direct-sequence spread spectrum (DSSS)
- Παρέχει ρυθμούς δεδομένων 1 και 2 Mbps.
- Μέχρι την έλευσή της, υπήρχε χαμηλή διαλειτουργικότητα που είχε ως αποτέλεσμα την έλλειψη συμβατότητας μεταξύ προϊόντων από διαφορετικούς κατασκευαστές/πωλητές (vendors).

Εκτιμώμενη Απόσταση (m) Συναρτήσεως του Ρυθμού Δεδομένων

- Τα πρότυπα IEEE 802.11 δεν περιλαμβάνουν κάποια προδιαγραφή επίτευξης ταχύτητας σαν συνάρτηση της απόστασης. Διαφορετικοί κατασκευαστές μπορούν να δώσουν διαφορετικές τιμές, οι οποίες εξαρτώνται από το περιβάλλον. Π.χ. για περιβάλλον γραφείου:

Data Rate (Mbps)	802.11b	802.11a	802.11g
1	90+	—	90+
2	75	—	75
5.5(b)/6(a/g)	60	60+	65
9	—	50	55
11(b)/12(a/g)	50	45	50
18	—	40	50
24	—	30	45
36	—	25	35
48	—	15	25
54	—	10	20

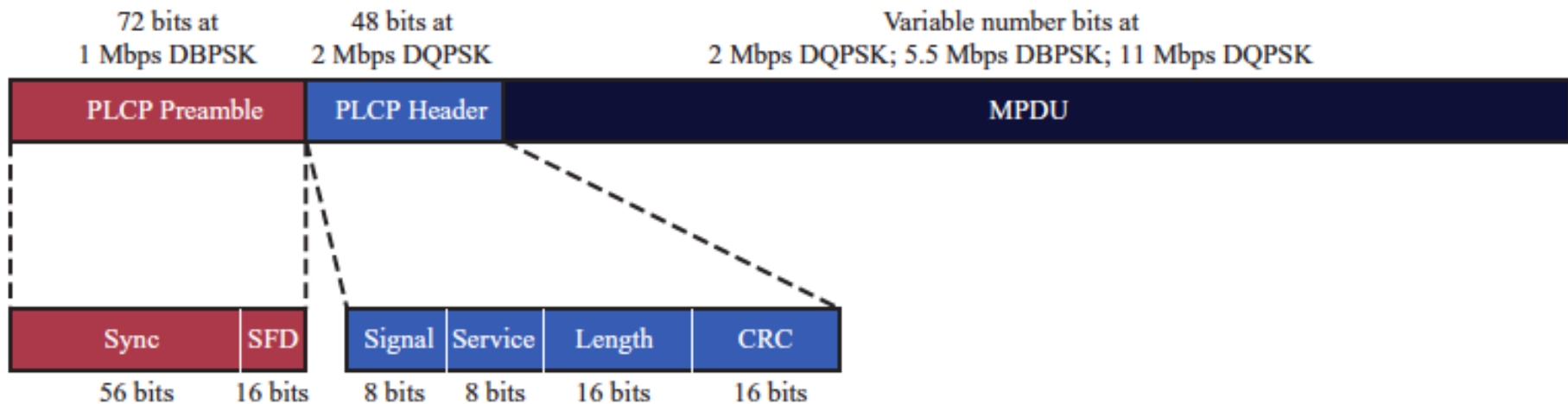
Τα Πρότυπα του Φυσικού Επιπέδου του IEEE 802.11

Standard	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ad
Year introduced	1999	1999	2003	2000	2012	2014
Maximum data transfer speed	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	65 to 600 Mbps	78 Mbps to 3.2 Gbps	6.76 Gbps
Frequency band	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 or 5 GHz	5 GHz	60 GHz
Channel bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20, 40 MHz	40, 80, 160 MHz	2160 MHz
Highest order modulation	64 QAM	11 CCK	64 QAM	64 QAM	256 QAM	64 QAM
Spectrum usage	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM	OFDM	SC-OFDM	SC, OFDM
Antenna configuration	1 × 1 SISO	1 × 1 SISO	1 × 1 SISO	Up to 4 × 4 MIMO	Up to 8 × 8 MIMO, MU-MIMO	1 × 1 SISO

802.11b

- Λειτουργεί στη ζώνη των Industrial Scientific Medical (ISM) των 2.4 GHz για την οποία δε χρειάζεται άδεια Είναι ένα από τα αρχικά πρότυπα του 802.11 και είναι πλέον απαρχαιωμένο. Είναι επέκταση του IEEE 802.11 DSSS.
- Παρέχει ρυθμούς δεδομένων 5.5 και 11 Mbps.
- Αρχικά είχε μεγάλη επιτυχία γιατί είχε rate αντίστοιχο του 10Mbit/s Ethernet, γρήγορα όμως ξεπεράστηκε λόγω του μικρού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Πλαίσιο φυσικού επιπέδου 802.11b



Πλαίσιο φυσικού επιπέδου 802.11b

- **Το προοίμιο** επιτρέπει στο δέκτη να «πιάσει» ένα εισερχόμενο μήνυμα και να συγχρονίσει τον αποδιαμορφωτή. Αποτελείται από δύο υποπεδία, ένα πεδίο συγχρονισμού (sync) και έναν οριοθέτη αρχής πλαισίου.
- **Η κεφαλίδα** αποτελείται από τα εξής:
 - ✓ **Σήμα (signal):** Προδιαγράφει το ρυθμό δεδομένων με τον οποίο μεταδίδεται το **MAC protocol data unit (MPDU)**
 - ✓ **Υπηρεσία (service):** Έλεγχος αν τα ρολόγια χρονισμού της συχνότητας μετάδοσης και των συμβόλων χρησιμοποιούν τον ίδιο τοπικό ταλαντωτή, δήλωση της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται και επέκταση του υποπεδίου μήκος
 - ✓ **Μήκος:** Δηλώνει το μήκος του MPDU
 - ✓ **Cyclic redundancy check (CRC):** Κώδικας ανίχνευσης σφαλμάτων που χρησιμοποιείται για την προστασία των παραπάνω υποπεδίων.
- **MPDU:** Έναν μεταβλητό αριθμό bits τα οποία μεταδίδονται στο ρυθμό δεδομένων που καθορίζεται από το υποπεδίο «σήμα».

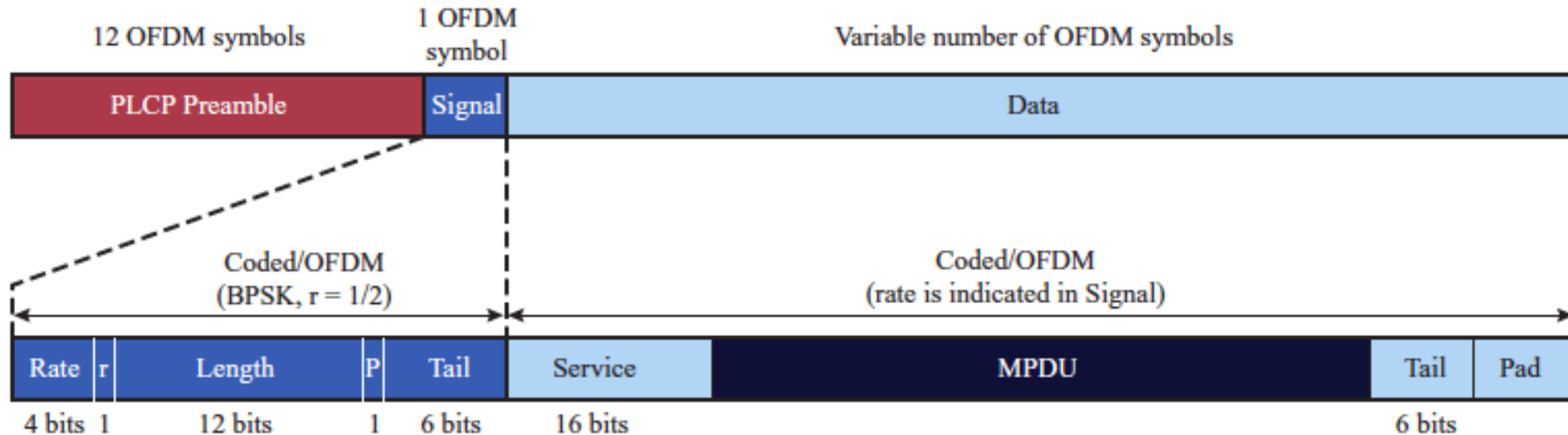
802.11a: Ζώνη συχνοτήτων και πλεονεκτήματα

- Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων που λέγεται υποδομή παγκόσμιου δικτύου πληροφοριών (universal networking information infrastructure, UNNI)
 - ✓ UNNI-1: 5.15-5.25 GHz για χρήση σε εσωτερικούς χώρους
 - ✓ UNNI-2: 5.25-5.35 GHz για χρήση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους
 - ✓ UNNI-3: 5.725-5.825 για χρήση σε εξωτερικούς χώρους
- Πλεονεκτήματα σε σχέση με IEEE 802.11b:
 - ✓ Περισσότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης
 - ✓ Πολύ υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων
 - ✓ Διαφορετικό φάσμα (λιγότερες παρεμβολές)

802.11a: Κωδικοποίηση και διαμόρφωση

- Χρησιμοποιεί orthogonal frequency division multiplexing, OFDM με μέχρι 48 υποφέρουσες
- Χρησιμοποιεί τις εξής διαμορφώσεις: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64 QAM
- Παρέχει πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων (forward error correction) με ρυθμό 1/2, 2/3, 3/4

Δομή φυσικού πλαισίου 802.11a



- Αποτελείται από το πεδίο **προοίμιο (preamble)**, το πεδίο **σήμα** και το πεδίο **δεδομένα**.

Δομή φυσικού πλαισίου 802.11a

- Το πεδίο σήμα αποτελείται από τα παρακάτω υποπεδία:
 - ✓ Ρυθμός: Καθορίζει το ρυθμό δεδομένων με τον οποίο εκπέμπεται το τμήμα πεδίου δεδομένων του πλαισίου
 - ✓ r: Δεσμευμένο για μελλοντική χρήση
 - ✓ Μήκος: Δηλώνει το μήκος του MPDU
 - ✓ P: 1 bit ισοτιμίας για τα 17 bits των πεδίων ρυθμός, r και Μήκος
 - ✓ Ουρά: Προστίθεται για να έρθει ο συνελικτικός κωδικοποιητής σε μηδενική κατάσταση
- Το πεδίο δεδομένα αποτελείται από:
 - ✓ Υπηρεσία (service): Χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό του από-περιπλέκτη
 - ✓ MAC protocol data unit (MPDU)
 - ✓ Ουρά (tail): Χρησιμοποιείται για την επανεκκίνηση του συνελικτικού κωδικοποιητή
 - ✓ Συμπλήρωμα: Ο αριθμός των bits που απαιτείται ώστε να είναι το πεδίο Δεδομένων πολλαπλάσιο του αριθμού των bits σε ένα σύμβολο OFDM (48,96,192,288)

IEEE 802.11g

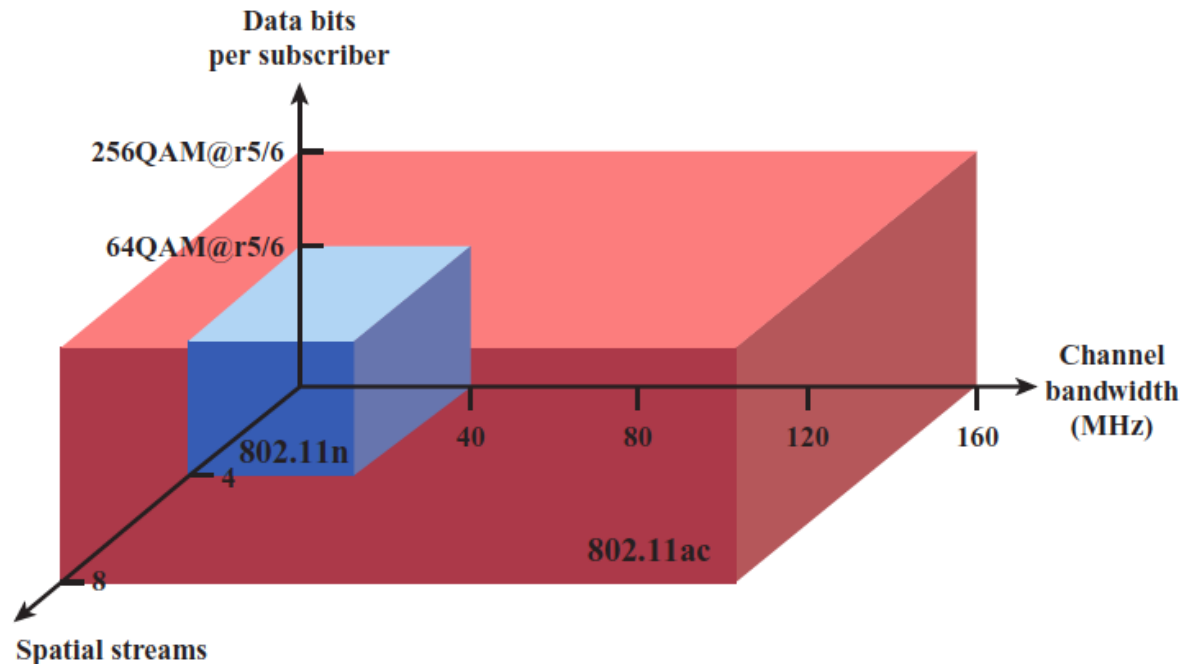
- Το 802.11g επεκτείνει το 802.11b σε ρυθμούς δεδομένων πάνω από 20 Mbps μέχρι 54 Mbps.
- Συμβατότητα με 802.11b:
 - ✓ Λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz , επομένως είναι συμβατό με το 802.11b
 - ✓ Ο σχεδιασμός του προτύπου επιτρέπει τις συσκευές του 802.11b να λειτουργούν εάν συνδεθούν σε ένα access point (AP) 802.11g και αντίστοιχα οι συσκευές του 802.11g να λειτουργούν εάν συνδεθούν σε ένα AP 802.11b, και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιώντας τον χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων του 802.11b.
- Παρέχει μεγάλο εύρος επιλογών σε ρυθμό δεδομένων και σχημάτων διαμόρφωσης.
- Για να πετύχει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης υιοθετεί το σύστημα OFDM, προσαρμοσμένο στη ζώνη 2.4 GHz, το οποίο αναφέρεται ως ERP-OFDM (ERP: extended rate physical layer).

IEEE 802.11n

- Το 802.11n έχει οριστεί να λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz και των 5 GHz, και έτσι είναι συμβατό με τα 802.11a και 802.11b/g.
- Πετυχαίνει αύξηση της ρυθμοαπόδοσης δεδομένων και της συνολικής χωρητικότητας.
 - ✓ Γίνεται χρήση πολλαπλών κεραιών και τεχνικών πολλαπλών εισόδων-εξόδων.
 - ✓ Έχει βελτιώσεις στη ραδιοεκπομπή: χρήση δέσμησης καναλιών (channel bonding) που συνδυάζει δύο κανάλια των 20 MHz για να δημιουργήσει ένα κανάλι των 40 MHz, χρήση της τεχνικής OFDM, καλύτερη εκμετάλλευση συνθηκών καναλιού, πιο αποδοτικές διαμορφώσεις και κωδικοποίηση
 - ✓ Έχει βελτιώσεις στο επίπεδο MAC: π.χ. επιτρέπει τη μετάδοση πολλαπλών πλαισίων MAC σε ένα μόνο μπλοκ, έτσι ώστε ο παραλήπτης μπορεί να στείλει μόνο μία επιβεβαίωση λήψης για όλο το μπλοκ.

Gigabit Wi-Fi

- Υπήρξε η απαίτηση να επεκταθεί το πρότυπο για το Wi-Fi σε ταχύτητες της τάξης gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Επομένως, το IEEE 802.11 έχει εισάγει δύο νέα πρότυπα, τα **802.11ac** και **802.11ad**, τα οποία παρέχουν δίκτυα wi-fi με ρυθμούς πολύ μεγαλύτερους από 1 Gbps.

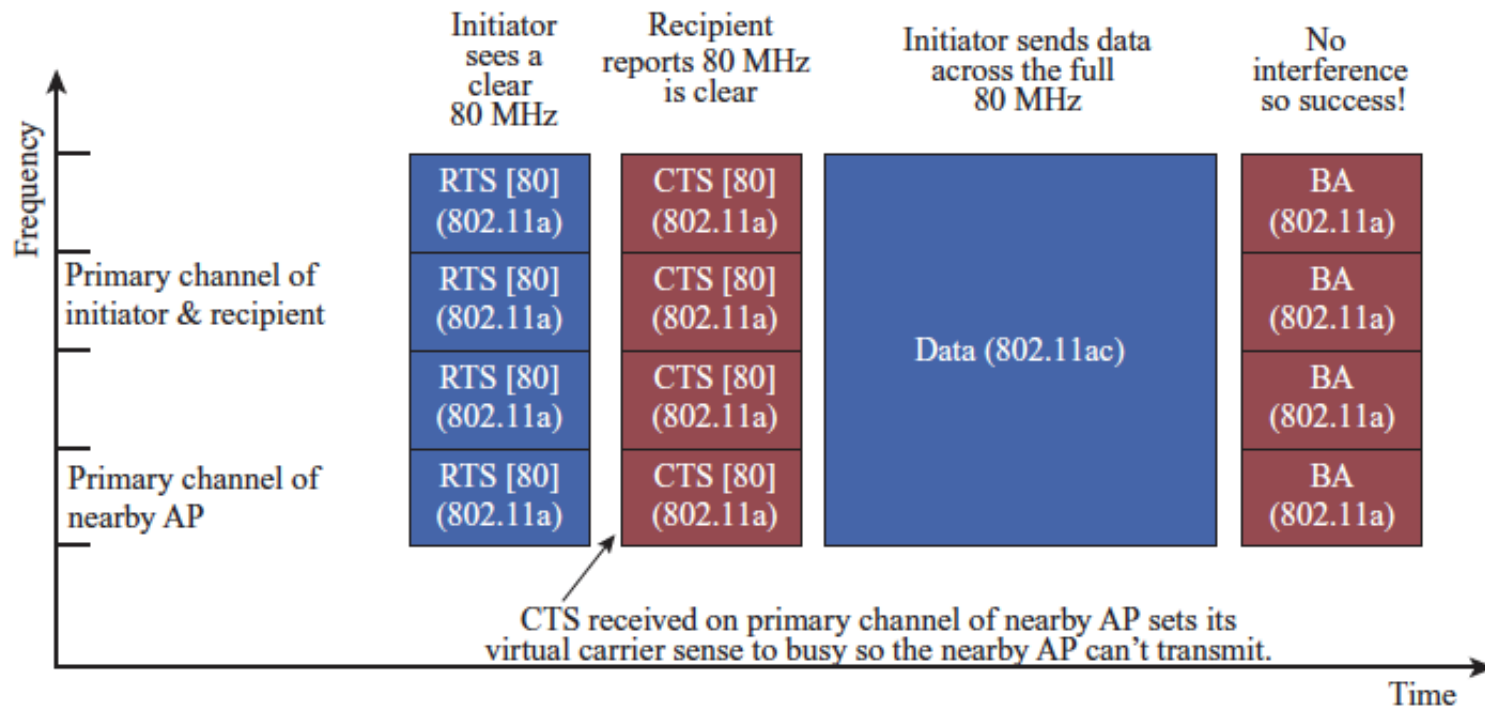


IEEE 802.11ac

- Το 802.11ac λειτουργεί στα κανάλια ζώνης των 5GHz, όπως και τα 802.11a και 802.11n. Πετυχαίνει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων σε σύγκριση με το 802.11n με τη βοήθεια βελτιώσεων στα εξής:
 - ✓ **Εύρος ζώνης (bandwidth):** Το μέγιστο εύρος ζώνης στο 802.11n είναι 40 MHz ενώ το μέγιστο εύρος ζώνης στο 802.11ac είναι 160 MHz.
 - ✓ **Κωδικοποίηση σήματος (signal encoding):** Το 802.11n μπορεί να χρησιμοποιήσει 64 QAM μαζί με OFDM, ενώ το 802.11ac κάνει χρήση 256 QAM μαζί με OFDM. Επομένως, ανα σύμβολο μπορούν να κωδικοποιηθούν περισσότερα bits.
 - ✓ **MIMO:** Μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 8 κανάλια εισόδου και 8 κανάλια εξόδου (8x8 MIMO)

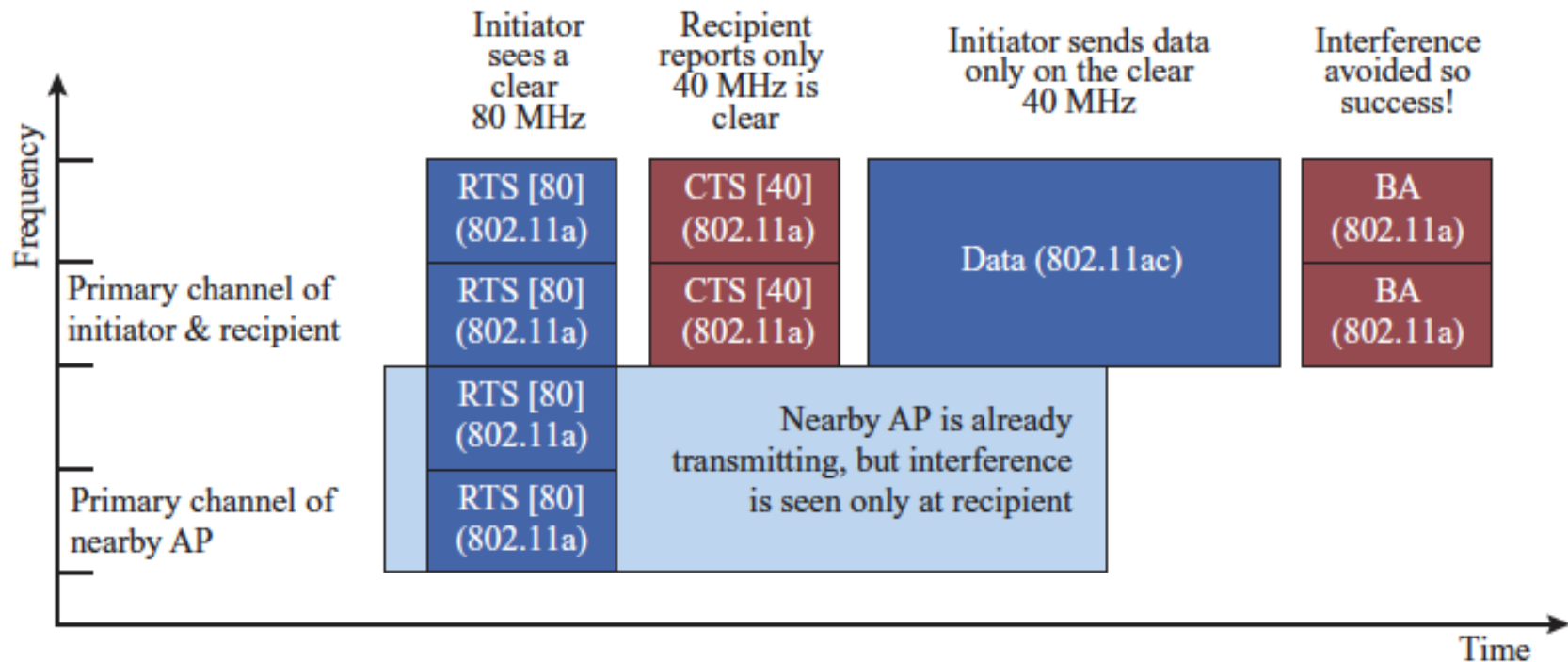
Επέκταση εύρους ζώνης στο IEEE 802.11ac

Η υποστήριξη για τα κανάλια των 80 MHz και των 160 MHz απαιτεί επέκταση των τεχνικών CSMA, εκτιμήσεις φάσματος και νέες διαδικασίες RTS/CTS.



Επέκταση εύρους ζώνης στο IEEE 802.11ac

Η υποστήριξη για τα κανάλια των 80 MHz και των 160 MHz απαιτεί επέκταση των τεχνικών CSMA, εκτιμήσεις φάσματος και νέες διαδικασίες RTS/CTS.

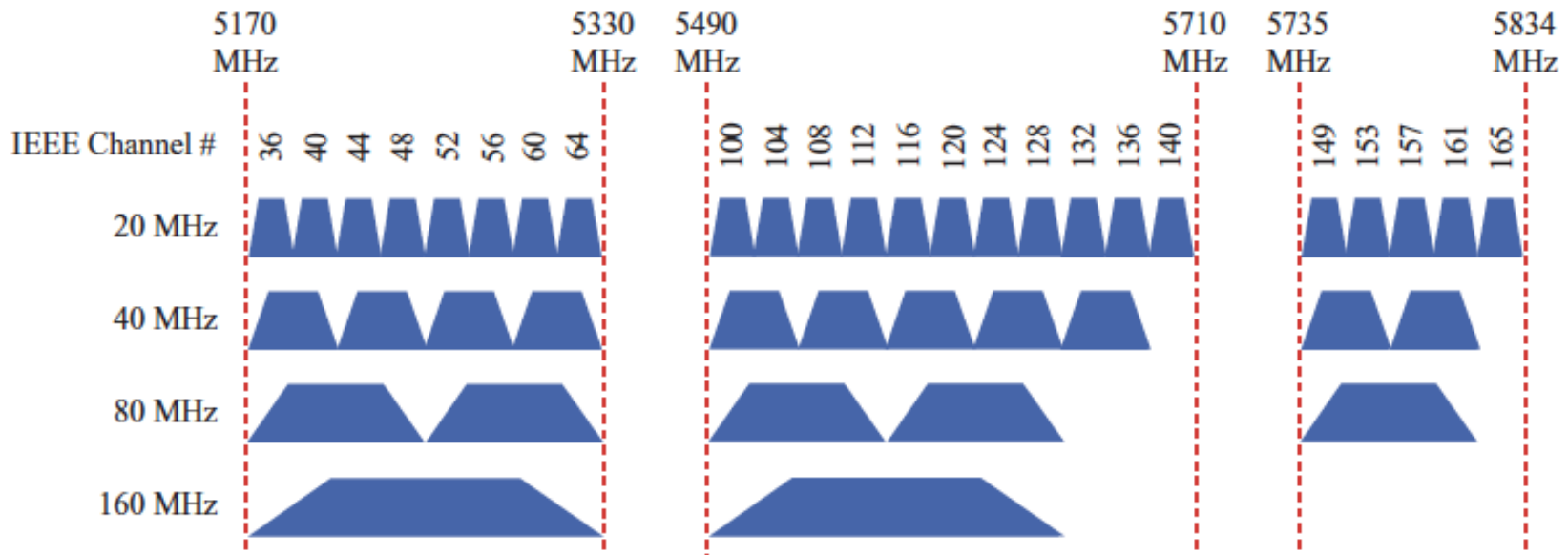


Τεχνικές CSMA στο IEEE 802.11ac

- Οι συσκευές 802.11 ac ορίζουν κύρια κανάλια και εκτελούν τυπικές διαδικασίες εκτίμησης της κατάστασης του καναλιού, δλδ αν το κανάλι είναι ελεύθερο ή όχι (clear channel assessment, CCA).
- Στη συνέχεια χρησιμοποιούν άλλες διαδικασίες για να αναγνωρίσουν αν πρόσθετα δευτερεύοντα κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση του εύρους ζώνης μέχρι τα 160 MHz.
- Αν το πλήρες εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο, η συσκευή ίσως ξεκινήσει ξανά τη διαδικασία ανταγωνισμού και υποχώρησης (contention and backoff).
- Οι συσκευές 802.11ac μπορούν δυναμικά να προσαρμόσουν την εκχώρηση του εύρους ζώνης σε κάθε πλαίσιο σύμφωνα με τα κανάλια που είναι διαθέσιμα.

Ζητήματα φάσματος στο IEEE 802.11ac

- Τα κανάλια στη ζώνη των 5MHz παρουσιάζουν λιγότερη συμφόρηση και αυτό βοηθάει στον περιορισμό των παρεμβολών για το 802.11 ac.
- Υπάρχουν μόνο δύο πιθανά παρακείμενα σύνολα συχνοτήτων για ένα κανάλι των 160 MHz. Το 802.11 ac υποστηρίζει μία διάταξη 80+80 MHz όπου δύο μη παρακείμενες ζώνες μπορούν να συνδυαστούν.



RTS-CTS στο IEEE 802.11ac

- Προκειμένου να εξεταστεί αν, για παράδειγμα, αν ένα κανάλι των 80 MHz είναι διαθέσιμα, ο πομπός (εκκινητής) ανιχνεύει τη δραστηριότητα σε κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια των 20 MHz και στέλνει ένα πλαίσιο RTS σε κάθε ένα από αυτά.
- Ο παραλήπτης του RTS ανιχνεύει επίσης αν κάποιος χρησιμοποιεί κάποιο από αυτά τα κανάλια και θα απαντήσει με πλαίσια CTS σε κάθε ελεύθερο κανάλι των 20 MHz.
- Συμβατότητα: Όλες οι συσκευές 802.11 a/n/ac θα δουν και θα αποκωδικοποιήσουν αυτό το πλαίσιο CTS και επομένως θα περιμένουν.

Σύγκριση IEEE 802.11ac - IEEE 802.11n

Η μέγιστη ταχύτητα στο IEEE 802.11ac είναι 10 φορές μεγαλύτερη από το 802.11 n.
Οι μέγιστες τιμές των παραμέτρων των δύο πρωτοκόλλων δίνονται παρακάτω:

	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11n
Αριθμός υποφερουσών	468	108
Αριθμός χωρικών ροών (MIMO)	8	4
Διαμόρφωση	256 QAM	64 QAM
Ρυθμός κωδικοποίησης	5/6	

Σύγκριση IEEE 802.11ac - IEEE 802.11n

$$\text{Data rate} = \frac{(\text{number of data subcarriers}) \times (\text{number of spatial streams}) \times (\text{data bits per subcarrier})}{(\text{time per OFDM symbol, in seconds})}$$

$$\text{802.11n: } \frac{108 \times 4 \times (5/6 \times \log_2 64)}{3.6 \times 10^{-6}} = 600 \times 10^6 \text{ bps} = 600 \text{ Mbps}$$

$$\text{802.11ac: } \frac{468 \times 8 \times (5/6 \times \log_2 256)}{3.6 \times 10^{-6}} = 6937 \times 10^6 \text{ bps} = 6.937 \text{ Gbps}$$

M-QAM

N: bits/σύμβολο

$M=2^N \rightarrow \log_2(M)=\log_2(2^N) \rightarrow N=\log_2(M)$

MIMO Πολλαπλών Χρηστών

- Το 802.11 ac περιλαμβάνει την επιλογή του MIMO των πολλαπλών χρηστών.
- Στην κάτω ζεύξη ο πομπός μπορεί να χρησιμοποιήσει τους πόρους της κεραίας για την εκπομπή πολλαπλών πλαισίων σε διαφορετικούς σταθμούς (space division multiple access, SDMA).
- Ένα AP που χρησιμοποιεί MU-MIMO μπορεί να επικοινωνήσει ταυτόχρονα με πολλαπλές συσκευές μονής κεραίας στην ίδια συχνότητα (σύνηθες σε smartphones, tablets).
- Προσφέρει αύξηση στο ρυθμό δεδομένων.
- Οι κατευθυντικές κεραίες δεν κατευθύνουν μόνο το σήμα αλλά επιπλέον κατευθύνουν τους μηδενισμούς του διαγράμματος ακτινοβολίας.
- Το AP πρέπει να γνωρίζει πολύ καλά την **ποιότητα του ασύρματου καναλιού**. Αυτό είναι ιδιαίτερα απαιτητικό για κινούμενες συσκευές.
- Οι αποδέκτες χρησιμοποιούν το προοίμιο ενός ειδικού πακέτου που τους στέλνεται «μηδενικό πακέτο δεδομένων πολύ υψηλής ρυθμοαπόδοσης (very high throughput null data packet)».
- Έπειτα απαντάνε με ειδικά μηνύματα για τη ρύθμιση του πίνακα οδήγησης (steering matrix) του MIMO.

IEEE 802.11ad

- Το 802.11ad, το οποίο είναι γνωστό ως WiGig, είναι μια εκδοχή του 802.11 η οποία λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 60 GHz. Αυτή η ζώνη προσφέρει το πλεονέκτημα καναλιών πολύ μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε σύγκριση με τη ζώνη των 5GHz, επιτρέποντας υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (πάνω από 7 Gbps), με σχετικά απλή κωδικοποίηση και χαρακτηριστικά κεραιών. Είναι χρήσιμο κυρίως για εντός δωματίου.
- Το 802.11ad λειτουργεί στη χιλιοστομετρική περιοχή (mmWave), που συναντώνται τα παρακάτω μειονεκτήματα:
 - ✓ Οι απώλειες είναι υψηλότερες. Οι απώλειες ελευθέρου χώρου αυξάνονται με το τετράγωνο της συχνότητας και επομένως οι απώλειες είναι μεγαλύτερες σε αυτή την περιοχή.
 - ✓ Οι απώλειες πολλαπλών διαδρομών μπορεί να είναι αρκετά υψηλές.
 - ✓ Τα σήματα χιλιοστομετρικών κυμάτων γενικά δε διεισδύουν σε στερεά αντικείμενα (η επικοινωνία μπορεί να διακοπεί από άτομο διερχόμενο από τους 2 σταθμούς).
- Χρησιμοποιείται προσαρμοστική μορφοποίηση δέσμης κατευθυντικών κεραιών υψηλού κέρδους προκειμένου να ξεπεραστούν οι απώλειες διάδοσης, που υποστηρίζεται από το φυσικό και MAC επίπεδο.

Εφαρμογές του IEEE 802.11ad

- Το 802.11ad είναι χρήσιμο κυρίως για χώρους εντός δωματίου.
- Επειδή μπορεί να υποστηρίξει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων μπορεί εύκολα να μεταδώσει ασυμπιεστα βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Πιθανές εφαρμογές:
 - ✓ Αντικατάσταση καλωδίων σε ένα σύστημα οικιακής ψυχαγωγίας
 - ✓ Μετάδοση ταινιών υψηλής ευκρίνειας συνεχούς ροής από ένα κινητό τηλέφωνο στην τηλεόραση.
 - ✓ Μετάδοση βίντεο συνεχούς ροής σε έναν προβολέα ή μεταξύ φορητών συσκευών σε περιβάλλον γραφείου ή αίθουσα συνεδριάσεων.

Επίπεδο MAC του IEEE 802.11ad

- Αρχιτεκτονική δικτύου: Παρέχεται μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου που καλείται προσωπικό σύνολο BSS (personal BSS, PBSS), η οποία επιτρέπει τις συσκευές να επικοινωνήσουν άμεσα μεταξύ τους. Το PBSS διαφέρει από το IBSS, γιατί επιτρέπει σε έναν κόμβο να αναλάβει το ρόλο του σημείου ελέγχου.
- Αδιάκοπτη πολυζωνική λειτουργία: Επιτρέπει την αδιάκοπτη μεταγωγή προς και από τη λειτουργία των 60 και 2.4/5 GHz για την προσαρμογή της διαθεσιμότητας των καναλιών της ζώνης των 60 GHz.
- Παρέχει μια νέα λειτουργία προγραμματισμένης πρόσβασης με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος. Οι συσκευές μπορούν να προγραμματίσουν πότε θα επικοινωνούν μεταξύ τους, διαφορετικά είναι σε κατάσταση ύπνου (sleep).
- Προηγμένη ασφάλεια

Ασφάλεια Ασύρματου LAN

- Οι βασικοί παράγοντες που συνεισφέρουν σε υψηλότερο κίνδυνο ασφαλείας των ασύρματων δικτύων σε σχέση με τα ενσύρματα είναι:
 - ✓ Κανάλι: Η ασύρματη δικτύωση περιλαμβάνει κυρίως επικοινωνίες ευρυεκπομπής, οι οποίες είναι περισσότερο επιρρεπείς σε υποκλοπές και εσκεμμένες παρεμβολές.
 - Οποιοσδήποτε σταθμός βρίσκεται στην εμβέλεια άλλων συσκευών στο LAN, μπορεί να μεταδώσει.
 - Κάθε σταθμός που βρίσκεται στην εμβέλεια μετάδοσης, μπορεί να λαμβάνει.
 - ✓ Κινητικότητα: Η φορητότητα αλλάζει τη σύνθεση των ασύρματων δικτύων, αυξάνοντας τους κινδύνους ασφαλείας.
 - ✓ Πόροι: Οι ασύρματες συσκευές διαθέτουν περιορισμένη μνήμη και πόρους επεξεργασίας με τα οποία αντιμετωπίζουν τις απειλές στην ασφάλεια.
 - ✓ Προσβασιμότητα: Οι ασύρματες συσκευές (π.χ. αιθητήρες) μπορούν να αφεθούν αφύλακτες σε απομακρυσμένες και/η εχθρικές περιοχές.

Προστατευμένη πρόσβαση Wi-Fi

- Το 802.11 όρισε τον “αλγόριθμο ιδιωτικότητας ισοδύναμης ενσύρματου δικτύου” (wired equivalent privacy), στον οποίον υπήρχαν αρκετές αδυναμίες
- Η ομάδα εργασίας του 802.11i ανέπτυξε ένα σύνολο δυνατοτήτων για την αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφαλείας στα WLANs.
- Η τελική μορφή του προτύπου **IEEE 802.11i** αναφέρεται ως δίκτυο στιβαρής ασφάλειας και περιλαμβάνει τις εξής υπηρεσίες:
 - ✓ **Πιστοποίηση αυθεντικότητας:** Παρέχει αμοιβαίο έλεγχο ταυτότητας (πιστοποίηση) και δημιουργεί προσωρινά κλειδιά μεταξύ του χρήστη και του AP στην ασύρματη ζεύξη.
 - ✓ **Έλεγχος πρόσβασης:** Αποτελεί διαφορετική λειτουργία από τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο που γίνεται από το επίπεδο MAC. Αυτή η λειτουργία επιβάλλει τη χρήση της λειτουργίας πιστοποίησης, δρομολογεί σωστά τα μηνύματα και διευκολύνει την ανταλλαγή κλειδιών.
 - ✓ **Ιδιωτικότητα με ακεραιότητα μηνύματος:** Τα δεδομένα του επιπέδου MAC κρυπτογραφούνται μαζί με ένα κώδικα ακεραιότητας που εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα δεν έχουν αλλάξει.

Άλλα πρότυπα του IEEE 802.11

- **IEEE 802.11e (2007):** Αναθεωρήσεις στο επίπεδο MAC για τη βελτίωση της **ποιότητας υπηρεσίας** και την διευθέτηση ζητημάτων **ασφαλείας**. Αυτές οι βελτιώσεις πρέπει να παρέχουν την ποιότητα που απαιτείται σε υπηρεσίες όπως η τηλεφωνία IP και το **βίντεο συνεχούς ροής**.
- **IEEE 802.11k (2008):** Industry standard. Ορίζει βελτιώσεις στη μέτρηση και τη χρήση ραδιοπόρων
 - ✓ Βελτίωση αποφάσεων περιαγωγής
 - ✓ Χρήση στατιστικών που επιτρέπουν το AP να ρυθμίσει την πρόσβαση σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, των αριθμό επαναλαμβανόμενων προσπαθειών, τον αριθμό των πακέτων που έχουν μεταδοθεί και επαναληφθεί.
 - ✓ Διαδικασίες ελέγχου της ισχύος εκπομπής με σκοπό τη μείωση των παρεμβολών και της κατανάλωσης ισχύος

Άλλα πρότυπα του IEEE 802.11

- **IEEE 802.11m:** Διόρθωση συντακτικών και τεχνικών θεμάτων του 802.11.
- **IEEE 802.11p (2010):** Ασύρματη πρόσβαση σε περιβάλλον οχημάτων. Επιτρέπει επικοινωνία μεταξύ συσκευών που κινούνται με ταχύτητα μέχρι 200 km/hr. Χρησιμοποιούνται χαμηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, επειδή η κίνηση μπορεί να προκαλέσει περισσότερα σφάλματα πακέτων. Επιτρέπει μεγαλύτερη ισχύ εξόδου για να διευκολύνει τις μεγάλες αποστάσεις.
- **IEEE 802.11r (2008):** Industry standard. Δυνατότητες γρήγορης περιαγωγής.
- **IEEE 802.11s (2011):** Ορίζει τις διαδικασίες στο επίπεδο MAC ώστε οι συσκευές να χρησιμοποιούν επικοινωνία πολλαπλών αναπηδήσεων (multi-hop) για να υποστηρίξουν την τοπολογία πλέγματος ασύρματου LAN.
- **IEEE 802.11z (2010):** Παρέχει την απευθείας εγκατάσταση σύνδεσης η οποία επιτρέπει τις συσκευές να αποφύγουν τις καθυστερήσεις.
- **IEEE 802.11aa (2012):** Ενίσχυση των δυνατοτήτων του 802.11e. Βελτιωμένη απόδοση για τη μετάδοση πολυμεσικής πληροφορίας. Οι βελτιώσεις περιλαμβάνουν ομαδική εκπομπή (groupcast), εκπομπή πλαισίων που απευθύνονται σε ομάδες χρηστών, ιεράρχηση των ομάδων.

Πρότυπα του IEEE 802.11 υπό ανάπτυξη

- **IEEE 802.11ax:** Wi-Fi 6. Καλύτερες επιδόσεις από το Wi-Fi 5 (802.11ac). Γίνεται χρήση OFDMA, 1024 QAM Χρησιμοποιεί όλες τις ISM bands μεταξύ 1 και 6 GHz.
- **IEEE 802.11ay:** Πολύ υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας στις συχνότητες των 60 GHz Band
- **IEEE 802.11az:** Next generation positioning
- **IEEE 802.11ba:** Αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, χωρίς να αυξάνεται η καθυστέρηση

Πρότυπα του IEEE 802.11 υπό ανάπτυξη

802.11ai - 2016	Fast Initial Link Setup	published	2016-12-31
802.11ah - 2016	Sub 1 GHz	published	2017-05-10
802.11aj - 2018	China Millimeter Wave	published	2018-04-18
802.11ak - 2018	General Link (GLK)	published	2018-06-14
802.11aq - 2018	Pre-Association Discovery (PAD)	published	2018-08-31
802.11ax - TBD	High Efficiency WLAN	TG in-process	Dec 2019
802.11ay - TBD	Next Generation 60 GHz	TG in-process	Dec 2019
802.11md - TBD <i>(expected as 802.11-2020)</i>	802.11 Accumulated Maintenance Changes	TG in-process	May 2020
802.11ba - TBD	Wake Up Radio	TG in-process	Sep 2020
802.11az - TBD	Next Generation Positioning	TG in-process	Mar 2021
802.11bb - TBD	Light Communications (Li-Fi)	TG in-process	Jul 2021
802.11bd - TBD	Next Generation Vehicle to Everything (NGVx)	SG Only	Sep 2021
802.11bc - TBD	enhanced Broadcast Services (eBCS)	SG Only	Feb 2022
802.11be - TBD	Extremely High Throughput WLAN (EHT)	SG Only	May 2023
802.11bf - TBD	Full Duplex (FD)	SG Only	TBD 2024
802.11b? - TBD	Real Time Applications (RTA)	TIG Only	TBD
802.11me - TBD <i>(expected as 802.11-2024)</i>	802.11 Accumulated Maintenance Changes	Planning	TBD 2024

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
(WIRELESS PERSONAL AREA
NETWORKS - WPANs)

Bluetooth

- Επινοήθηκε το 1994
- Το Bluetooth Special Interest Group (SIG) ιδρύθηκε το 1998 από Ericsson, IBM, Intel, Nokia και Toshiba με στόχο την ανάπτυξη μιας ανοικτής προδιαγραφής.
- Πλέον συμμετέχουν πάνω από 2500 εταιρείες.
- Χρησιμοποιείται σε ασύρματες ζεύξεις μικρής εμβέλειας.
- Βασίζεται στη χρήση μικρού και φθηνού radio chip (ασύρματη μετάδοση και βασική ζώνη σε ένα chip) για να εγκαθίσταται σε υπολογιστές, τηλέφωνα, εκτυπωτές κτλ
- Βασικά του χαρακτηριστικά είναι η αξιοπιστία, η χαμηλή κατανάλωση ισχύος και το μικρό κόστος.
- Υποστηρίζει τρία γενικά πεδία εφαρμογών:
 - ✓ Σημεία πρόσβασης δεδομένων και φωνής
 - ✓ Αντικατάσταση των καλωδίων
 - ✓ Ad hoc δικτύωση
- **Χρησιμοποιείται frequency hopping (δε χρησιμοποιήθηκε direct sequence για να αποφευχθεί το “near-far” πρόβλημα).**

Piconets και Scatternets

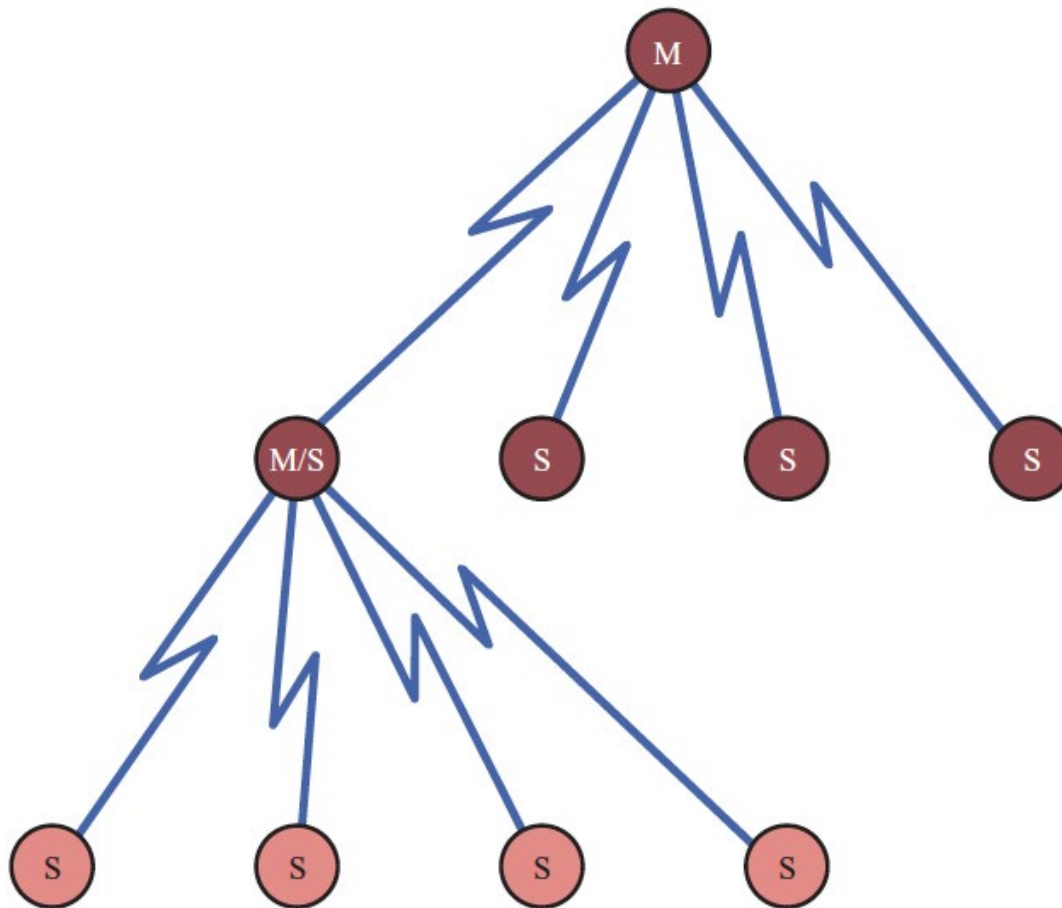
➤ Piconet:

- ✓ Αποτελείται από μία κύρια (master) συσκευή και από μία ως επτά δευτερεύουσες (slave) συσκευές.
- ✓ Η κύρια συσκευή καθορίζει τις παραμέτρους του frequency hopping.
- ✓ Μία δευτερεύουσα συσκευή μπορεί να επικοινωνεί μόνο με την κύρια συσκευή και μόνο όταν της έχει δοθεί άδεια από την κύρια συσκευή.

➤ Scatternet:

- ✓ Μία συσκευή σε ένα piconet μπορεί να συνυπάρχει και ως μέρος ενός άλλου piconet και μπορεί να λειτουργεί ως δευτερεύουσα είτε ως κύρια στο καθένα από αυτά.

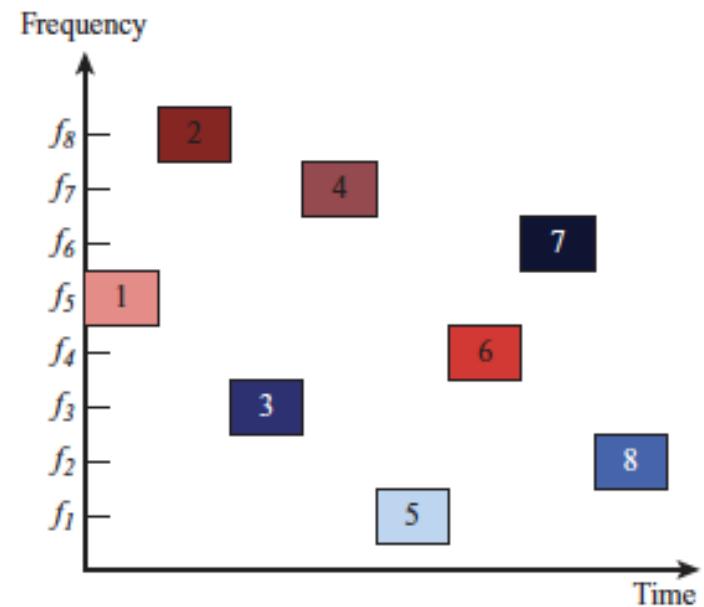
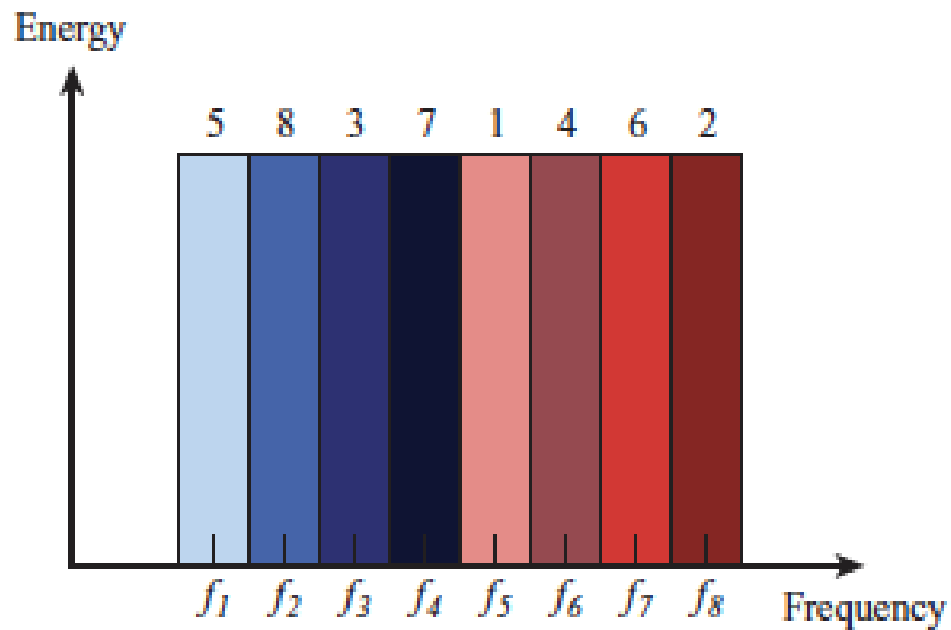
Piconets και Scatternets



Ασύρματη ζεύξη

- Εμβέλεια 10-100 m.
- Ορίζονται τρεις κατηγορίες πομπών βάσει της ισχύος εξόδου:
 - ✓ Κλάση 1: Εμβέλεια 100 m (μέγιστη). Ισχύς εκπομπής μέχρι 100mW.
 - ✓ Κλάση 2: Εμβέλεια 20 m. Ισχύς εκπομπής μέχρι 2.5 mW.
 - ✓ Κλάση 3: Εμβέλεια 10 m. Ισχύς εκπομπής μέχρι 1 mW.
- Χρησιμοποιείται η ζώνη ISM των 2.4 GHz (όπως και στο 802.11).
- Ρυθμός συμβόλων 10^6 symbols/second
- Το bluetooth κάνει χρήση των συνδέσεων βασικού ρυθμού (basic rate, BR) και ενισχυμένου ρυθμού δεδομένων (enhanced data rate, EDR).
- BR: Χρησιμοποιείται modulation (διαμόρφωση) Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK), που αντιστοιχεί σε 1 bit/symbol.
- EDR: Χρησιμοποιείται διαμόρφωση
 - ✓ $\pi/4$ differential **quadrature** phase shift keying (DQPSK) που αντιστοιχεί σε 2 bits/symbol
 - ✓ **8** DPSK που αντιστοιχεί σε 3 bits/symbol

Παράδειγμα Αναπήδησης Συχνότητας



Διασπορά Φάσματος Αργής και Γρήγορης Αναπήδησης Συχνότητας

- **Διασπορά φάσματος αργής αναπήδησης συχνότητας:** Η περίοδος αναπήδησης συχνότητας T_c είναι μεγαλύτερη ή ίση με τη διάρκεια συμβόλου T_s , επομένως περισσότερα από ένα σύμβολα μεταδίδονται σε κάθε αναπήδηση συχνότητας.
- **Διασπορά φάσματος γρήγορης αναπήδησης συχνότητας:** Η συχνότητα αναπήδησης αλλάζει πιο γρήγορα από τη διάρκεια του συμβόλου και διασπά τα σύμβολα σε διαφορετικές συχνότητες αναπήδησης.

Διασπορά φάσματος αργής αναπήδησης συχνότητας	$T_c \geq T_s$
Διασπορά φάσματος γρήγορης αναπήδησης συχνότητας	$T_c < T_s$

Ασύρματα ζεύξη

- Χρησιμοποιείται frequency hopping spread spectrum.
 - ✓ $2.402\text{GHz} + k \text{ MHz}$, $k=0, \dots, 78$
 - ✓ 1600 μεταπηδήσεις/second
- Timeslot (θυρίδα): Κάθε χρονική περίοδο των **0.625ms** (προκύπτει από $1/1600$) αναφέρεται ως θυρίδα. ($0.625\text{ms} > 1 \mu\text{s} \rightarrow$ αργή αναπήδηση)
- Όλες οι συσκευές ενός piconet χρησιμοποιούν την ίδια ακολουθία αναπήδησης συχνότητας (frequency hopping sequence).
- Οι συσκευές του ίδιου piconet χρησιμοποιούν time division multiple access (TDMA).
- Χρησιμοποιείται time division duplexing για το διαχωρισμό των λειτουργιών εκπομπής και λήψης (η εκπομπή και λήψη συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονοθυρίδες).
- **Μεταξύ συσκευών διαφορετικών piconets αλλά του ίδιου scatternet επιτυγχάνεται πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα με αναπήδηση συχνότητας (FH-CDMA).**
- **Μπορεί να χρησιμοποιηθεί adaptive frequency hopping (προσαρμοστική αναπήδηση συχνότητας)**

Ασύρματη ζεύξη

	Basic Rate (BR)	Enhanced Data Rate (EDR)
Topology	Up to 7 simultaneous links in a logical star	Up to 7 simultaneous links in a logical star
Modulation	GFSK	$\pi/4$ -DQPSK and 8DPSK
Peak data rate	1 Mbps	2 Mbps and 3 Mbps
RF bandwidth	220 kHz (−3 dB), 1 MHz (−20 dB)	220 kHz (−3 dB), 1 MHz (−20 dB)
RF band	2.4 GHz, ISM band	2.4 GHz, ISM band
RF carriers	23/79	23/79
Carrier spacing	1 MHz	1 MHz
Transmit power	0.1 W	0.1 W
Piconet access	FH-TDD-TDMA	FH-TDD-TDMA
Frequency hop rate	1600 hops/s	1600 hops/s
Scatternet access	FH-CDMA	FH-CDMA

Πότε συμβαίνει collision (σύγκρουση)?

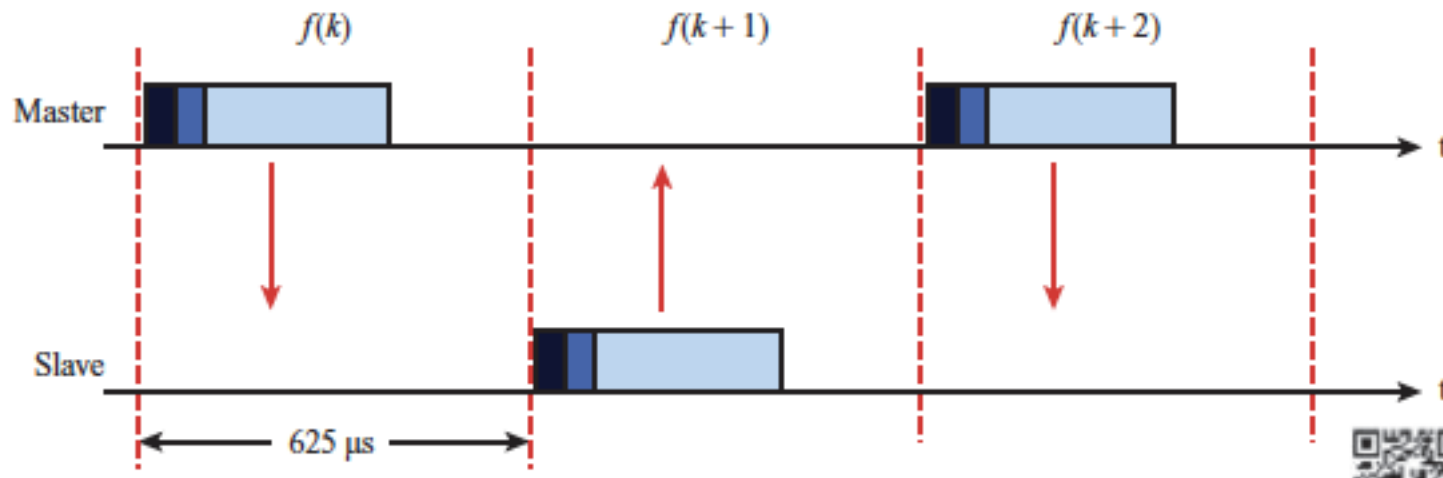
- Όταν δύο piconets χρησιμοποιήσουν το ίδιο φυσικό κανάλι (1 MHz) κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονοθυρίδας.
- Αυτό συμβαίνει σπάνια και αντιμετωπίζεται εύκολα με τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων.

Μορφότυπο πακέτου



- Access code (κώδικας πρόσβασης): Συγχρονισμός, πληροφορίες για το δίκτυο κτλ
- Header (κεφαλίδα): Περιέχει τον τύπο του πακέτου
- Payload (ωφέλιμο φορτίο): Περιέχει τη φωνή ή τα δεδομένα χρήστη

Αναπήδηση συχνότητας TDD



Σχηματισμός Piconet

- Χρησιμοποιείται πρωτόκολλο inquiry/scan/page
 - ✓ Ο master στέλνει διερευνητικά (Inquiry) μηνύματα
 - ✓ Ο slave που εντάσσεται 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.

Πιθανότητα collision στο bluetooth

- ✓ Έστω ότι υπάρχουν 2 piconets σε έναν χώρο

$$P_{nc2}=1-1/79$$

- ✓ Έστω ότι υπάρχουν 3 piconets

$$P_{nc3}=P_{nc2}^2=(1-1/79)^2$$

- ✓ Έστω ότι υπάρχουν n piconets

$$P_{ncn}=(1-1/79)^{n-1}$$

- ✓ Για μία επιτυχημένη εκπομπή χρειάζονται 2 slots (το δεύτερο για acknowledgement)

$$P_s=P_{ncn}^2=(1-1/79)^{2n-2}$$

Πιθανότητα collision στο bluetooth

- ✓ Για να ληφθούν σωστά τα μισά πακέτα (σωστή λήψη πακέτων με πιθανότητα 50%) πρέπει

Ιδιότητα: $\text{Log}(a^x) = x\text{Log}(a)$

$$0.5 = (1 - 1/79)^{2n-2}$$

$$\log(0.5) = \log((1 - 1/79)^{2n-2})$$

$$\log(0.5) = (2n-2)\log(1 - 1/79)$$

$$2n\log(1 - 1/79) - 2\log(1 - 1/79) = \log(0.5)$$

$$n = 1 + \log(0.5) / (2\log(1 - 1/79)) = 28.2$$