



# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ασύρματα  
Τοπικά Δίκτυα



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



# Περιεχόμενα

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



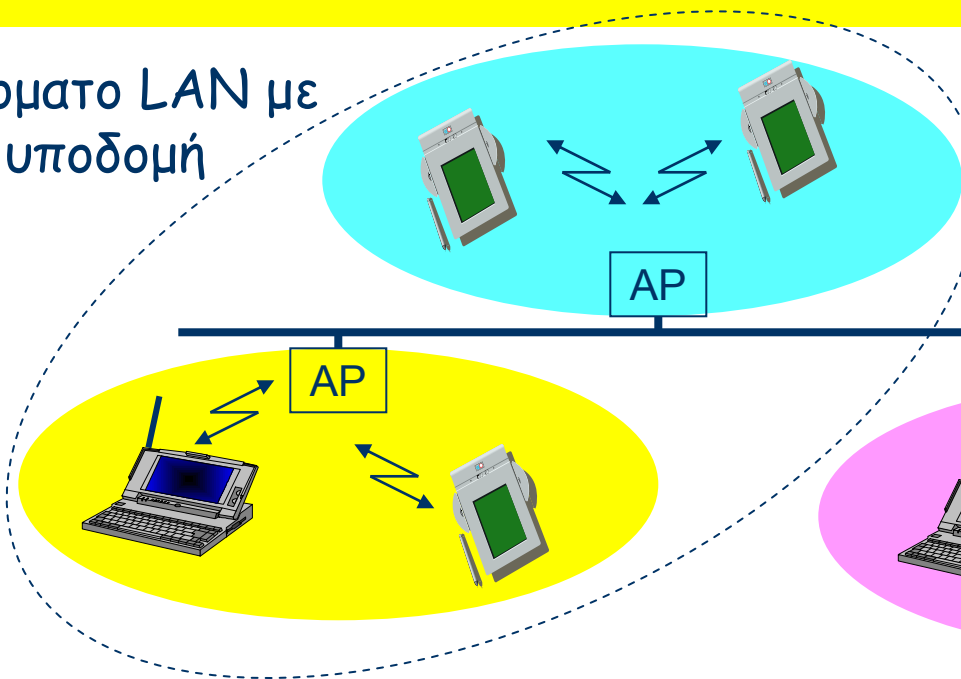
# Ασύρματα LAN

- 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

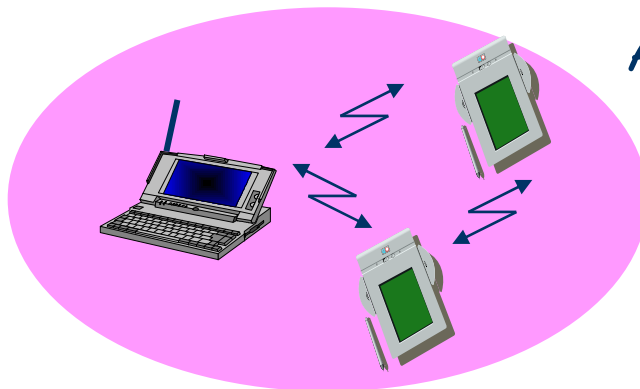


Ασύρματο LAN με υποδομή

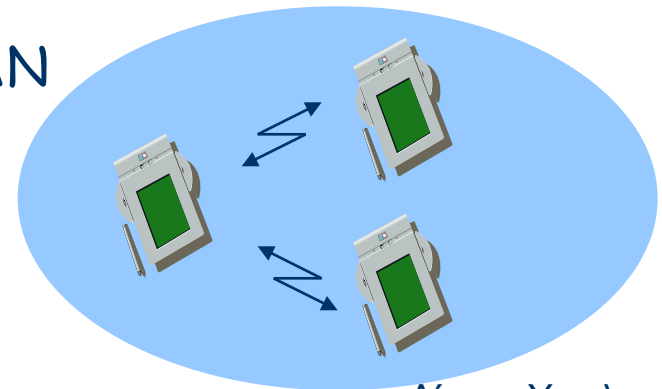


AP: Access Point

Ενσύρματο LAN κορμού, υψηλής ταχύτητας



Ad Hoc LAN

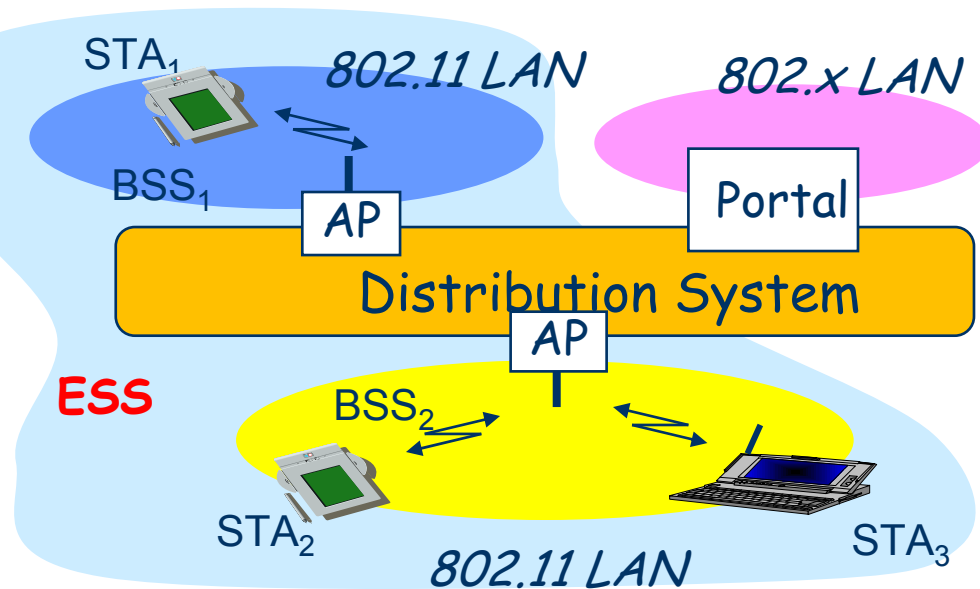


Δίκτυα Υπολογιστών

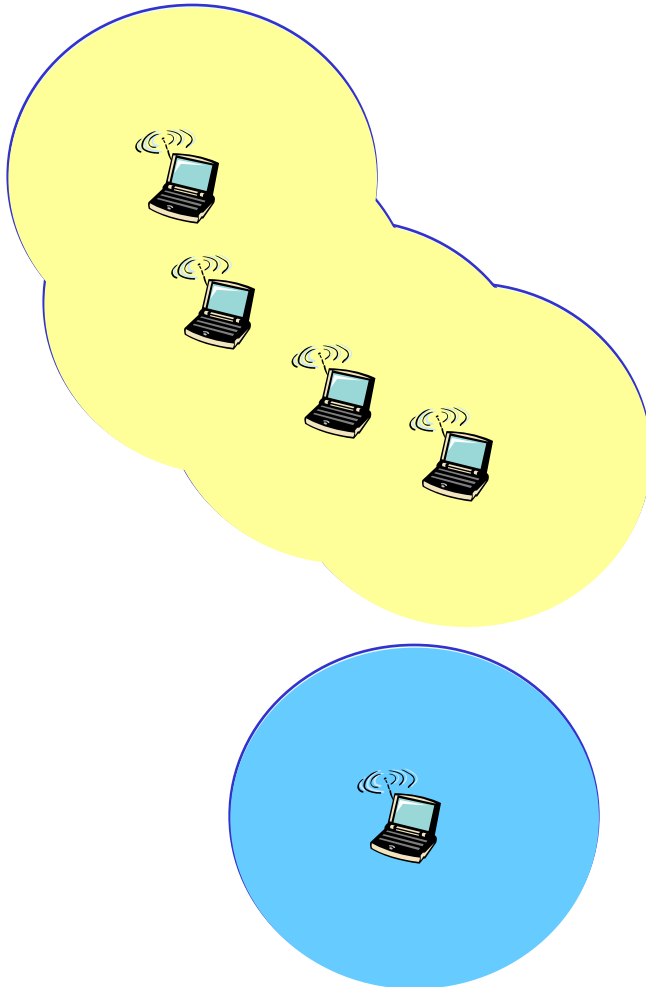
# Δίκτυο με υποδομή



- **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 801.11 τοπικά δίκτυα
- **Distribution System (DS)** - Σύστημα διανομής: δίκτυο διασύνδεσης για σχηματισμό ενός λογικού δικτύου (EES: Extended Service Set) βασισμένου σε πολλά BSS



# Δίκτυο Ad Hoc



- 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 ÷ 150 m
- Περιορισμένη κατανάλωση ισχύος από τους κινητούς host
- Αξιοπιστία μετάδοσης και ασφάλεια επικοινωνίας
- Λειτουργία χωρίς άδεια
- Κινητικότητα (διαπομπή/περιαγωγή)
- Δυναμική αναδιάρθρωση



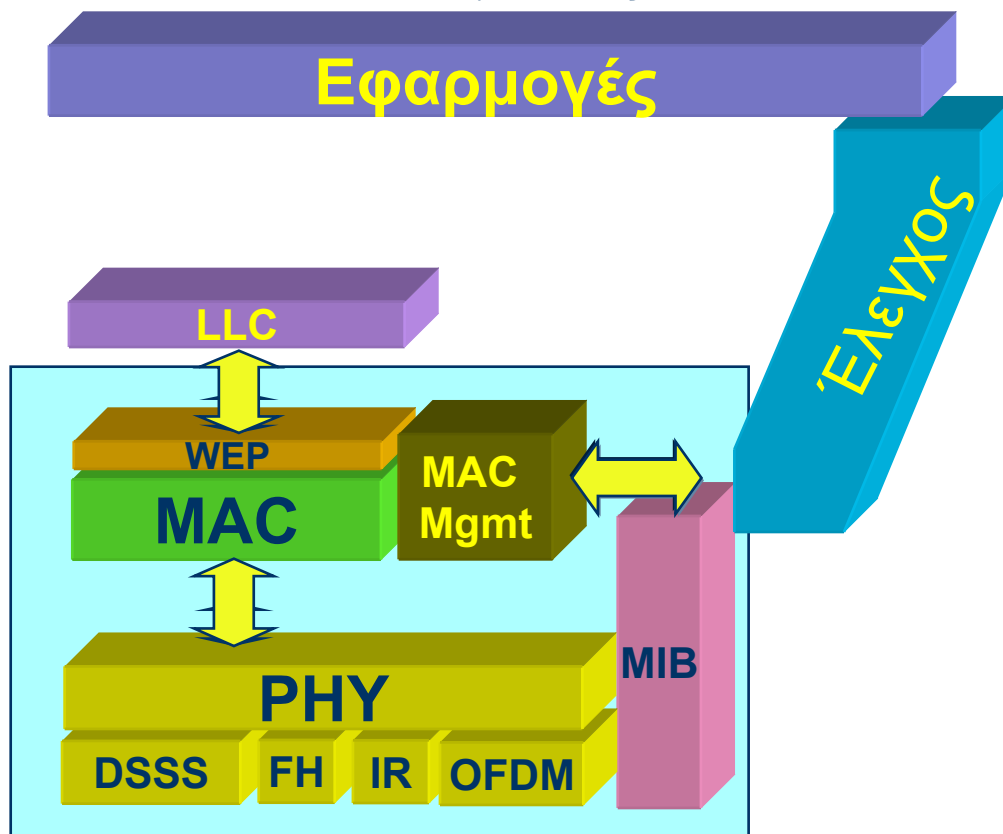


# Δίκτυα IEEE 802.11

# IEEE 802.11: προδιαγραφές



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

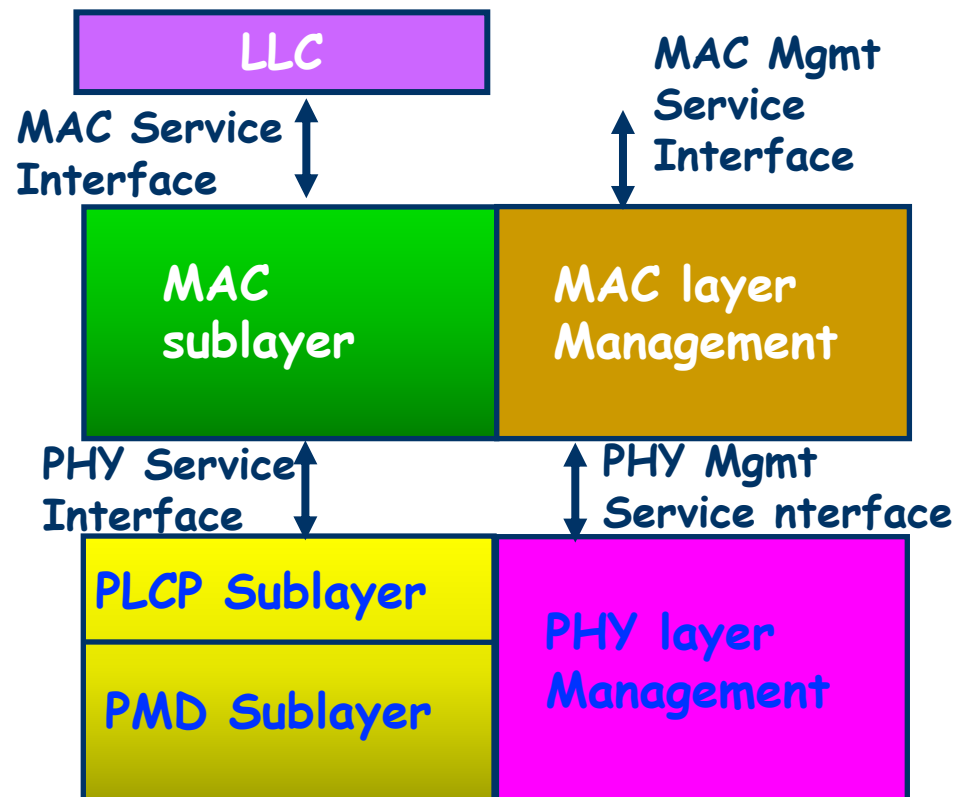


# IEEE 802.11: προδιαγραφές



- 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)



# Wi-Fi



- 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, κατ' αναλογία με το Hi-Fi, το Wi-Fi σημαίνει Wireless Fidelity
  - 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

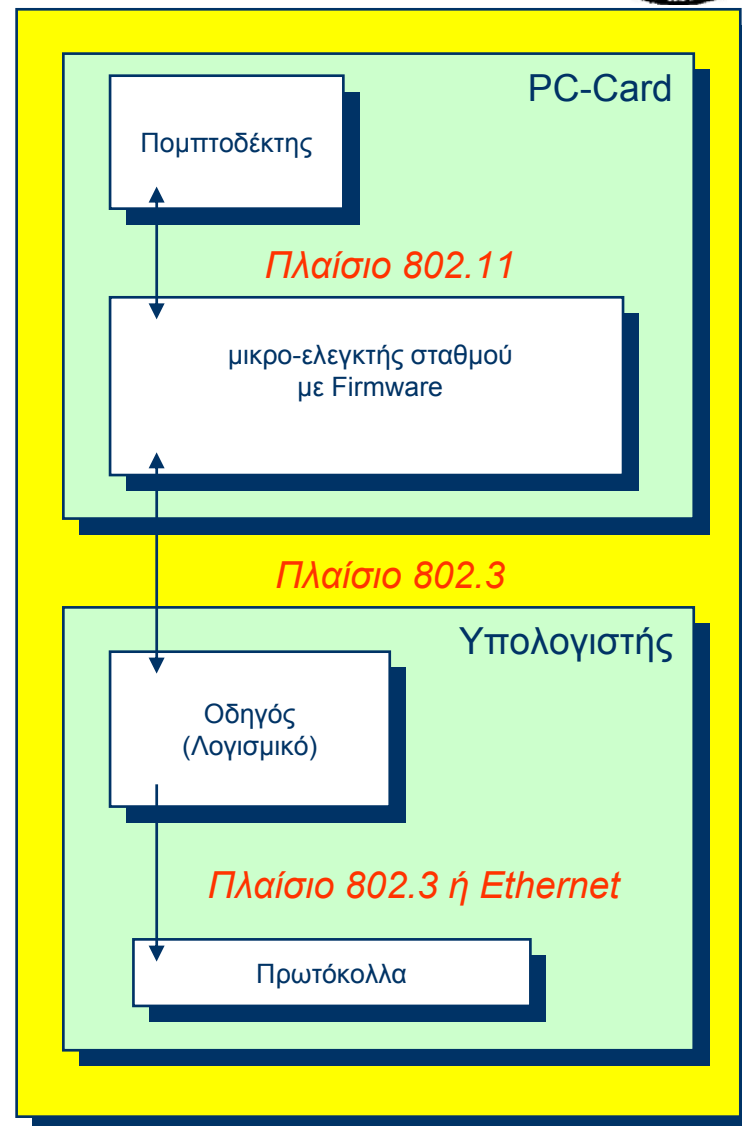


# IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



## 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

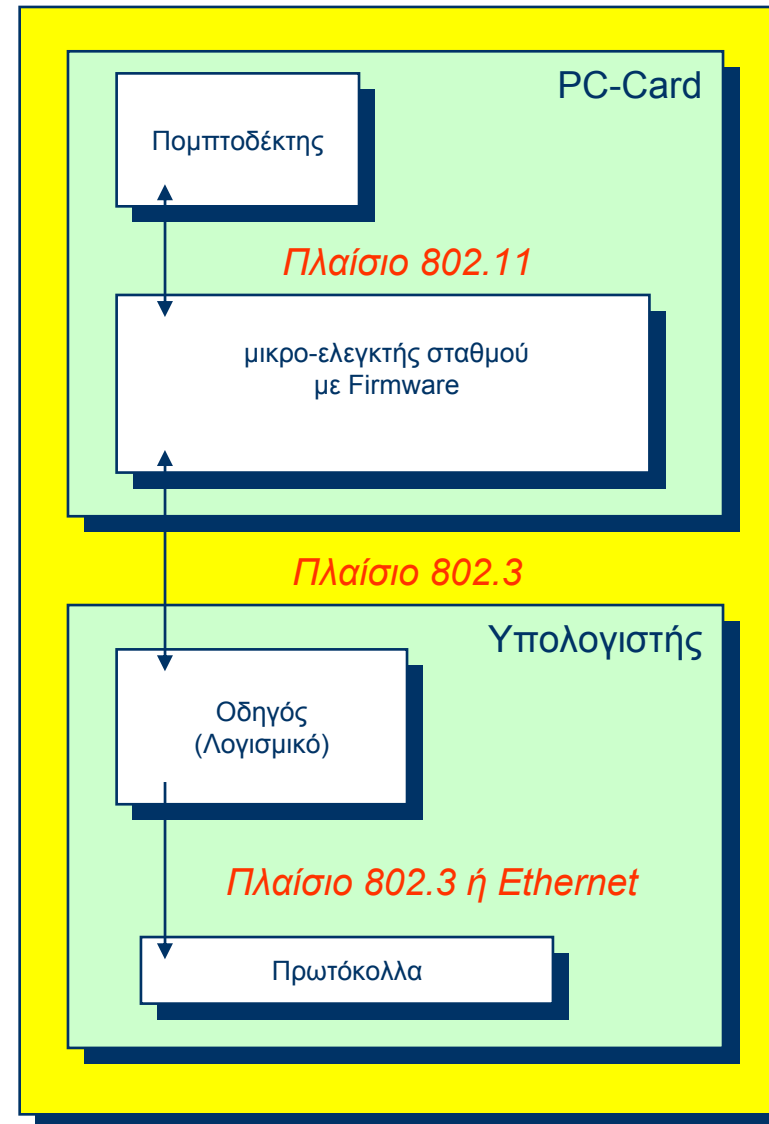


# IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



## 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)

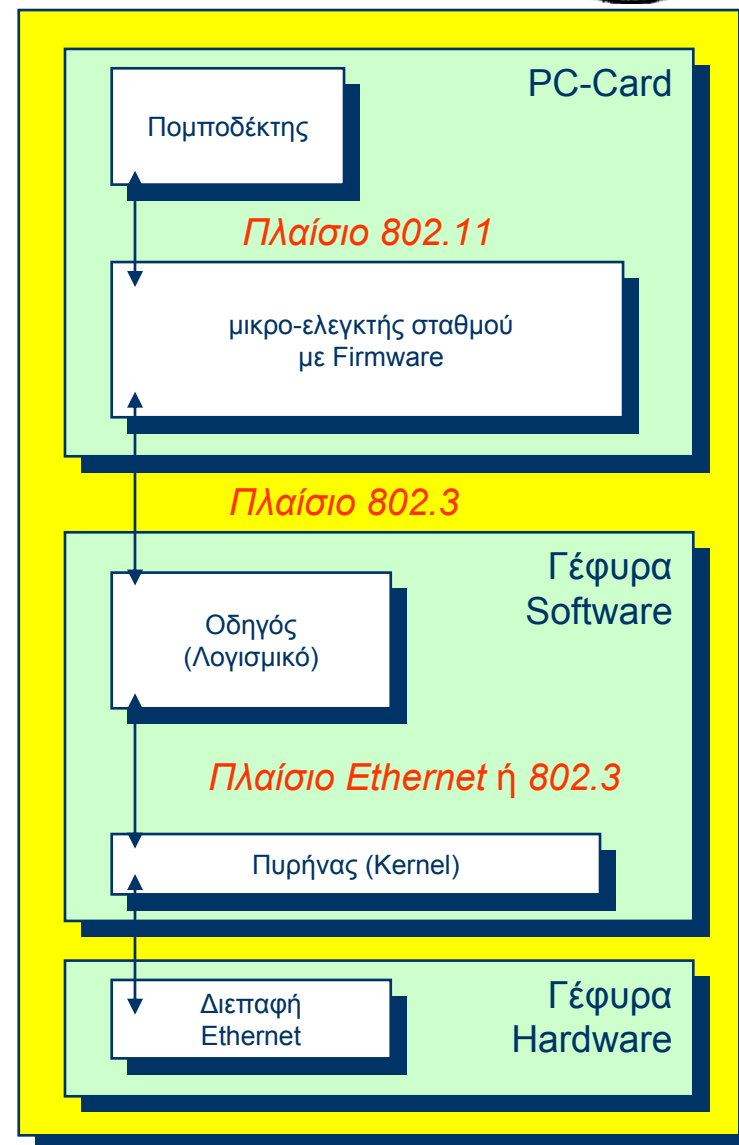


# IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



## Σημείο Πρόσβασης (AP)

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

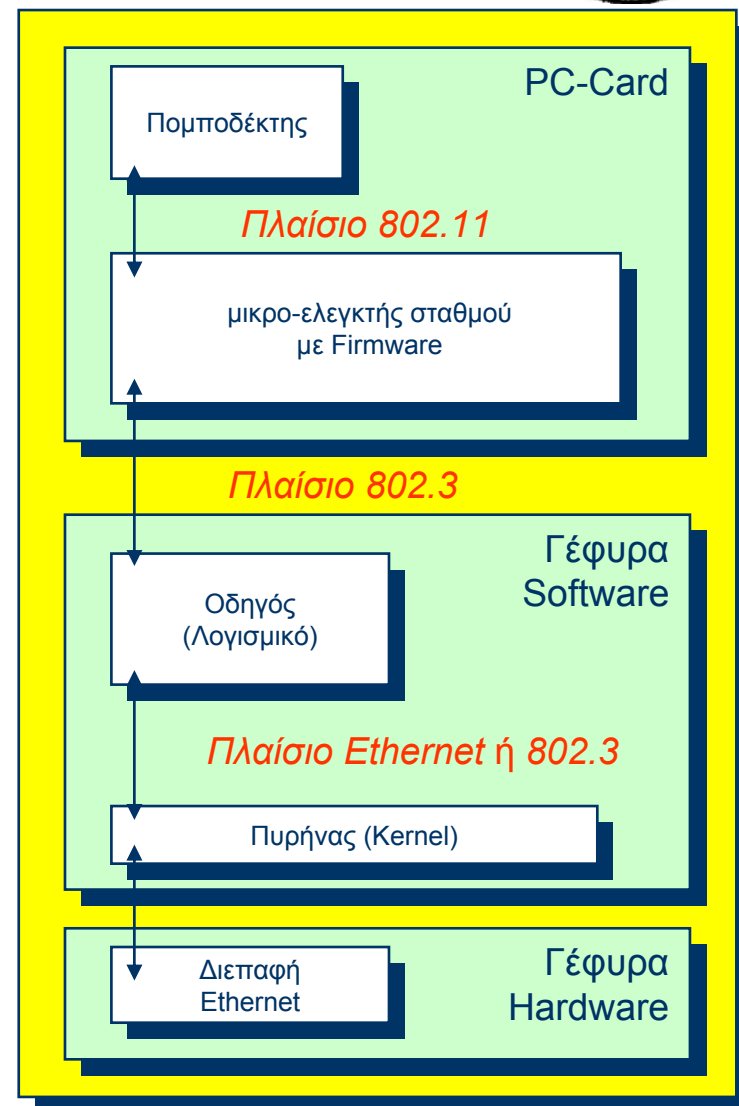


# IEEE 802.11: στοιχεία δικτύου



## 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



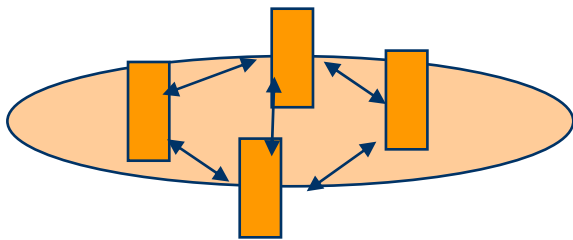


# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



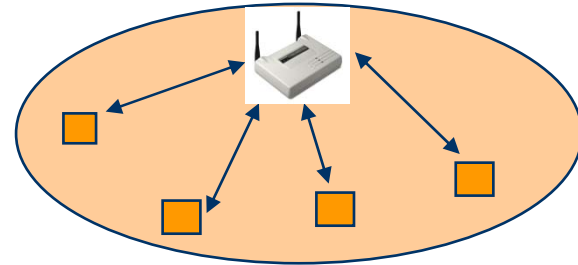
**Basic Service Set (BSS):** ομάδα σταθμών στην ίδια συχνότητα που επικοινωνούν μεταξύ τους

**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



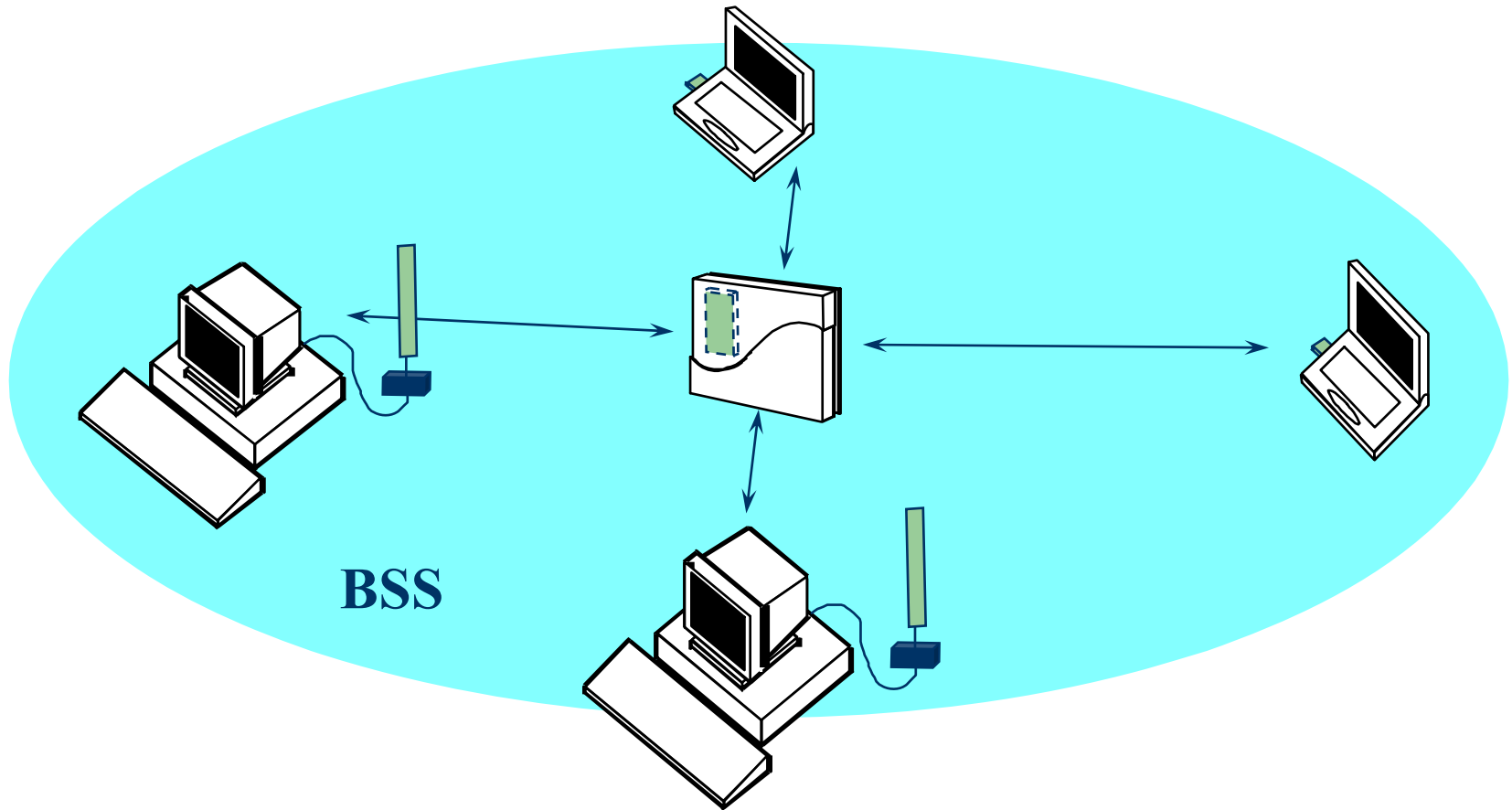
## Basic Service Set (BSS)

- 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 (αυθύπαρκα - standalone δίκτυα ή δίκτυα με υποδομή) ή μπορεί να λειτουργεί χωρίς AP (μόνο σε αυθύπαρκα δίκτυα)
- Κάθε BSS προσδιορίζεται από την **SSID**

# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



## BSS





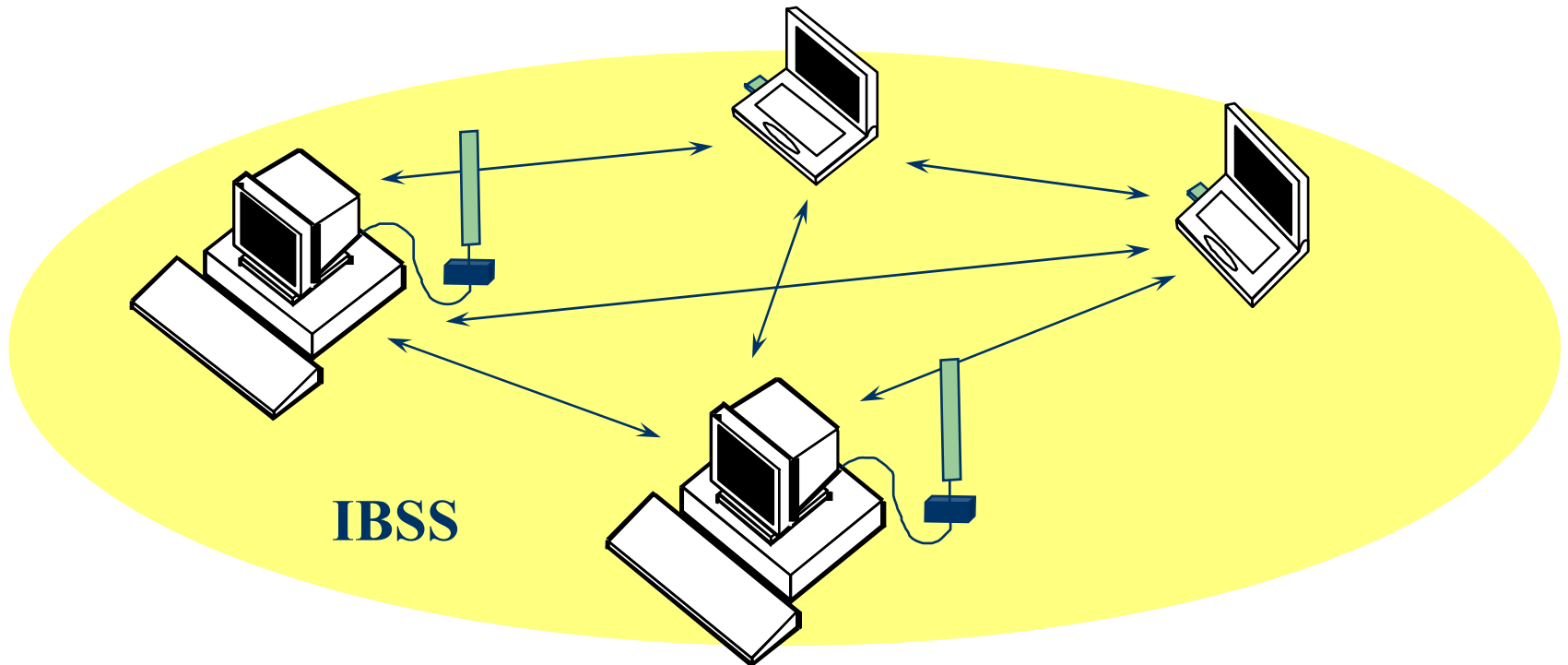
## Independent BSS (IBSS)

- BSS που αποτελεί αυθύπαρκτο δίκτυο χωρίς πρόσβαση σε σύστημα διανομής
- Στην απλούστερη εκδοχή του απαρτίζεται από δύο ασύρματους σταθμούς
  - BSS χωρίς σημείο πρόσβασης (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



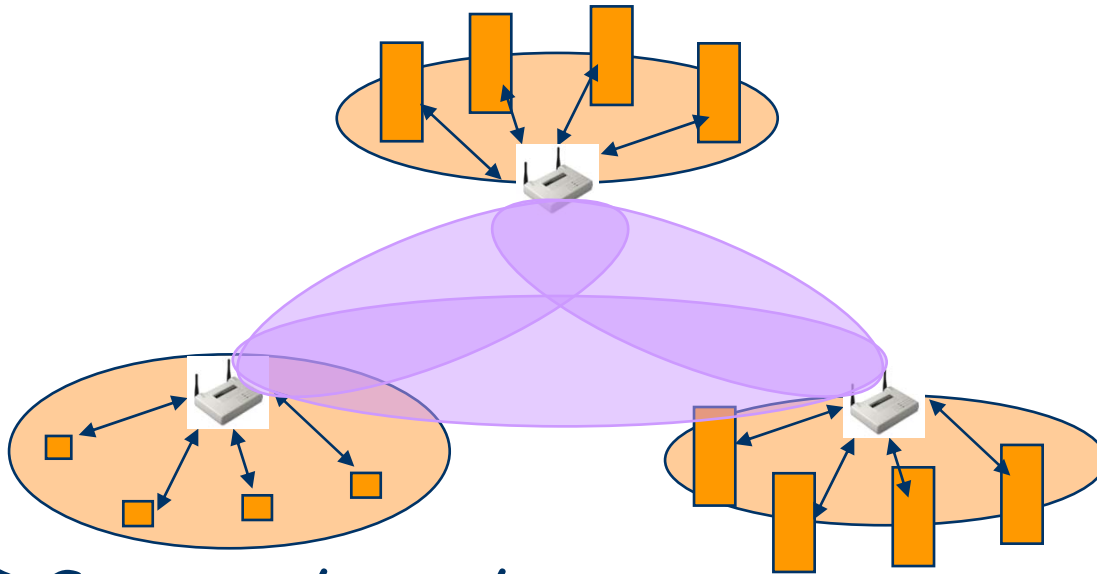
## Extended Service Set (ESS)

- ESS είναι το σύνολο ενός ή περισσότερων διασυνδεδεμένων BSS και τοπικών δικτύων (LAN) που στο στρώμα LLC (Logical Link Control) εμφανίζονται ως ένα BSS για οποιονδήποτε σταθμό σχετίζεται με κάποια από αυτά τα BSS
- Το σύνολο των διασυνδεδεμένων BSS πρέπει να έχει κοινή SSID
- Τα BSS μπορεί να λειτουργούν στην ίδια συχνότητα ή σε διαφορετικές, ώστε να αυξηθεί η διέλευση
- Η κίνηση 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 είναι ένα σύνολο από BSS που διασυνδέονται με σύστημα διανομής (Distribution System - DS)

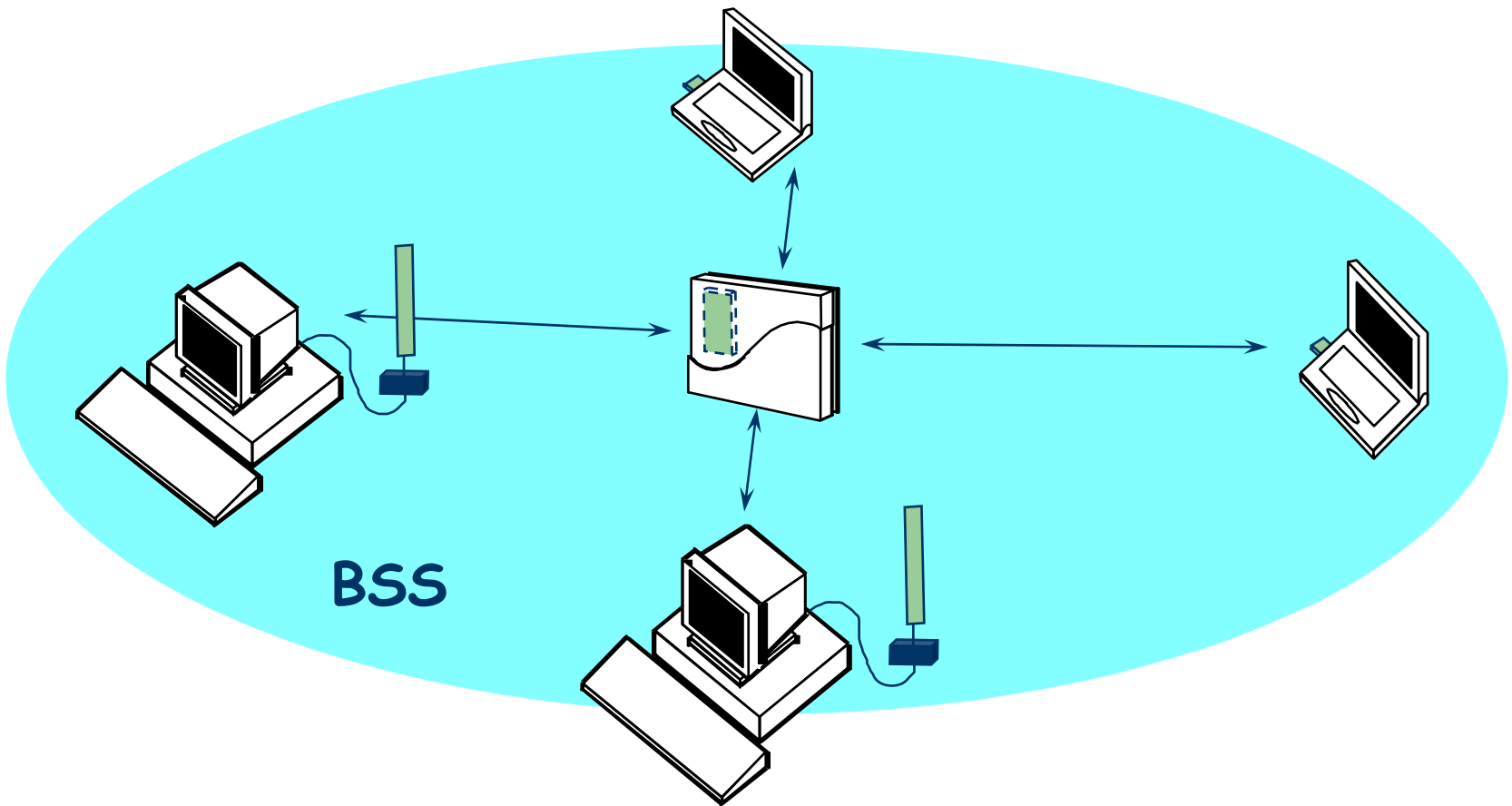


- Το DS μπορεί να είναι:
  - **Ενσωματωμένο:** ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο
  - **Ενσύρματο:** τα AP συνδέονται με καλώδια
  - **Ασύρματο:** τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο

# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



## ESS: BSS με ενσωματωμένο DS

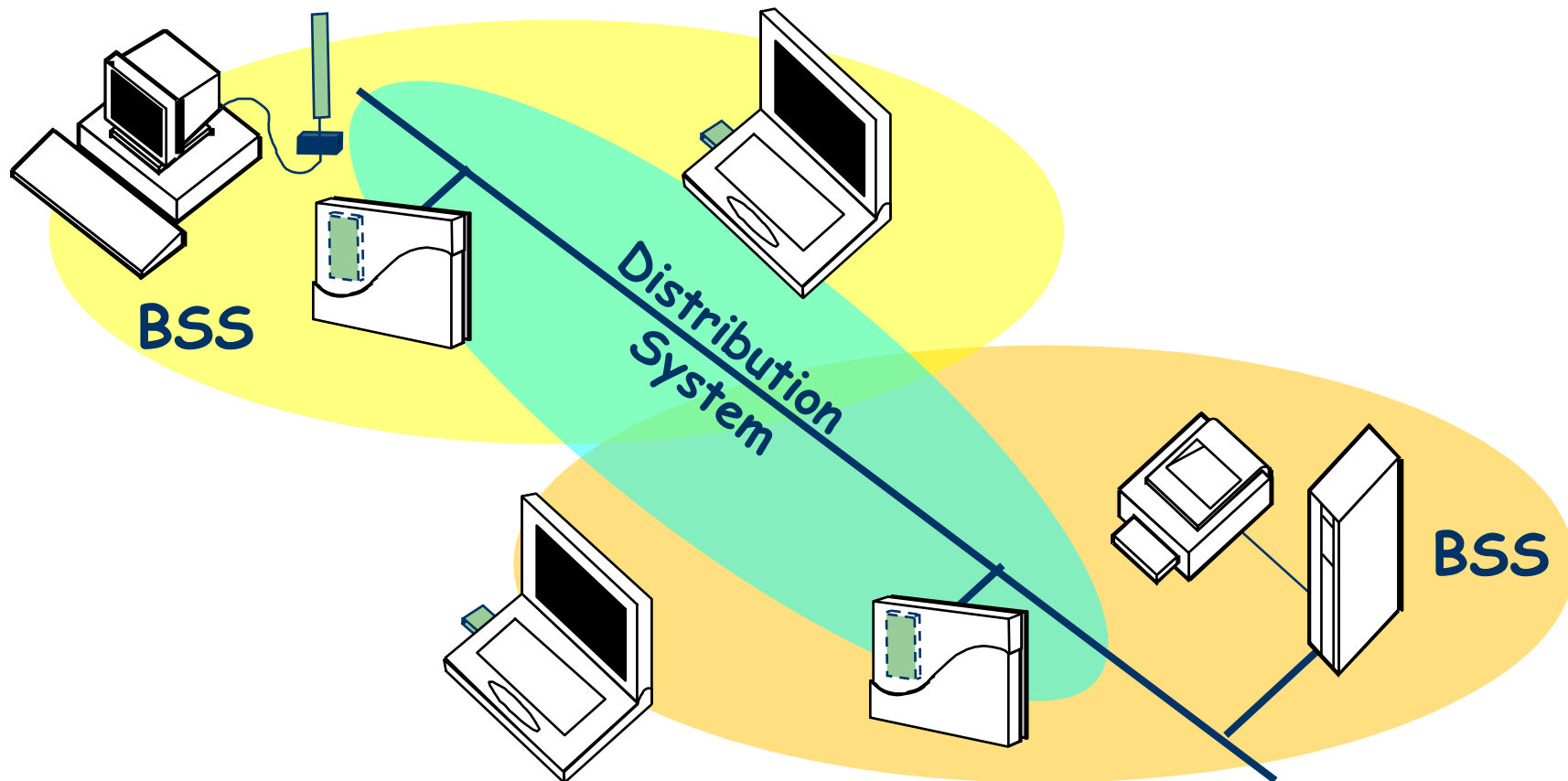




# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



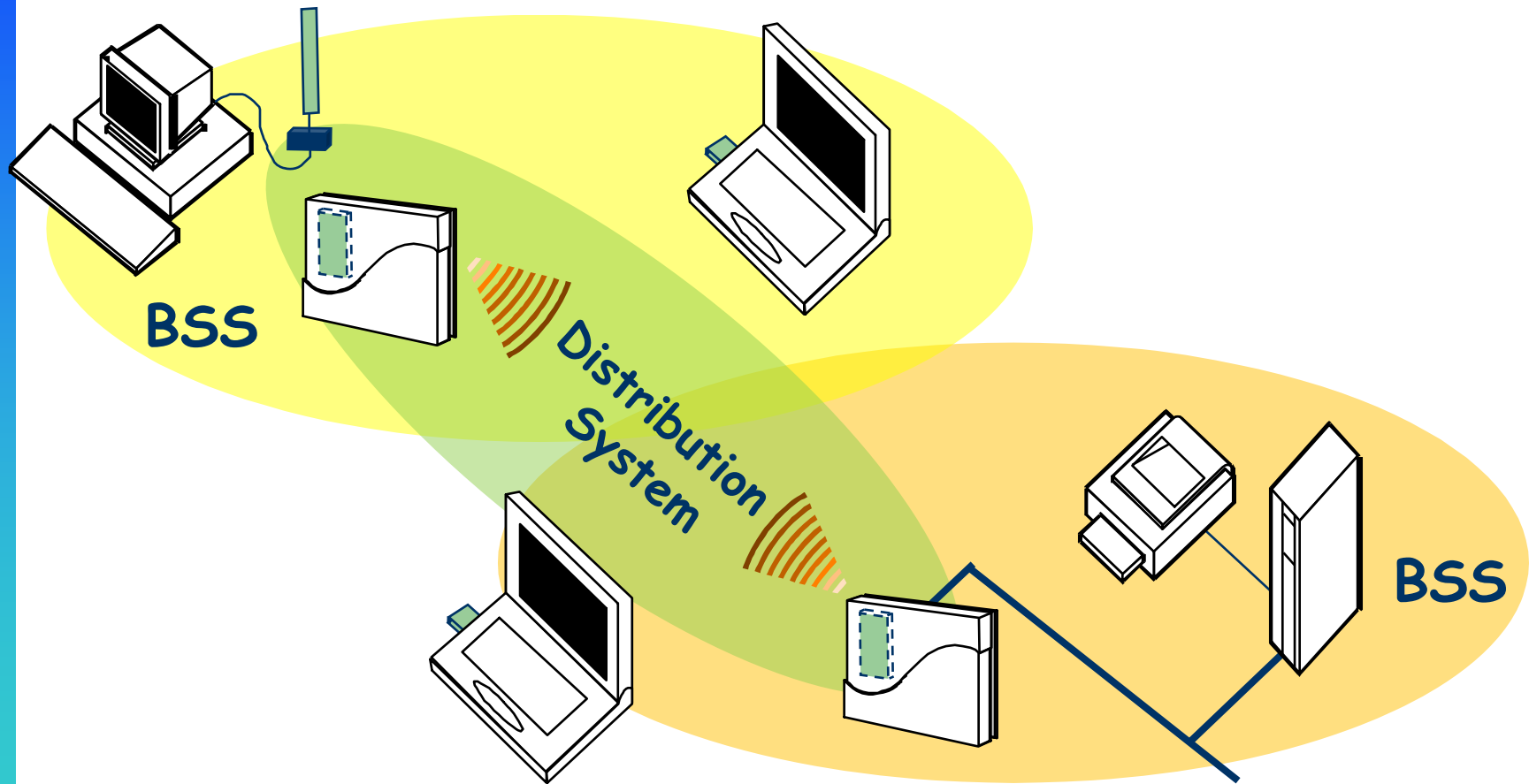
ESS: δύο BSS και ενσύρματο DS



# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



## ESS: δύο BSS και ασύρματο DS





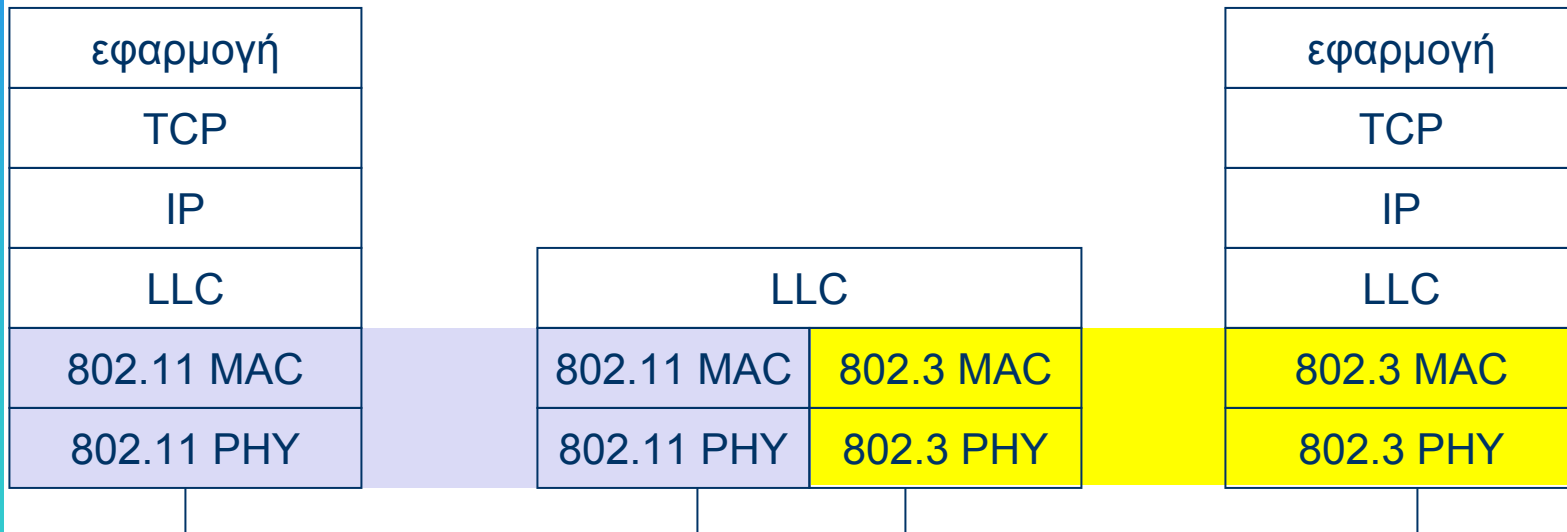
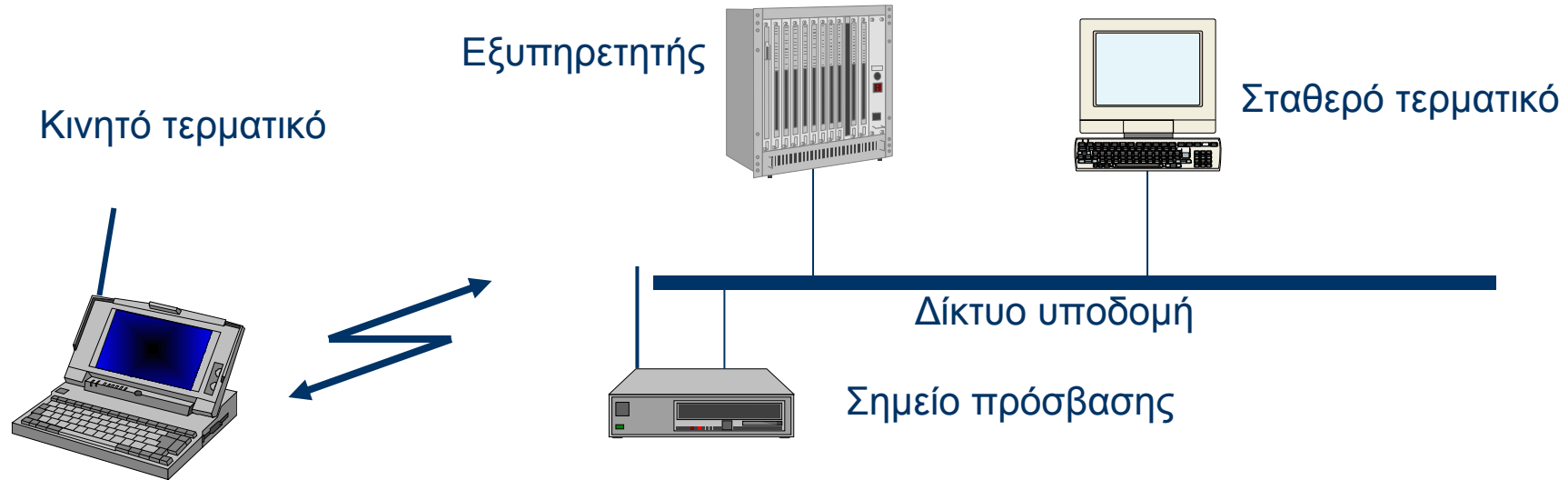
## Service Set Identifier (SSID)

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

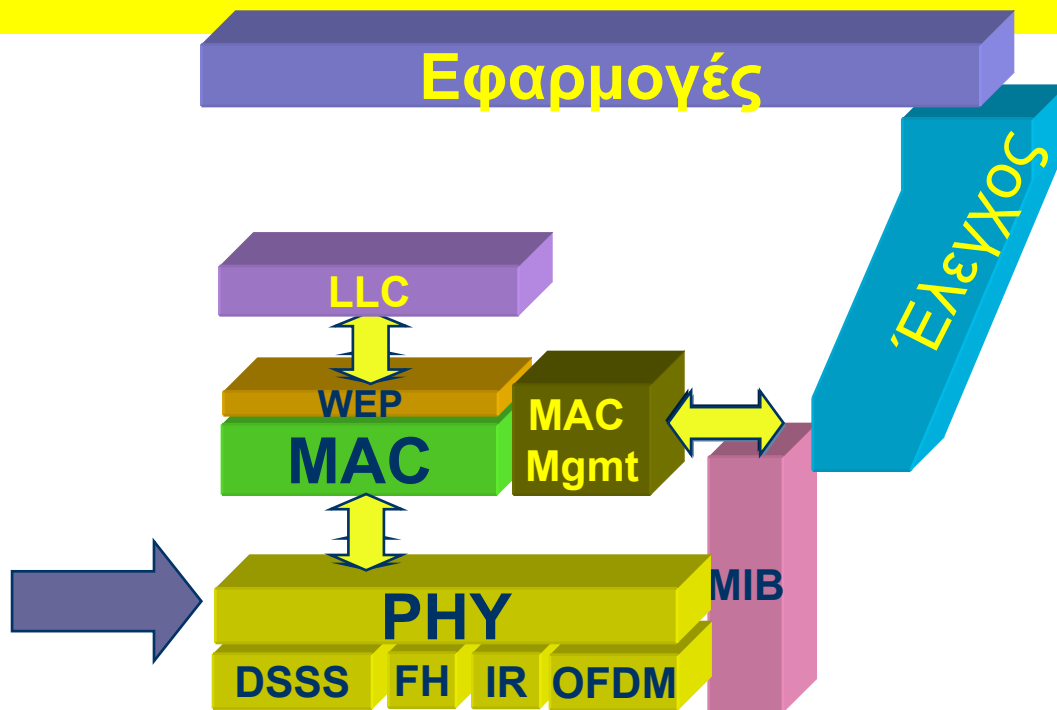
## Basic Service Set Identifier (BSSID)

- "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

# IEEE 802.11 και TCP/IP

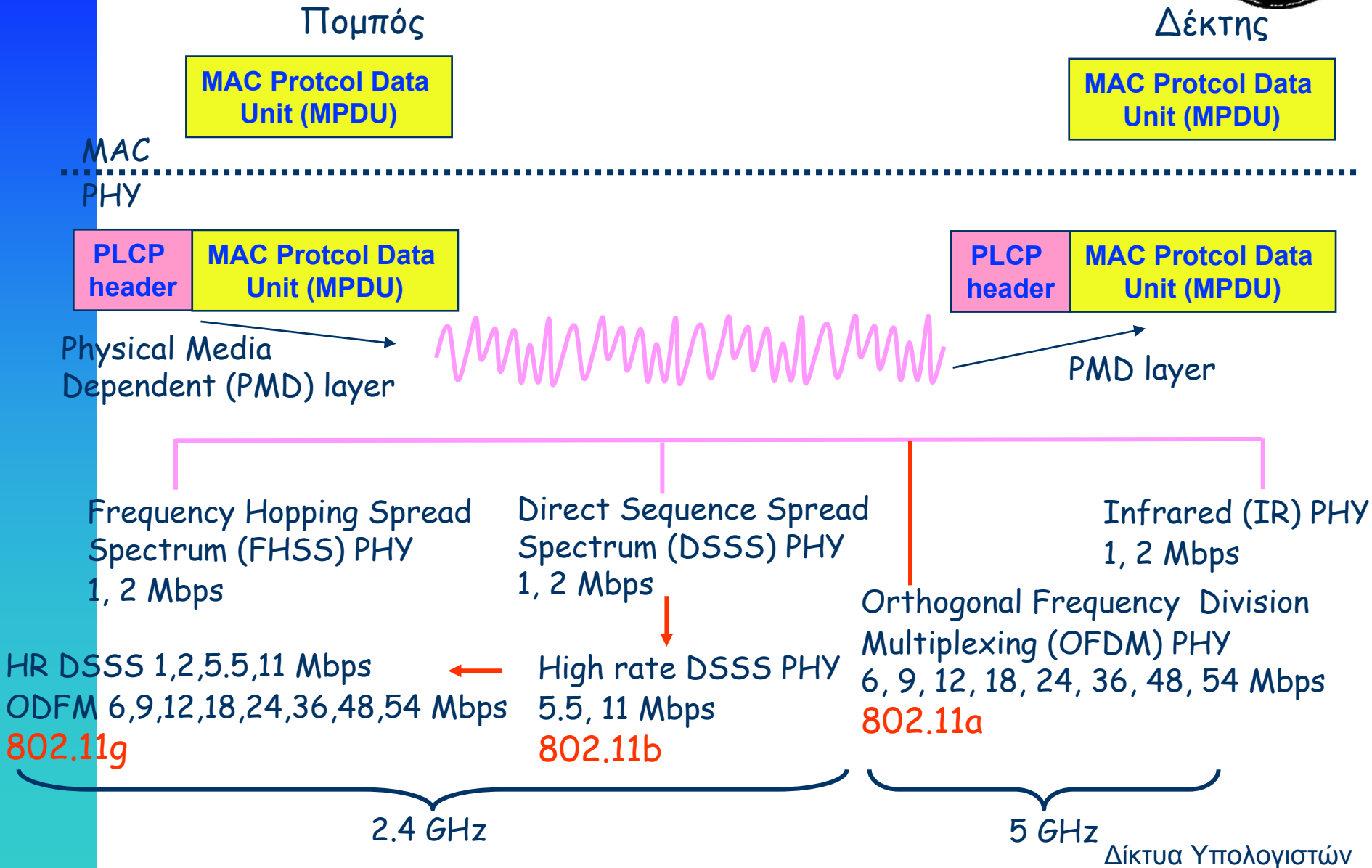


# IEEE 802.11: φυσικό στρώμα



- 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)
- Τρεις περιοχές
  - 902 μέχρι 928 MHz (Cordless Telephony)
  - 2.4 μέχρι 2.483 GHz (802.11b)
  - 5.725 to 5.875 GHz (η 3<sup>η</sup> περιοχή συχνοτήτων ISM)
  - 802.11a: 5.15 μέχρι 5.825 GHz

# 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 → ISM
- Στην Ευρώπη 5.15 - 5.725 GHz με 19 διαύλους
- Χρησιμοποιεί OFDM (Orthogonal Freq. Div. Multiplexing) 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 (Orthogonal Freq. Div. Multiplexing) 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 (Direct Sequence Spread Spectrum), διαμόρφωση DBPSK/DQPSK/CCK και ρυθμούς 1, 2, 5.5, 11 Mbps
  - Για συμβατότητα με το 802.11b

# IEEE 802.11: πρότυπα



	802.11a	802.11b	802.11g	802.11
Έγκριση προτύπου	Σεπτ. 1999	Σεπτ. 1999	Ιούνιος 2003	Ιούλιος 1997
Διαθέσιμο εύρος ζώνης	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
Συχνότητα λειτουργίας	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Ρυθμοί μετάδοσης ανά δίαυλο (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2, 5.5, 11	1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2
Διέλευση (Mbps)	23	4.3	19	0.9
Ακτίνα κάλυψης	~120 μέτρα εξ. ~35 μέτρα εσ.	~140 μέτρα εξ. ~38 μέτρα εσ.	~140 μέτρα εξ. ~38 μέτρα εσ.	~100 μέτρα εξ. ~20 μέτρα εσ.
Διαμόρφωση	OFDM	DSSS/CCK	DSSS/CCK DSSS/OFDM	DSSS, FHSS

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

# 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



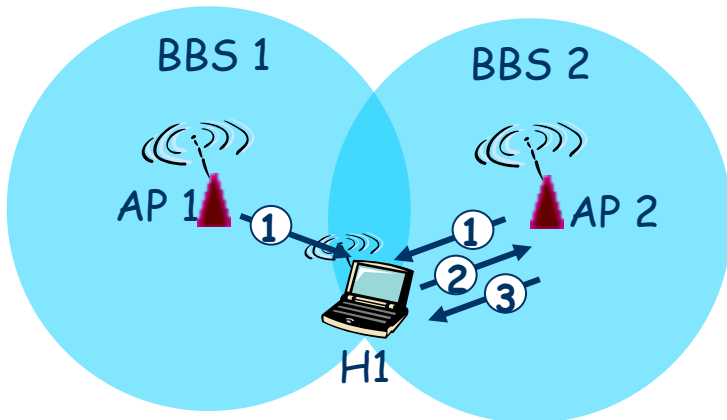
## Συσχέτιση - Association

- **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 (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

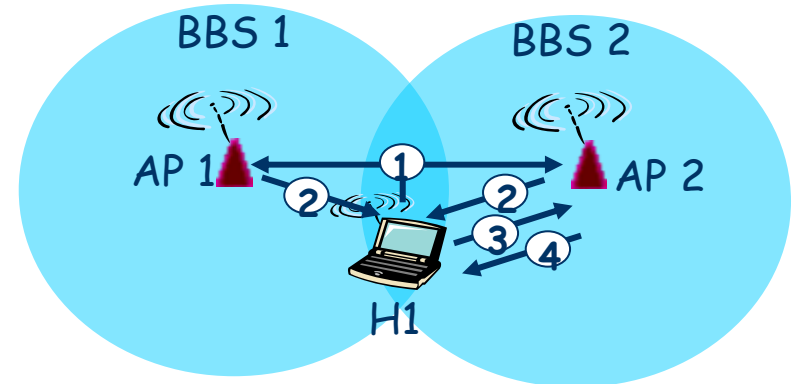


## Παθητική/ενεργή σάρωση



### 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



## Εκκίνηση ESS

- Το δίκτυο υποδομής 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

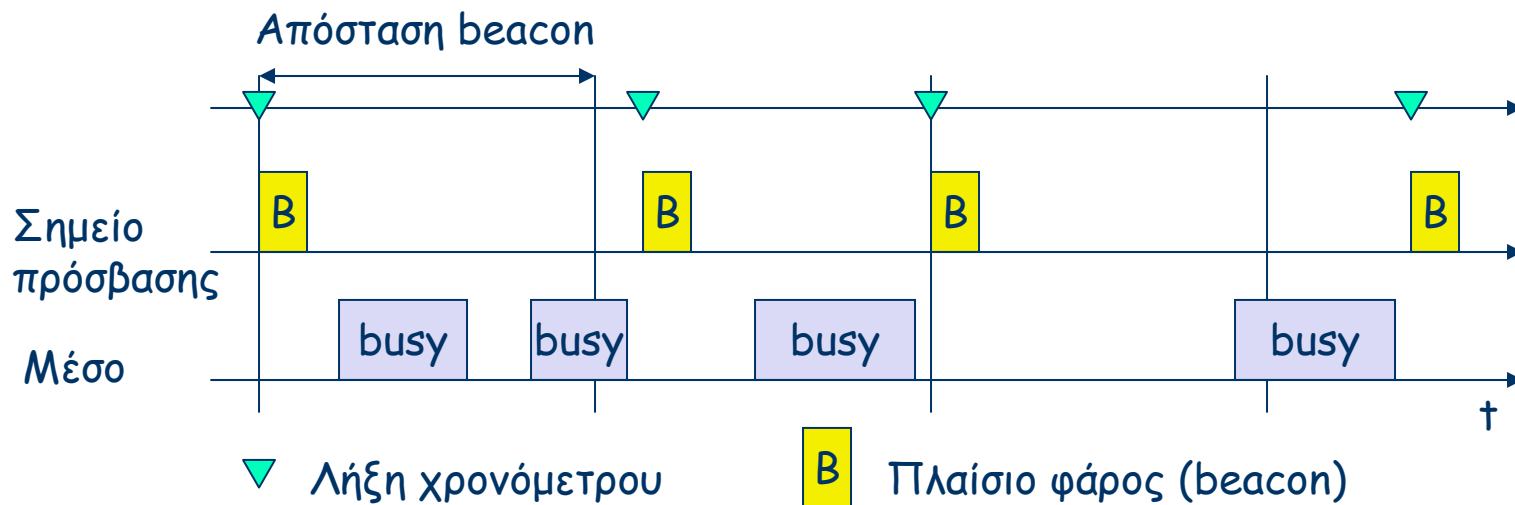
- Ο σταθμός που λειτουργεί σε IBSS "αναζητεί" πλαίσια beacon που περιέχουν όνομα δικτύου (SSID) που ταιριάζει με τη δική του
  - Λήψη πλαισίων beacon από το AP, με ταιριαστό όνομα δικτύου,  $\Rightarrow$  συσχετισμό του σταθμού με το AP
  - Λήψη πλαισίων beacon από άλλον σταθμό που λειτουργεί σε IBSS,  $\Rightarrow$  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 (με υποδομή)

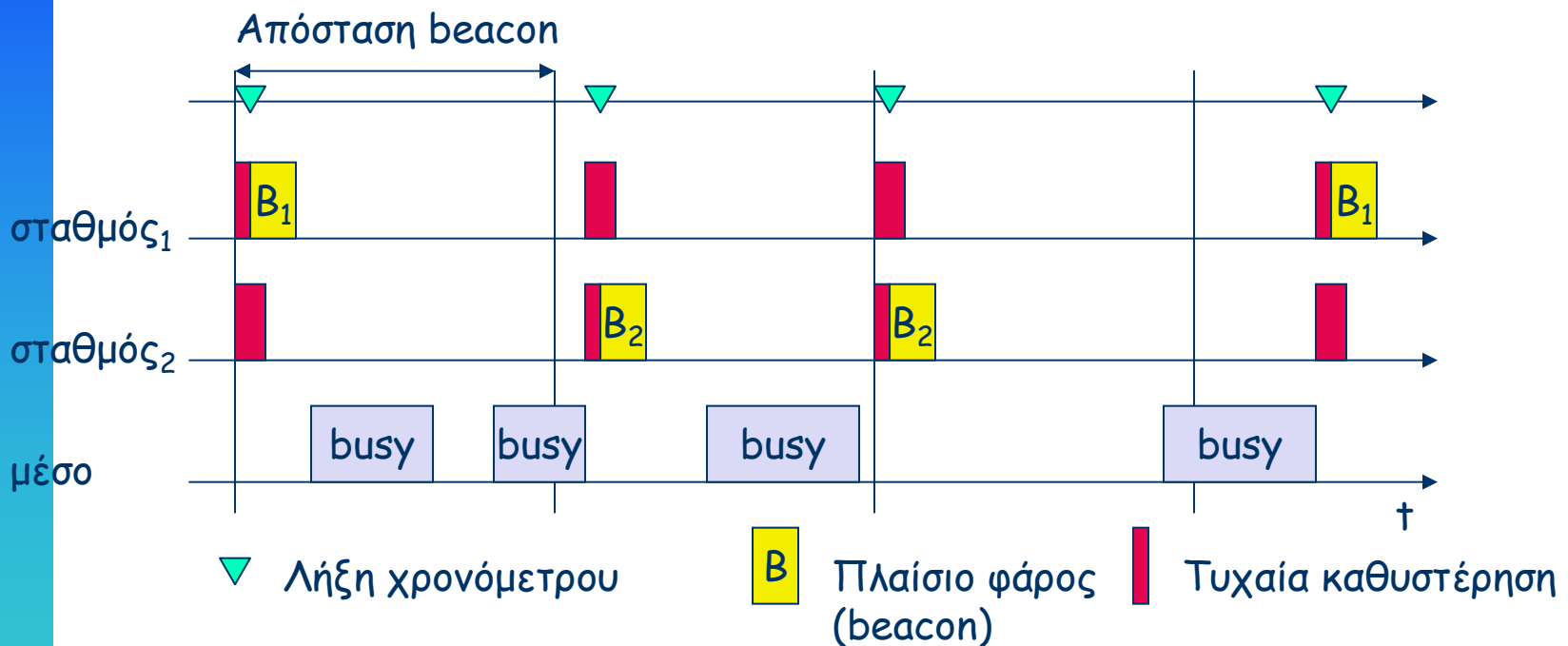
- Το σύστημα είναι συγχρονισμένο!
  - Οι σταθμοί διατηρούν ρολόγια που συγχρονίζονται βάσει πληροφορίας (πλαίσια beacon) που εκπέμπει το σημείο πρόσβασης



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



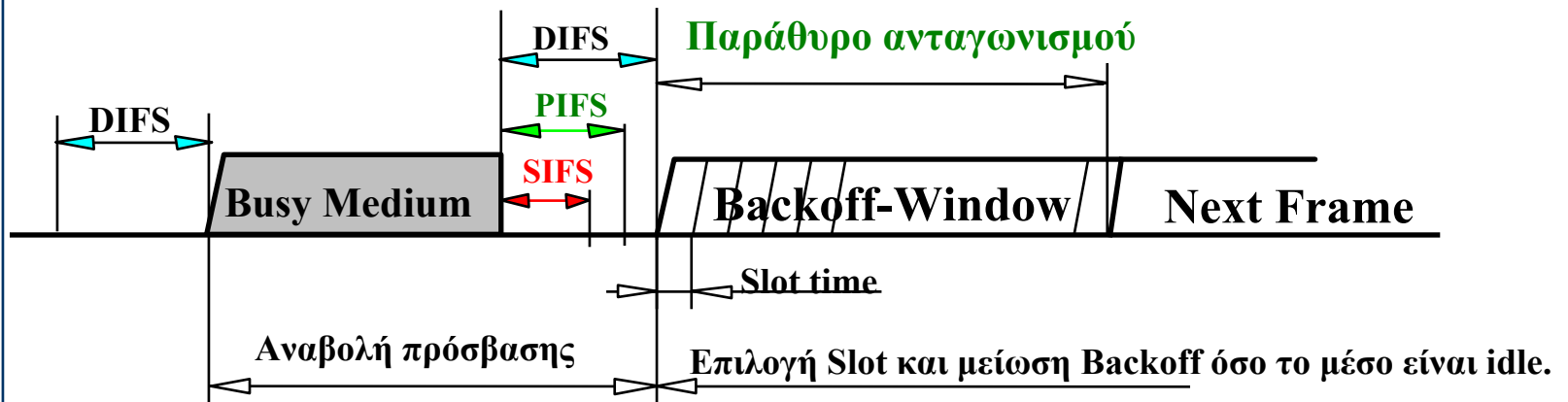
## Συγχρονισμός (ad-hoc)





## Inter-frame spacing

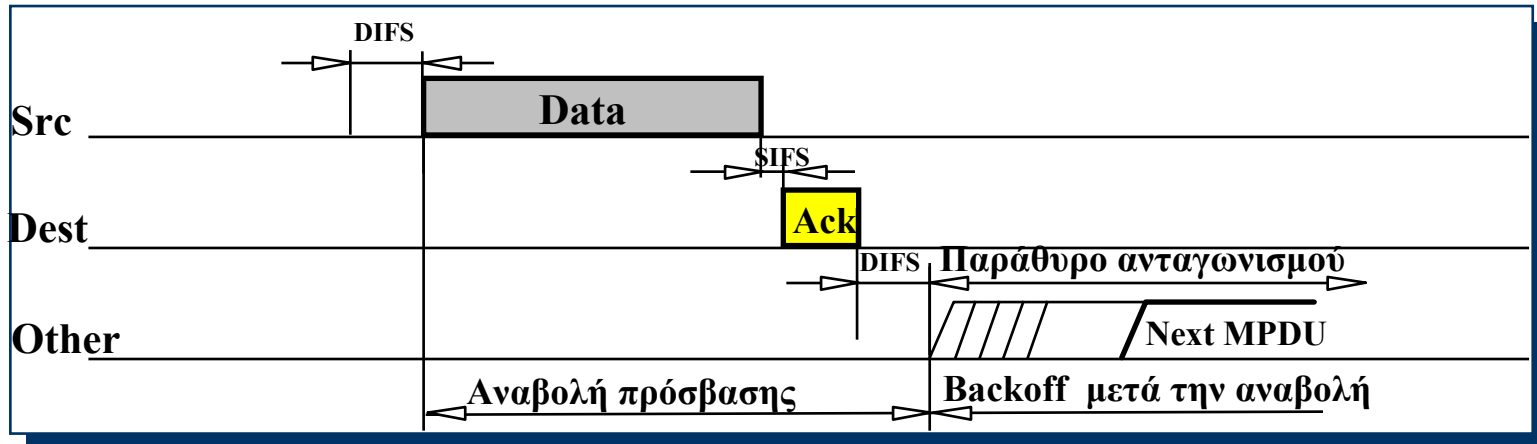
Ελεύθερη πρόσβαση όταν το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS



- 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



## Πλαίσια data και η επαλήθευσή τους

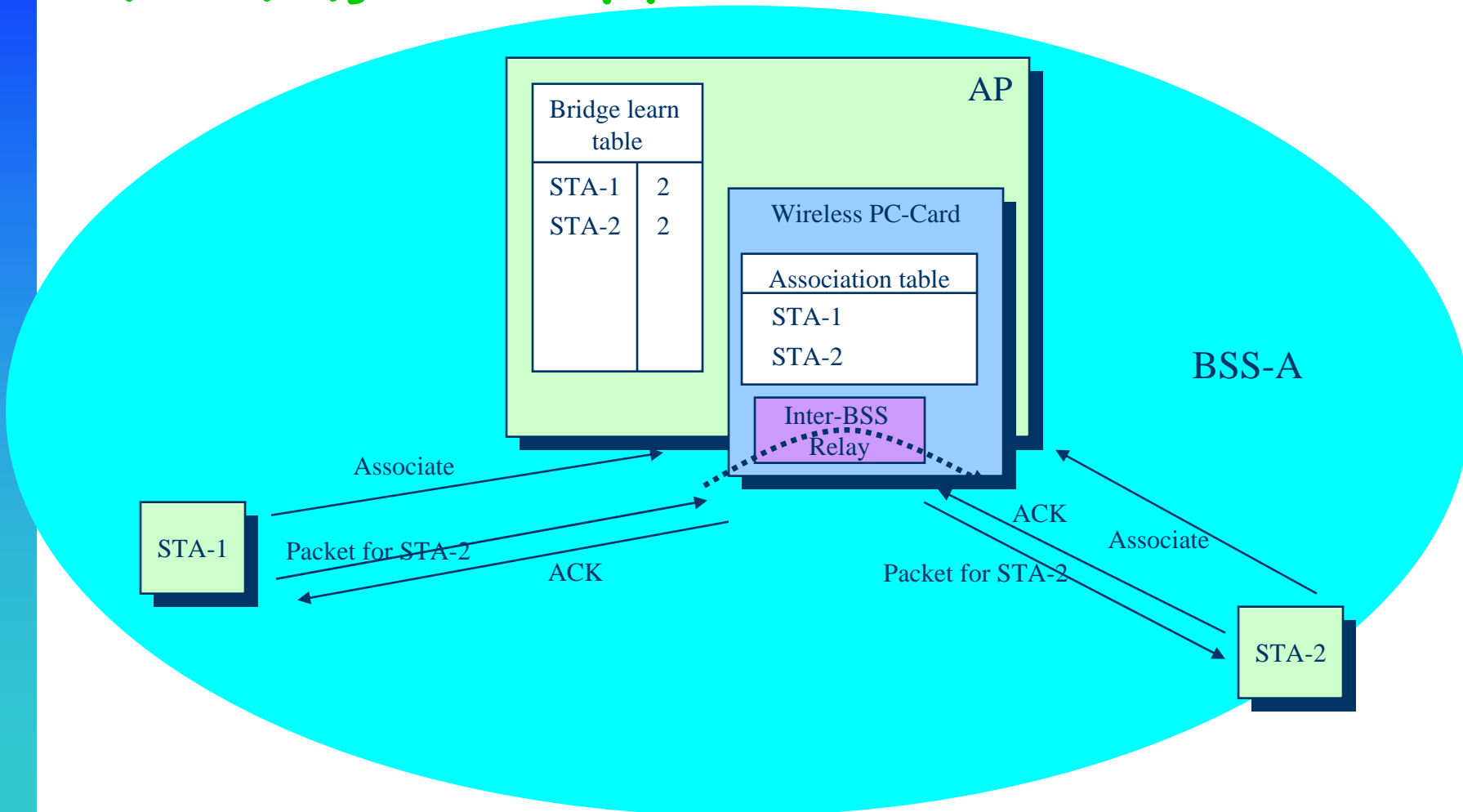


- Οι επαληθεύσεις στέλνονται μετά από SIFS
- Απαιτείται να παρέλεθει χρονικό διάστημα DIFS πριν το μέσον θεωρηθεί ελεύθερο για χρήση

# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



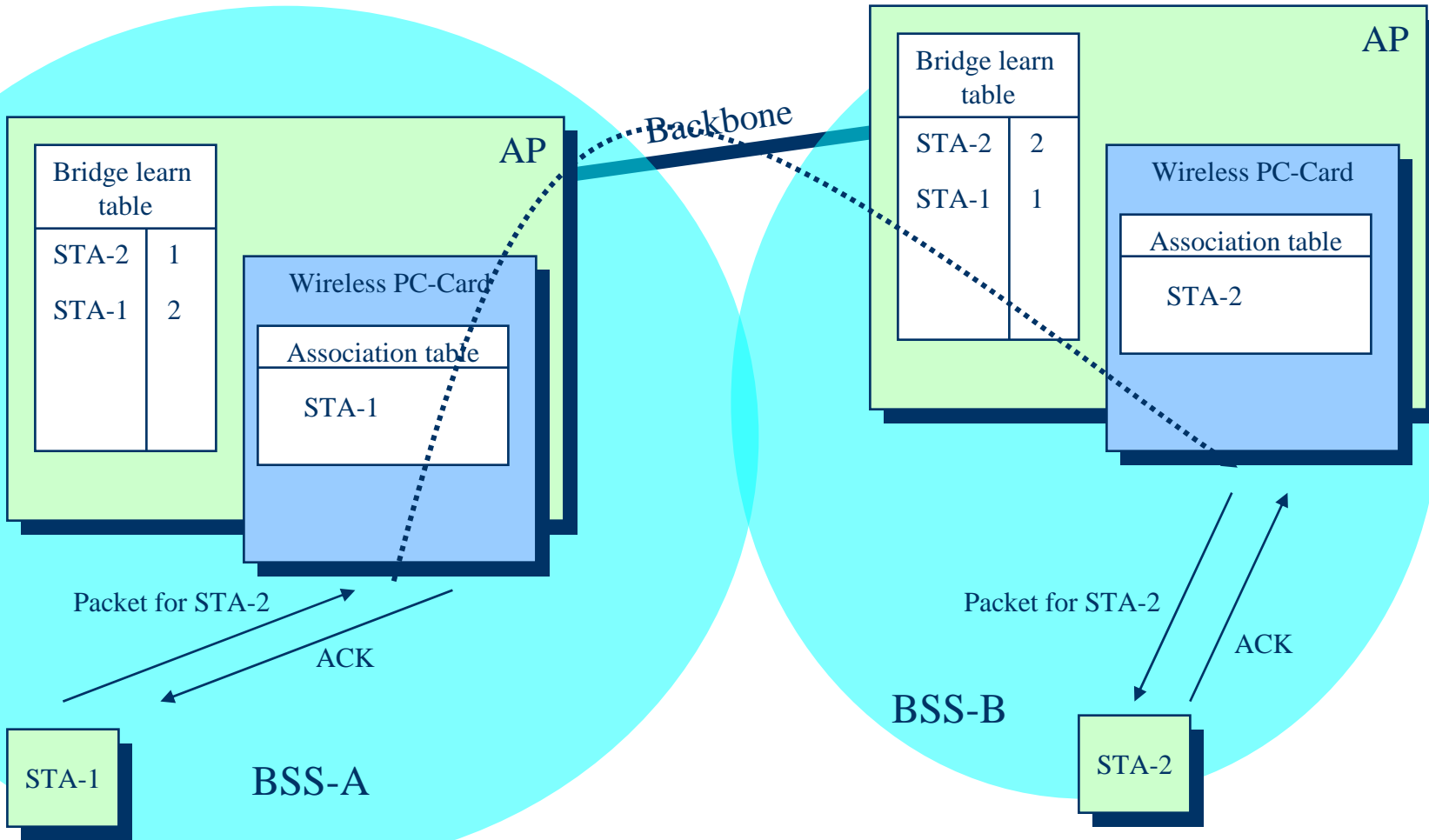
## Ροή κίνησης: Λειτουργία BSS



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



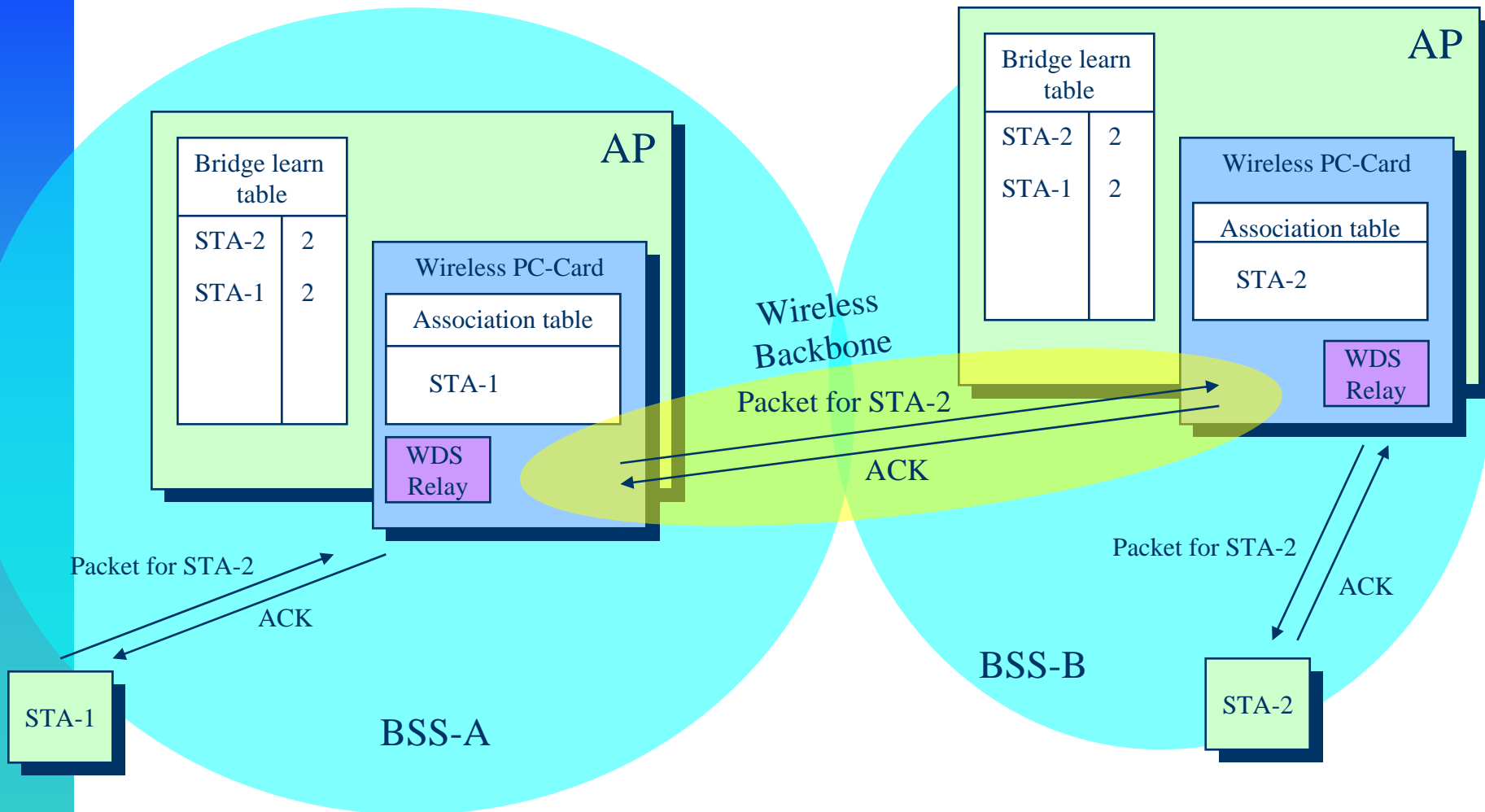
## Ροή κίνησης: Λειτουργία ESS



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες

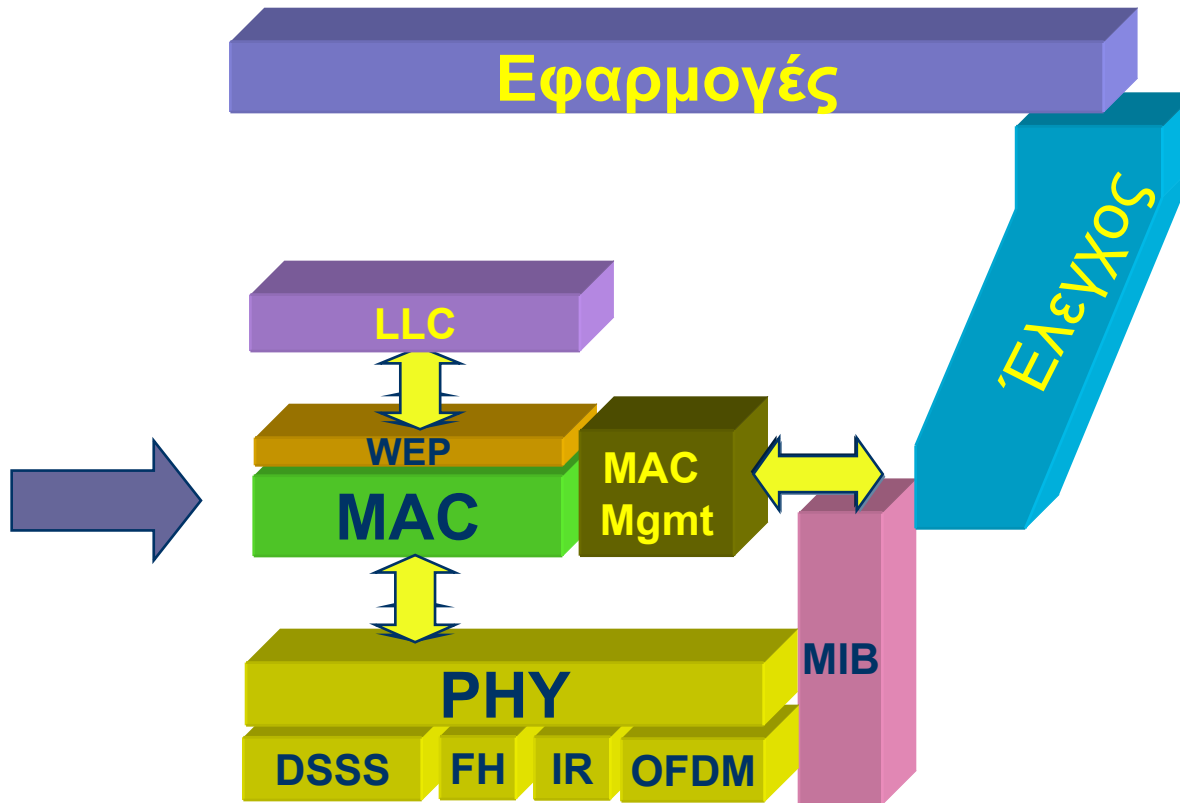


## Ροή κίνησης: Λειτουργία WDS





# IEEE 802.11: MAC





## 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



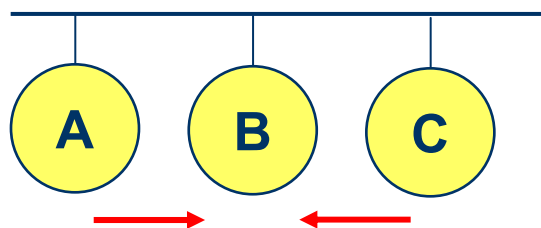
## Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD:

- 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**

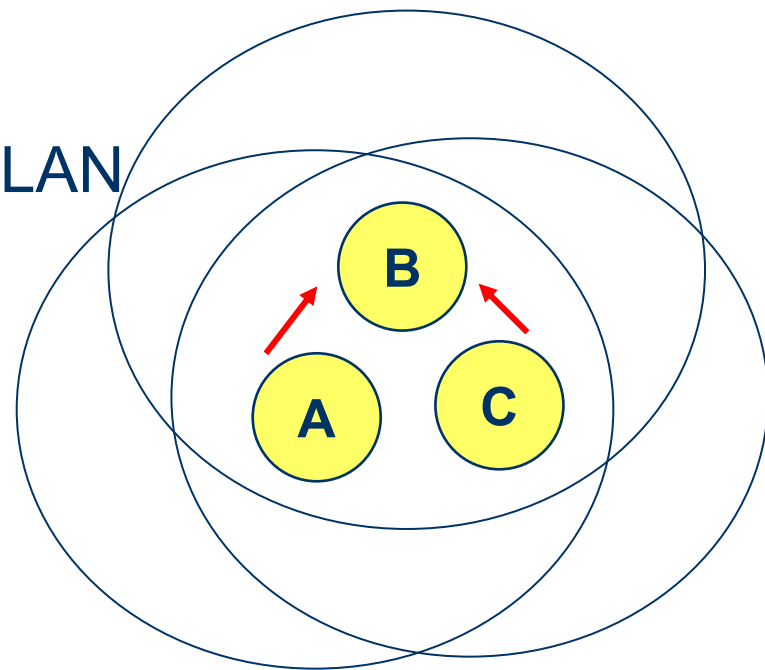


## Διαφορά μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων δικτύων

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

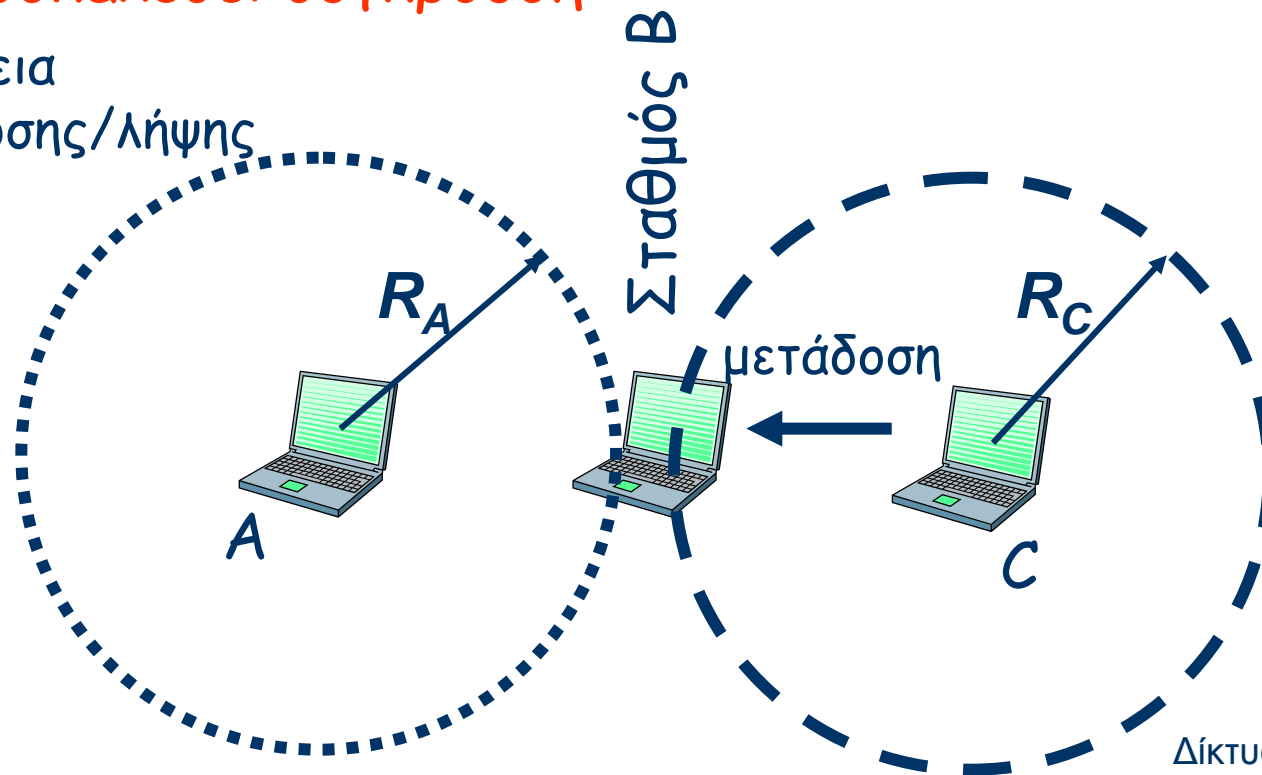




## Το πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

- 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

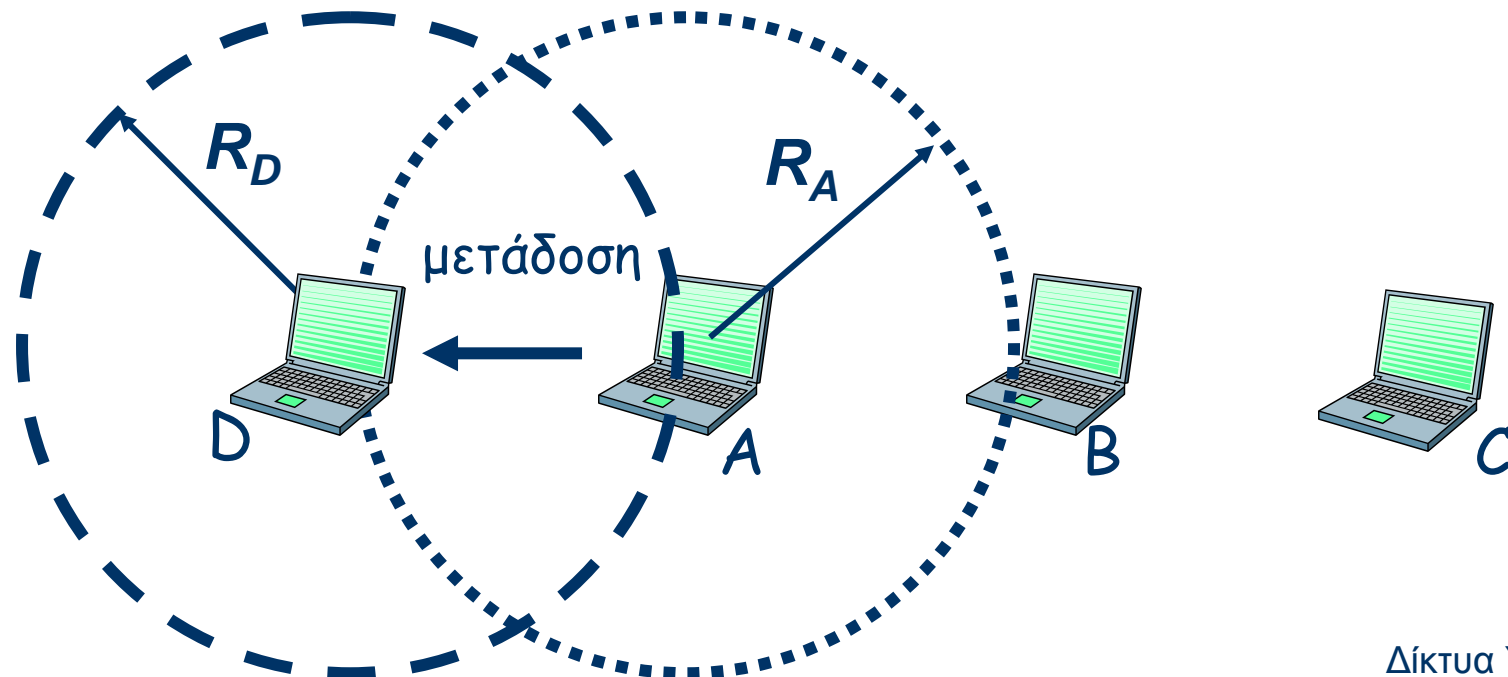
Εμβέλεια  
μετάδοσης/λήψης  
του A





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



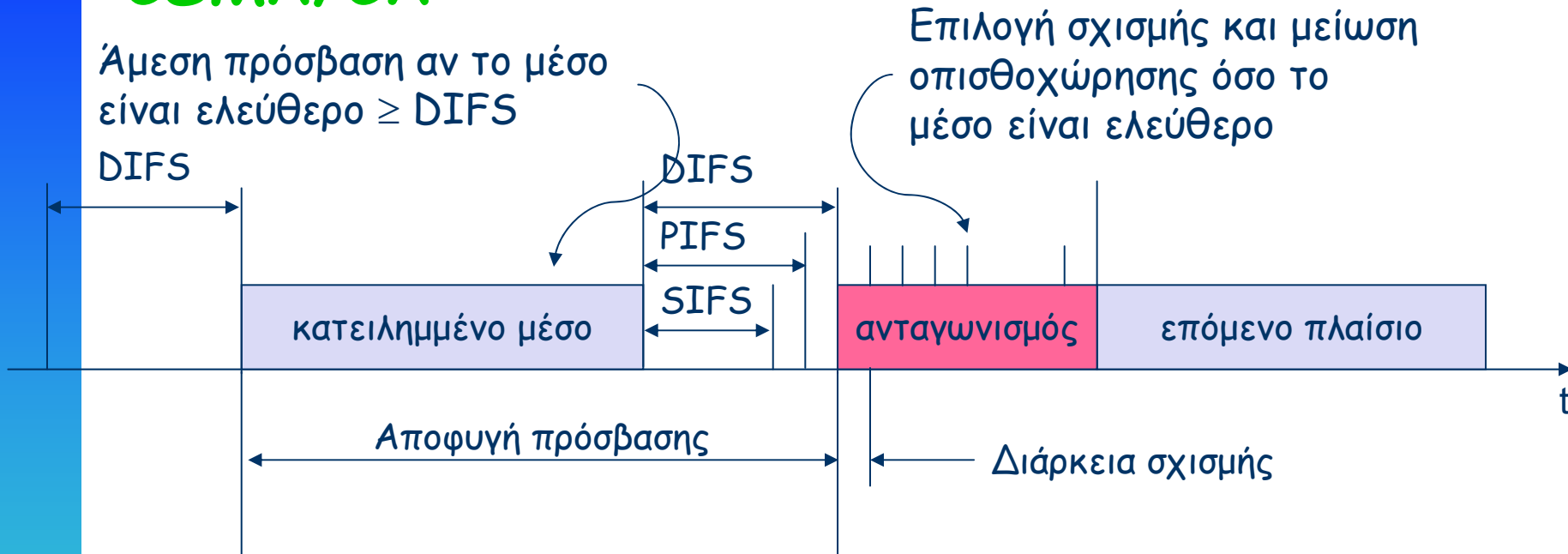
## CSMA/CA

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



## CSMA/CA

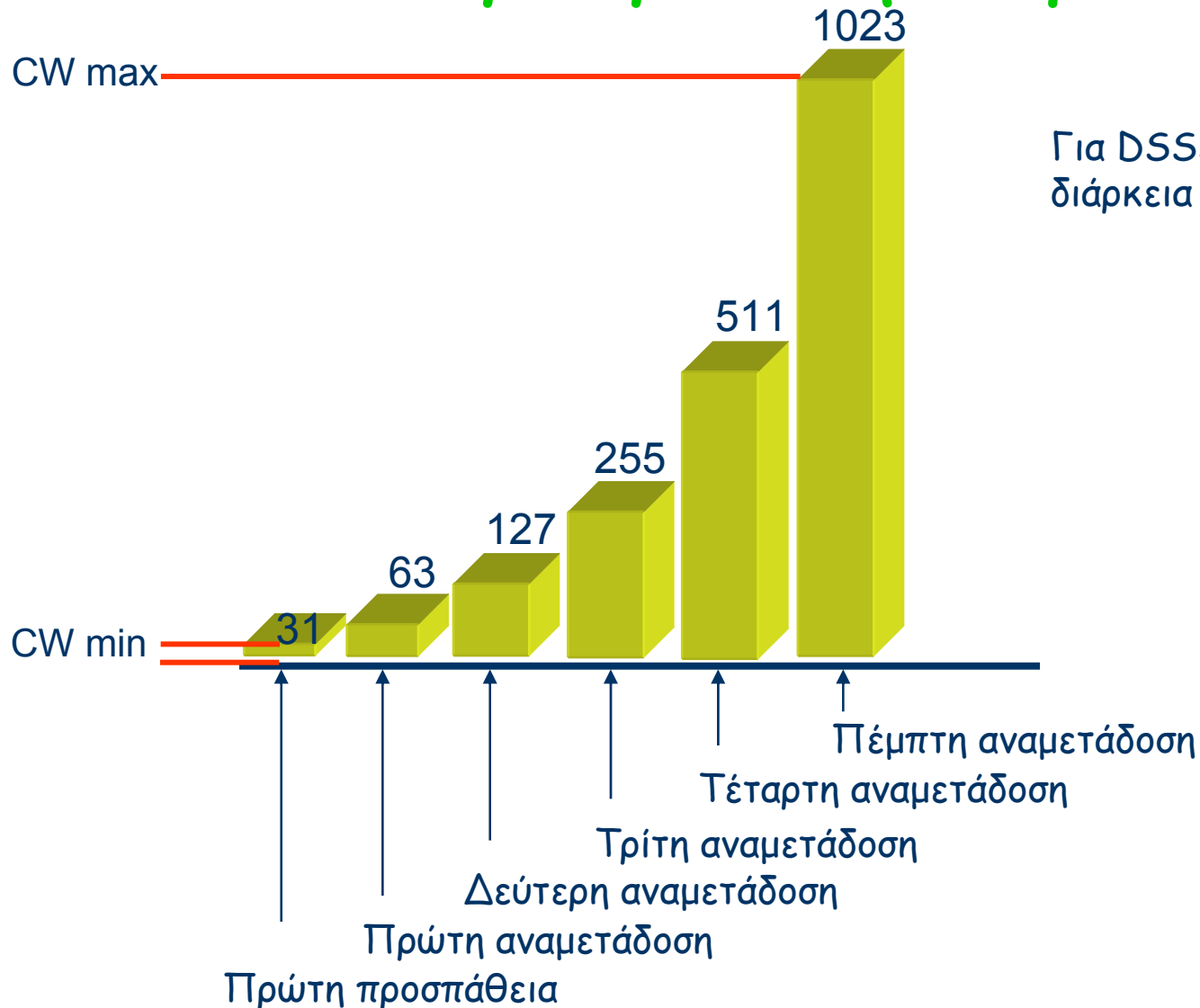
Άμεση πρόσβαση αν το μέσο είναι ελεύθερο  $\geq$  DIFS



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



## CSMA/CA: Παράθυρο ανταγωνισμού





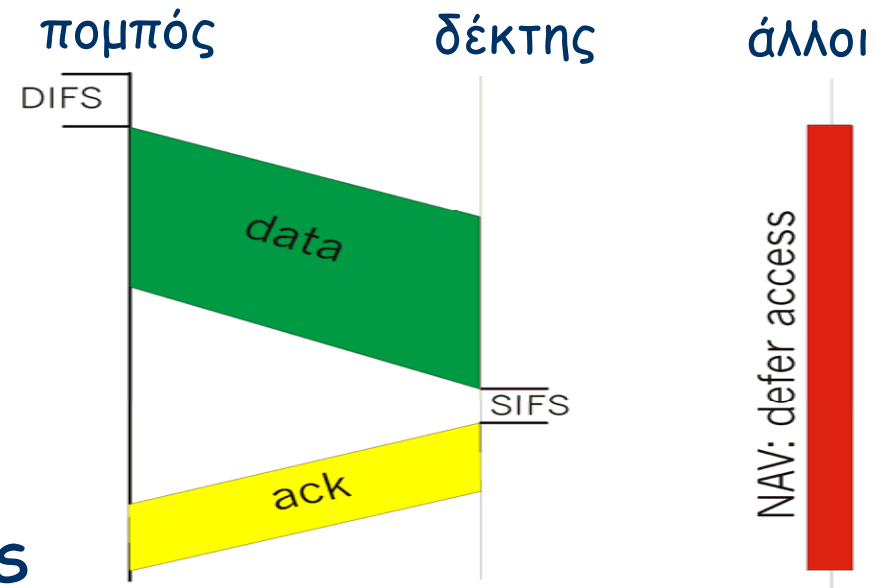
## CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

### 802.11 CSMA: εκπομπή

- εάν 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)



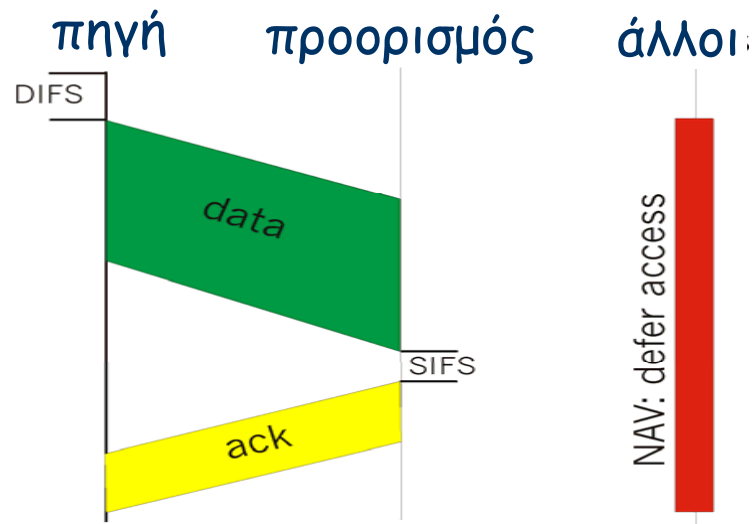


# IEEE 802.11: MAC



## 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



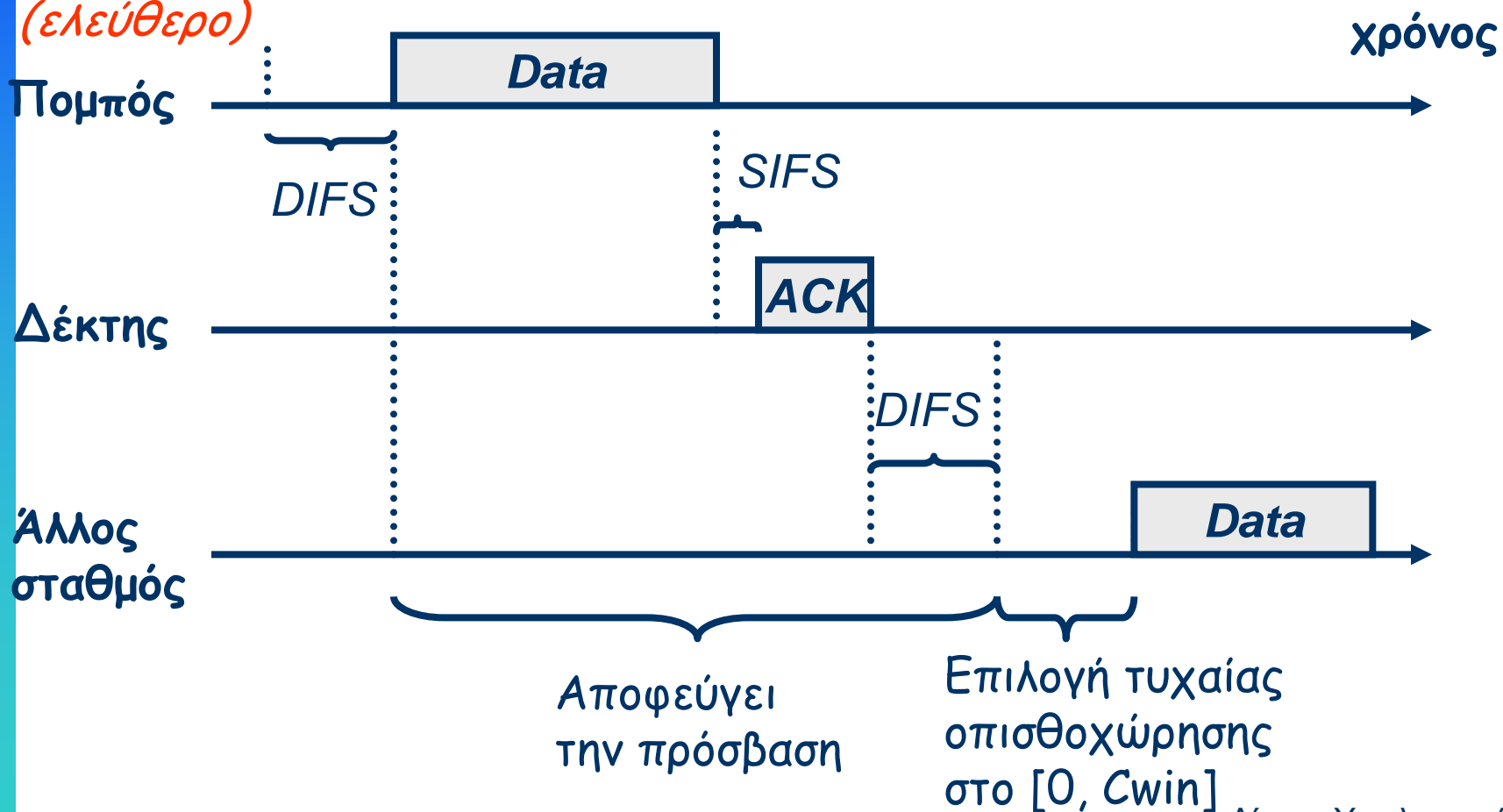
# IEEE 802.11: MAC



## CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

Ξεκινά η ακρόαση  
του μέσου  
(ελεύθερο)

$C_{win}$  = παράθυρο ανταγωνισμού





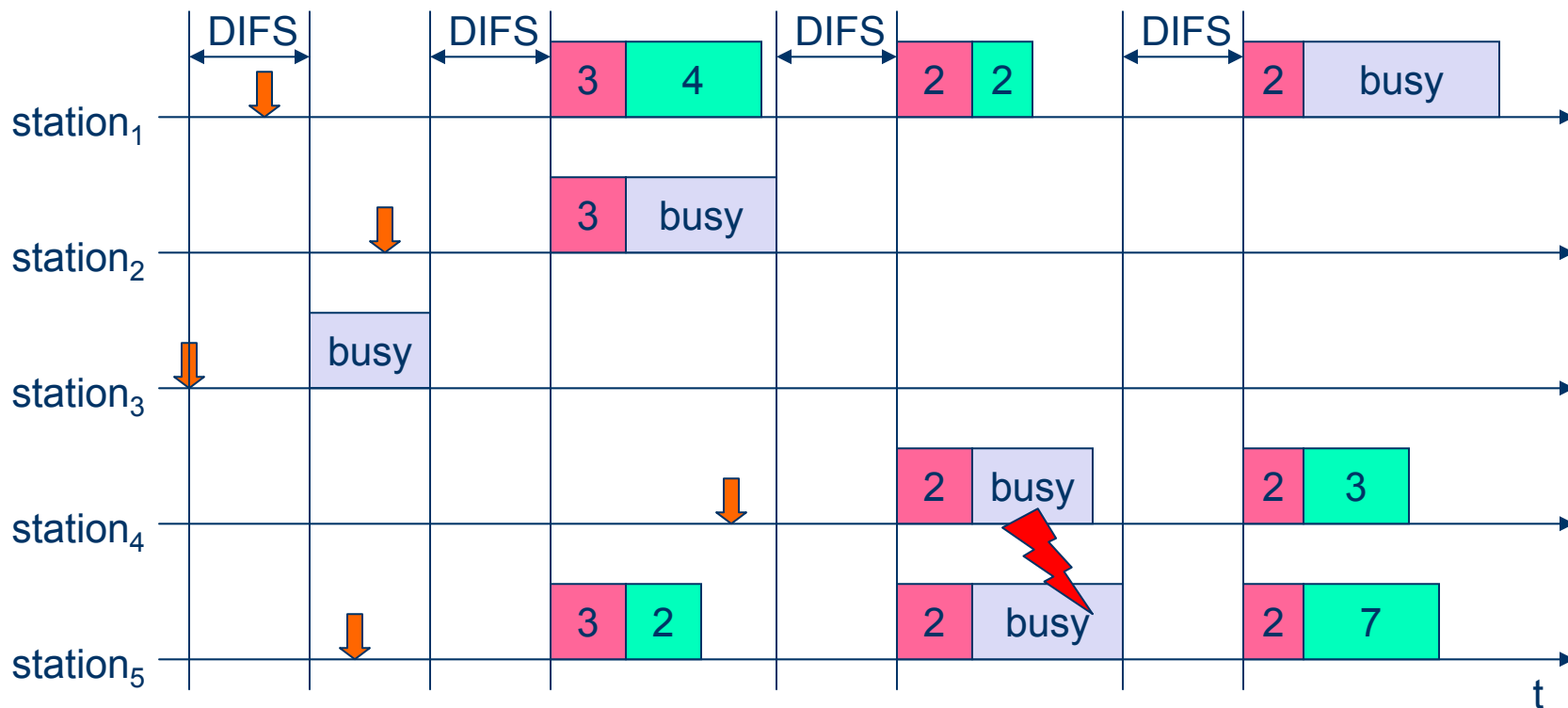
## Network Allocation Vector (NAV)

- 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



busy

απασχολημένο (πλαίσιο, ack, κλπ)

bo<sub>e</sub>

Παρωχημένη οπισθοχώρηση



Άφιξη πακέτου στο MAC

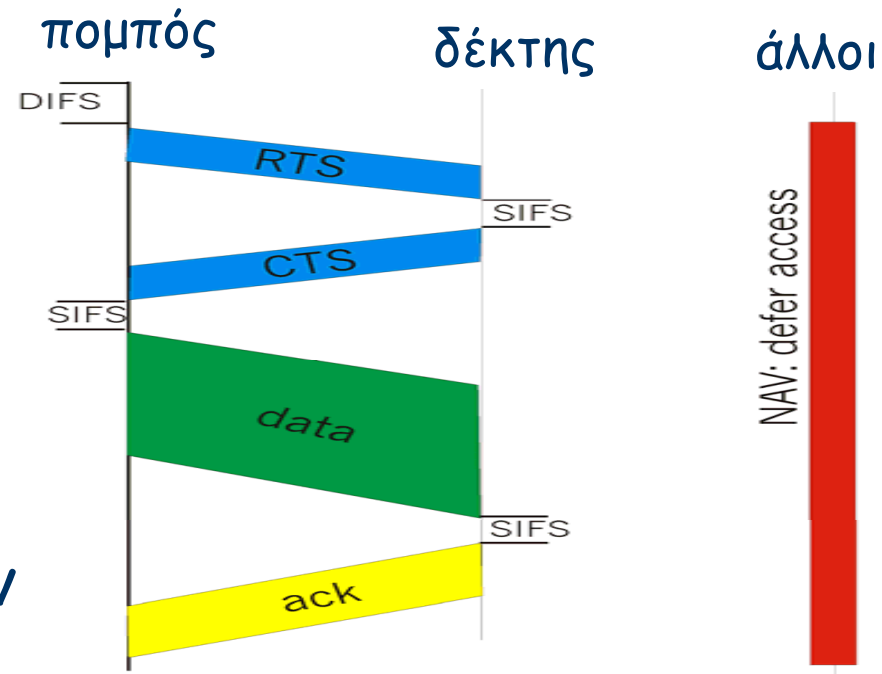
bo<sub>r</sub>

Υπολειπόμενη οπισθοχώρηση



## 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

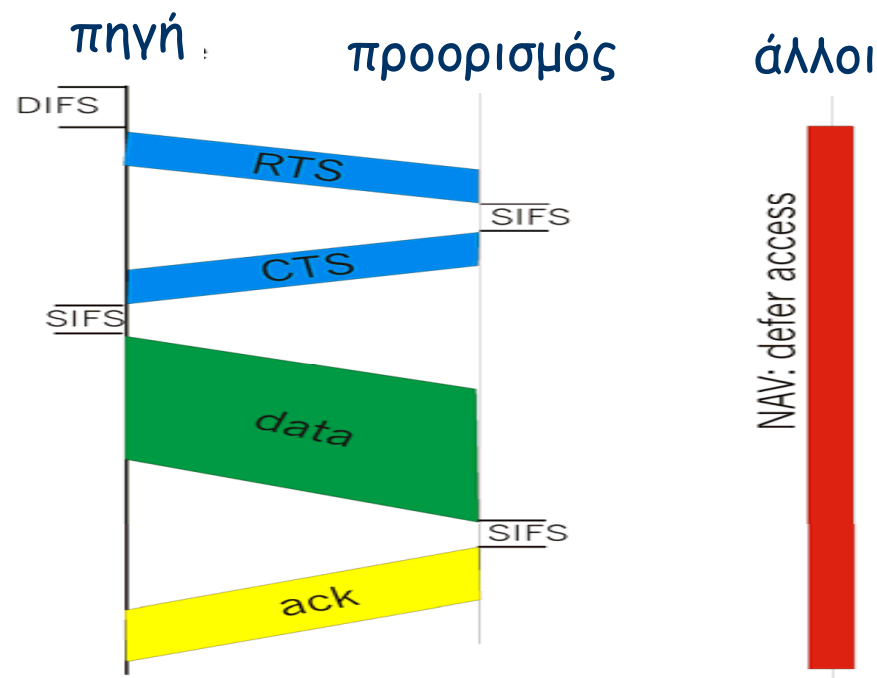




## CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

- σύντομα RTS και CTS:

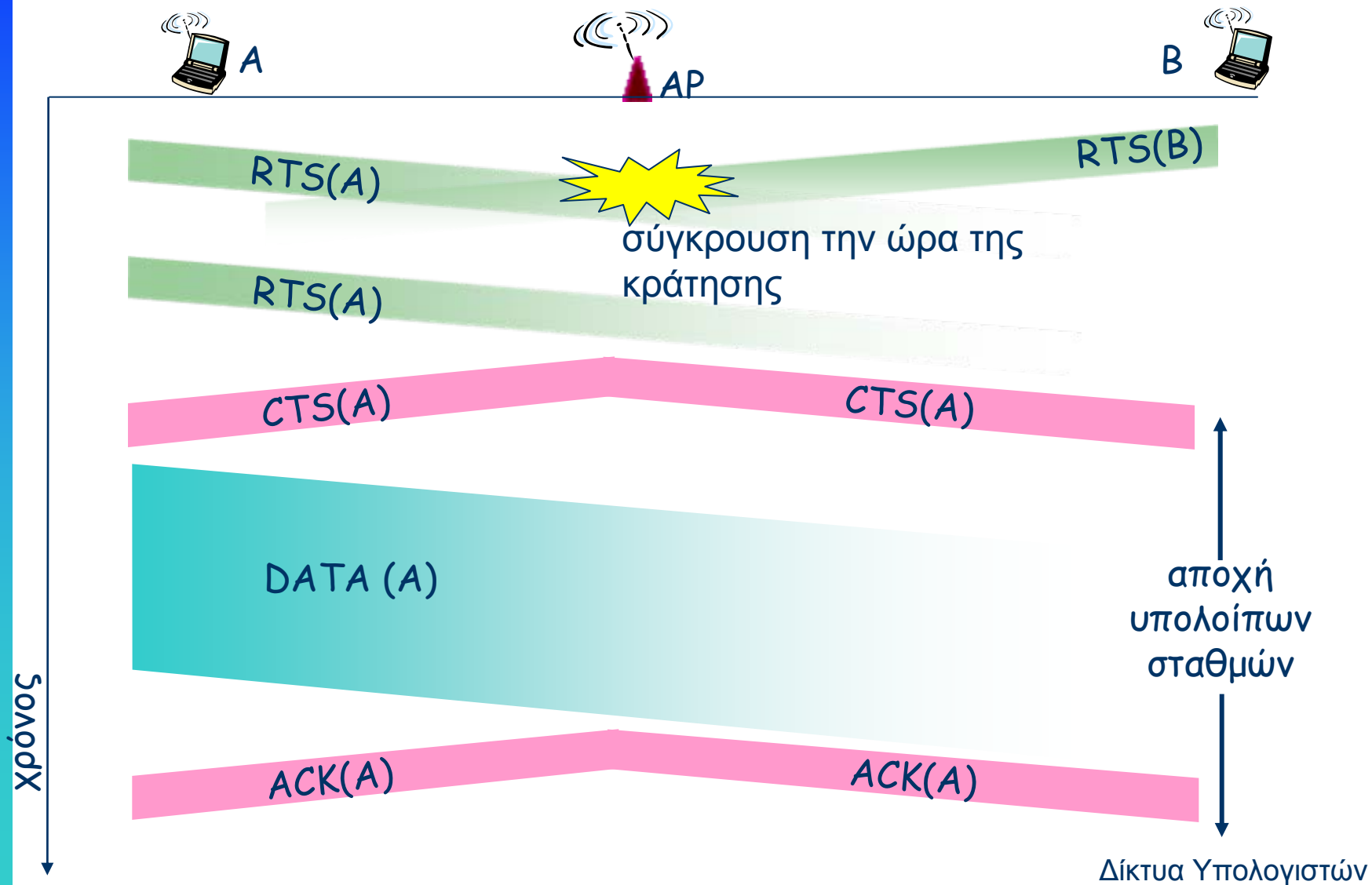
- μικρότερη πιθανότητα σύγκρουσης
- μικρότερης διάρκειας σύγκρουσης
- αποτέλεσμα παρόμοιο με την ανίχνευση φέροντος (*virtual carrier sense*)



# IEEE 802.11: MAC



## Virtual Carrier Sense



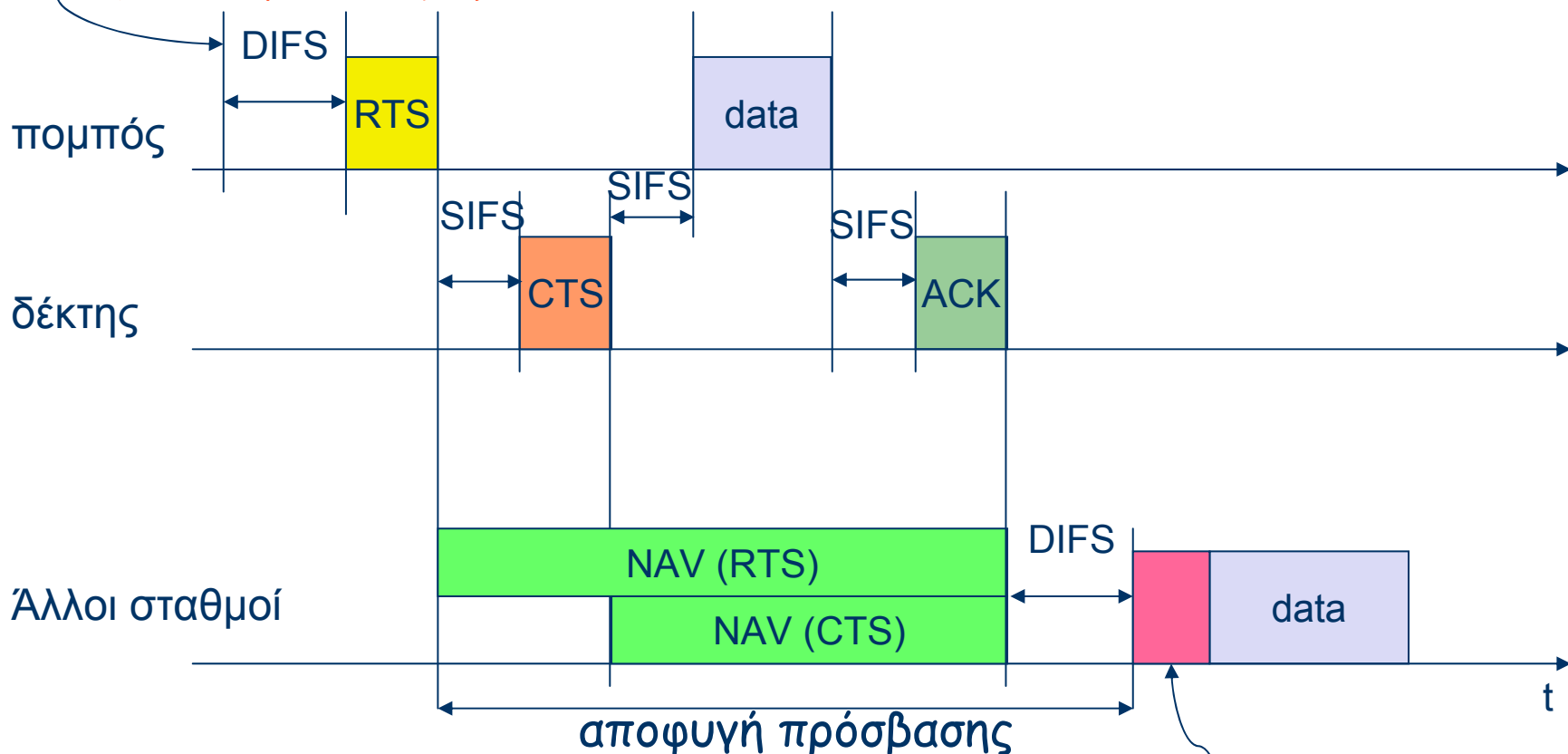
# IEEE 802.11: MAC



## CSMA/CS: χρονοδιάγραμμα με RTS/CTS

Ξεκινά η ακρόαση του μέσου (ελεύθερο)

$C_{win}$  = παράθυρο ανταγωνισμού



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





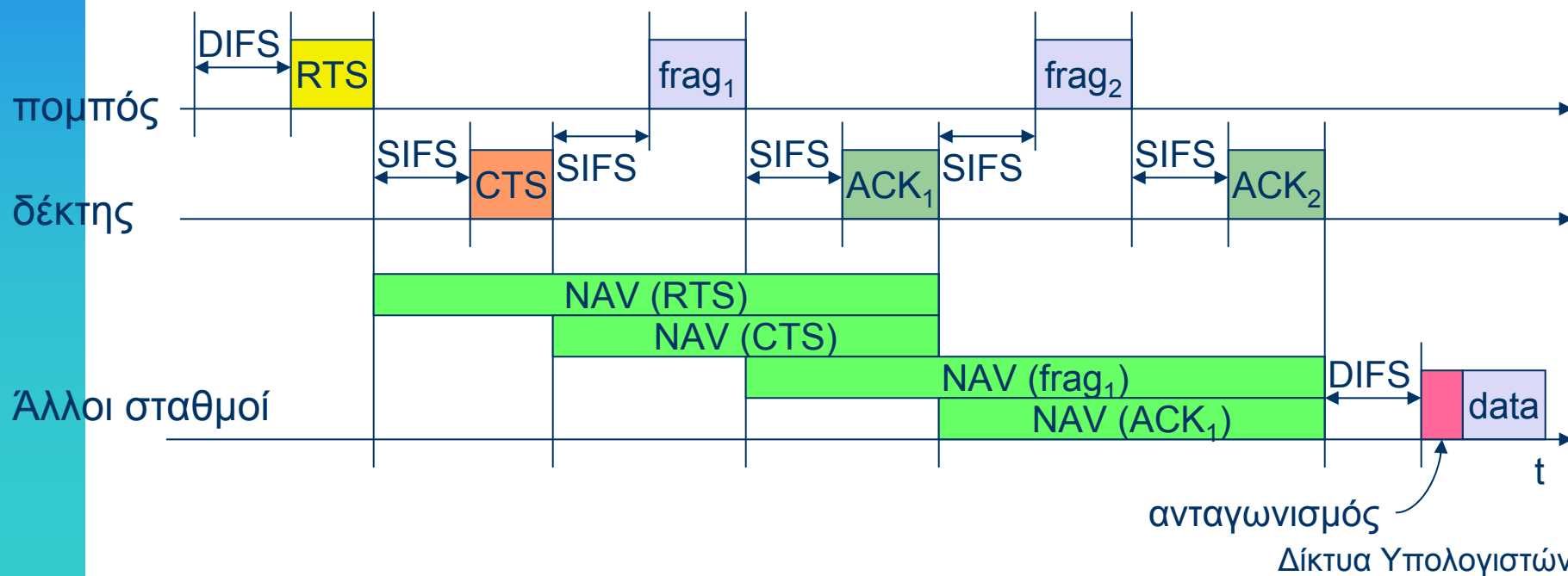
## CSMA/CA: RTS/CTS + ACK

- 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

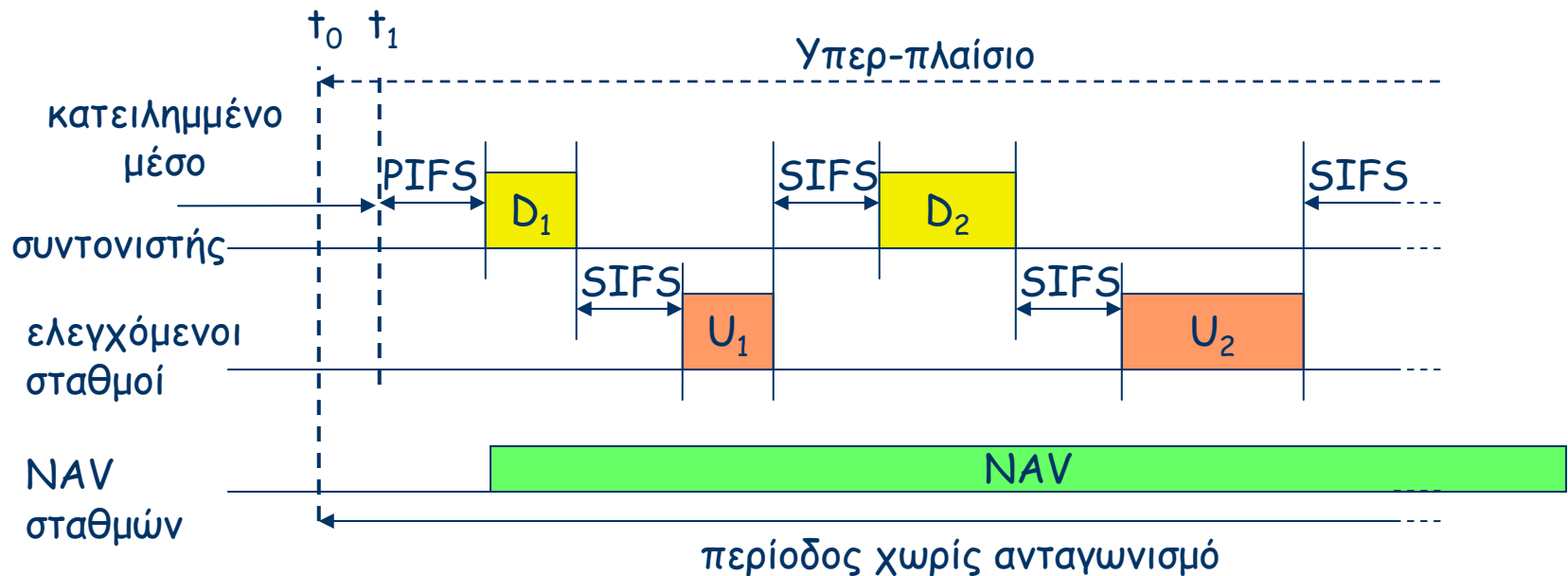
- Για να μειωθεί ο χρόνος κατάληψης του καναλιού σε περίπτωση σύγκρουσης, ένα πλαίσιο μπορεί να θρυμματισθεί και να μεταδοθεί ως πολλά μικρότερης διάρκειας πλαίσια





## Point Coordination Function (PCF)

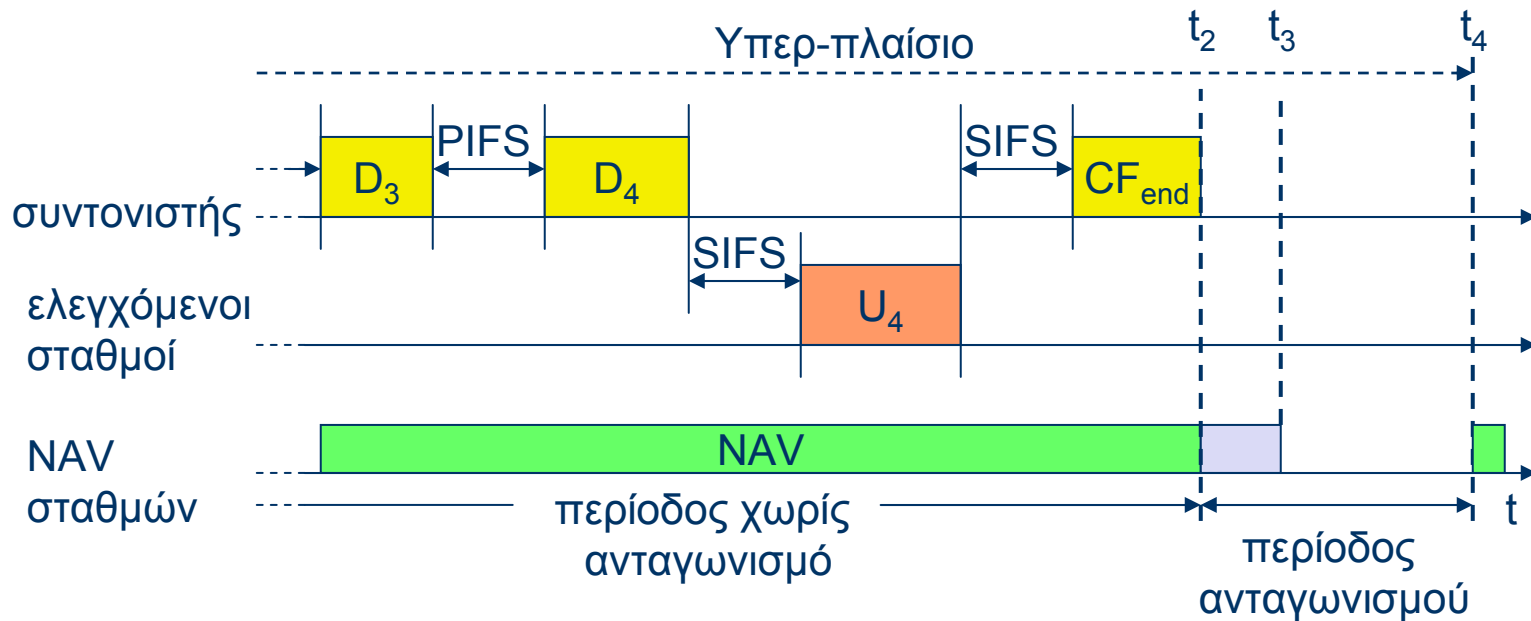
- Σε τι διαφέρει η PCF και η DCF?
- Ερωταποκρίσεις σταθμών → Polling



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)

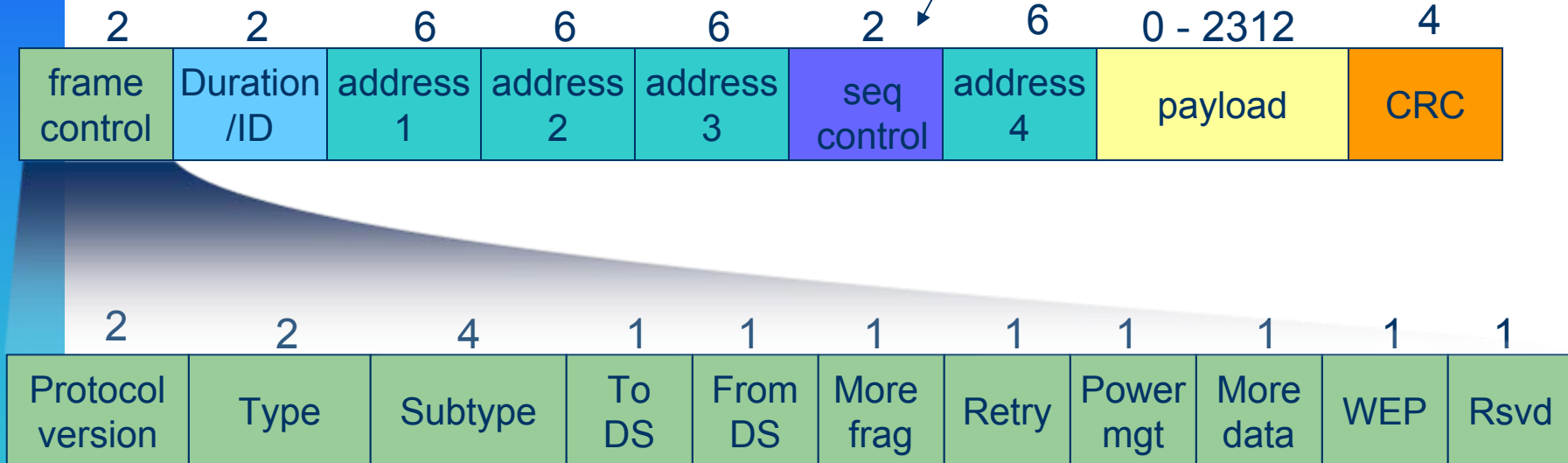
# IEEE 802.11: MAC



## 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, διάστημα μεταξύ Beacon, 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<sup>ο</sup> 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



## Το 2<sup>ο</sup> 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 ίδιου πλαισίου
- **Retry** (1 bit) - δείχνει ότι το πλαίσιο είναι επαναμετάδοση (για να αναγνωρίζονται αντίγραφα πλαισίων π.χ. σε περίπτωση απώλειας του ACK)

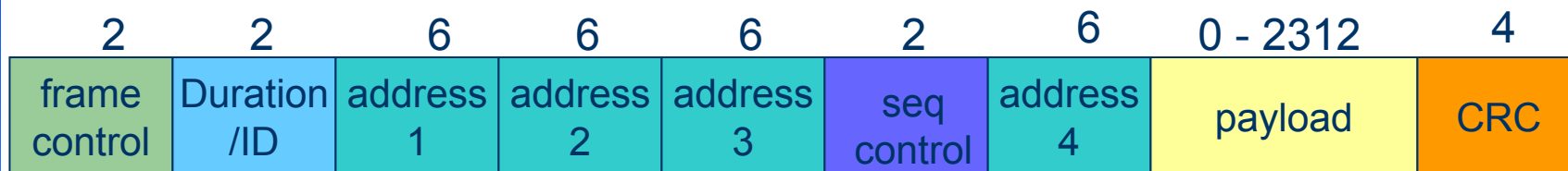


## Το 2<sup>ο</sup> byte του πεδίου ελέγχου πλαισίου

- **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



## 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 ίδιου 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 ενδιάμεσου παραλήπτη)

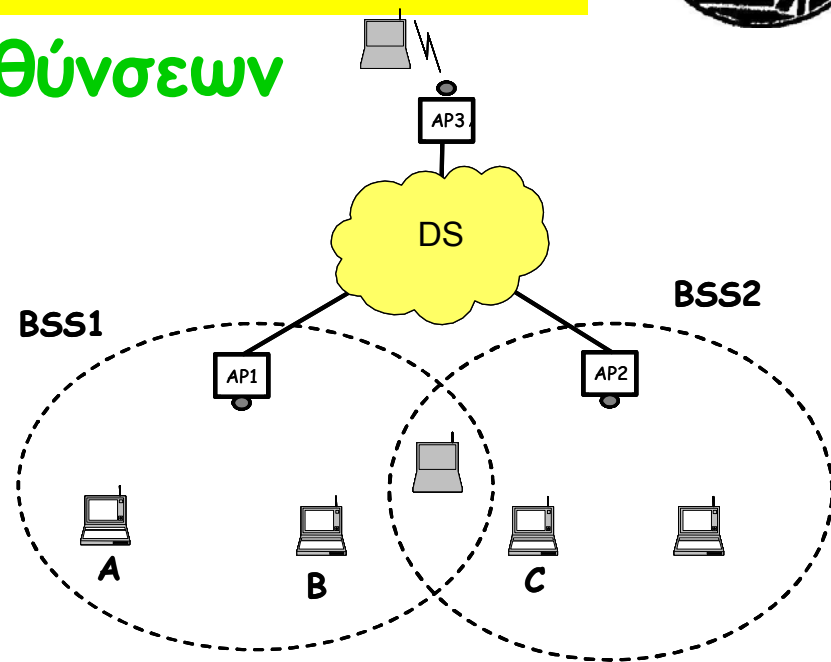
TA: διεύθυνση του πομπού AP (στο WDS που μεταδίδει το πλαίσιο)

BSSID: διεύθυνση του AP

# 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	-

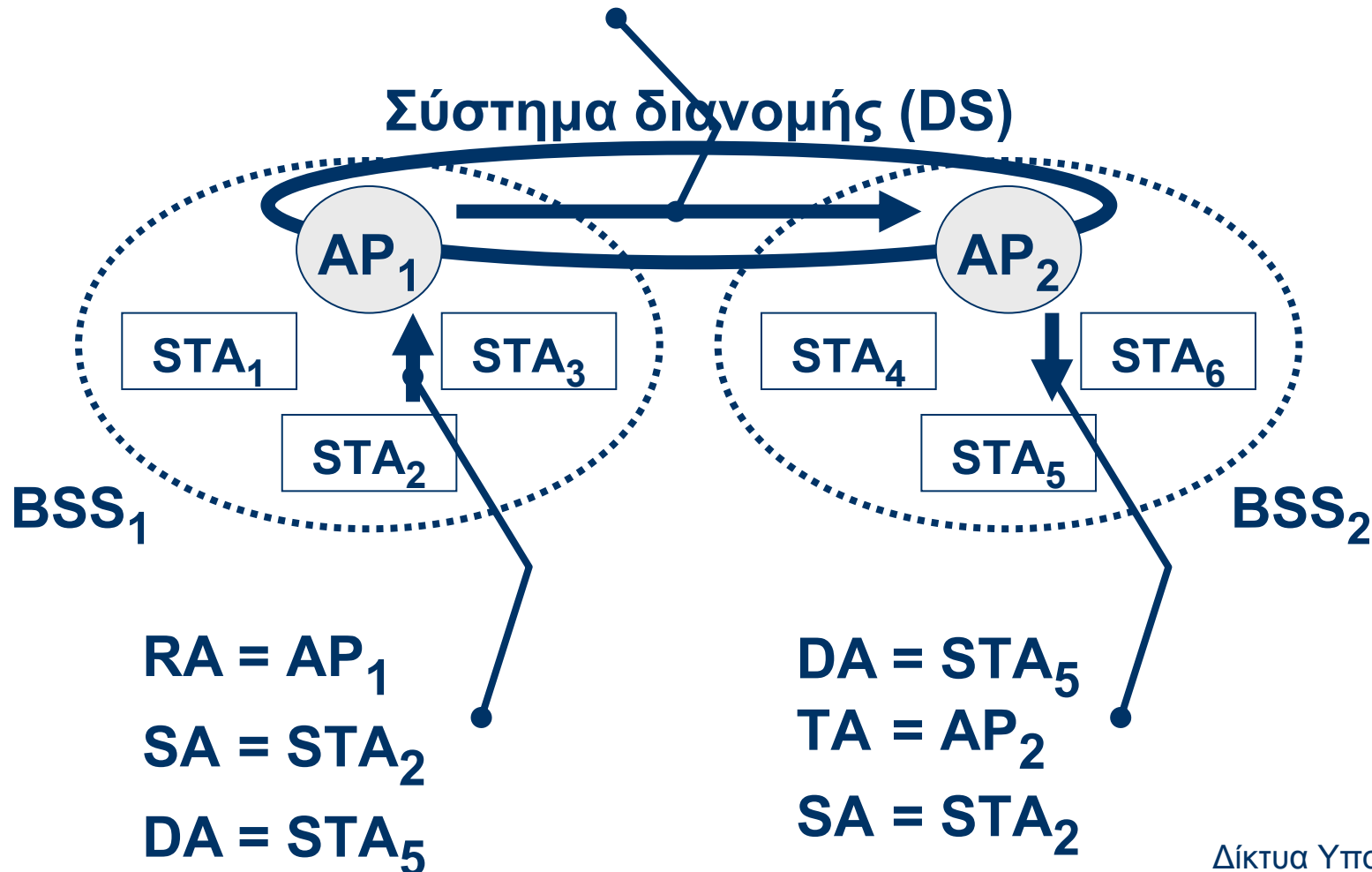


# IEEE 802.11: MAC



## Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων σε DS

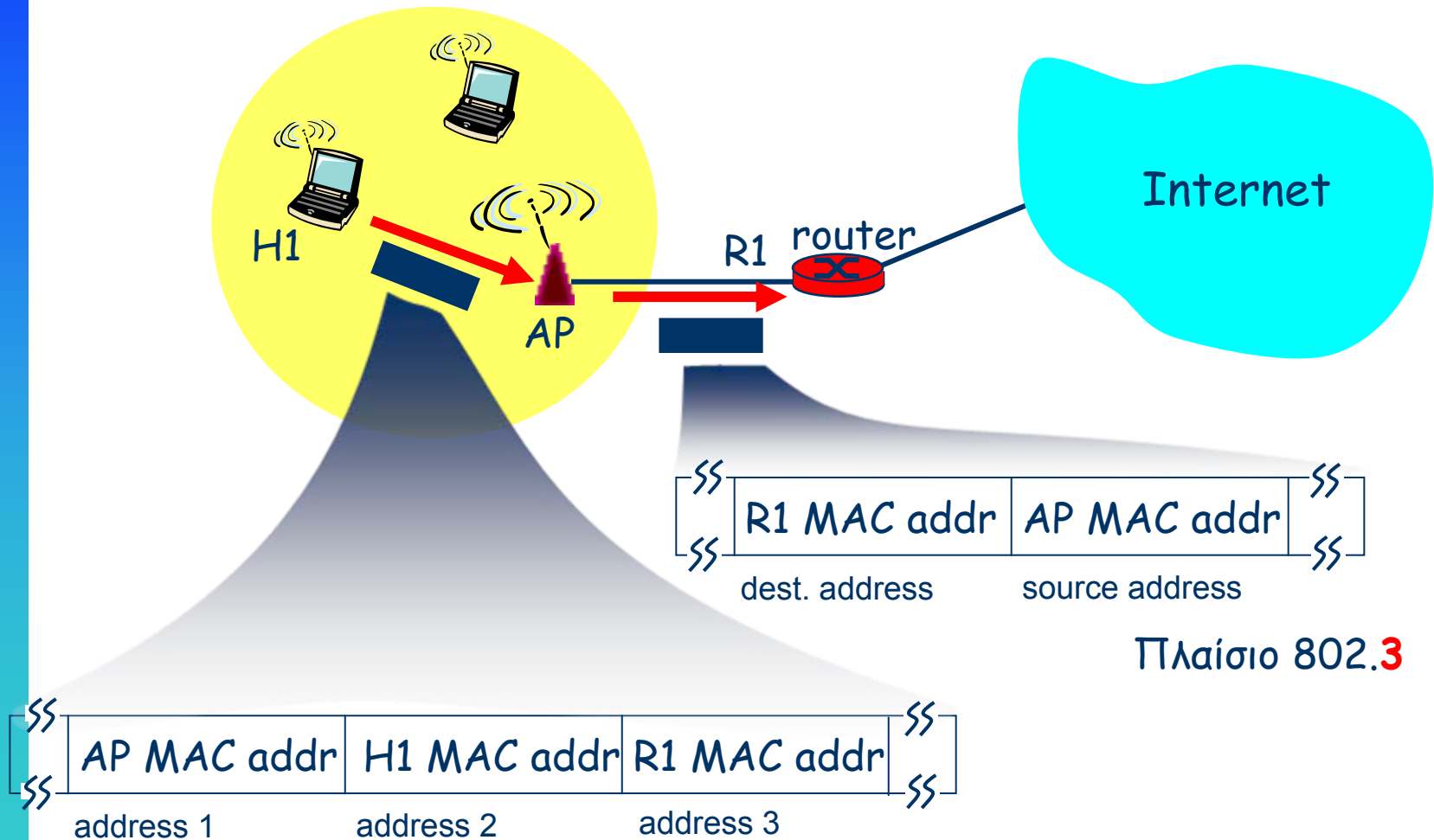
$RA = AP_2$ ,  $TA = AP_1$ ,  $DA = STA_5$ ,  $SA = STA_2$



# IEEE 802.11: MAC



## Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων (με υποδομή)

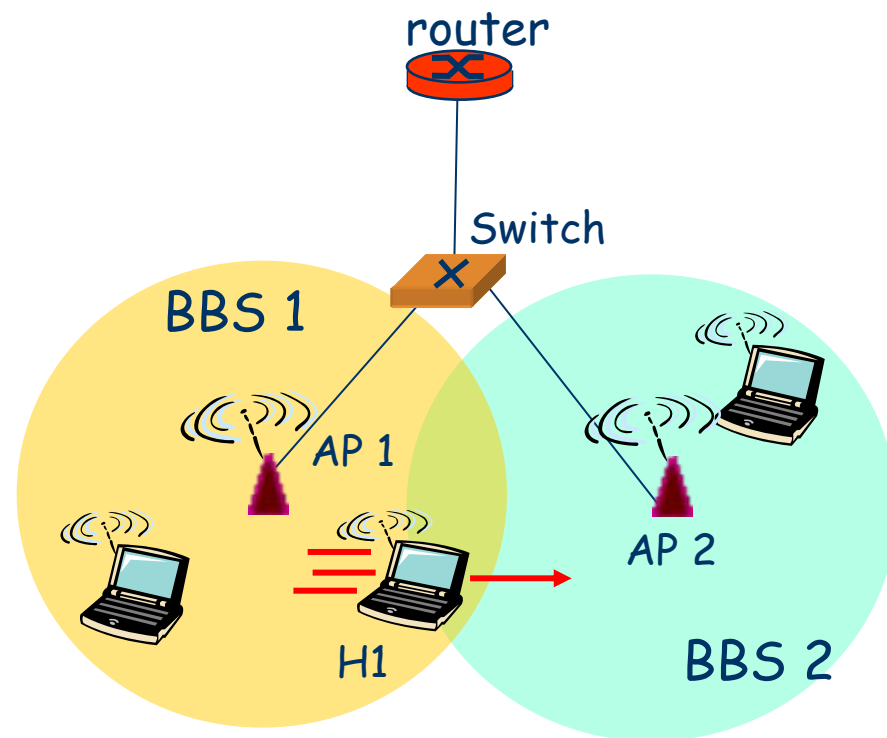


Πλαίσιο 802.11



## Κινητικότητα στο ίδιο υποδίκτυο

- Ο Η1 παραμένει στο ίδιο υποδίκτυο IP: η διεύθυνση IP μπορεί να παραμείνει ίδια
- Το switch που είναι συσχετισμένο με τον Η1:
  - με αυτοεκπαίδευση θα μάθει από πού λαμβάνει πλαίσια του Η1 και θα "θυμάται" σε ποια πόρτα θα στέλνει πλαίσια για τον Η1



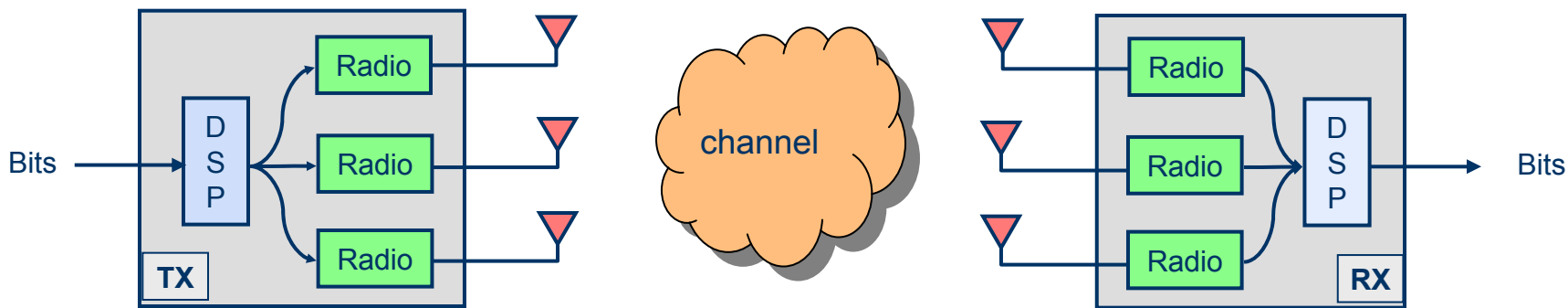


# Νέα πρότυπα IEEE 802.11

# 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



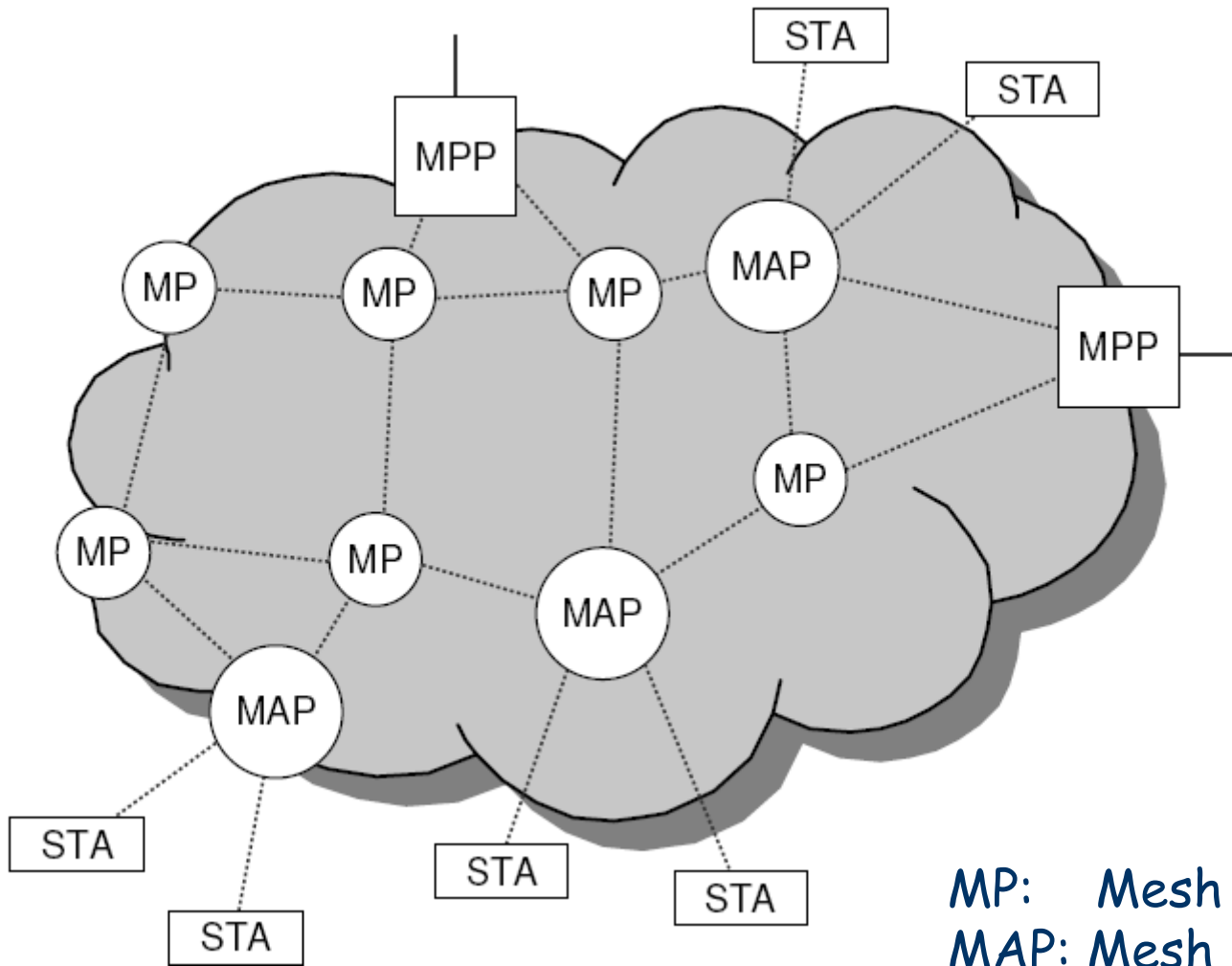
- Wireless Mesh Networks (WMN) είναι δίκτυα στα οποία κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνεί απ' ευθείας με έναν ή περισσότερους ομότιμους κόμβους.
- Διαφορετικά από τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα (π.χ. 802.11 WLAN) που απαιτούν κεντρικά σημεία πρόσβασης ενδιάμεσα.
- Κάθε κόμβος λειτουργεί όχι μόνο ως ένας 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