



ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ασύρματα
Τοπικά Δίκτυα



- Βασικές αρχές και θέματα υλοποίησης για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα
 - Σχεδιαστικοί στόχοι
 - Αρχιτεκτονικές
- Ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11

Περιεχόμενα



- Εισαγωγή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα
- Ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11
 - Προδιαγραφές
 - Στοιχεία δικτύου
 - Αρχιτεκτονική δικτύου
 - Φυσικό στρώμα
 - Πρότυπα
 - Βασικές διαδικασίες
 - MAC
 - CSMA/CA
 - Μορφή πλαισίου MAC
- Νέα πρότυπα IEEE 802.11

Ασύρματα LAN

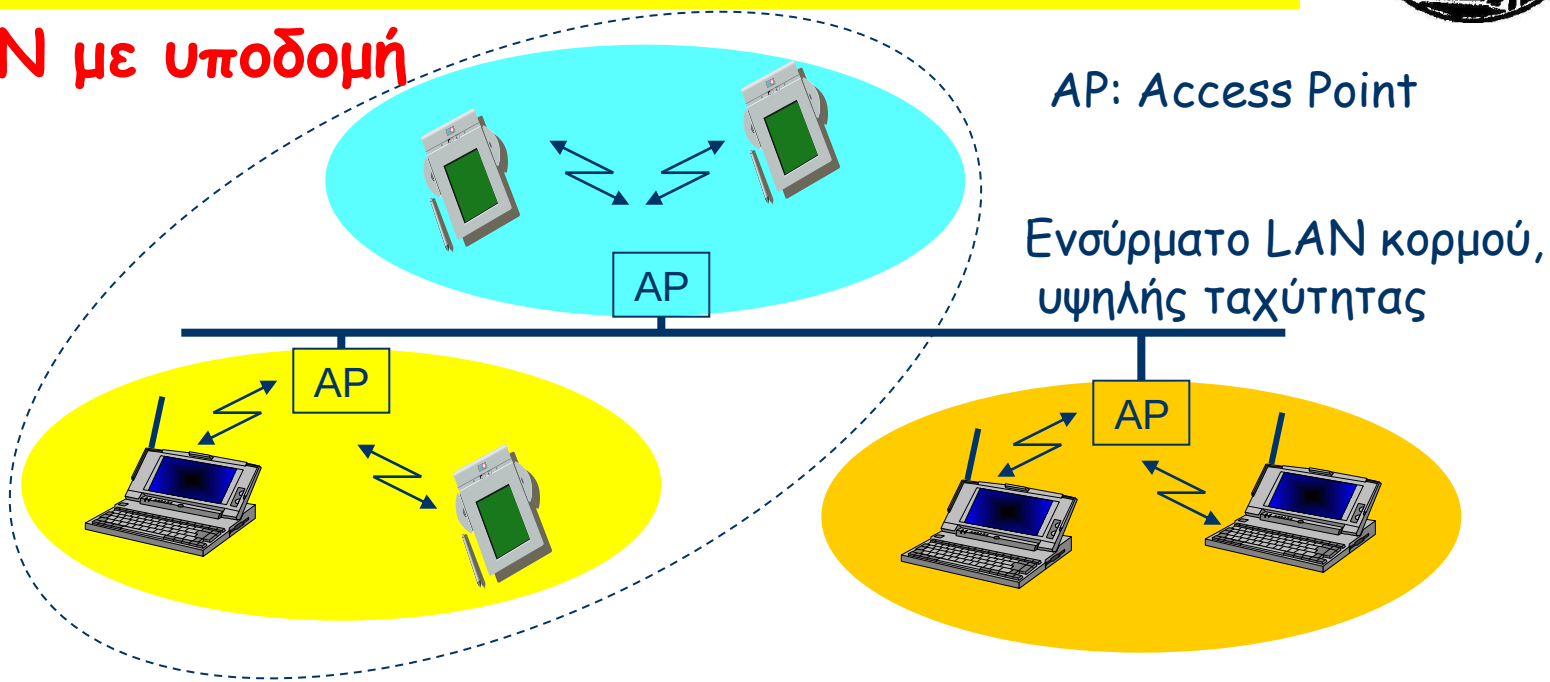


- Εξασφαλίζουν απαιτήσεις:
 - Κινητικότητας
 - Νομαδικής πρόσβασης
 - Δικτύωσης ad hoc
- Παρέχουν τρόπο κάλυψης σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία καλωδίωσης
- Παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (αρκετά Mbps) σε φορητά τερματικά
 - μετακίνηση σε περιορισμένες περιοχές (π.χ. μεγάλα κτίρια, πανεπιστημιούπολεις, νοσοκομειακοί χώροι, εμπορικά κέντρα)
- Μπορεί να συνυπάρχουν με ενσύρματα LAN

Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



WLAN με υποδομή



Ad Hoc WLAN

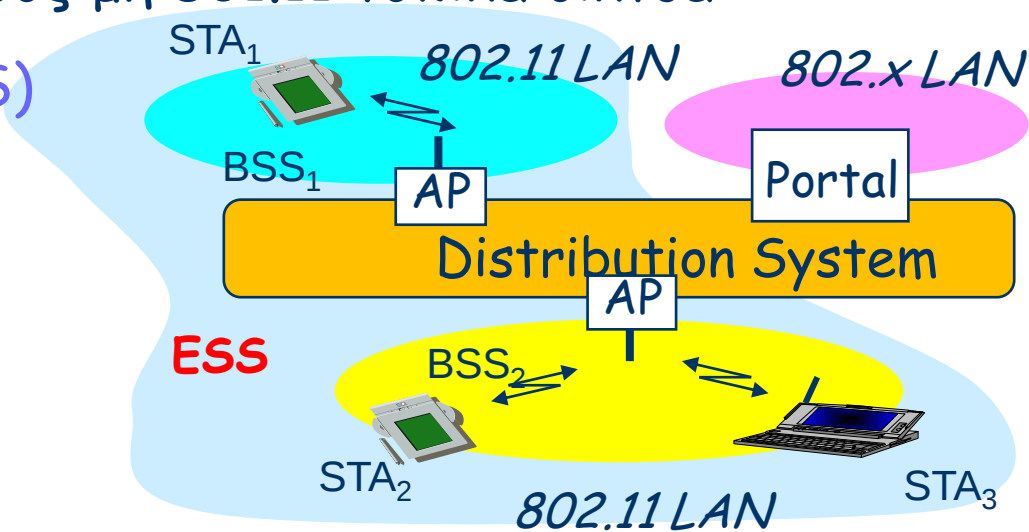


Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



WLAN με υποδομή

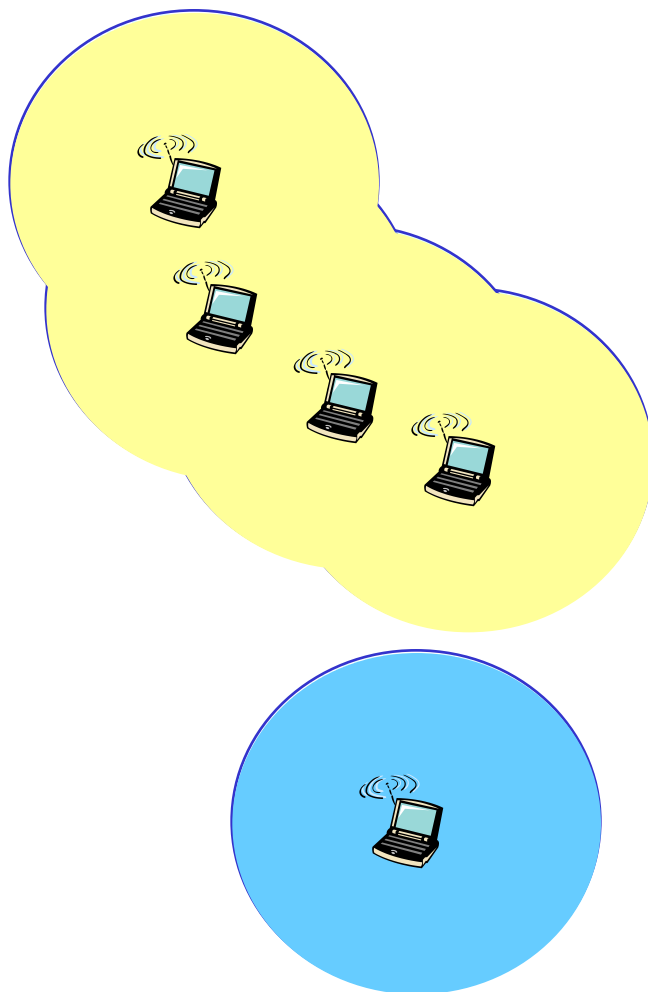
- **Station (STA)** - Σταθμός: τερματικό με μηχανισμούς πρόσβασης στο ασύρματο μέσο
- **Basic Service Set (BSS)** - Βασικό σύνολο εξυπηρέτησης: ομάδα σταθμών στην ίδια συχνότητα
- **Access Point (AP)** - Σημείο πρόσβασης: σταθμός ενσωματωμένος στο σύστημα διανομής
- **Portal** - Πύλη: γέφυρα προς μη 802.11 τοπικά δίκτυα
- **Distribution System (DS)** - Σύστημα διανομής: δίκτυο διασύνδεσης για σχηματισμό ενός λογικού δικτύου (EES: Extended Service Set) βασισμένου σε πολλά BSS



Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



Ad Hoc WLAN



- Οι σταθμοί οργανώνονται δυναμικά ένα δίκτυο χωρίς AP και δρομολογούν την κίνηση μεταξύ τους
- Κάθε σταθμός μπορεί να μεταδίδει σε άλλους σταθμούς που βρίσκονται στην εμβέλεια μετάδοσής του

Σχεδιαστικοί στόχοι



- Μεγάλη 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

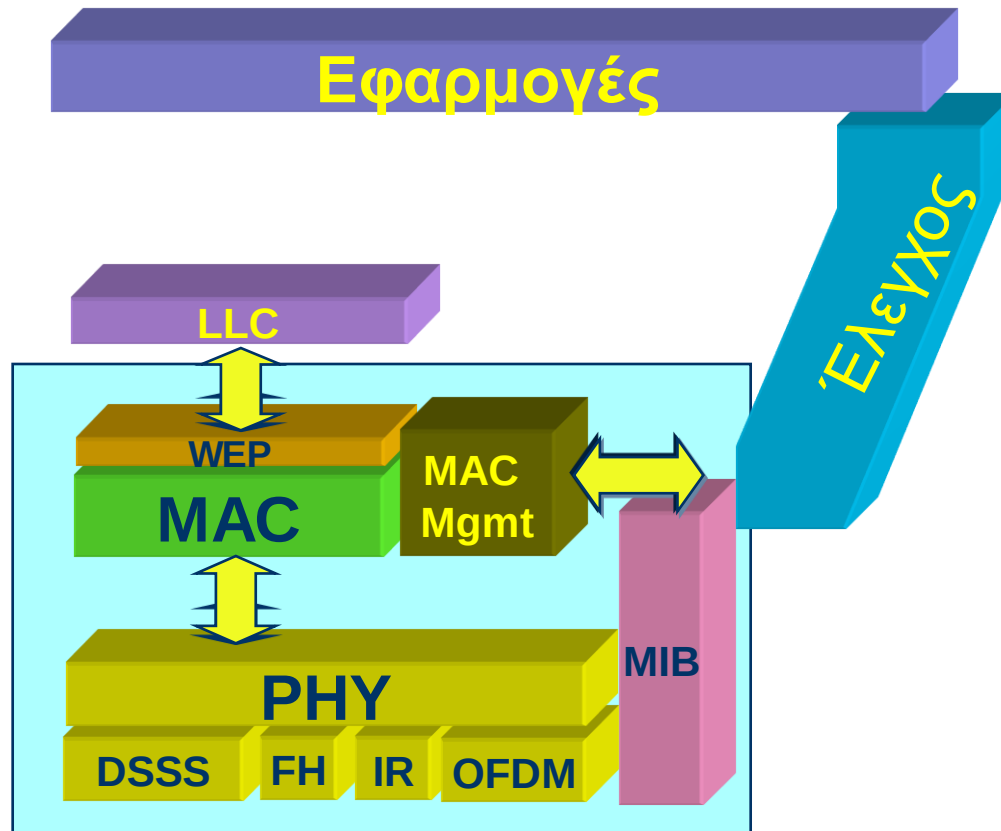


Δίκτυα IEEE 802.11



IEEE 802.11: προδιαγραφές

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



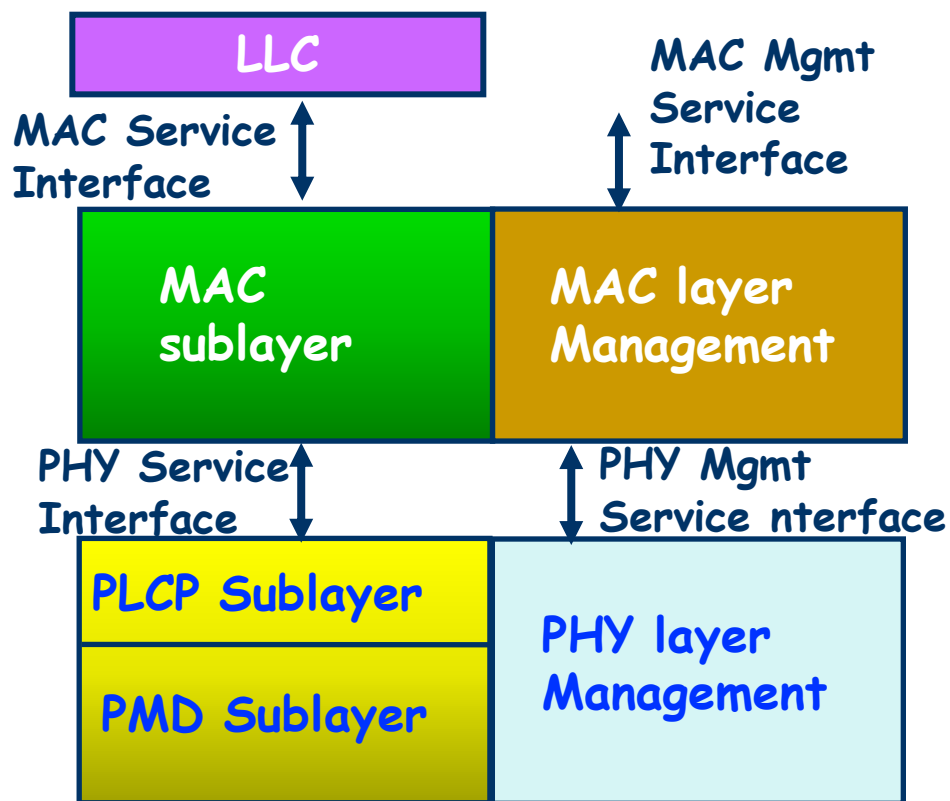


IEEE 802.11: προδιαγραφές

- Το πρότυπο IEEE 802.11 αρχικά ήταν για ρυθμούς μετάδοσης **1** και **2 Mbps** στα **2.4 GHz** και **IR** (1997)
- Όλα τα άλλα πρότυπα 802.11x (πλην δύο εξαιρέσεων 802.11F and 802.11T) είναι τροποποιήσεις (amendments) σε αυτό

F: Inter-AP communication protocol

T: Wireless performance prediction (test methods & metrics)





- Είναι το εμπορικό όνομα με το οποίο προωθούνται τα προϊόντα που είναι συμβατά με τα πρωτόκολλα IEEE 802.11
- Παρότι δεν είναι ορθό, έχει επικρατήσει ότι το Wi-Fi σημαίνει Wireless Fidelity, κατ' αναλογία με το Hi-Fi,
 - Το Wi-Fi είναι ένας λογότυπος
- Ο συνασπισμός "Wi-Fi Alliance" βεβαιώνει τη διαλειτουργικότητα προϊόντων που βασίζονται στα πρότυπα 802.11
 - Μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1999
 - Περισσότερα από 200 μέλη

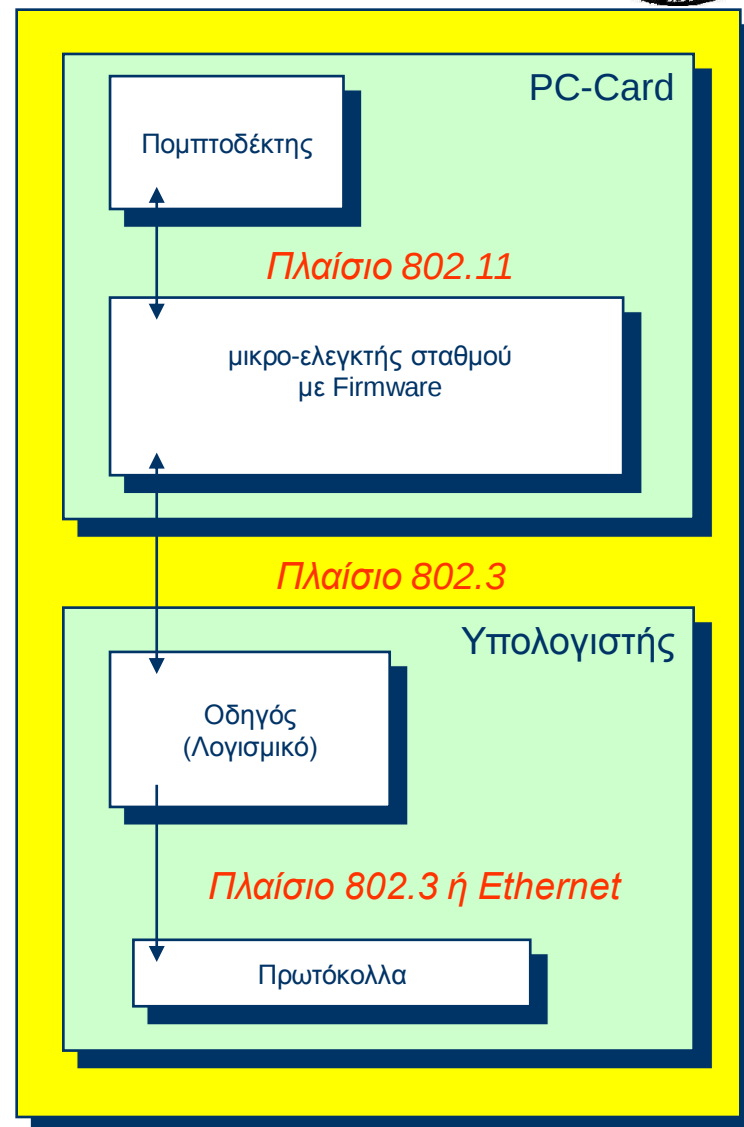


IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



Σταθμός (STA)

- Περιέχει διεπαφή MAC και PHY προς το ασύρματο μέσο συμβατή με IEEE 802.11, αλλά **δεν παρέχει** πρόσβαση σε σύστημα διανομής
 - ακραίο τερματικό (φορητός υπολογιστής, κλπ)
- Υλοποίηση σε PC-card

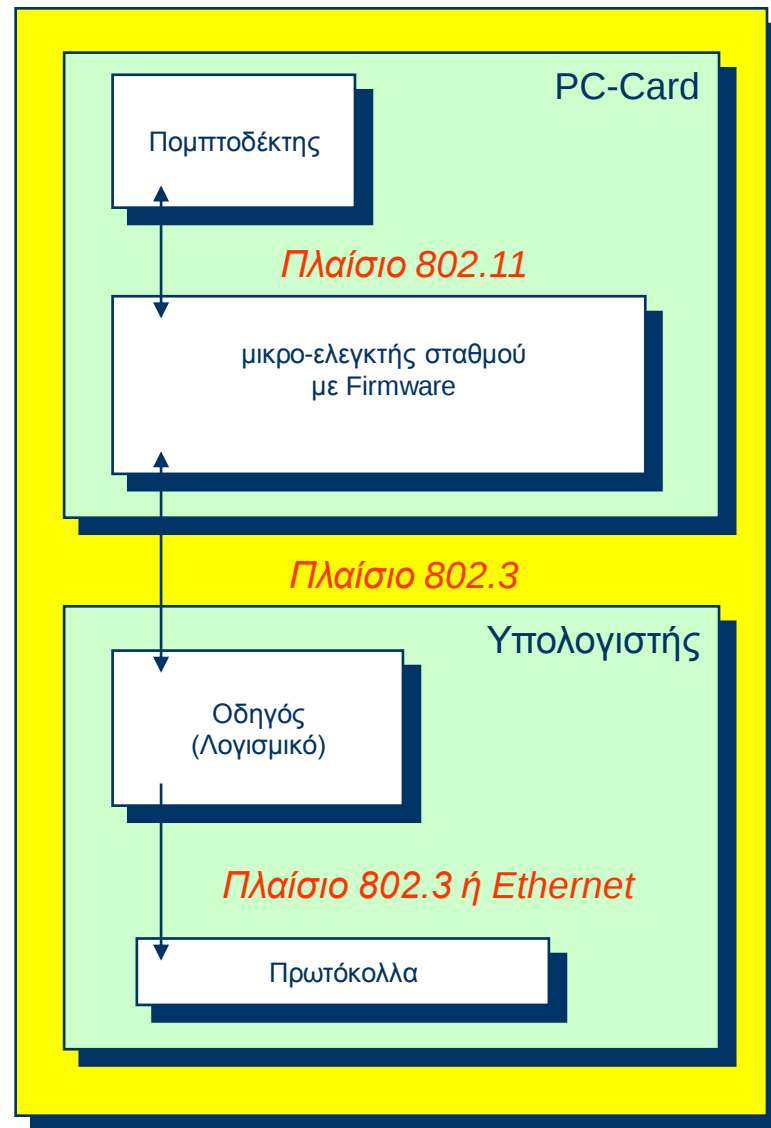


IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



Σταθμός (STA)

- Διεπαφή παρόμοια με Ethernet για να υποστηρίζονται τα συνήθη πρωτόκολλα
- Διαφανής γεφύρωση με Ethernet
- Ενθυλάκωση σύμφωνα με
 - IEEE 802.1H
 - ή RFC 1042 (Standard for the Transmission of IP Datagrams over IEEE 802 Networks)

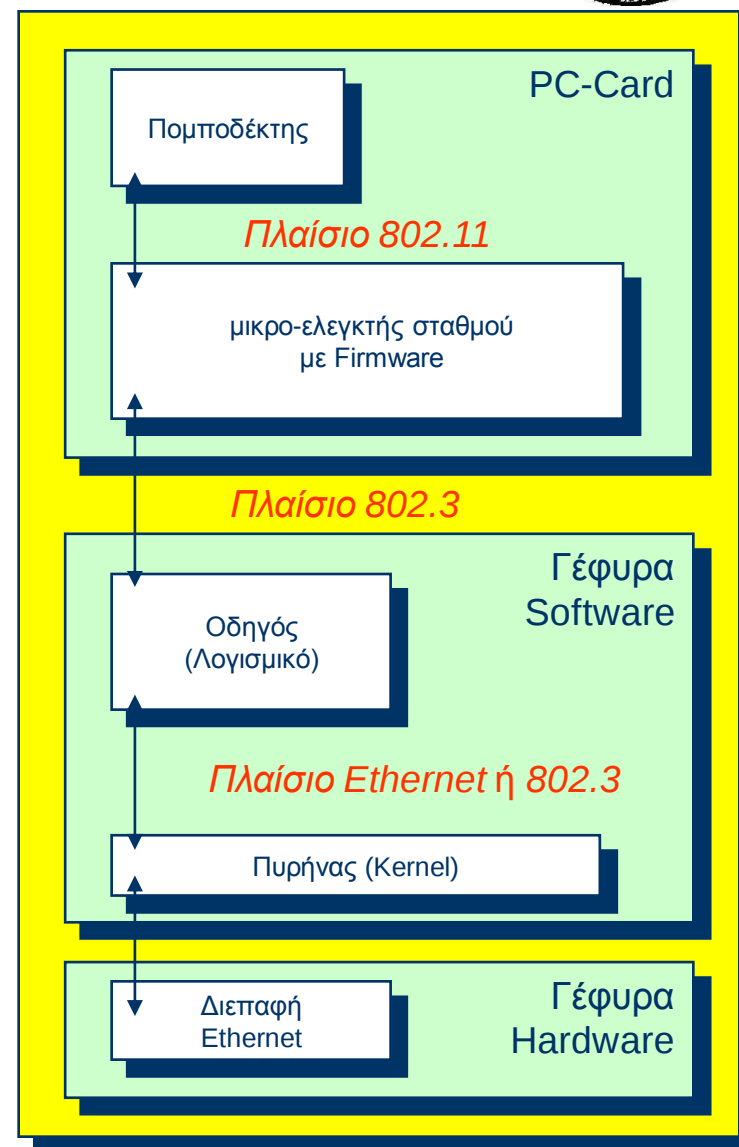


IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



Σημείο Πρόσβασης (AP)

- Περιέχει διεπαφή MAC και PHY προς το ασύρματο μέσο συμβατή με IEEE 802.11 και προσφέρει, στους συνδεδεμένους με αυτό σταθμούς, πρόσβαση προς το σύστημα διανομής
 - Συνήθης υποδομή για σύνδεση με το ενσύρματο δίκτυο
- Οι σταθμοί επιλέγουν ένα AP και σχετίζονται με αυτό

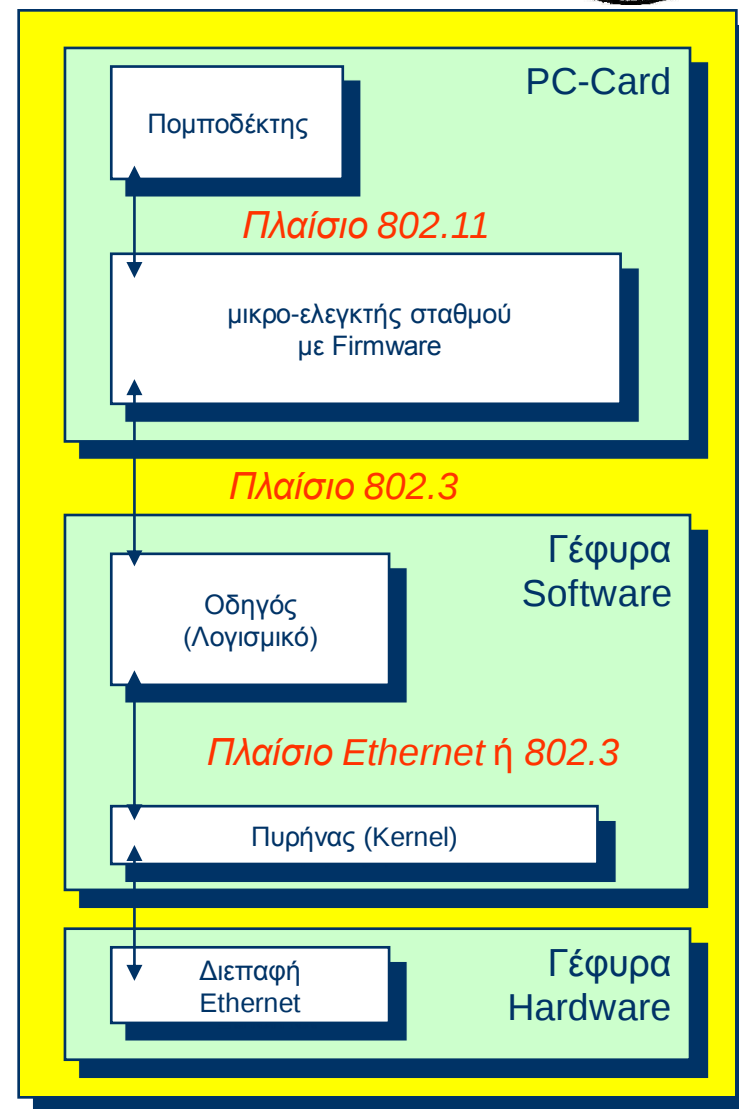


IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



Σημείο Πρόσβασης (AP)

- Υποστηρίζει κινητικότητα
- Παρέχει συγχρονισμό (ραδιοφάροι - beaconing)
- Παρέχει διαχείριση ισχύος (Power management)
- Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση συνήθως διέρχεται μέσω του AP
- Στην περίπτωση IBSS υπάρχει απευθείας επικοινωνία σταθμών

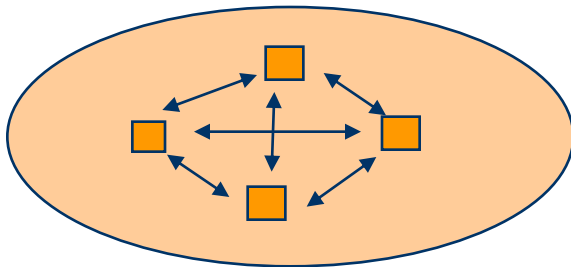


IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



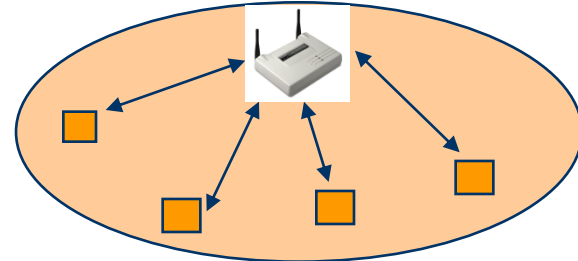
Basic Service Set (BSS): ομάδα σταθμών στην ίδια συχνότητα που επικοινωνούν μεταξύ τους

Independent Basic Service Set (IBSS)



- Μόνο απευθείας επικοινωνία
- Δεν υπάρχει λειτουργία αναμετάδοσης (relay)

Infrastructure Basic Service Set (BSS)



- Το AP παρέχει
 - σύνδεση προς το ενσύρματο δίκτυο
 - λειτουργία αναμετάδοσης
- Οι σταθμοί δεν επικοινωνούν απευθείας

IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



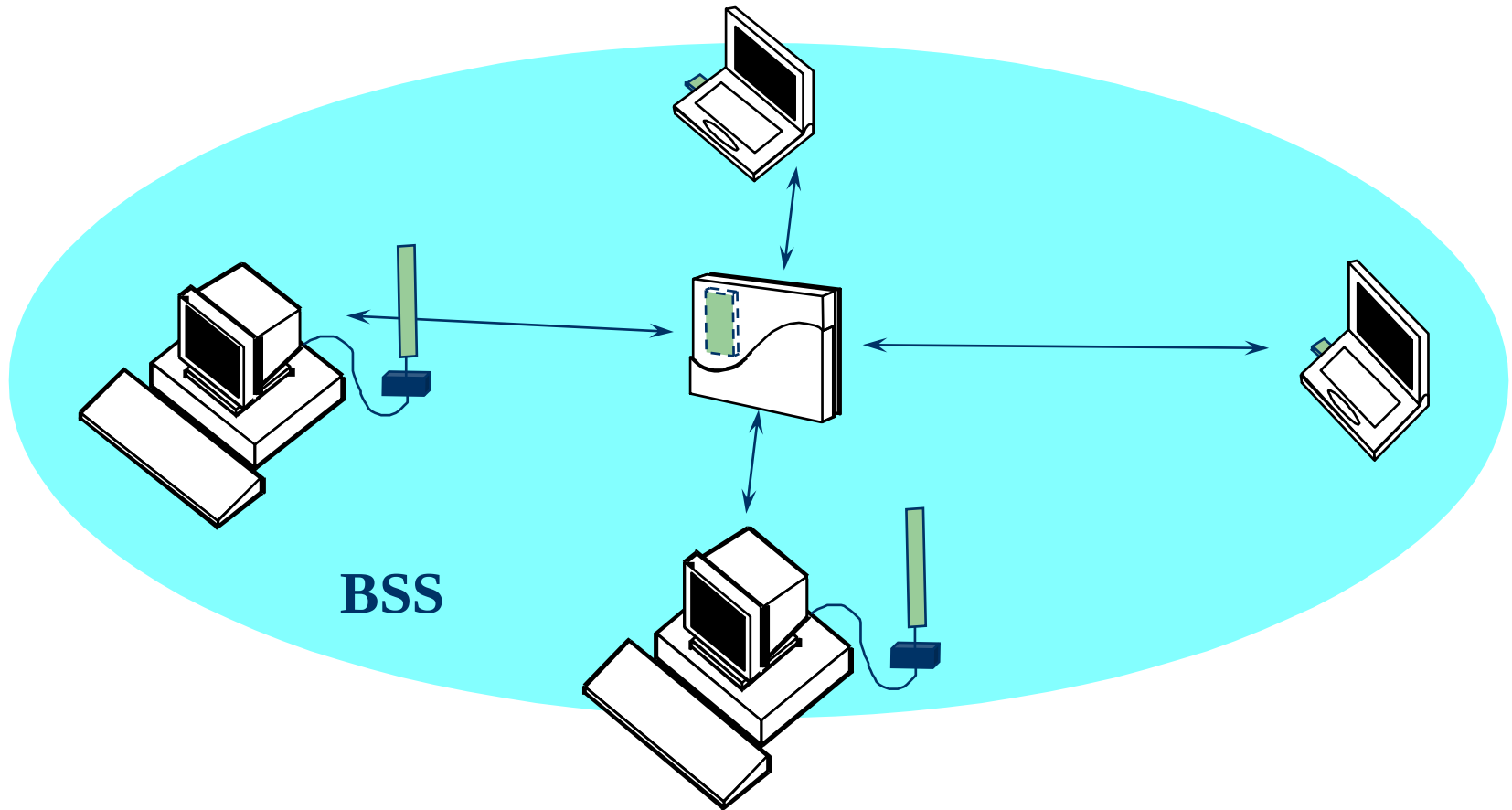
Basic Service Set (BSS)

- Η βασική δομική μονάδα των ασύρματων δικτύων IEEE 802.11
- Σύνολο σταθμών που ελέγχονται ενιαία από **μία** λειτουργία συντονισμού "Coordination Function"
 - η λογική λειτουργία που προσδιορίζει πότε μπορεί ένας σταθμός να εκπέμψει ή να λάβει
- Η περιοχή κάλυψης, αντίστοιχη της κυψέλης (cell) της κινητής τηλεφωνίας
- Η διάμετρος της κυψέλης είναι περίπου το διπλάσιο της απόστασης ραδιοκάλυψης μεταξύ δύο ασύρματων σταθμών
- Το BSS μπορεί να έχει AP (αυθύπαρκτα - standalone δίκτυα ή δίκτυα με υποδομή) ή μπορεί να λειτουργεί χωρίς AP (μόνο σε αυθύπαρκτα δίκτυα)
- Κάθε BSS προσδιορίζεται από την **SSID**

IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



BSS





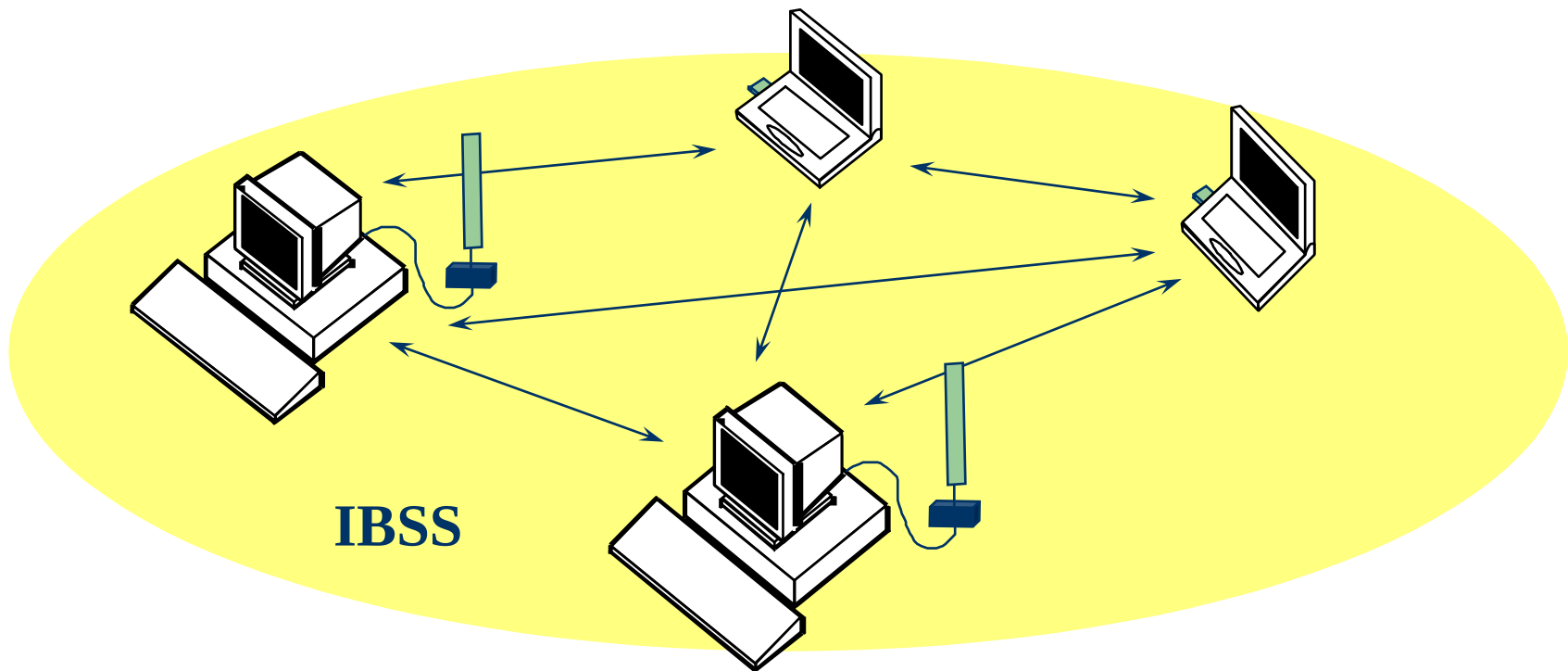
Independent BSS (IBSS)

- BSS που αποτελεί αυθύπαρκτο δίκτυο χωρίς πρόσβαση σε σύστημα διανομής
- Στην απλούστερη εκδοχή του απαρτίζεται από δύο ασύρματους σταθμούς
 - BSS χωρίς AP
- Ένας από τους σταθμούς του IBSS μπορεί να ρυθμισθεί ώστε να "αρχικοποιεί" το δίκτυο και αναλαμβάνει το ρόλο της λειτουργίας συντονισμού (Coordination Function)
- Η διάμετρος της κυψέλης είναι περίπου η απόσταση ραδιοκάλυψης μεταξύ δύο ασύρματων σταθμών

IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



IBSS

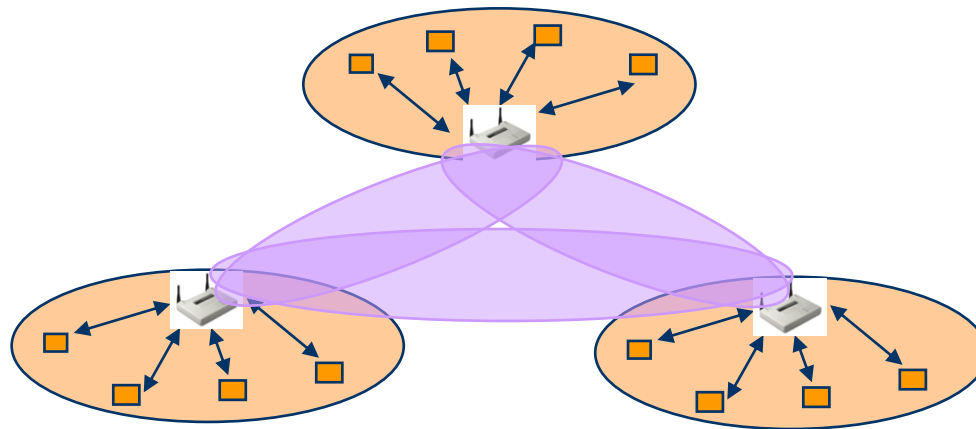


IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



Extended Service Set (ESS)

- Είναι ένα σύνολο από BSS που διασυνδέονται με σύστημα διανομής (Distribution System - DS)



- Το DS μπορεί να είναι:
 - **Ενσωματωμένο:** ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο
 - **Ενσύρματο:** τα AP συνδέονται με καλώδια
 - **Ασύρματο:** τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο



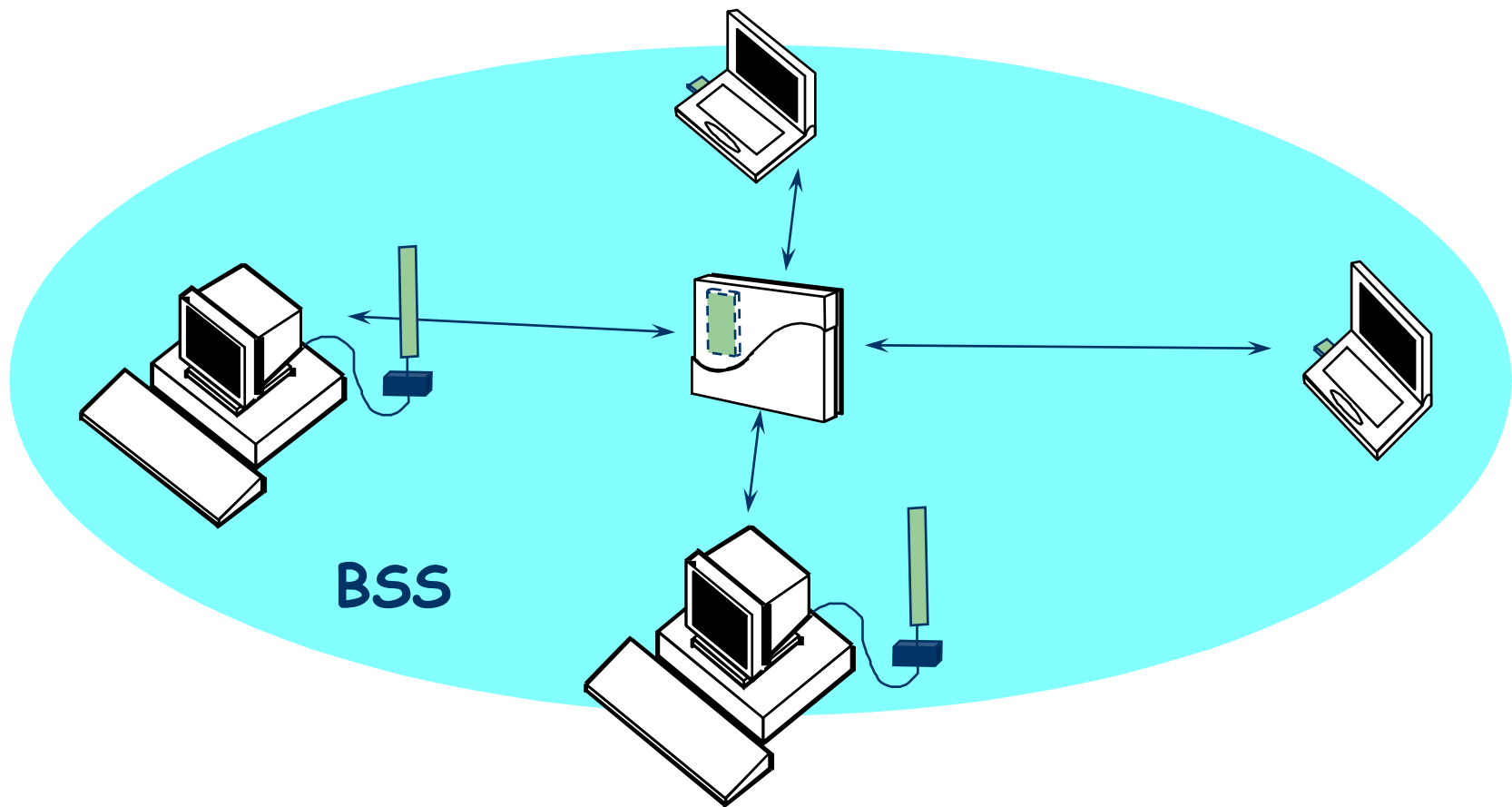
Extended Service Set (ESS)

- Τα διασυνδεδεμένα BSS που απαρτίζουν ένα ESS:
 - Εμφανίζονται στο στρώμα LLC (Logical Link Control) ως ένα BSS, για οποιονδήποτε σταθμό σχετίζεται με κάποια από αυτά τα BSS
 - Πρέπει να έχουν κοινή SSID
 - Μπορεί να λειτουργούν στην ίδια συχνότητα ή σε διαφορετικές, ώστε να αυξηθεί η διέλευση
- Η κίνηση στο ESS διέρχεται πάντα μέσω των AP
- Τα AP επικοινωνούν μεταξύ τους για να προωθούν την κίνηση
 - Η μετακίνηση των σταθμών εντός του ESS είναι αόρατη για τα ανώτερα στρώματα

IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



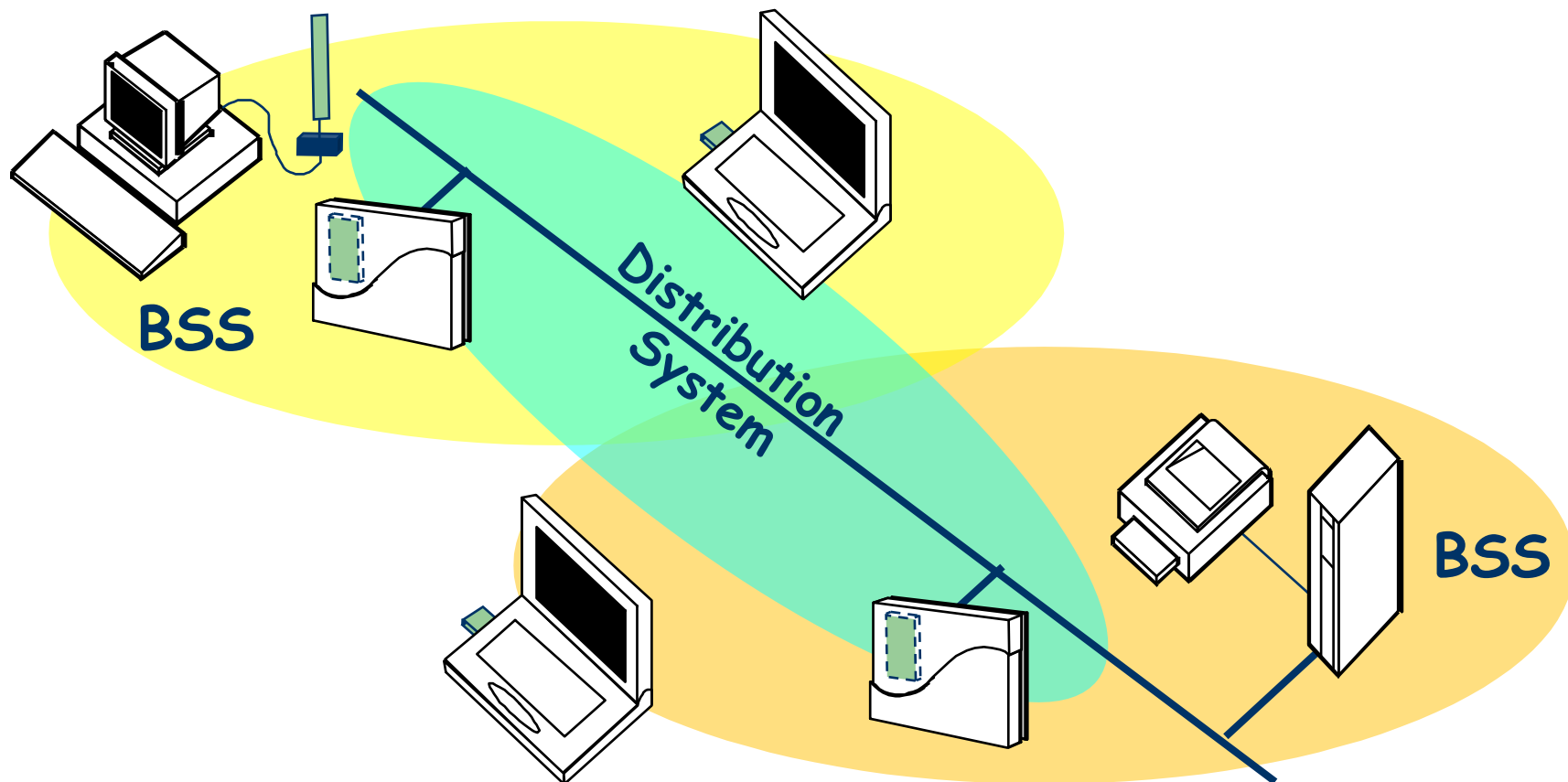
ESS: BSS με ενσωματωμένο DS



IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



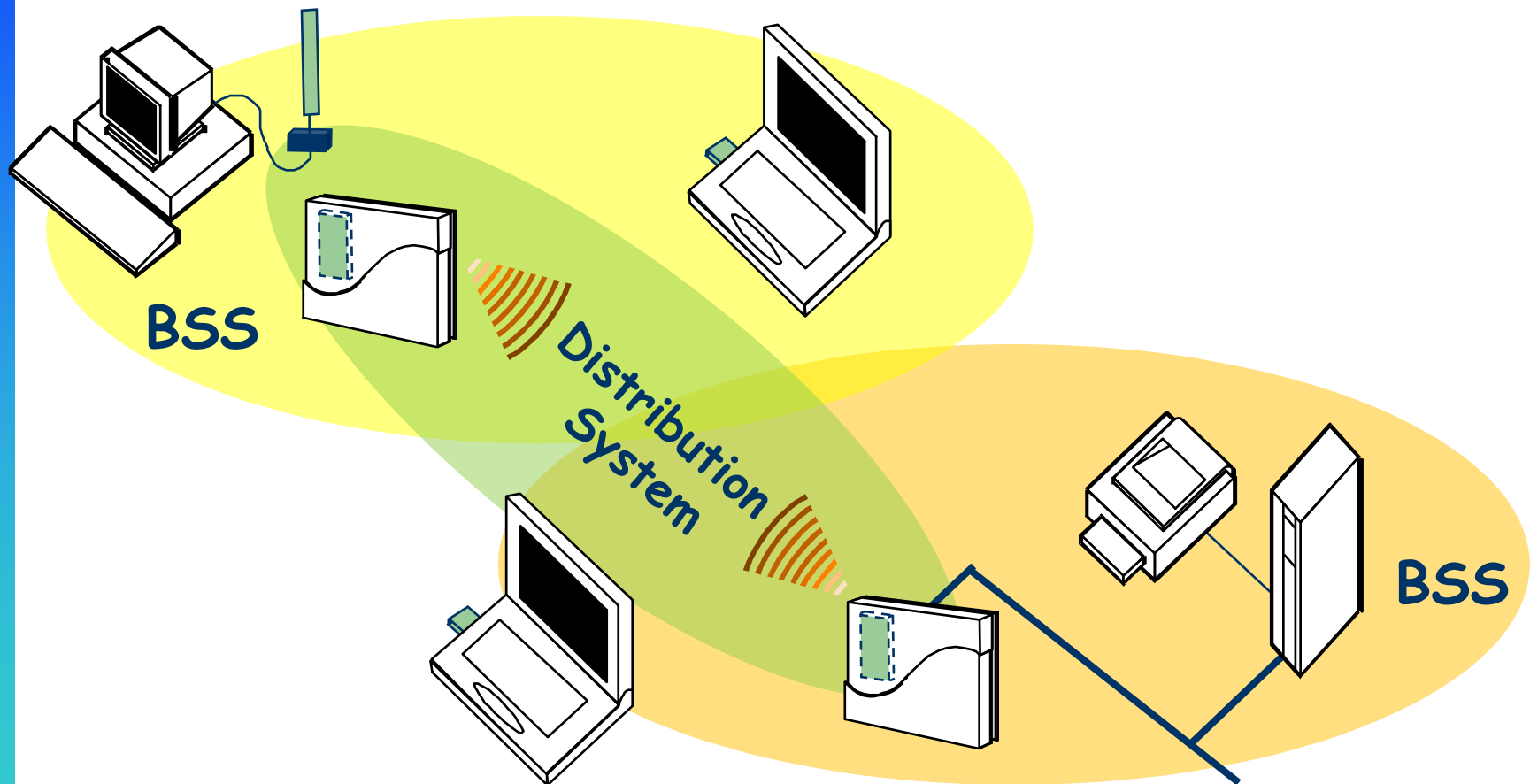
ESS: δύο BSS και ενσύρματο DS



IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



ESS: δύο BSS και ασύρματο DS





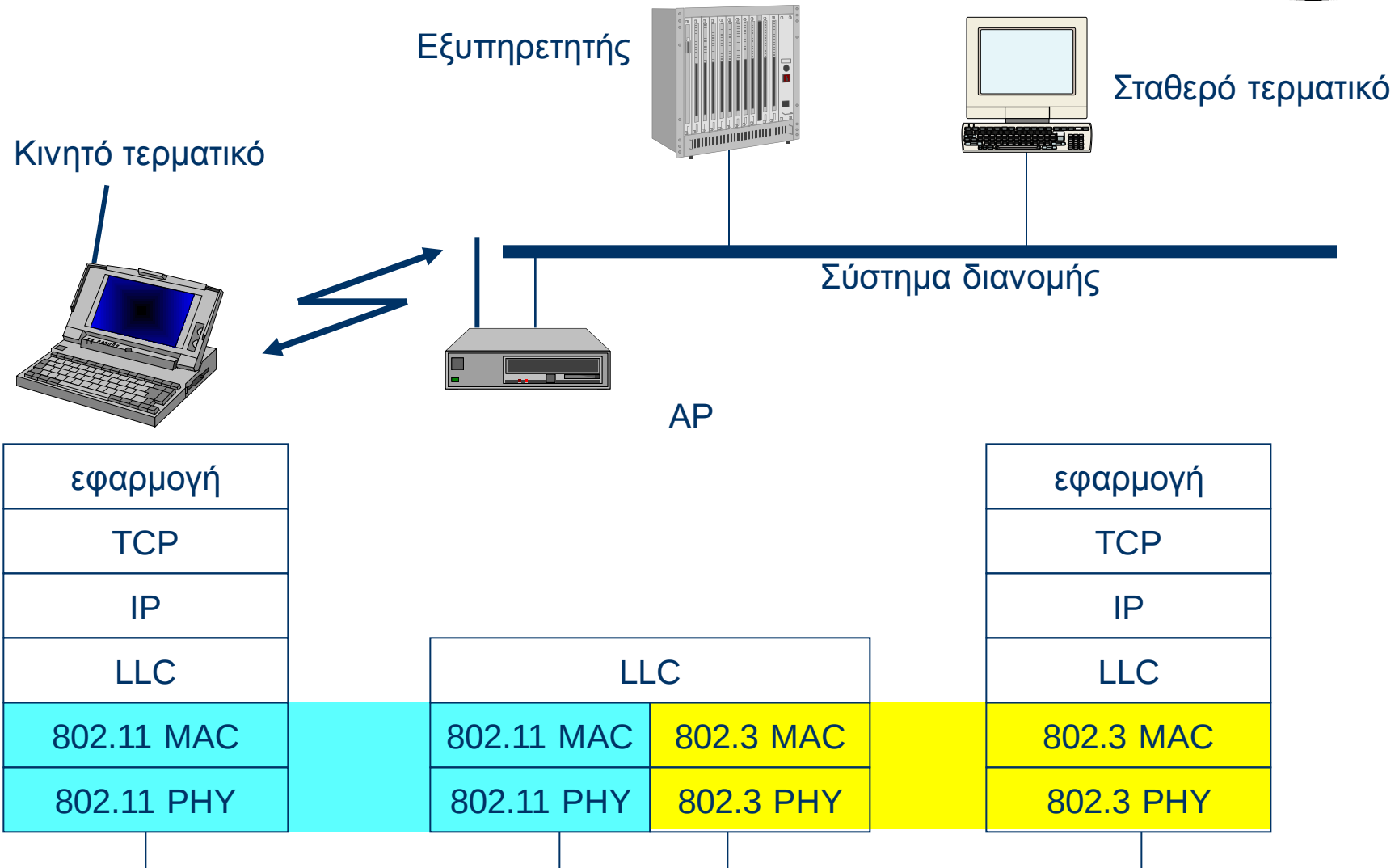
Service Set Identifier (SSID)

- "Όνομα δικτύου"
- Μήκος μέχρι 32 byte
- Ένα δίκτυο (ESS ή IBSS) έχει ένα SSID

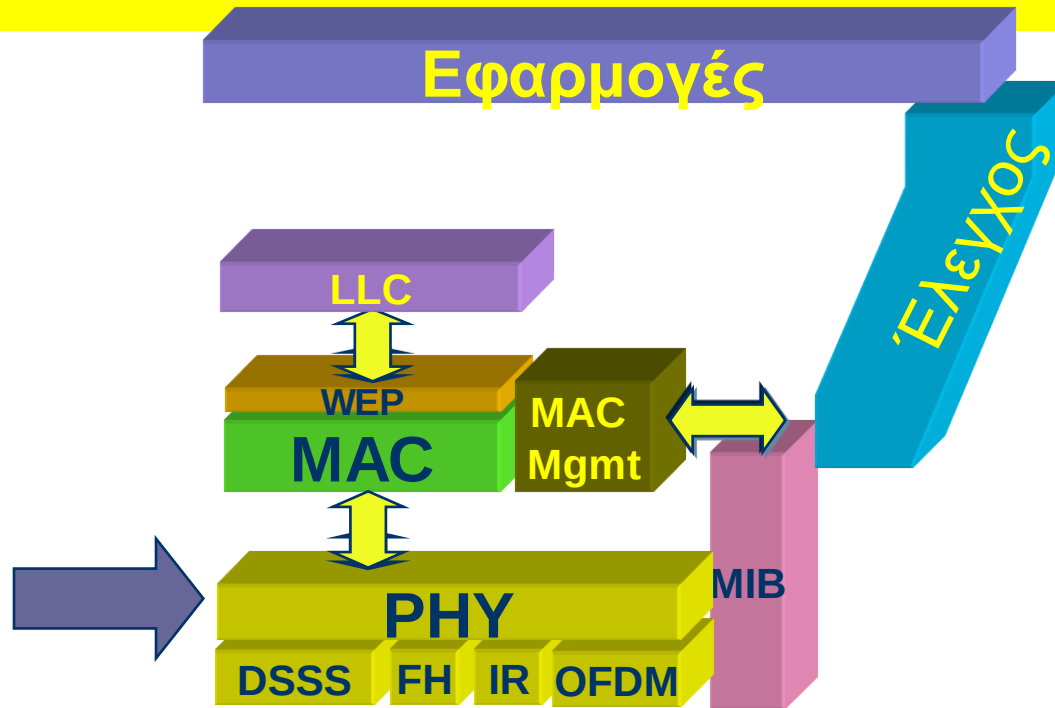
Basic Service Set Identifier (BSSID)

- "Ταυτότητα κυψέλης"
- Μήκος 6 byte (μορφή διεύθυνσης MAC)
- Ένα BSS έχει μία BSSID
- Η τιμή της BSSID είναι ίδια με την διεύθυνση MAC του AP
 - Στο IBSS είναι μια τοπικά παραγόμενη MAC address από έναν τυχαίο αριθμό μήκους 48 bit

IEEE 802.11 και TCP/IP

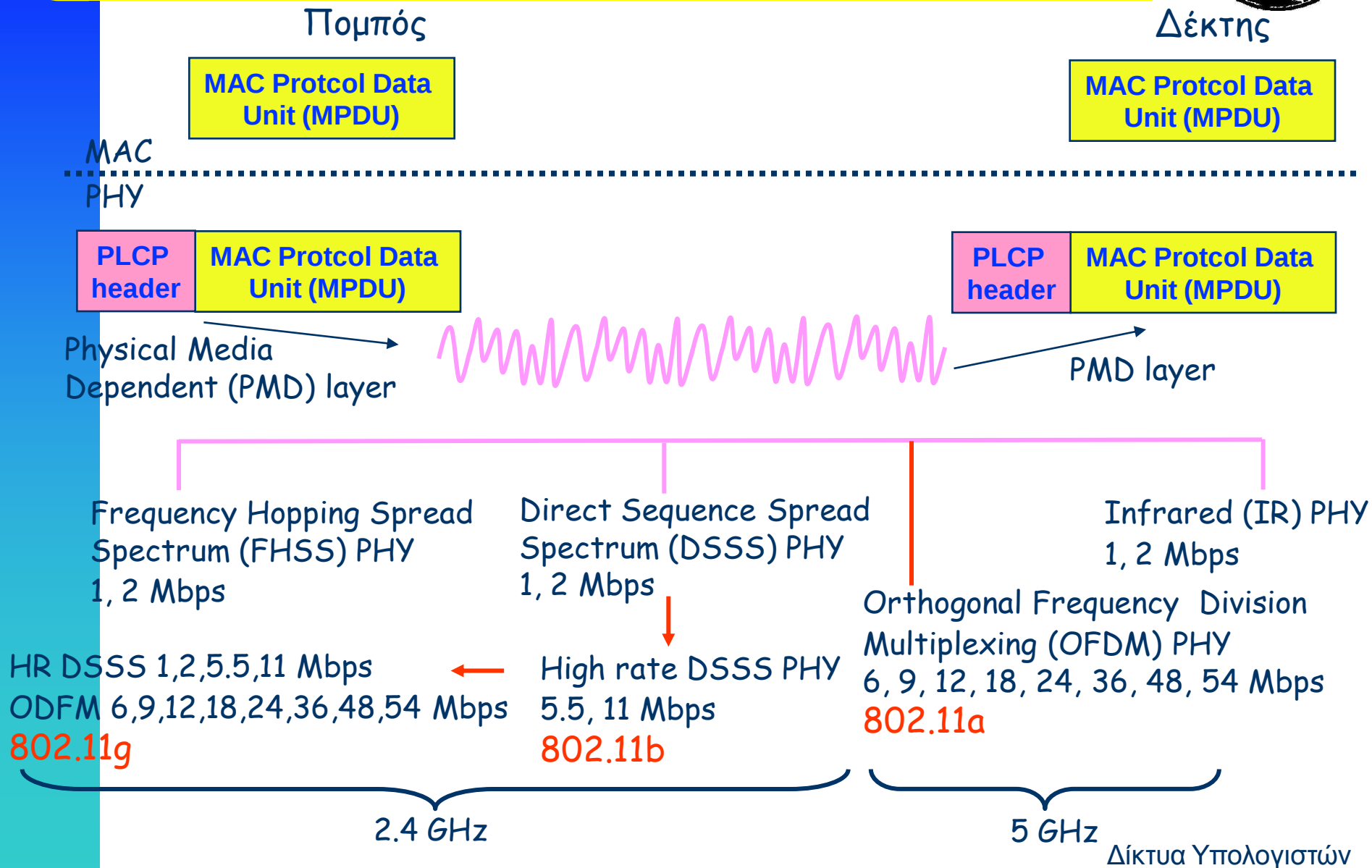
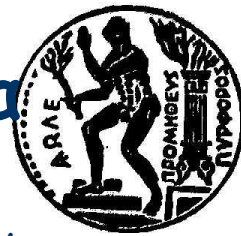


IEEE 802.11: φυσικό στρώμα



- Τρία κύρια είδη πρόσβασης στο φυσικό στρώμα:
 - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 - FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
 - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- Το MAC είναι κοινό για όλη την οικογένεια 802.11

IEEE 802.11: πρόσβαση στο φυσικό στρώμα

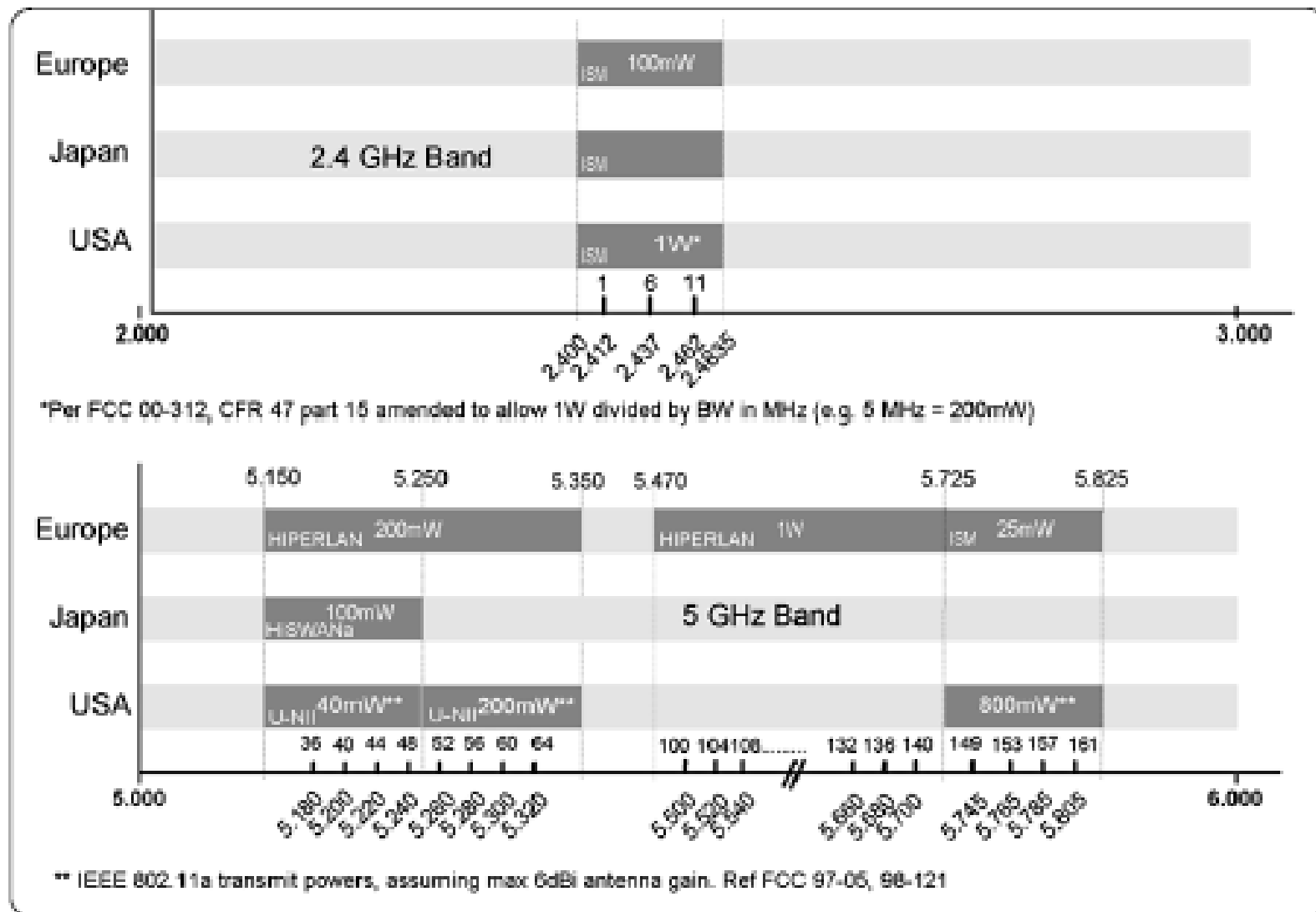
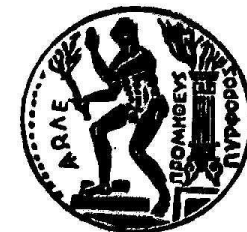


IEEE 802.11: φάσμα



- Το 802.11 λειτουργεί σε μη αδειοδοτούμενες περιοχές του φάσματος (ISM - Industrial Scientific and Medical band)
- Οι περιοχές ISM για Ευρώπη και ΗΠΑ
 - 902 μέχρι 928 MHz (Cordless Telephony)
 - 2.4 μέχρι 2.4835 GHz
 - 5.150 μέχρι 5.350 GHz και 5.725 μέχρι 5.825 GHz
- Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται και η περιοχή:
 - 5.470 μέχρι 5.725 GHz, που έχει καθοριστεί για το Hiperlan

IEEE 802.11: φάσμα



IEEE 802.11: πρότυπα



IEEE 802.11a

- Λειτουργεί στην περιοχή των 5 GHz
 - Οι συχνότητες και το πλήθος των διαύλων διαφέρουν ανά χώρα
- Στις ΗΠΑ 5.15-5.35 και 5.725-5.825 GHz με 12 διαύλους
- Στην Ευρώπη 5.15 - 5.725 GHz με 19 διαύλους
- Χρησιμοποιεί OFDM με 52 φέροντα
- Διαμόρφωση: BPSK/QPSK/QAM
- Forward Error Correction (Convolutional)
- Ρυθμοί: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps

IEEE 802.11: πρότυπα



IEEE 802.11b

- Λειτουργεί στην περιοχή ISM των 2.4 GHz
 - Το πλήθος των διαύλων διαφέρει ανά χώρα
 - Ο πρώτος δίαυλος έχει κεντρική συχνότητα 2.412 GHz
 - Απόσταση μεταξύ διαύλων 5 MHz
- Στις ΗΠΑ 11 δίαυλοι 2.412-2.462 GHz
- Στην Ευρώπη 13 δίαυλοι 2.412-2.472 GHz
- Χρησιμοποιεί DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- Διαμόρφωση: DBPSK/DQPSK/CCK (Complementary Code Keying)
- Ρυθμοί: 1, 2, 5.5, 11 Mbps

IEEE 802.11: πρότυπα



IEEE 802.11g

- Λειτουργεί στην περιοχή ISM των 2.4 GHz
 - Όπως το 802.11b
- Χρησιμοποιεί OFDM με 52 φέροντα, διαμόρφωση BPSK/QPSK/QAM και ρυθμούς 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
 - Αντιγραφή από το 802.11a
- Μεταπίπτει σε DSSS, διαμόρφωση DBPSK/DQPSK/CCK και ρυθμούς 1, 2, 5.5, 11 Mbps
 - Για συμβατότητα με το 802.11b

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Δίαυλοι, συσχέτιση

- Το διαθέσιμο φάσμα διαιρείται σε **διαύλους** διαφορετικών συχνοτήτων
 - ο διαχειριστής του AP μπορεί να επιλέξει συχνότητα για το AP
 - πιθανότητα παρεμβολής: κάποιος δίαυλος μπορεί να είναι κοινός με δίαυλο γειτονικού AP
- **Συσχέτιση**: εγκατάσταση σχέσης με το AP
 - Οι σταθμοί σαρώνουν την περιοχή συχνοτήτων και επιλέγουν το AP με την καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



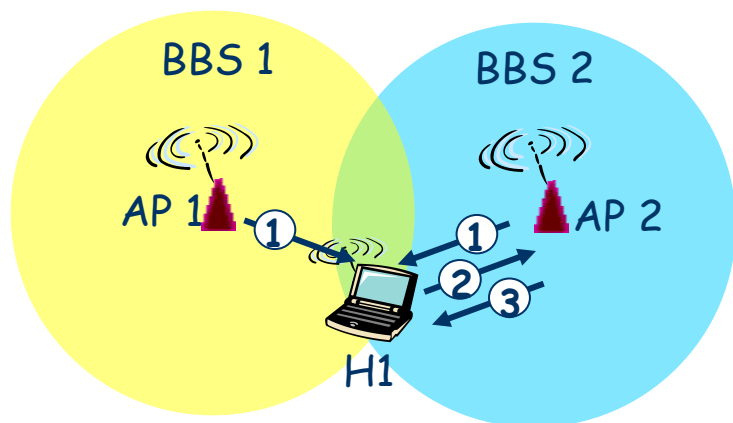
Συσχέτιση - Association

- **Ενεργή σάρωση:** αποστολή διερευνητικής αίτησης "probe Request" σε συγκεκριμένους διαύλους και λήψη απάντησης
- **Παθητική σάρωση:** εκτίμηση της ποιότητας επικοινωνίας από πλαίσια φάρους (beacon)
 - Τα πλαίσια φάρου περιέχουν το όνομα δικτύου (SSID) και τη διεύθυνση MAC του AP
- μπορεί ο σταθμός να κάνει πιστοποίηση αυθεντικότητας
- συνήθως, τρέχει στη συνέχεια το DHCP για να αποκτήσει διεύθυνση IP στο υποδίκτυο που ανήκει το AP
- Τα AP διατηρούν λίστα των συσχετισμένων σταθμών
 - Ιδιότητες των σταθμών (ρυθμός δεδομένων)
- Οι διευθύνσεις MAC των σταθμών διατηρούνται σε πίνακες προώθησης ανάλογα με τη θύρα που εντοπίζονται

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες

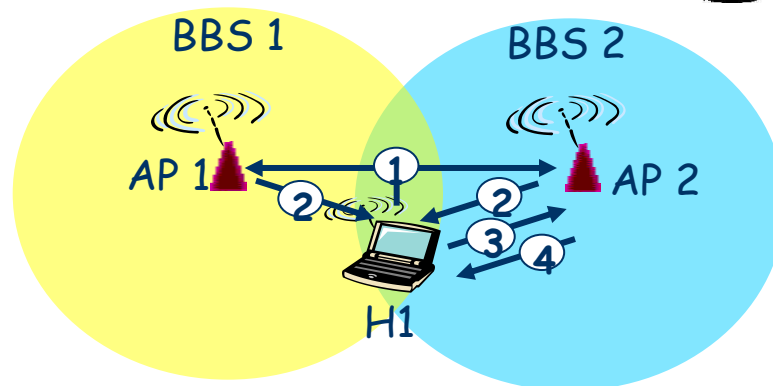


Παθητική/ενεργή σάρωση



Παθητική σάρωση:

- (1) αποστολή πλαισίων beacon από τα AP
- (2) αποστολή πλαισίου association Request: από H1 στο επιλεγέν AP
- (3) αποστολή πλαισίου association Response: από H1 στο επιλεγέν AP



Ενεργή σάρωση:

- (1) εκπομπή πλαισίου probe Request από H1
- (2) αποστολή πλαισίων probe Response από τα AP
- (3) αποστολή πλαισίου association Request: από H1 στο επιλεγέν AP
- (4) αποστολή πλαισίου association Response: από H1 στο επιλεγέν AP

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Πιστοποίηση αυθεντικότητας

- 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

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Εκκίνηση ESS

- Το δίκτυο με υποδομή προσδιορίζεται από την ESSID
- Όλα τα AP έχουν διαρθρωθεί σύμφωνα με αυτήν την ESSID
- Οι σταθμοί όταν ενεργοποιούνται αποστέλλουν probe Requests και εντοπίζουν το AP με το οποίο θα συσχετισθούν:
 - "το καλύτερο" AP με την δοθείσα ESSID
 - "το καλύτερο" AP, εάν η επιθυμητή SSID είναι "ANY"

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Εκκίνηση IBSS

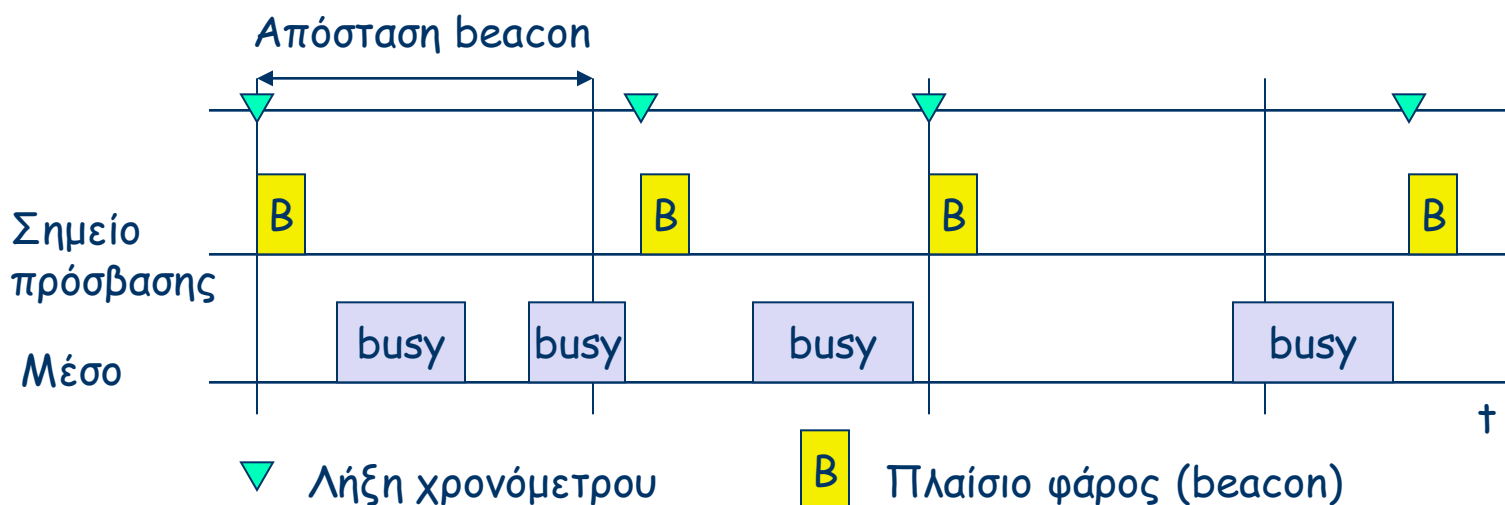
- Ο σταθμός που λειτουργεί σε IBSS "αναζητεί" πλαίσια beacon που περιέχουν όνομα δικτύου (SSID) που ταιριάζει με τη δική του
 - Λήψη πλαισίων beacon από το AP, με ταιριαστό όνομα δικτύου, $\Rightarrow$ συσχετισμό του σταθμού με το AP
 - Λήψη πλαισίων beacon από άλλον σταθμό που λειτουργεί σε IBSS, $\Rightarrow$ είσοδο του σταθμού στο IBSS
 - Μη λήψη πλαισίων beacon με ταιριαστό όνομα δικτύου, $\Rightarrow$ έναρξη εκπομπής πλαισίων beacon από τον υπόψη σταθμό
- Όλοι οι σταθμοί στο δίκτυο IBSS συνεργάζονται στην αποστολή πλαισίων beacon
 - Ξεκινούν ένα τυχαίο μετρητή (timer) πριν τη στιγμή που θα πρέπει να σταλεί το επόμενο πλαίσιο beacon
 - Ο σταθμός του οποίου το χρονόμετρο λήγει πρώτο αποστέλλει το επόμενο πλαίσιο beacon

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Συγχρονισμός (δίκτυο με υποδομή)

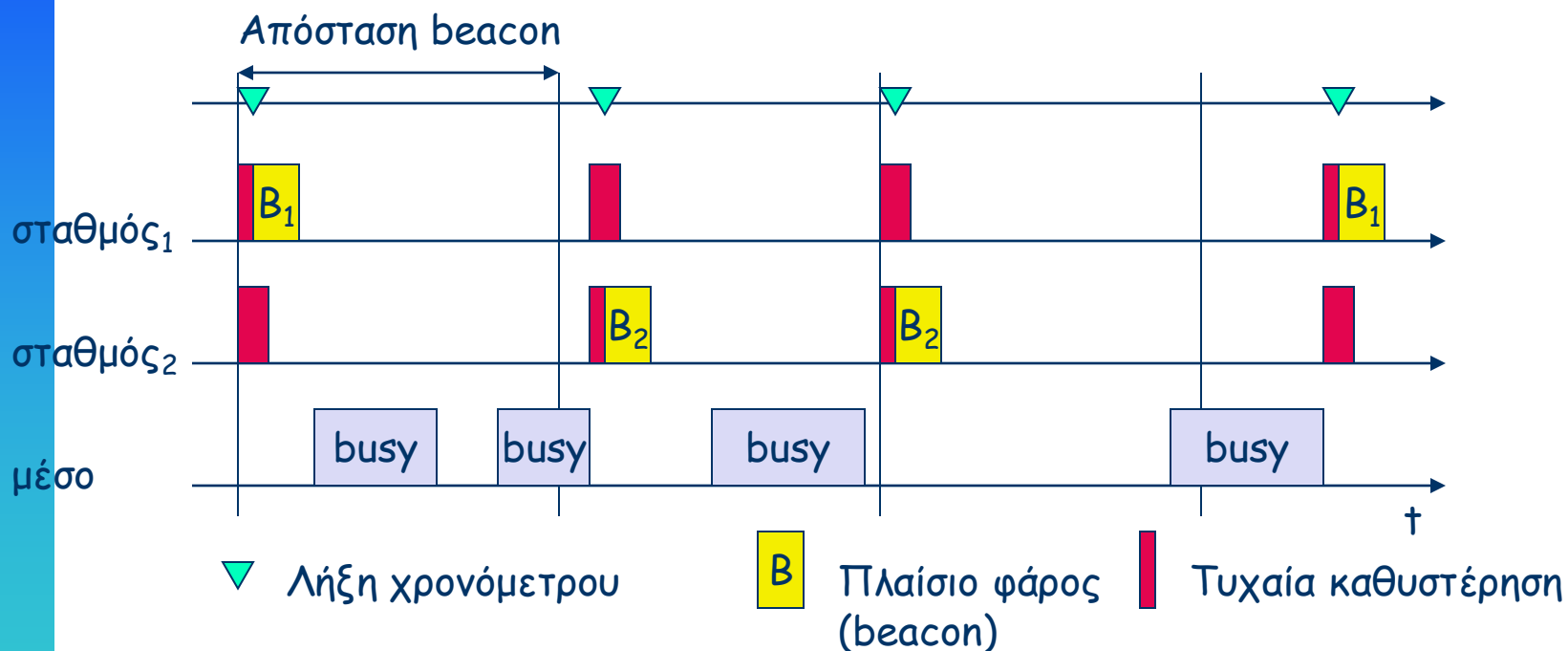
- Το σύστημα είναι συγχρονισμένο!
- Οι σταθμοί διατηρούν ρολόγια που συγχρονίζονται βάσει πληροφορίας (πλαίσια beacon) που εκπέμπει το σημείο πρόσβασης



IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Συγχρονισμός (ad-hoc)

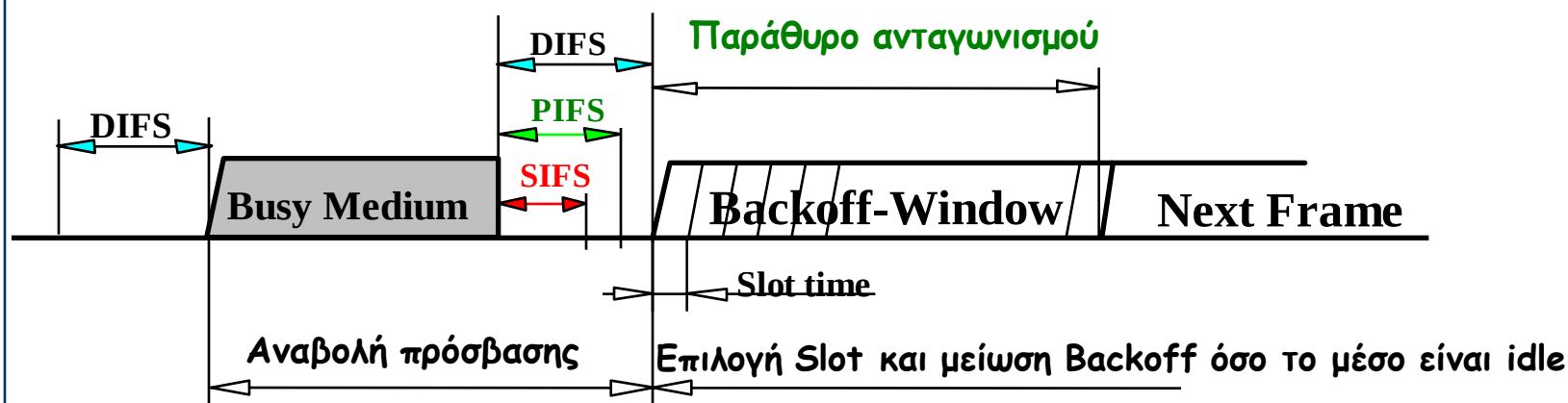


IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Inter-frame spacing

Ελεύθερη πρόσβαση όταν το μέσο
είναι ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS

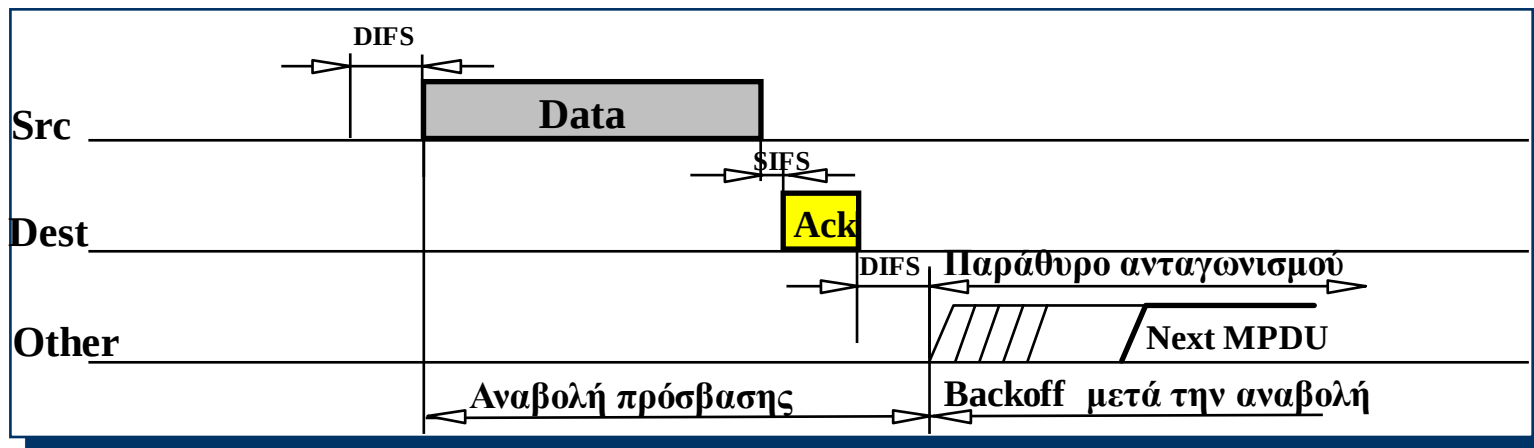


- Inter frame spacing απαιτείται για τις μεταδόσεις στο στρώμα MAC
 - SIFS = Short InterFrame Space
 - PIFS = PCF InterFrame Space
 - DIFS = DCF InterFrame Space
- Backoff timer: εκφράζεται σε αριθμό time slots
 - Για DSSS PHY: 20μs/slot

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Πλαίσια data και η επαλήθευσή τους

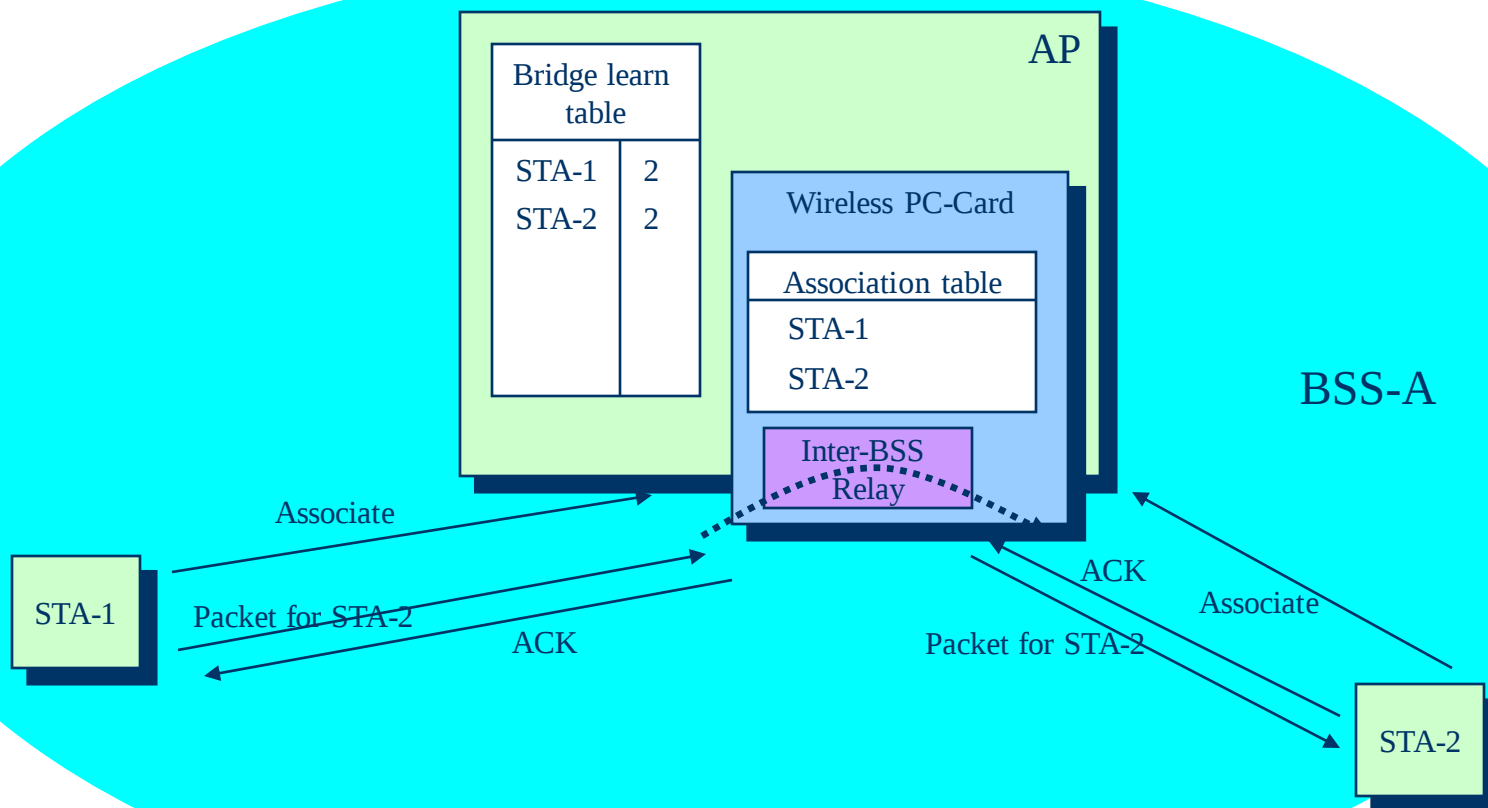


- Οι επαληθεύσεις στέλνονται μετά από SIFS
- Απαιτείται να παρέλεθει χρονικό διάστημα DIFS πριν το μέσον θεωρηθεί ελεύθερο για χρήση

IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



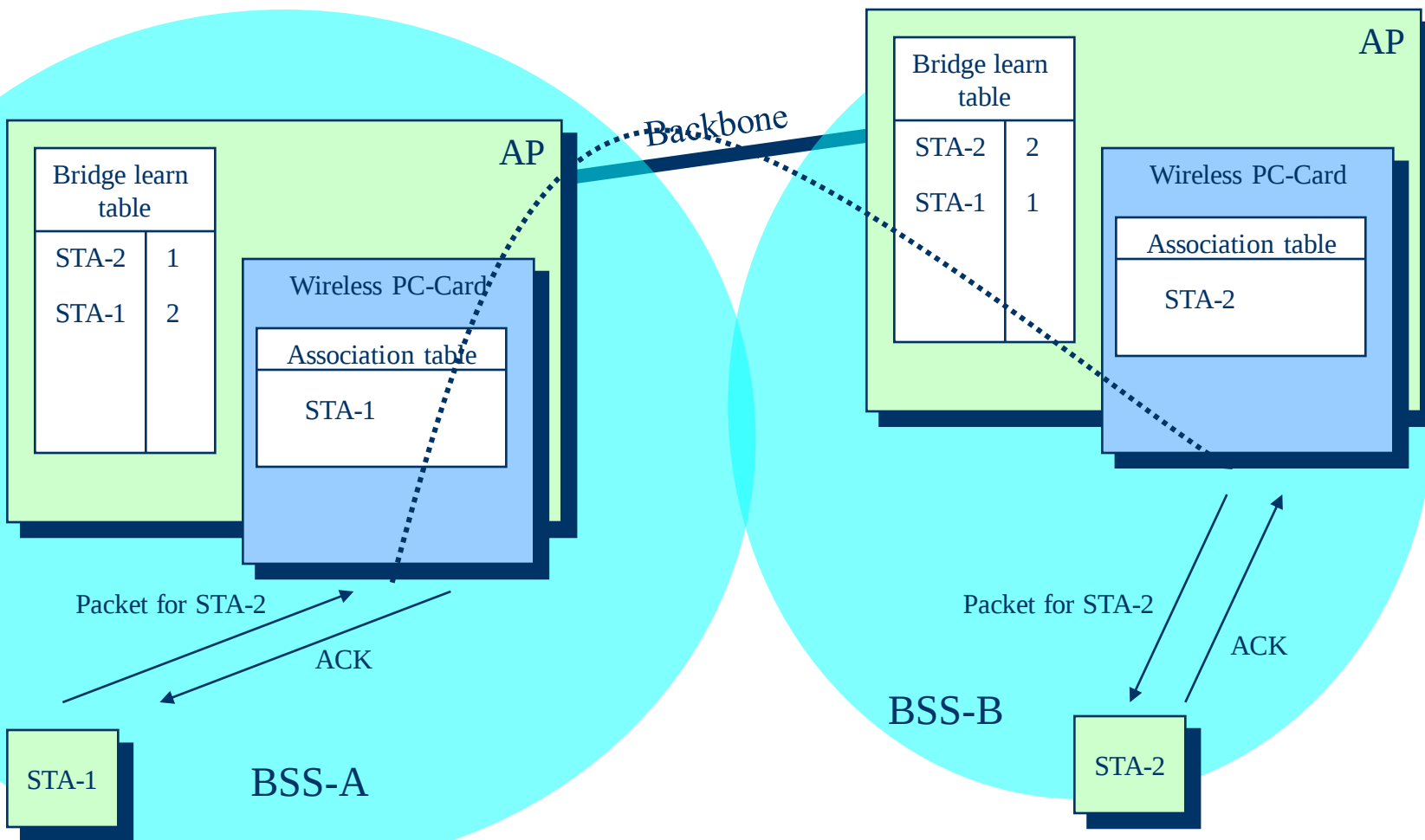
Ροή κίνησης: Λειτουργία BSS



IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



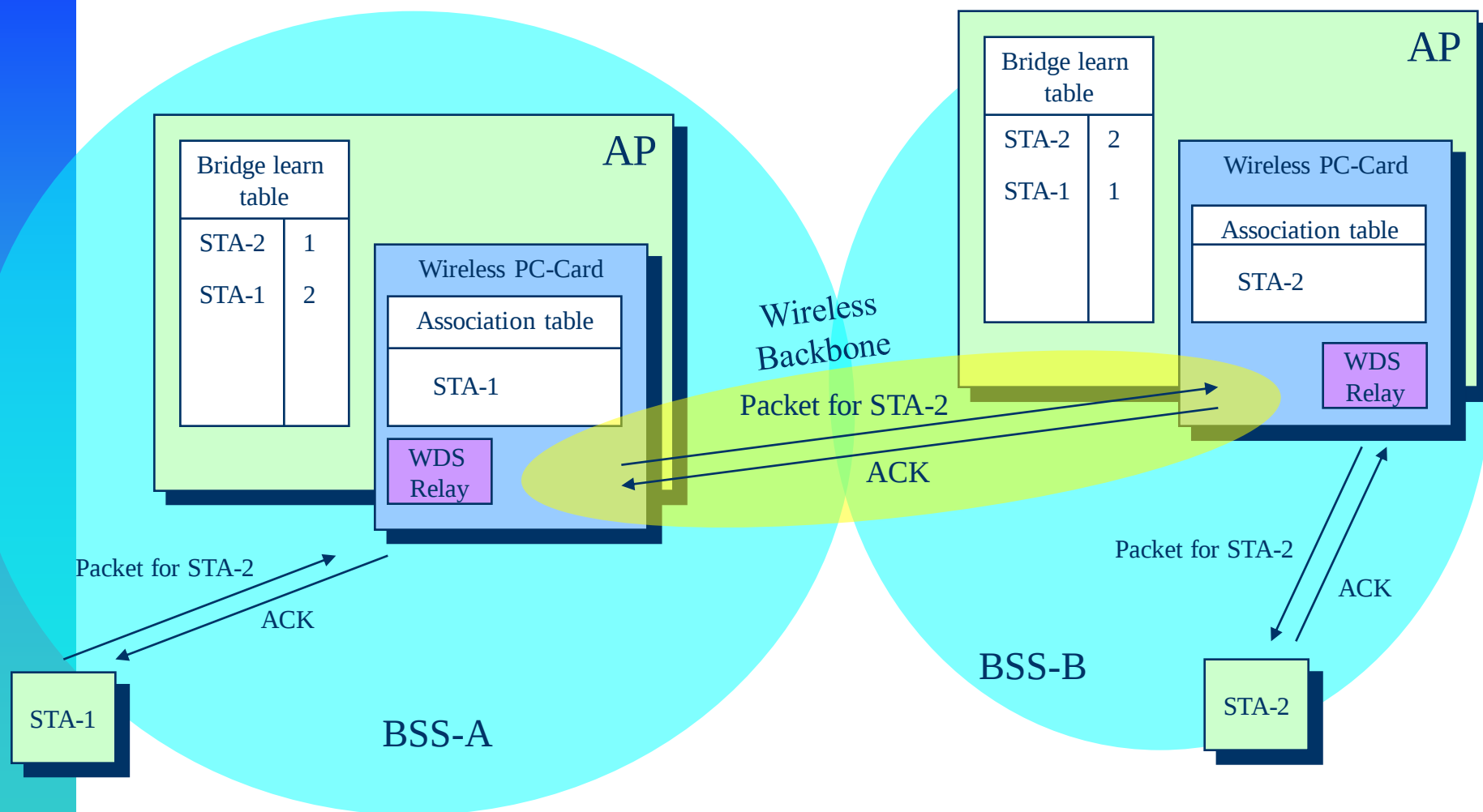
Ροή κίνησης: Λειτουργία ESS



IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



Ροή κίνησης: Λειτουργία WDS





Υπηρεσίες και μέθοδοι πρόσβασης

- Δύο κατηγορίες υπηρεσιών
 - Ασύγχρονη υπηρεσία δεδομένων (υποχρεωτική)
 - ανταλλαγή δεδομένων βάσει "best-effort"
 - Υπηρεσία με χρονικούς περιορισμούς (προαιρετική)
 - σφυγμομέτρηση (polling) των σταθμών
- Δύο τύποι λειτουργίας συντονισμού
 - **DCF** (Distributed Coordination Function)
 - **PCF** (Point Coordination Function)
- Μέθοδοι πρόσβασης
 - DCF CSMA/CA (υποχρεωτική)



Πρόσβαση στο μέσο

- 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
- Έχει λόγο εφαρμογής στα ασυρματικά δίκτυα:
 - **όχι φέρον** → **μπορείς να μεταδώσεις**
 - εάν μεταδίδει μόνο ένας σταθμός έχει διαθέσιμο όλο το εύρος ζώνης
 - **φέρον** → **μη μεταδώσεις**
 - εάν ακούσει άλλη μετάδοση, δεν θα προκαλέσει σύγκρουση
 - εάν δύο σταθμοί μεταδώσουν ταυτόχρονα, υπάρχει σύγκρουση



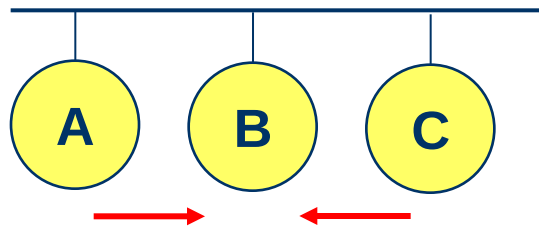
Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD:

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

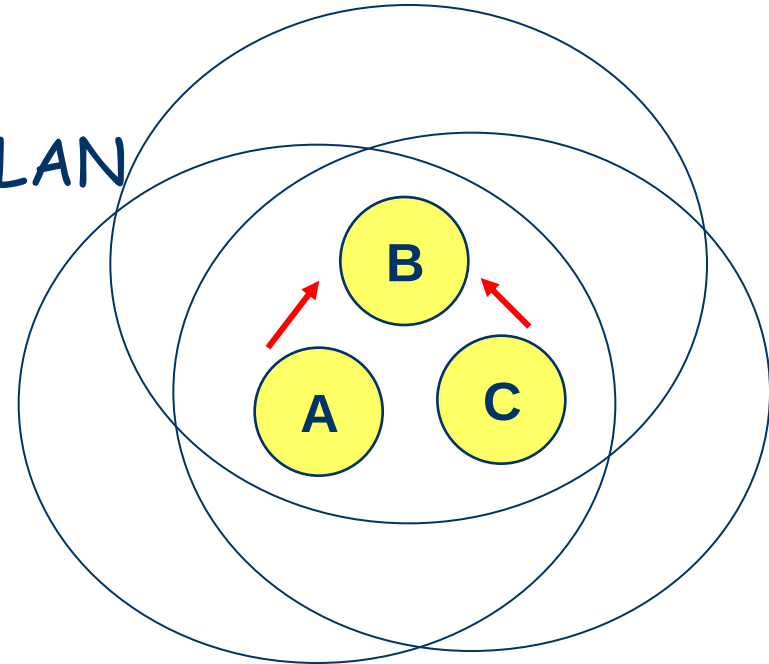


Διαφορά μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων δικτύων

Ethernet LAN



Ασύρματο LAN



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



Αποφυγή συγκρούσεων (Collision Avoidance, CA)

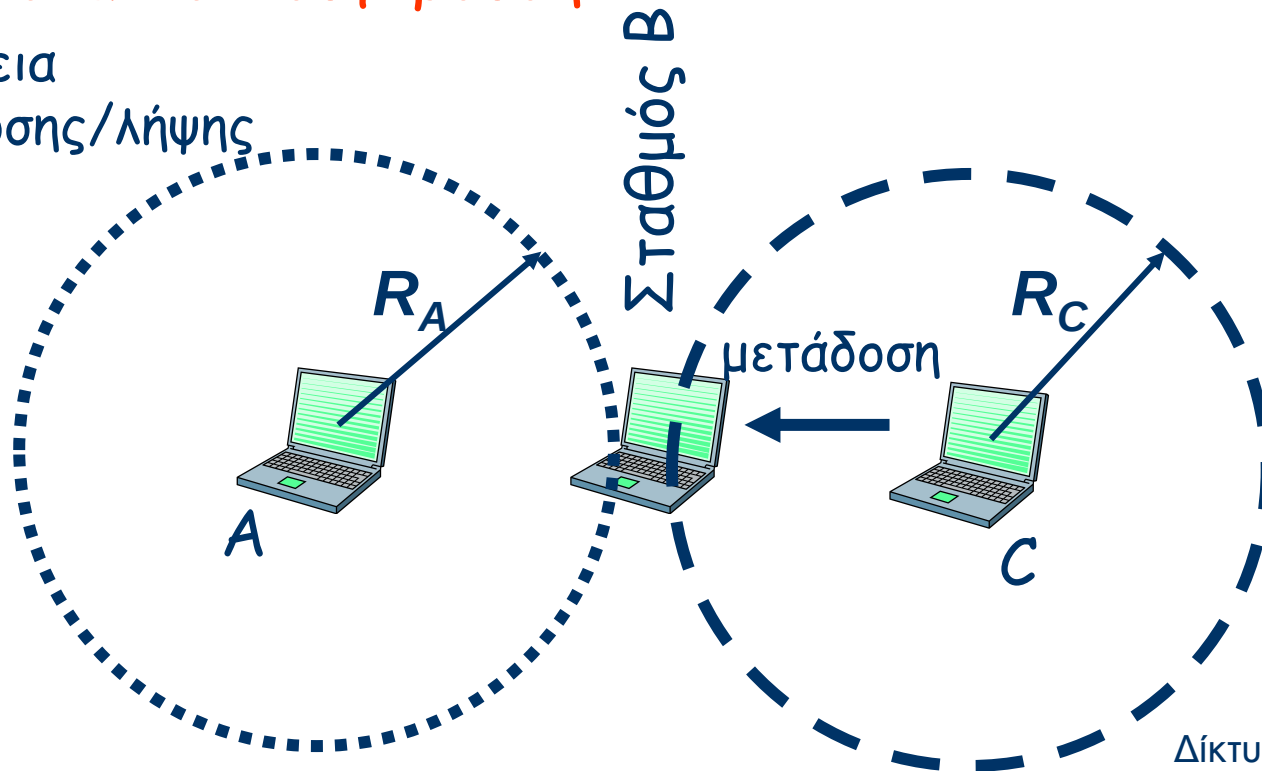
- Λειτουργία εκτίμησης ελεύθερου διαύλου (Clear Channel Assessment - CCA)
- Μειώνει την πιθανότητα να γίνει σύγκρουση
- Αλγόριθμος οπισθοχώρησης για ευστάθεια σε μεγάλα φορτία
- Δυνατότητα υλοποίησης διαφορετικών επιπέδων προτεραιότητας
- Προτεραιότητα στα πλαίσια ACK



Το πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

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

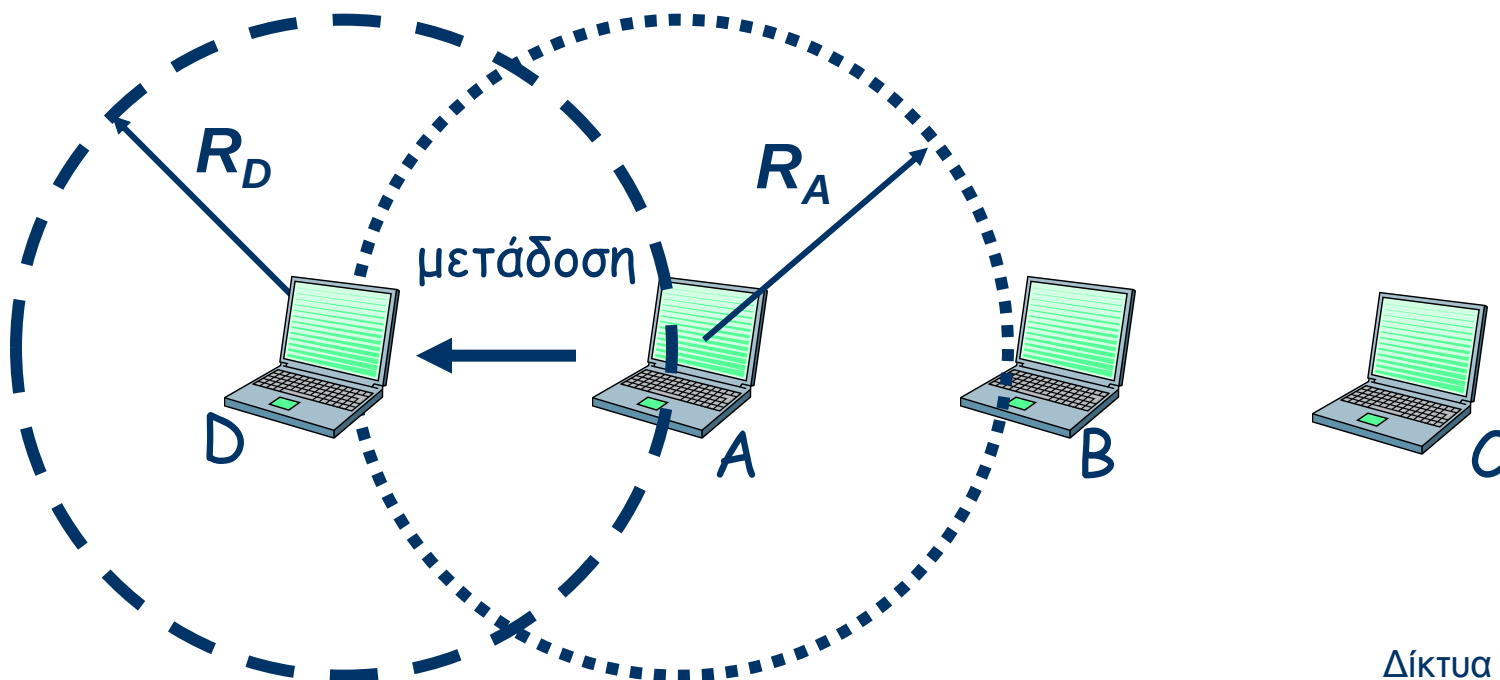
Εμβέλεια
μετάδοσης/λήψης
του A





Το πρόβλημα εκτεθειμένου κόμβου

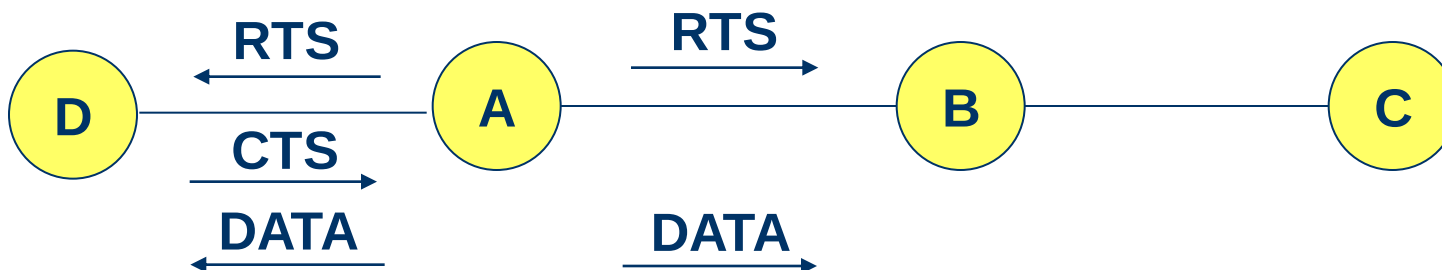
- Ο σταθμός B θέλει να μεταδώσει στον C, αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει τη μετάδοση του A προς τον D
 - **Απέχει από τη μετάδοση (μειωμένη απόδοση)**





Μια λύση

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



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



CSMA/CA

- Ο σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει, ακούει το μέσο μετάδοσης
- 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 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

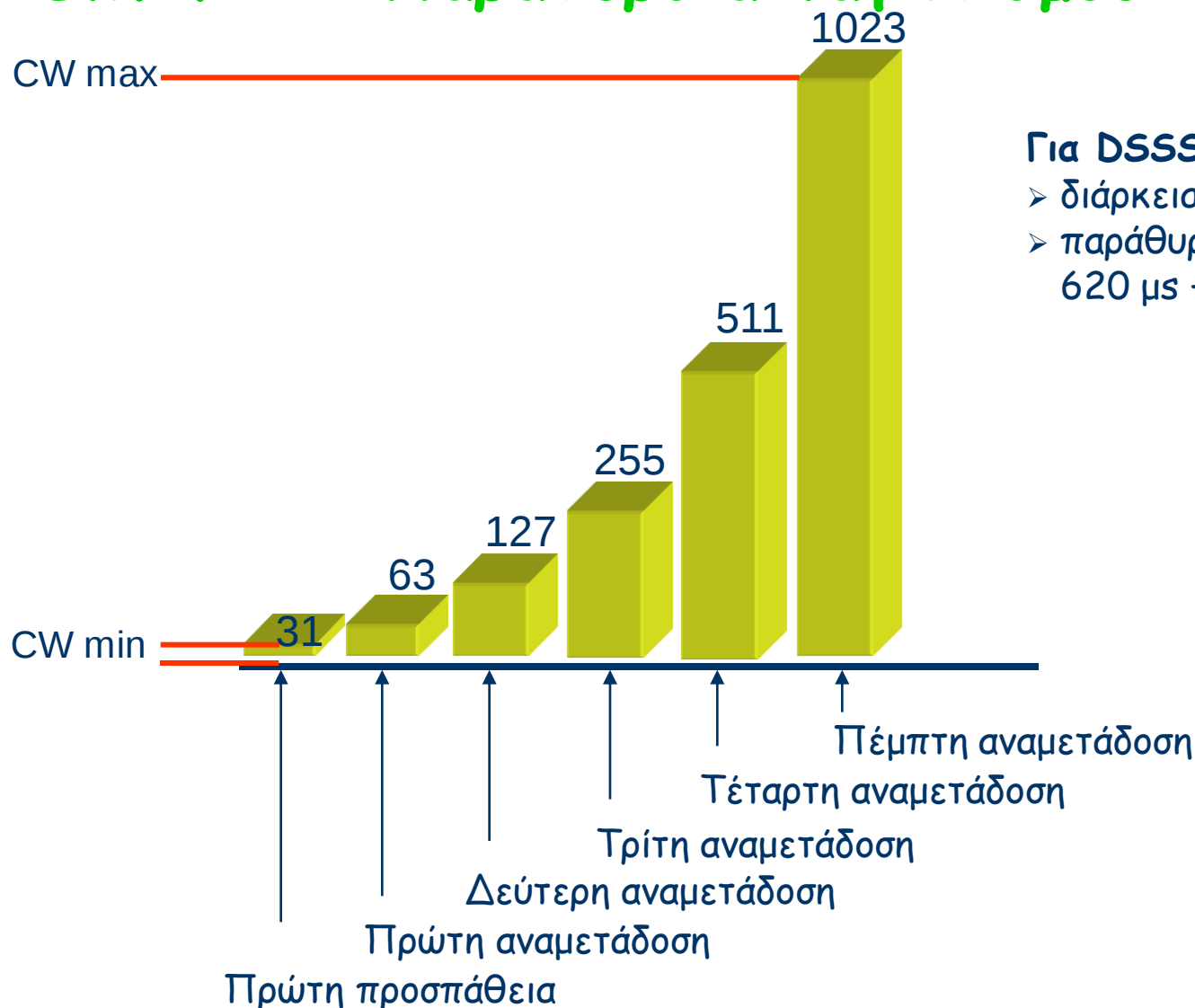
Timeline diagram illustrating the CSMA/CD protocol:

- Initial State:** The medium is busy (κατειλημμένο μέσο).
- DIFS:** After the busy period, a DIFS (Distributed Inter Frame Space) interval occurs.
- PIFS:** A PIFS (Priority Inter Frame Space) interval follows.
- SIFS:** A SIFS (Succesive Inter Frame Space) interval follows.
- Contention Period:** A contention period (ανταγωνισμός) occurs where stations attempt to transmit.
- Next Frame:** The next frame (επόμενο πλαίσιο) is transmitted.
- Labels:**
 - Άμεση πρόσβαση αν το μέσο είναι ελεύθερο $\geq$ DIFS
 - Επιλογή σχισμής και μείωση οπισθοχώρησης όσο το μέσο είναι ελεύθερο
 - Αποφυγή πρόσβασης
 - Διάρκεια σχισμής

- **Ανάγκαία 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: Παράθυρο ανταγωνισμού



Για DSSS PHY

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



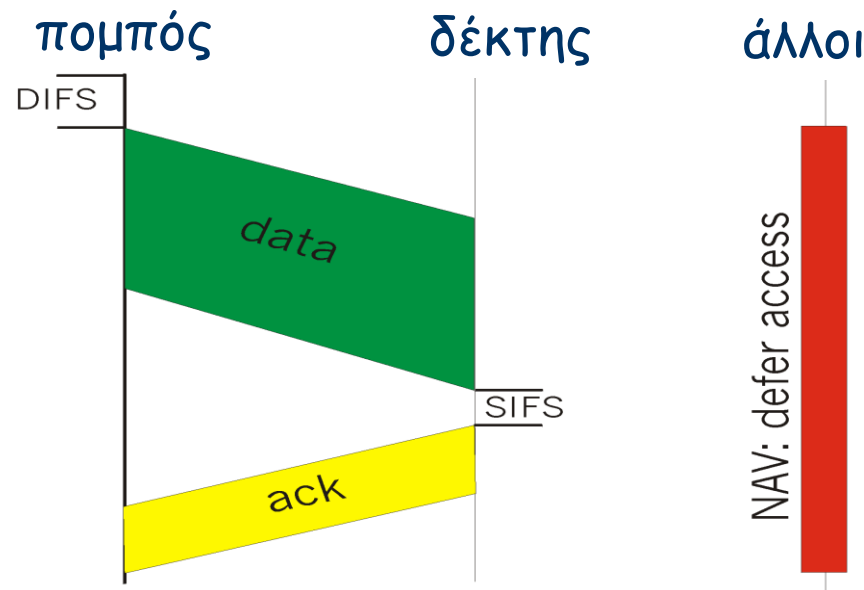
CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

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:

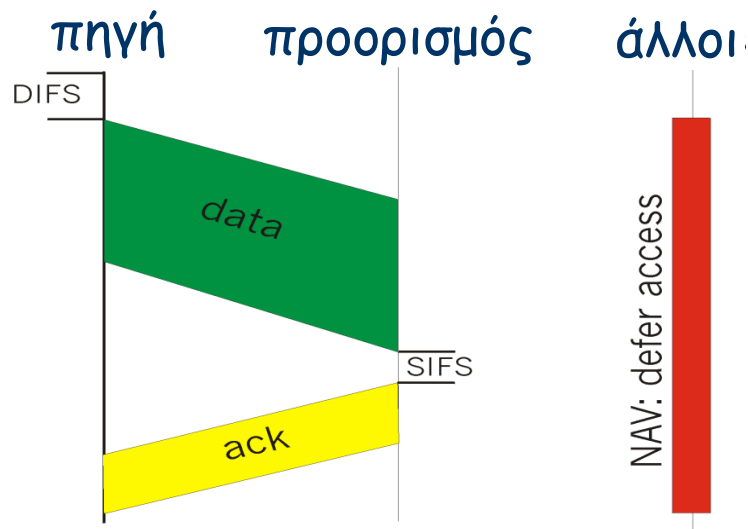
- αν το πλαίσιο ληφθεί σωστά αποστέλλεται ACK μετά από **SIFS** sec
(απαιτείται ACK λόγω του κρυμμένου τερματικού)





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



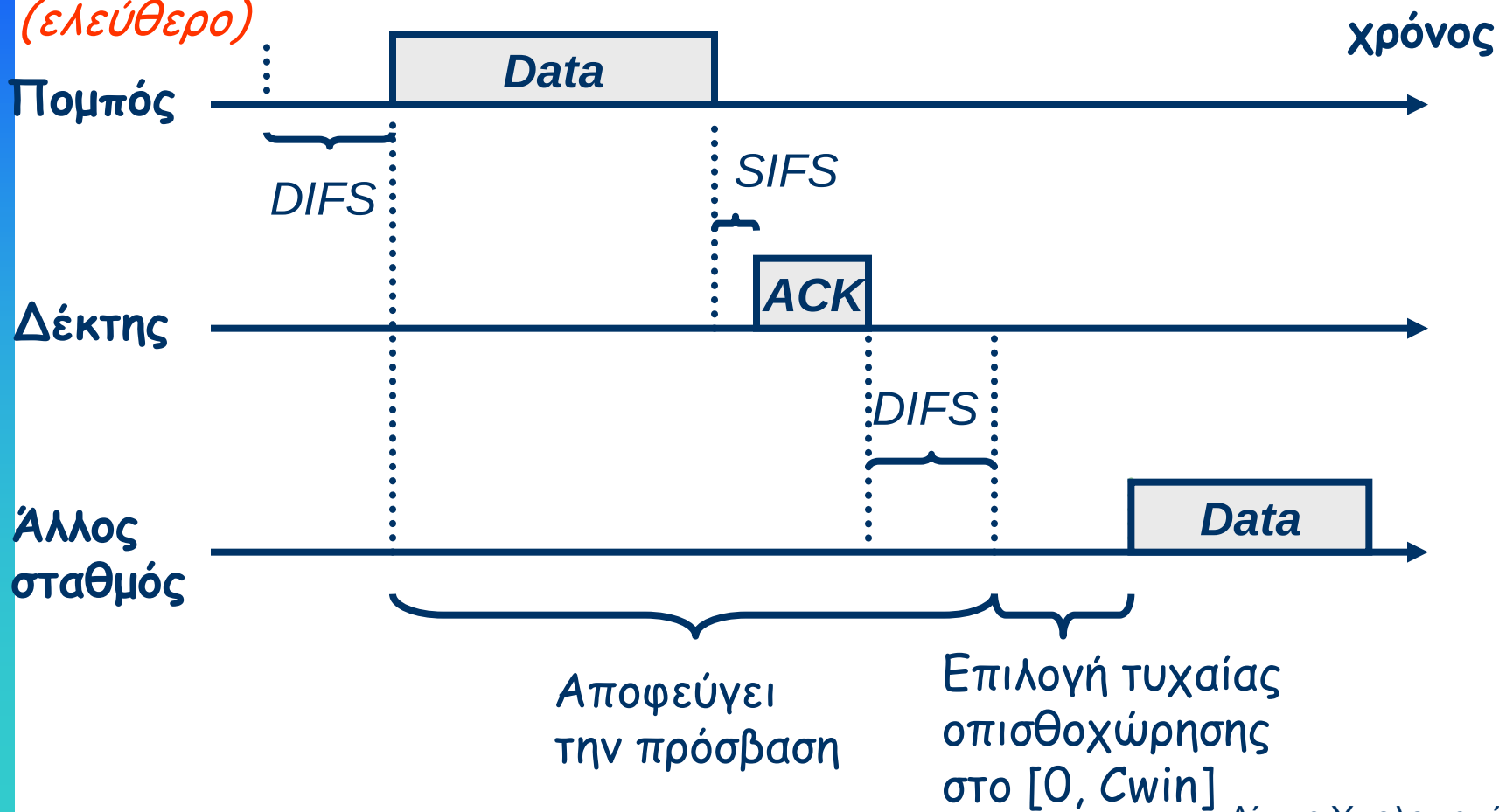
IEEE 802.11: MAC



CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

Ξεκινά η ακρόαση
του μέσου
(ελεύθερο)

C_{win} = παράθυρο ανταγωνισμού





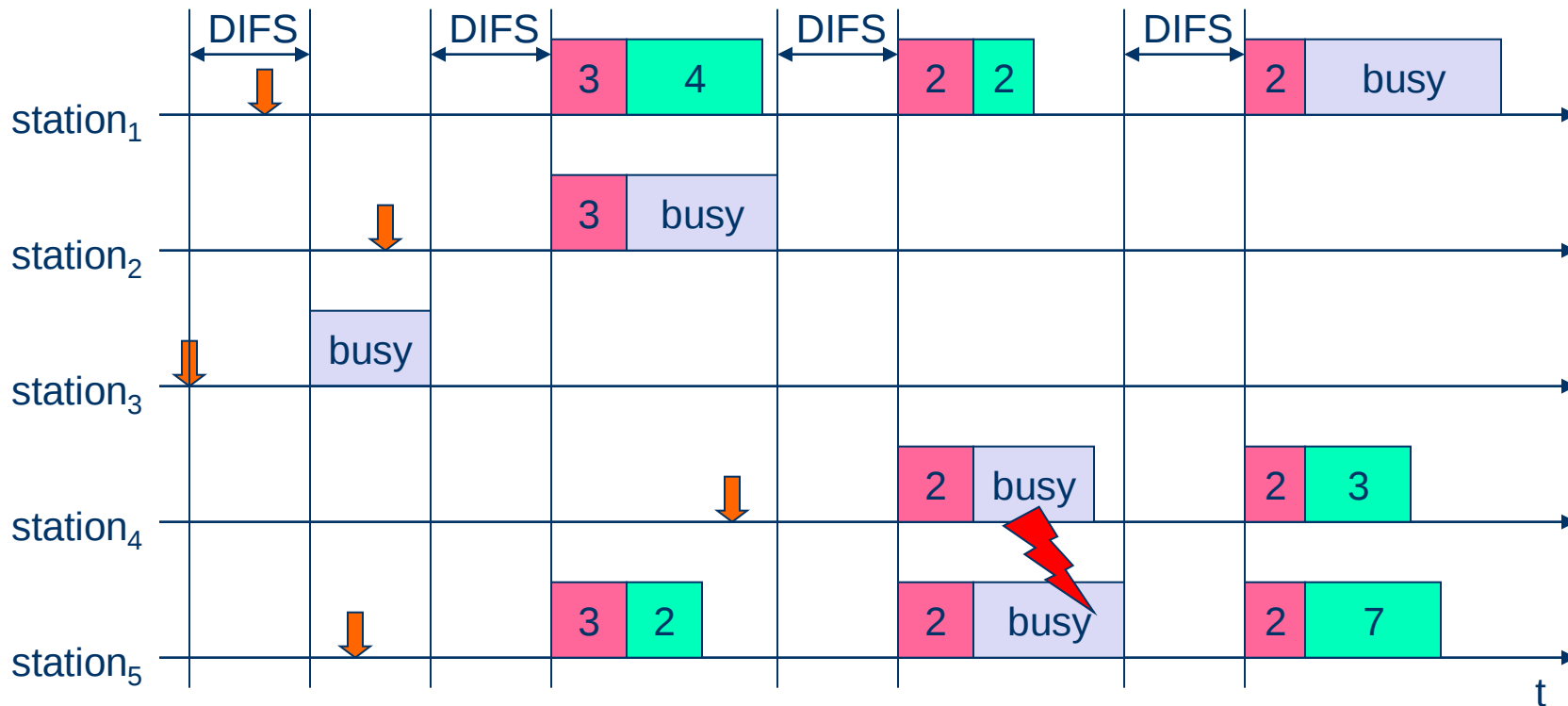
Network Allocation Vector (NAV)

- Μετρητής που διατηρεί κάθε σταθμός με την τιμή του χρόνου που πρέπει να περάσει μέχρι το μέσο να ελευθερωθεί πάλι
 - Περιλαμβάνει το διάστημα που θα απαιτηθεί, ώστε ο σταθμός που μεταδίδει να ολοκληρώσει τη μετάδοσή του
 - Ο σταθμός δε μπορεί να μεταδώσει μέχρι το NAV γίνει μηδέν
- Κάθε σταθμός υπολογίζει το χρόνο που θα χρειασθεί για να μεταδώσει το πλαίσιό του (βάσει του ρυθμού μετάδοσης και του μήκους πλαισίου)
 - Αυτή η πληροφορία περιλαμβάνεται στο πεδίο μήκους της επικεφαλίδας PLCP
 - Χρησιμοποιείται από τους άλλους σταθμούς για να θέσουν τη τιμή του NAV

IEEE 802.11: MAC



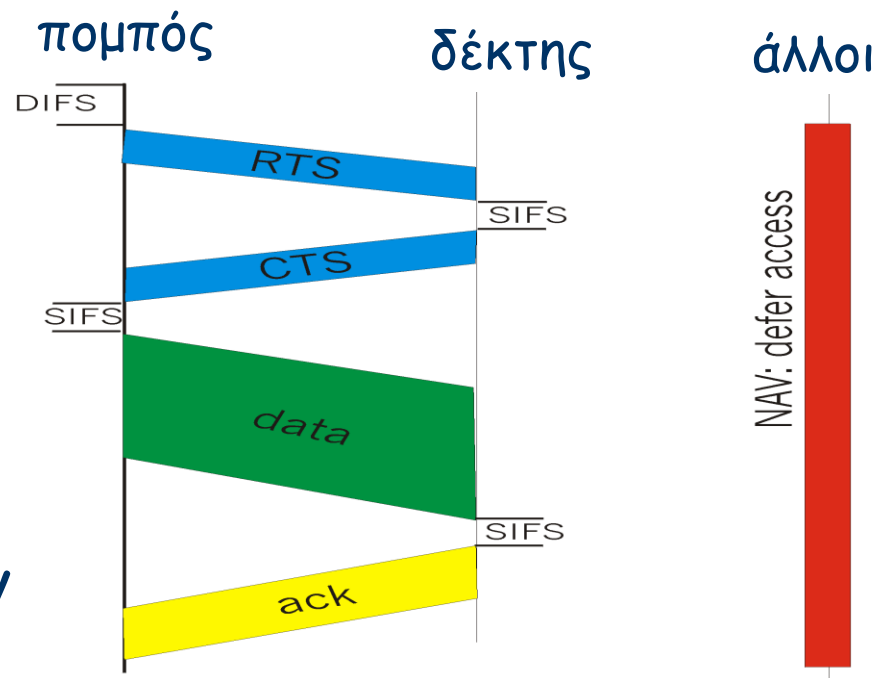
CSMA/CA: παράδειγμα





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

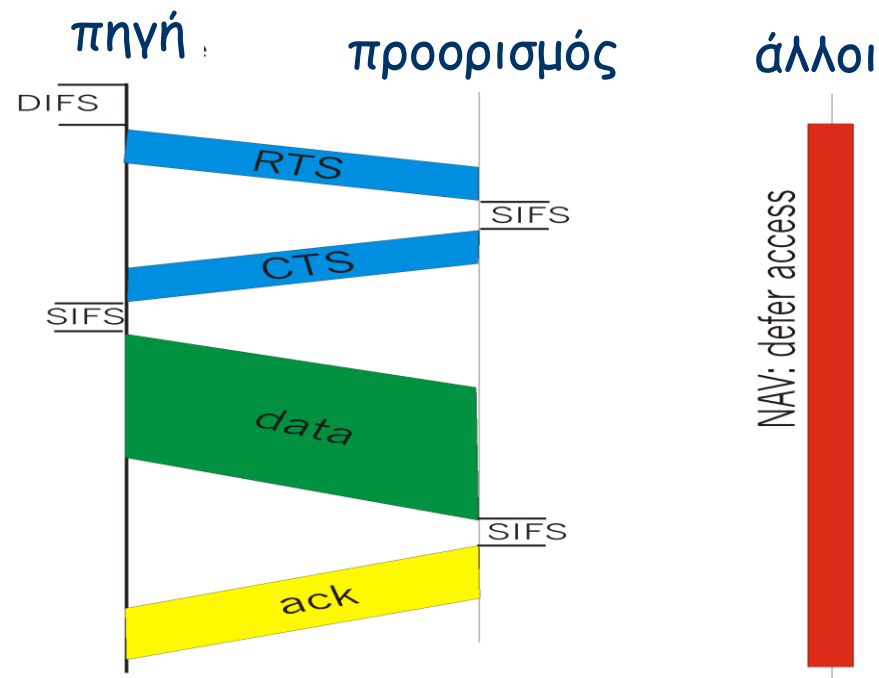




CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

➤ σύντομα RTS και CTS:

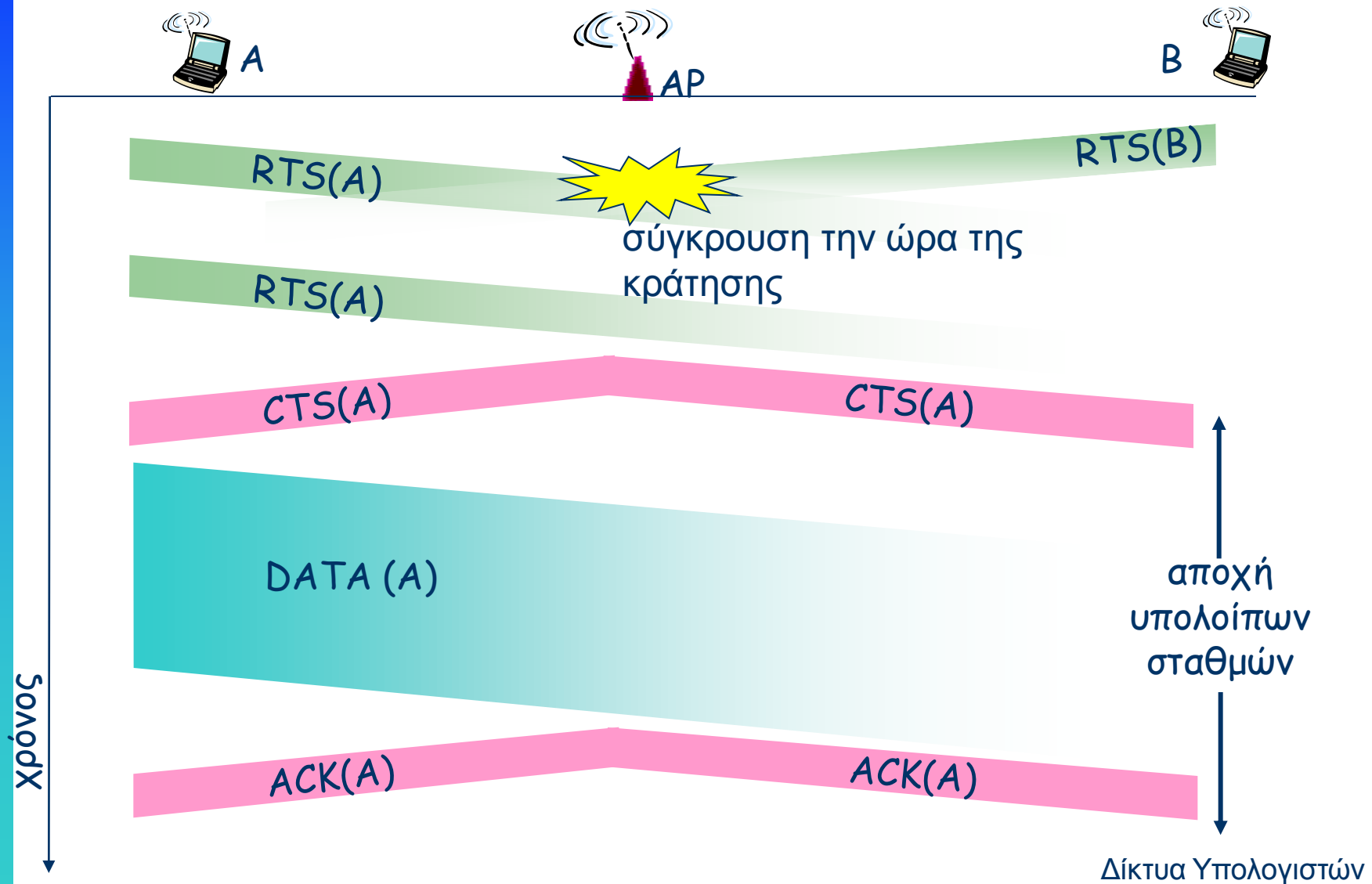
- μικρότερη πιθανότητα σύγκρουσης
- μικρότερης διάρκειας σύγκρουσης
- αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sense)



IEEE 802.11: MAC



Virtual Carrier Sense



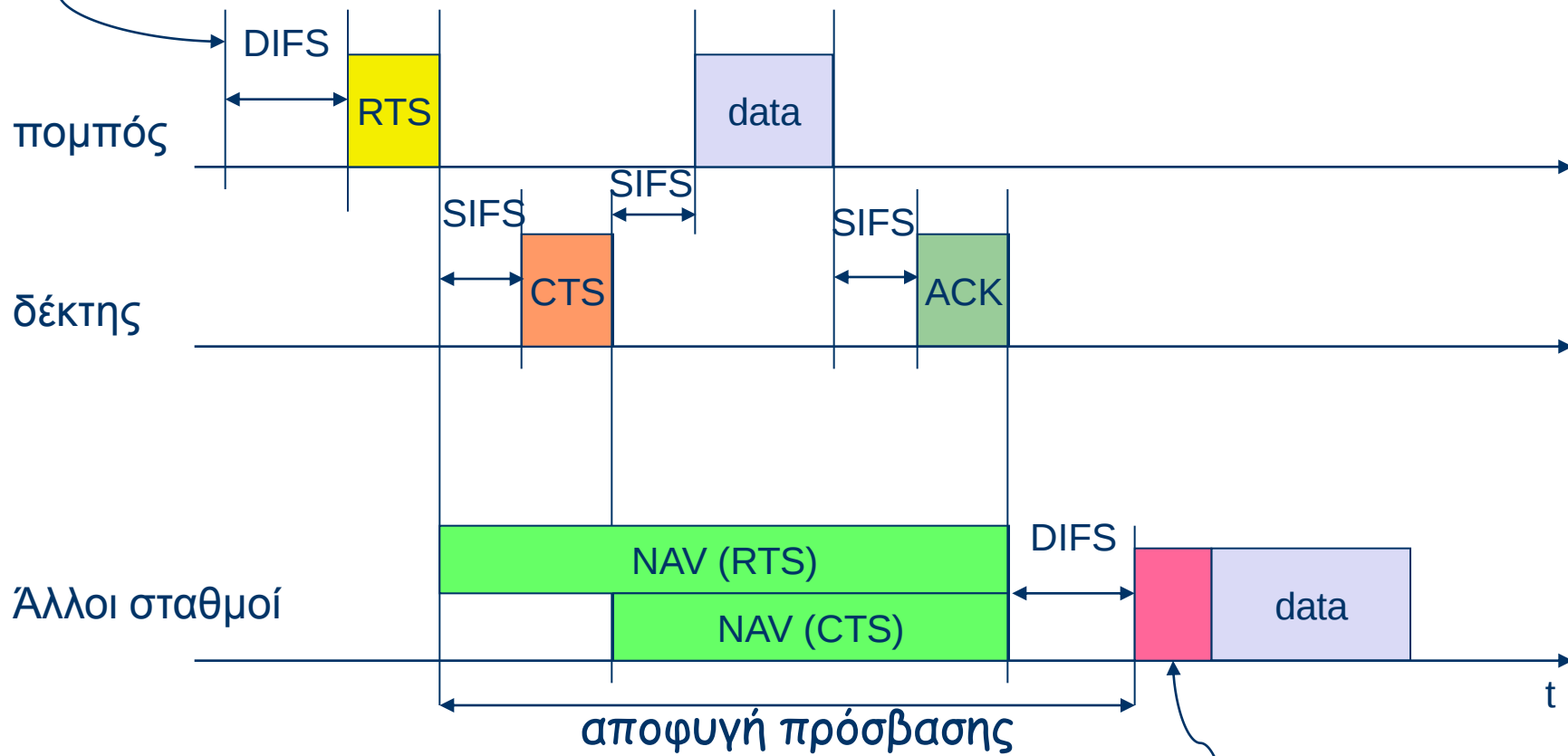
IEEE 802.11: MAC



CSMA/CS: χρονοδιάγραμμα με RTS/CTS

Ξεκινά η ακρόαση του μέσου (ελεύθερο)

C_{win} = παράθυρο ανταγωνισμού



Ανταγωνισμός: επιλογή τυχαίας οπισθοχώρησης στο $[0, C_{win}]$



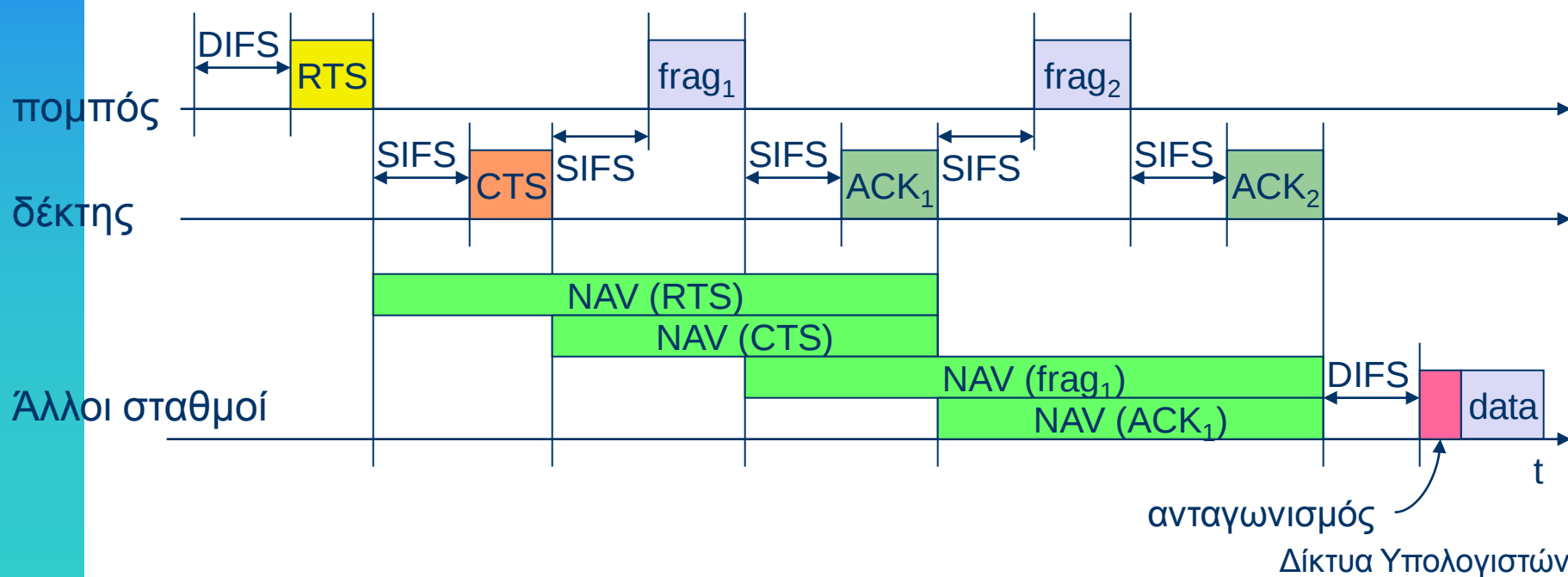
CSMA/CA: RTS/CTS + ACK

- 802.11 προσθέτει ACK στη σηματοδότηση για βελτίωση της αξιοπιστίας
 - συνέπεια: για αποφυγή σύγκρουσης με τις ACK, κάθε σταθμός που ακούει RTS δεν πρέπει να στείλει για χρόνο NAV
 - έτσι, ένας σταθμός δεν πρέπει να στείλει για χρόνο NAV αν ακούσει είτε RTS είτε CTS
- Σημείωση: το RTS/CTS είναι προαιρετικό στο 802.11, οπότε μπορεί να μην είναι πάντα ενεργοποιημένο
 - μερικές κάρτες δικτύου το ενεργοποιούν μόνο όταν το μήκος ενός πλαισίου υπερβαίνει δοθέν κατώφλι



CSMA/CA: Θρυμματισμός

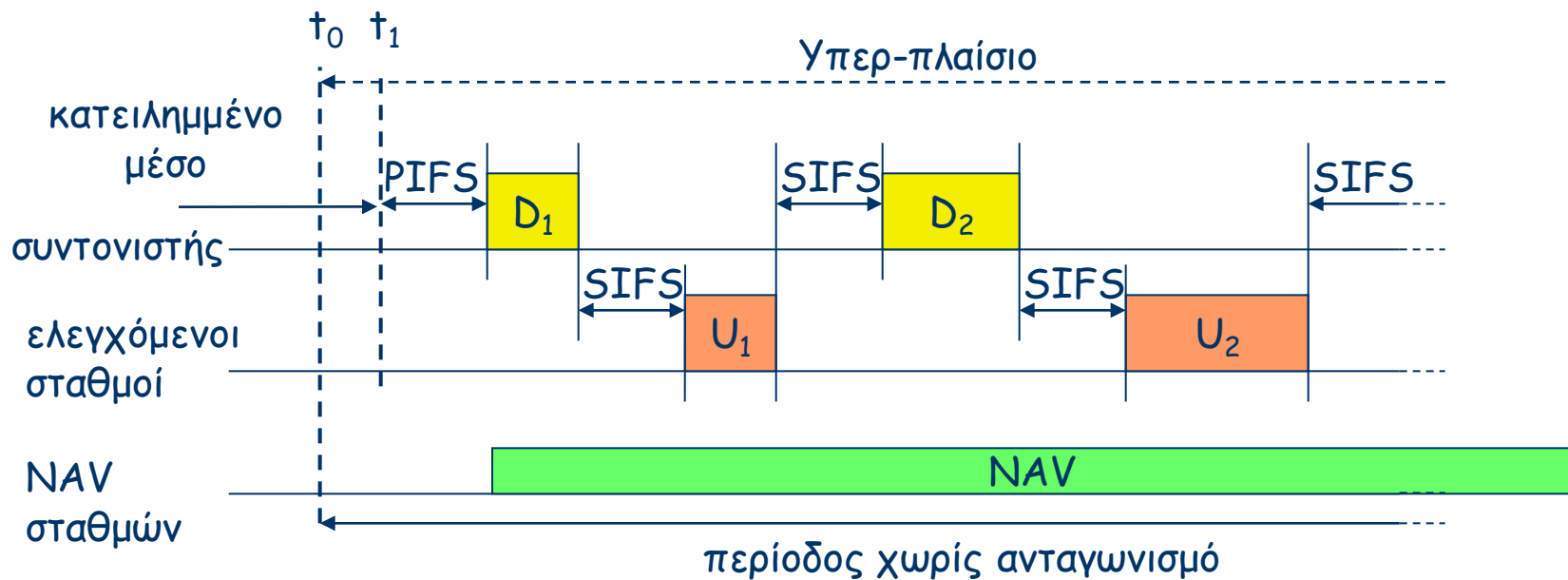
- Για να μειωθεί ο χρόνος κατάληψης του καναλιού σε περίπτωση σύγκρουσης, ένα πλαίσιο μπορεί να θρυμματισθεί και να μεταδοθεί ως πολλά μικρότερης διάρκειας πλαίσια





Point Coordination Function (PCF)

- Σε τι διαφέρει η PCF και η DCF;
- Ερωταποκρίσεις σταθμών → Polling

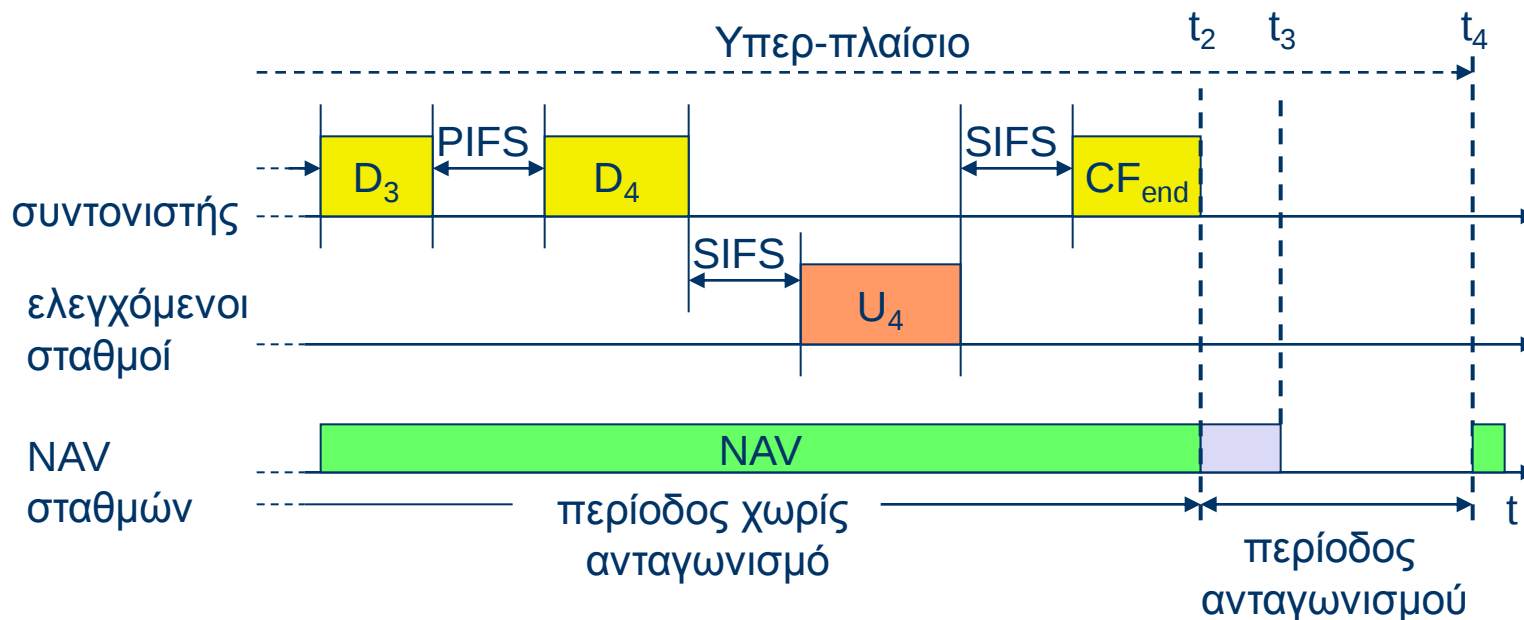


D: ροή καθόδου ή δεδομένα από τον συντονιστή

U: δεδομένα από ελεγχόμενο ασύρματο σταθμό



PCF (συνέχεια)





Τύποι πλαισίων

- Η μορφή της επικεφαλίδας MAC διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου:
 - Πλαίσια ελέγχου (Control Frames): παραλείπονται αρκετά πεδία
 - Πλαίσια διαχείρισης (Management Frames)
 - Πλαίσια δεδομένων (Data Frames)

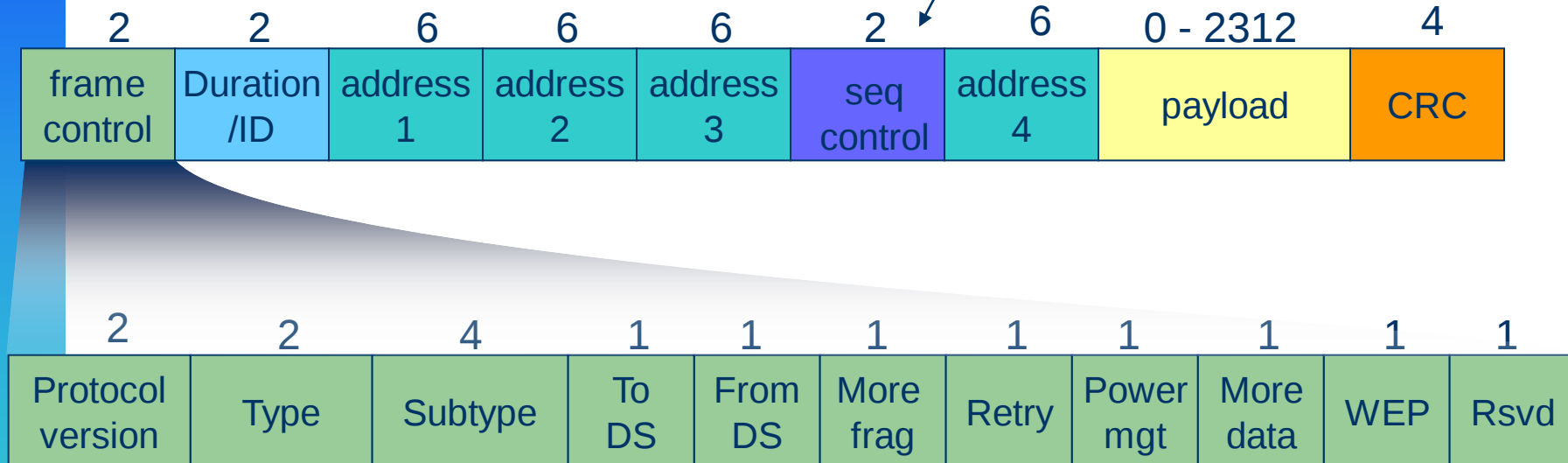
IEEE 802.11: MAC



Μορφή πλαισίου 802.11b

διάρκεια του χρόνου κράτησης (μs)
για τη μετάδοση (RTS/CTS)

αύξων αριθ. πλαισίου
(για αξιόπιστη μετάδοση)



τύπος πλαισίου

00: mgmt, 01: control (RTS, CTS, ACK,...)

10: data, 11: reserved



Πλαίσια διαχείρισης

- Beacon
 - Χρονοσήμανση, Beacon Interval, δυνατότητες, SSID, υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης, παράμετροι
 - Traffic Indication Map (TIM) για διαχείριση ισχύος
- Probe Request
 - SSID, δυνατότητες, υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης
- Probe Response
 - Χρονοσήμανση, Beacon Interval, δυνατότητες, SSID, υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης, παράμετροι
 - ίδιο με το Beacon εκτός από το TIM



Πλαίσια διαχείρισης

- Dis-association
 - Κωδικός αιτίας
- Authentication
 - Αλγόριθμος, ακολουθία, Status, Challenge Text
- De-authentication
 - Αιτία

IEEE 802.11: MAC



Το 1^ο byte του πεδίου ελέγχου πλαισίου

- **Protocol Version** (2 bit) - έκδοση του πρωτοκόλλου
- **Type** (2 bit) - διάκριση μεταξύ πλαισίων διαχείρισης (00), πλαισίων ελέγχου (01), ή πλαισίων δεδομένων (10)
- **Subtype** (4 bit) - εξειδίκευση του τύπου πλαισίου

2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol version	Type	Subtype	To DS	From DS	More frag	Retry	Power mgt	More data	WEP	Rsvd

IEEE 802.11: MAC



Το 2^ο byte του πεδίου ελέγχου πλαισίου

- **To DS** (1 bit) - σημαία που τίθεται ίση με 1 όταν το πλαίσιο στέλνεται στο AP για προώθηση προς το σύστημα διανομής (DS) μέσω του AP, περιλαμβανομένης και της περίπτωσης όπου ο προορισμός βρίσκεται στο ίδιο BSS
- **From DS** (1 bit) - σημαία που τίθεται ίση με 1 όταν το πλαίσιο προέρχεται από το σύστημα διανομής (DS)
- **More Fragment** (1 bit) - σημαία που τίθεται όταν πρόκειται να ακολουθήσουν τεμάχια του ιδίου πλαισίου
- **Retry** (1 bit) - δείχνει ότι το πλαίσιο είναι επαναμετάδοση (για να αναγνωρίζονται αντίγραφα πλαισίων π.χ. σε περίπτωση απώλειας του ACK)

2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol version	Type	Subtype	To DS	From DS	More frag	Retry	Power mgt	More data	WEP	Rsvd



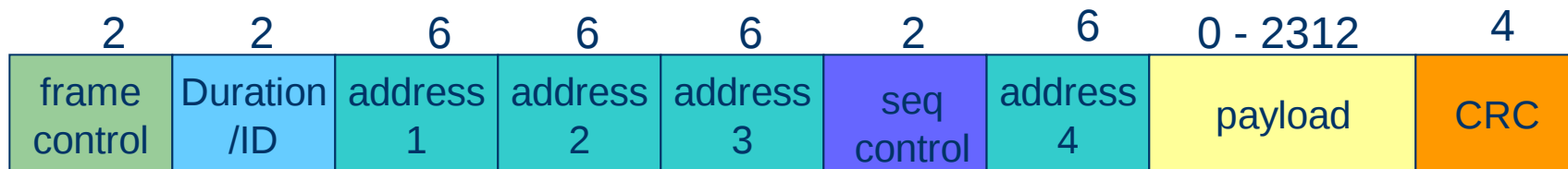
Το 2^ο byte του πεδίου ελέγχου πλαισίου

- **Power Management** (1 bit) - δείχνει την κατάσταση ισχύος που θα τεθεί στον σταθμό μετά τη μετάδοση του τρέχοντος πλαισίου (active, power saving)
- **More data** (1 bit) - χρησιμοποιείται για διαχείριση της ενέργειας: το AP δείχνει ότι υπάρχουν και άλλα πλαίσια στην ουρά για τον συγκεκριμένο σταθμό, ο σταθμός αποφασίζει να συνεχίσει το Polling ή τη μετάβαση σε active
- **WEP** (1 bit) - τα δεδομένα κρυπτογραφούνται με WEP
- **Order** (1 bit) το πλαίσιο αποστέλλεται με την υπηρεσία αυστηρής σειράς

2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol version	Type	Subtype	To DS	From DS	More frag	Retry	Power mgt	More data	WEP	Rsvd



Τα άλλα πεδία του πλαισίου

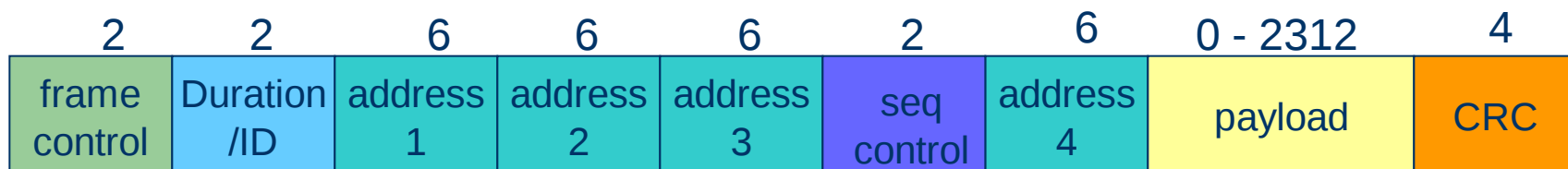


- **Duration/ID** (2 byte) - Στα πλαίσια Power-Save Poll είναι η ταυτότητα του σταθμού. Για όλα τα άλλα πλαίσια, περιέχει τη διάρκεια προς χρήση στον υπολογισμό του NAV
- **Sequence control** (2 byte) - αύξων αριθμός τεμαχίου (για την αναγνώριση της σειράς των τεμαχίων του ιδίου πλαισίου και εντοπισμό αντιγράφων)
- **Payload** (0 μέχρι 2312 byte)
- **CRC** (4 bytes)



Οι διευθύνσεις

- Το πλαίσιο μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι 4 διευθύνσεις
- Τα πεδία διευθύνσεων Address (6 byte έκαστη) περιλαμβάνουν την BSSID, διεύθυνση πηγής (SA), διεύθυνση προορισμού (DA), διεύθυνση πομπού (TA), διεύθυνση δέκτη (RA)
- Η σημασία τους εξαρτάται από τις τιμές των πεδίων To DS και From DS





Οι διευθύνσεις

- Η **Address1** είναι πάντα η διεύθυνση του δέκτη (άμεσου παραλήπτη του πλαισίου). Εάν το **To DS** είναι 1, τότε είναι η διεύθυνση του AP. Εάν το **To DS** είναι 0, τότε είναι η διεύθυνση του άλλου σταθμού
- Η **Address2** είναι πάντα η διεύθυνση του πομπού που μεταδίδει το πλαίσιο. Εάν το **From DS** είναι 1, τότε είναι η διεύθυνση του AP. Εάν το **From DS** είναι 0, τότε είναι η διεύθυνση του αποστέλλοντος σταθμού



IEEE 802.11: MAC



Πεδία διευθύνσεων

Bits: 2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol Version	Type	SubType	To DS	From DS	More Frag	Retry	Pwr Mgt	More Data	WEP	Rsvd
Frame Control Field										

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

DA: διεύθυνση προορισμού του πλαισίου

SA: διεύθυνση πηγής του πλαισίου

RA: διεύθυνση του δέκτη (επόμενου ενδιαμέσου παραλήπτη)

TA: διεύθυνση του πομπού AP (στο WDS που μεταδίδει το πλαίσιο)

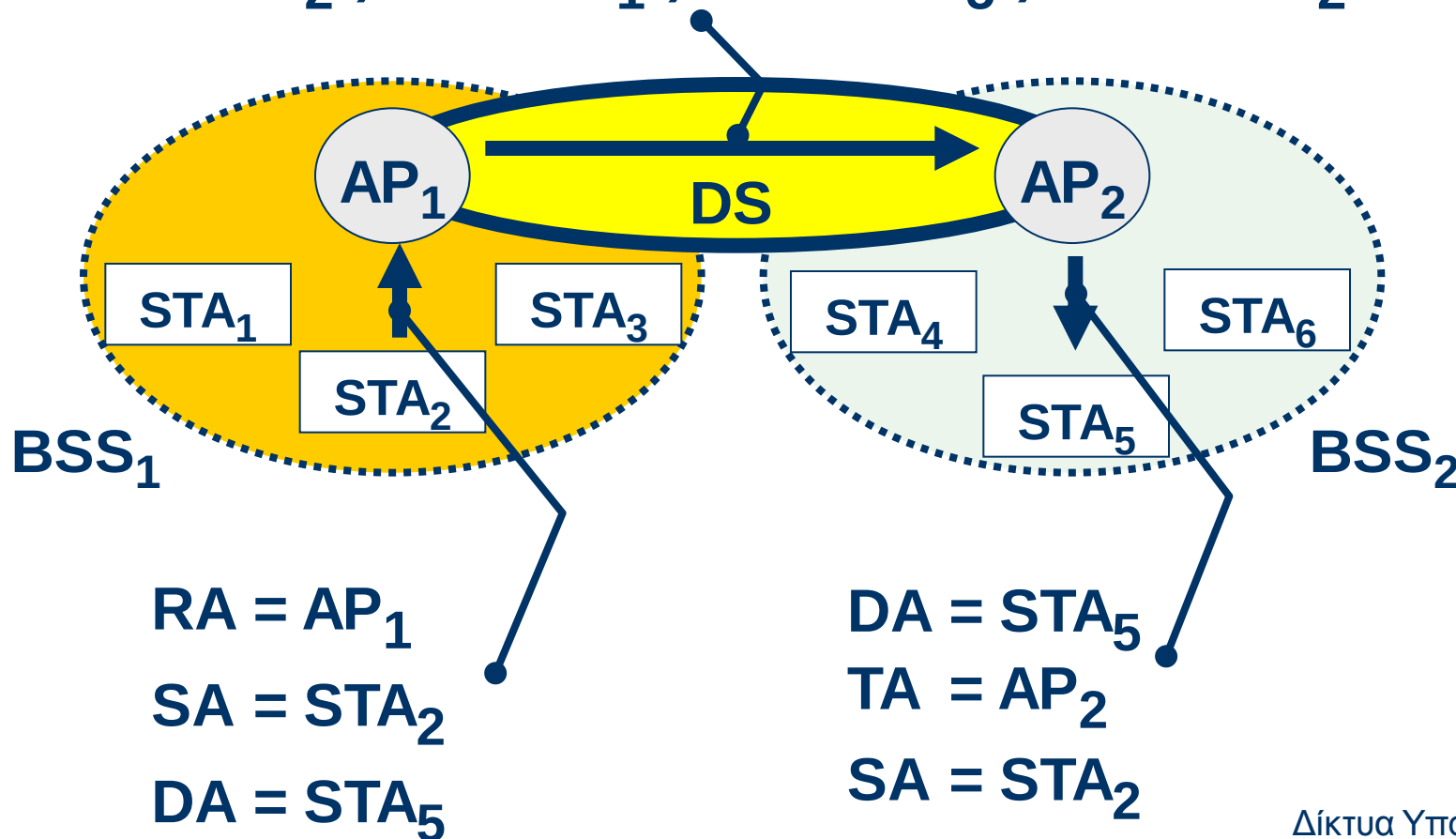
BSSID: διεύθυνση του AP

IEEE 802.11: MAC



Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων σε DS
Μετάδοση $STA_2 \rightarrow STA_5$

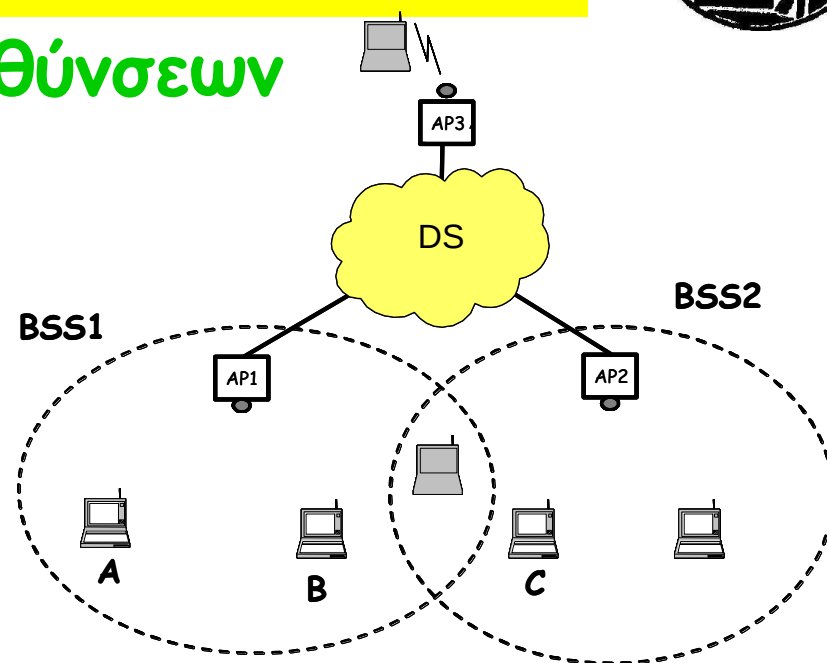
$RA = AP_2$, $TA = AP_1$, $DA = STA_5$, $SA = STA_2$



IEEE 802.11: MAC



Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων

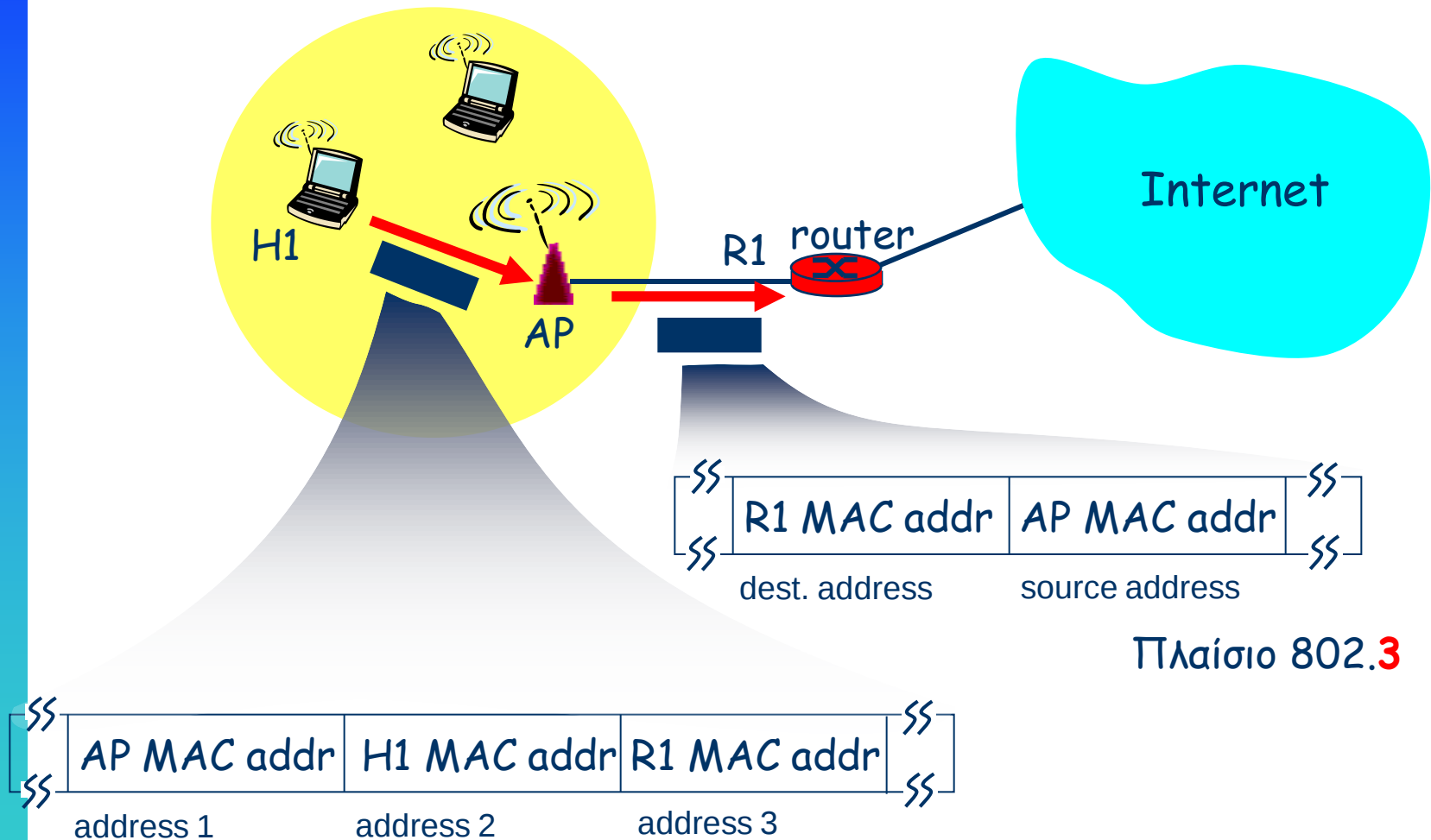


		Addr1	Addr2	Addr3	Addr4
$A \rightarrow B$	$A \rightarrow AP1$	AP1	A	B	-
	$AP1 \rightarrow B$	B	AP1	A	-
$A \rightarrow C$	$A \rightarrow AP1$	AP1	A	C	-
	$AP1 \rightarrow AP2$	AP2	AP1	C	A
	$AP2 \rightarrow C$	C	AP2	A	-

IEEE 802.11: MAC



Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων (με υποδομή)

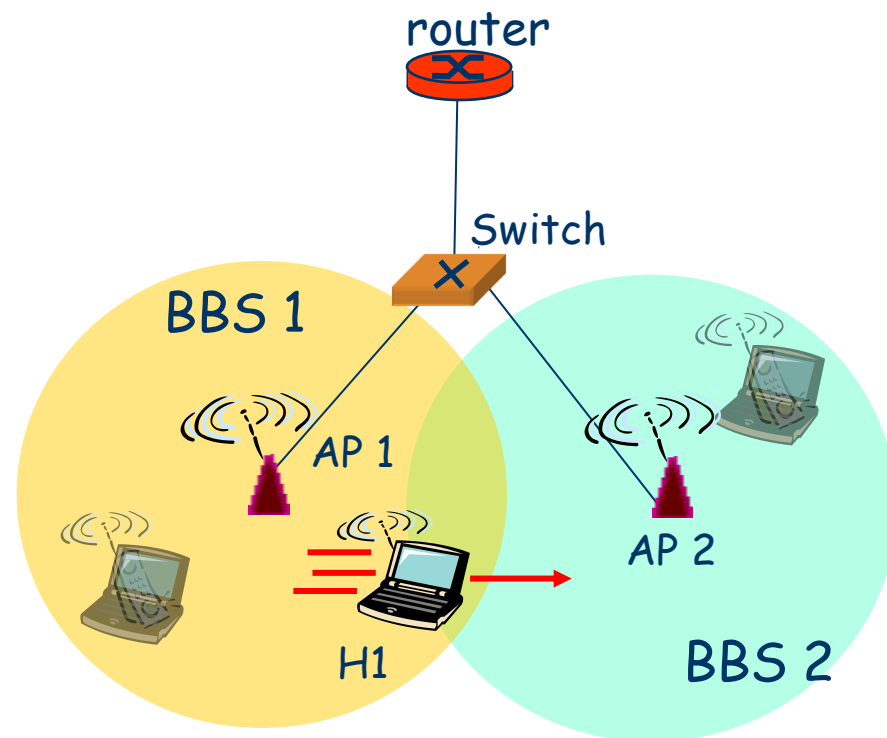


Πλαίσιο 802.11



Κινητικότητα στο ίδιο υποδίκτυο

- Ο H1 παραμένει στο ίδιο υποδίκτυο IP: η διεύθυνση IP μπορεί να παραμείνει ίδια
- Το switch που είναι συσχετισμένο με τον H1:
 - με αυτοεκπαίδευση θα μάθει από πού λαμβάνει πλαίσια του H1 και θα "θυμάται" σε ποια πόρτα θα στέλνει πλαίσια για τον H1



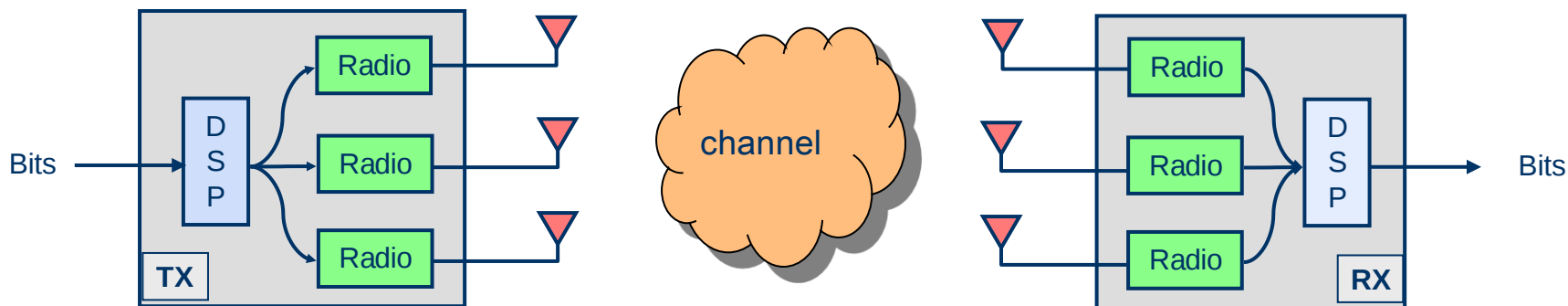


Νέα πρότυπα IEEE 802.11

Το πρότυπο 802.11n



- Το νέο πρότυπο 802.11n σκοπεύει σε WLAN υψηλών ταχυτήτων
 - Ρυθμοί 64-600Mbps
- Συμβατότητα προς τα πίσω
 - Παραδοσιακά a/b/g, πχ. σημείο πρόσβασης 802.11n και σταθμοί a/b/g
 - Μεικτή χρήση, πχ. σημείο πρόσβασης 802.11n και σταθμοί a/b/g/n
- MIMO



Το πρότυπο 802.11s: πλέγματα



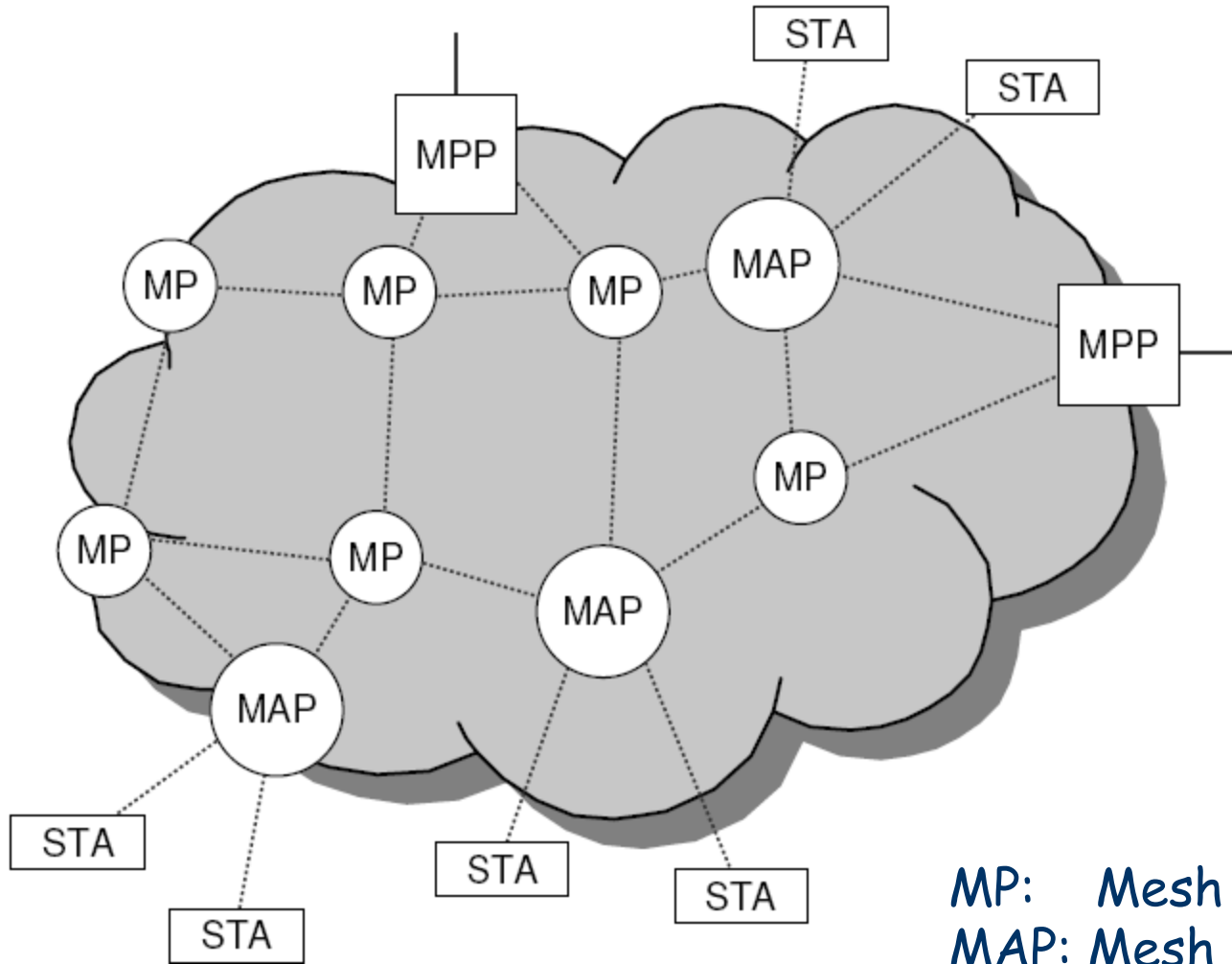
- Wireless Mesh Networks (WMN) είναι δίκτυα στα οποία κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνεί απ' ευθείας με έναν ή περισσότερους ομότιμους κόμβους.
- Διαφορετικά από τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα (π.χ. 802.11 WLAN) που απαιτούν κεντρικά σημεία πρόσβασης ενδιάμεσα.
- Κάθε κόμβος λειτουργεί όχι μόνο ως ένας host αλλά και ως router, που προωθεί πακέτα εκ μέρους άλλων κόμβων που μπορεί να μη βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης των προορισμών τους.
- Είναι δυναμικά αυτό-οργανούμενα και αυτοσχηματιζόμενα. Οι κόμβοι μπορεί αυτόματα να εγκαθιστούν και να διατηρούν πολλαπλή σύνδεση μεταξύ τους

Το πρότυπο 802.11s: πλέγματα



- Στο 802.11s προδιαγράφονται δίκτυα πλέγματα (mesh) για βελτιωμένη ραδιοκάλυψη και αποφυγή μοναδικών σημείων αστοχίας
 - Τα σημεία πλέγματος, Mesh Points (MP), σχηματίζουν ζεύξεις μεταξύ τους, πάνω από τις οποίες εγκαθίστανται διαδρομές μέσω πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Τα MP μπορεί να είναι:
 - μεμονωμένες συσκευές που χρησιμοποιούν υπηρεσίες mesh
 - Σημεία πρόσβασης στο πλέγμα, που παρέχουν πρόσβαση σε κινητούς σταθμούς
 - Πύλες προς σταθερά δίκτυα
 - Το 802.11s ορίζει ένα υποχρεωτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης το Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) και επιτρέπει τη χρήση εναλλακτικών
 - Το HWMP βασίζεται στο AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)

Το πρότυπο 802.11s: πλέγματα



MP: Mesh point
MAP: Mesh Access Point
MPP: Mesh Portal Point