



# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ασύρματα  
Τοπικά Δίκτυα

# Περίληψη



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



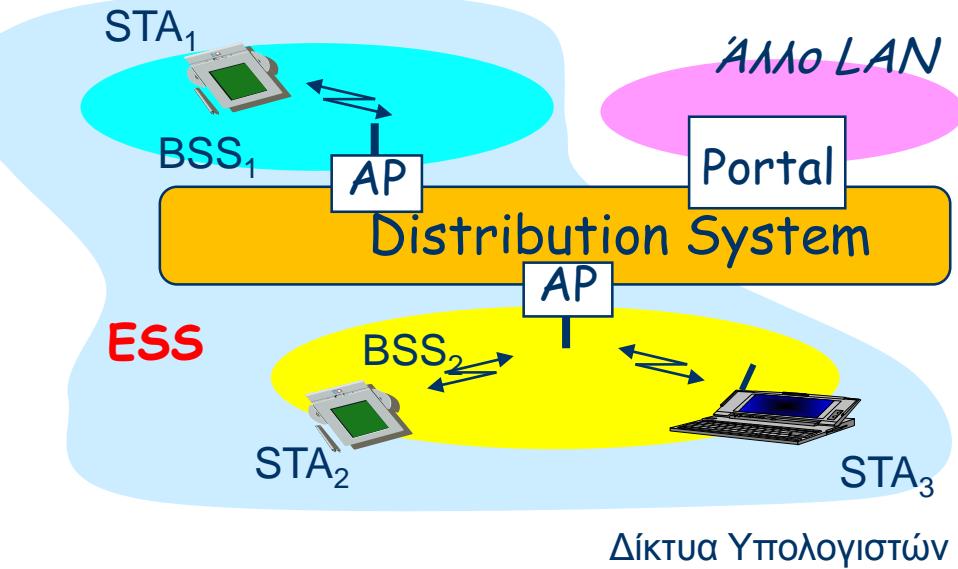
- Εξασφαλίζουν απαιτήσεις:
  - Κινητικότητας
  - Νομαδικής πρόσβασης
  - Δικτύωσης ad hoc
- Παρέχουν τρόπο κάλυψης σε περιοχές που υπάρχει δυσκολία καλωδίωσης.
- Παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (αρκετά Mbps) σε φορητά τερματικά.
  - Μετακίνηση σε περιορισμένες περιοχές ( π.χ. μεγάλα κτίρια, πανεπιστημιουπόλεις,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

# Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



## WLAN με Υποδομή

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

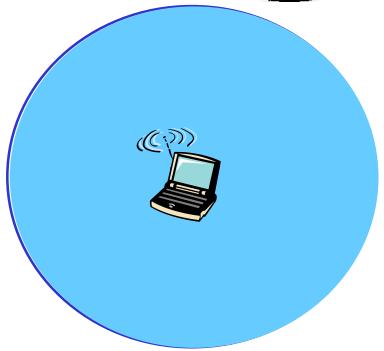
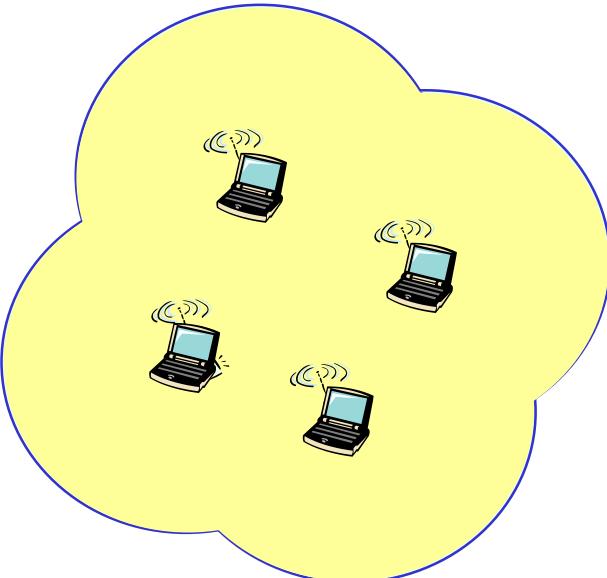
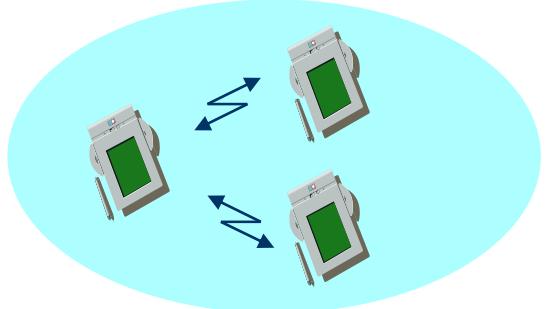
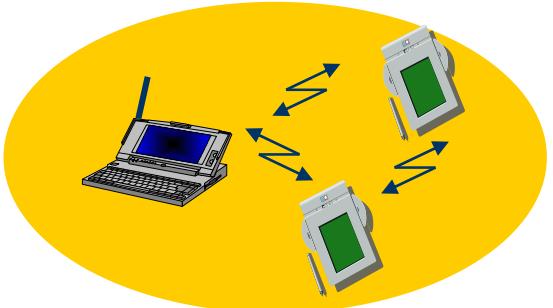


Δίκτυα Υπολογιστών

# Αρχιτεκτονικές ασύρματων LAN



## Αυθύπαρκτα WLAN



- Οι σταθμοί οργανώνονται δυναμικά σε 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

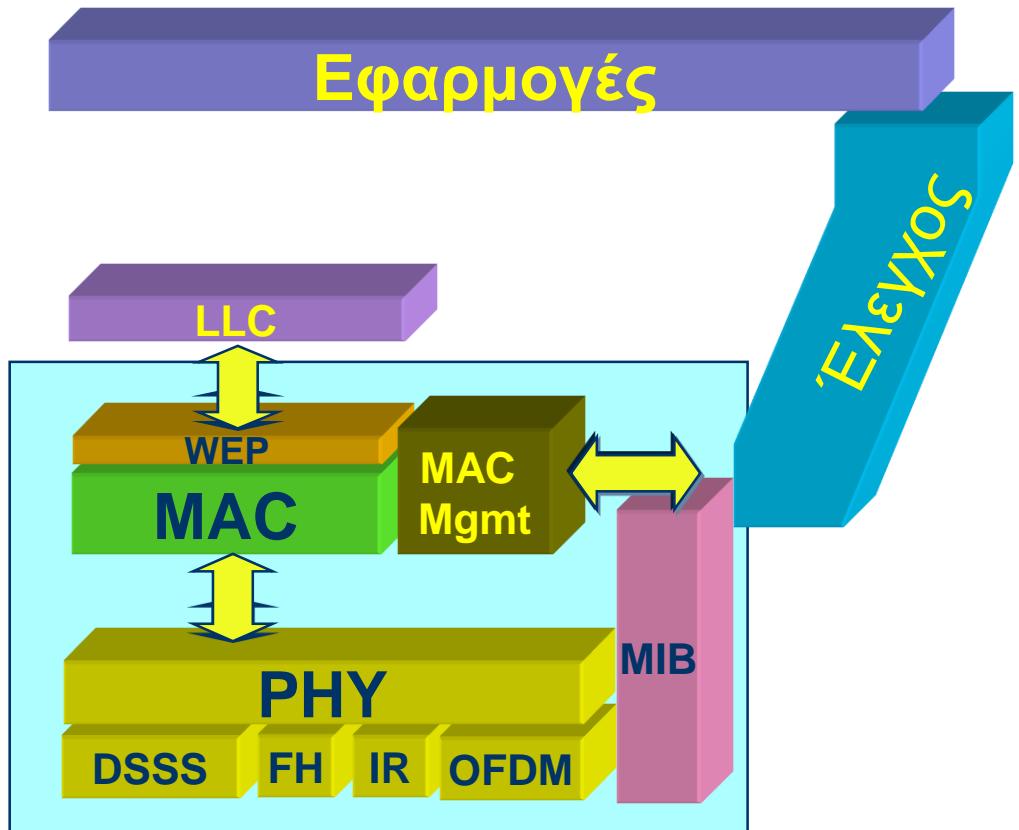


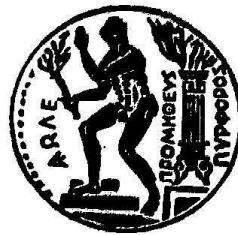
# Δίκτυα IEEE 802.11

# IEEE 802.11: προδιαγραφές



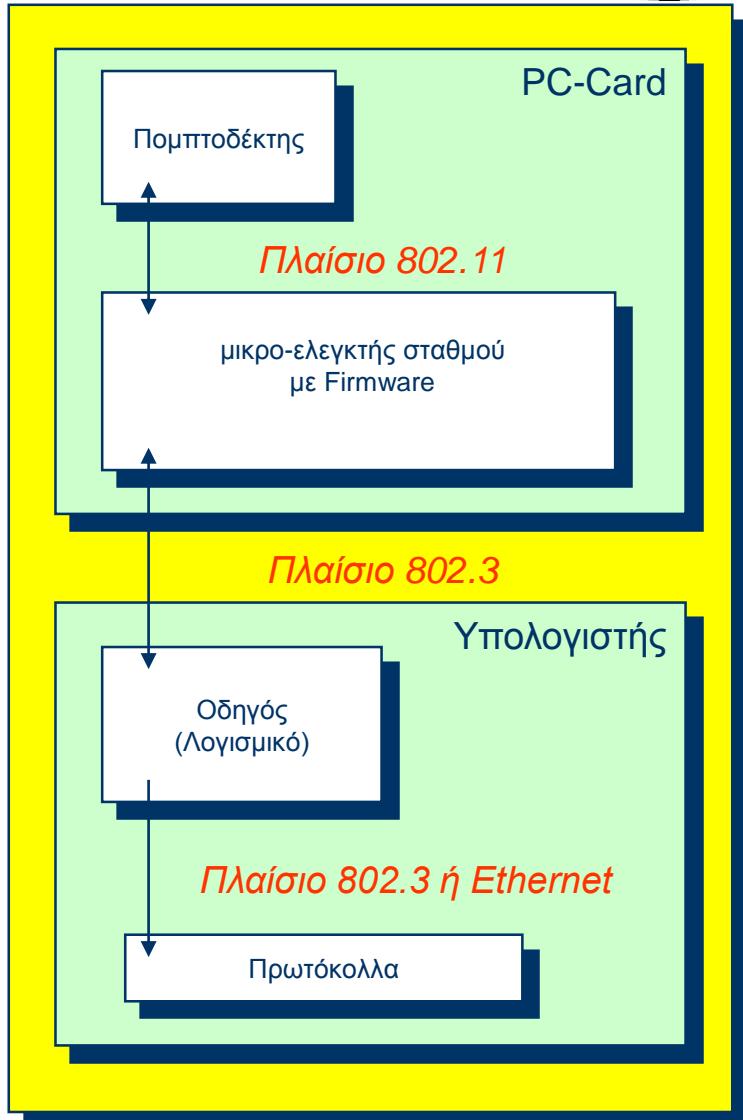
- Καλύπτουν τα στρώματα κάτω από το LLC
- Περιλαμβάνουν και τις διεπαφές ελέγχου/διαχείρισης





## Σταθμός (STA)

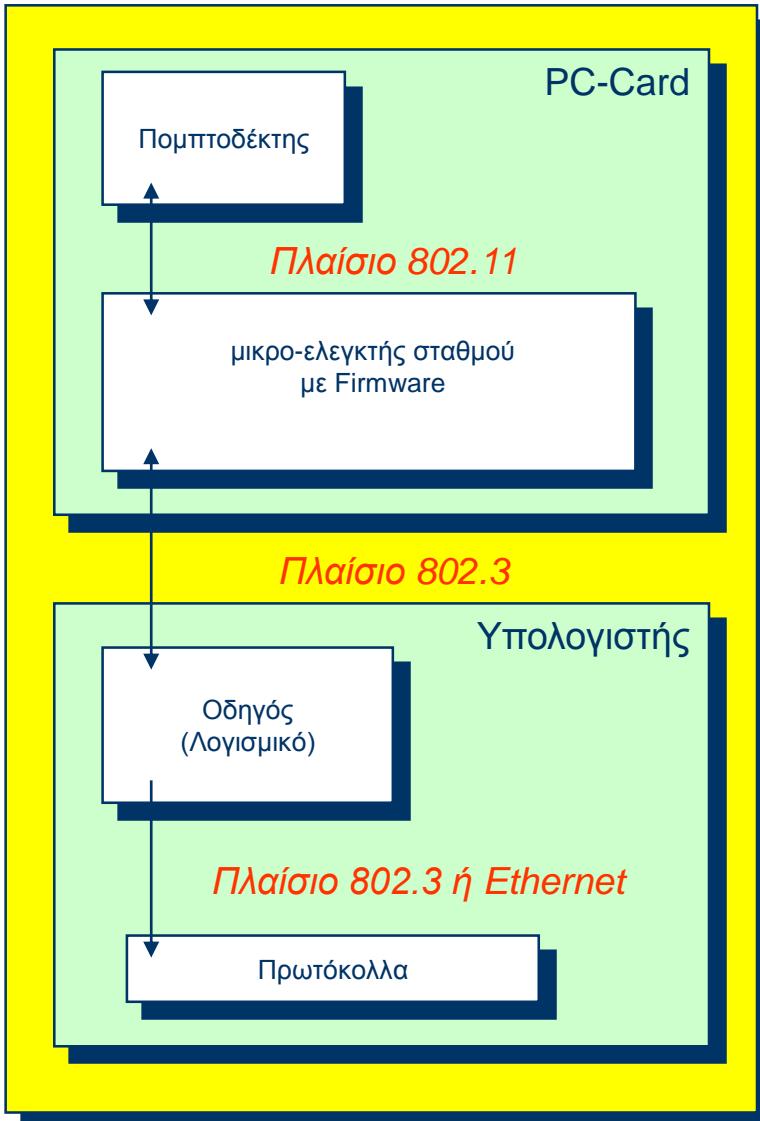
- Περιέχει διεπαφή MAC και PHY προς το ασύρματο μέσο συμβατή με IEEE 802.11, αλλά **δεν παρέχει** πρόσβαση σε σύστημα διανομής.
- ακραίο τερματικό (φορητός υπολογιστής, κλπ)
- Υλοποίηση σε PC-card.





## Σταθμός (STA)

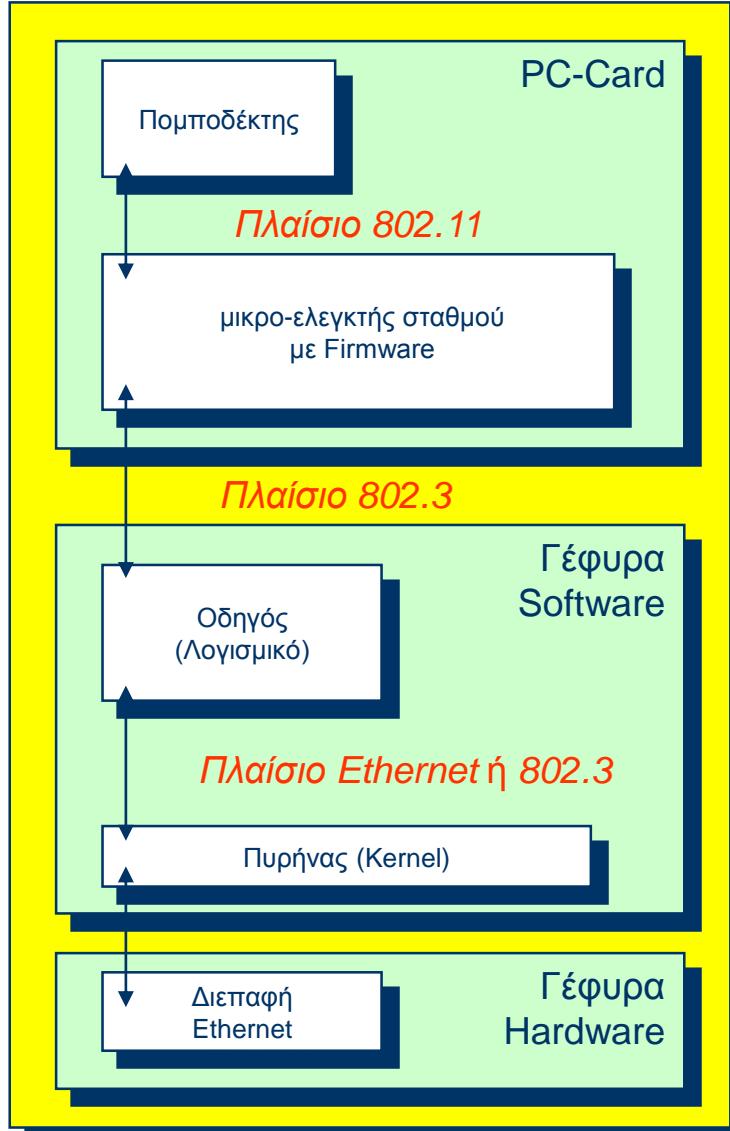
- Διεπαφή παρόμοια με Ethernet για να υποστηρίζονται τα συνήθη πρωτόκολλα.
- Διαφανής γεφύρωση με Ethernet.
- Ενθυλάκωση σύμφωνα με
  - IEEE 802.1H ή
  - RFC 1042 (Standard for the Transmission of IP Datagrams over IEEE 802 Networks)





## Σημείο Πρόσβασης (AP)

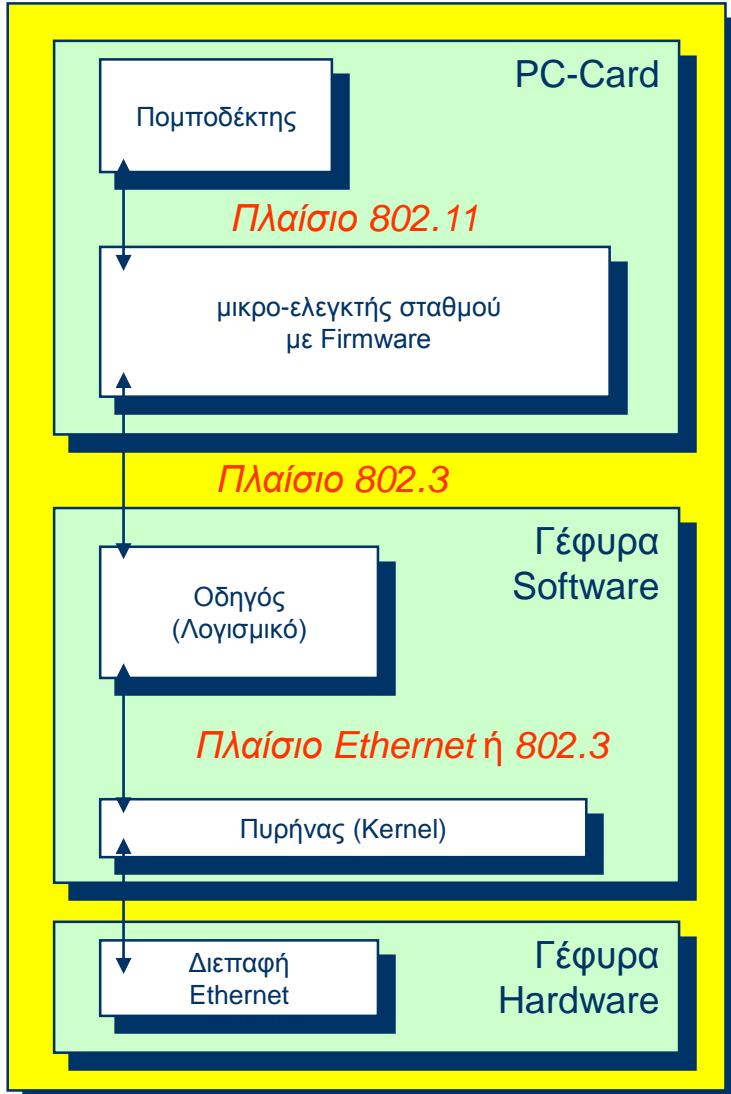
- Περιέχει διεπαφή MAC και PHY προς το ασύρματο μέσο συμβατή με IEEE 802.11 και προσφέρει, στους συνδεδεμένους με αυτό σταθμούς, πρόσβαση προς το σύστημα διανομής.
- Συνήθης υποδομή για σύνδεση με το ενσύρματο δίκτυο.
- Οι σταθμοί επιλέγουν ένα AP και σχετίζονται με αυτό.





## Σημείο Πρόσβασης (AP)

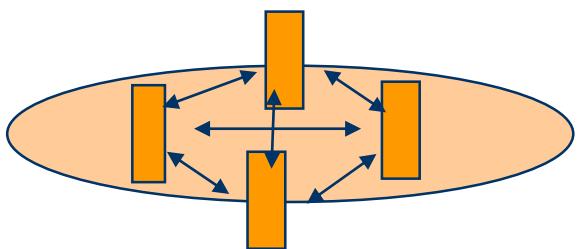
- Υποστηρίζει κινητικότητα.
- Παρέχει συγχρονισμό (ραδιοφάροι - beaconing).
- Παρέχει διαχείριση ισχύος (Power management).
- Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση διέρχεται μέσω του AP.
  - Στην περίπτωση IBSS υπάρχει απευθείας επικοινωνία σταθμών.



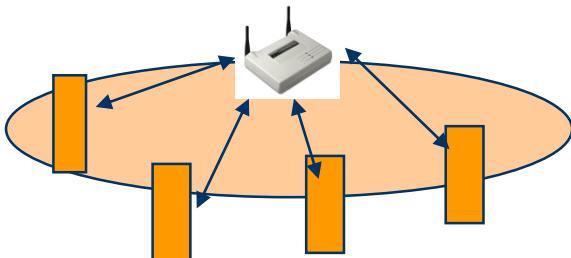


Basic Service Set (BSS): ομάδα σταθμών στην  
ίδια συχνότητα επικοινωνίας.

Independent Basic Service Set (IBSS)



Infrastructure Basic Service Set (BSS)



- Μόνο απευθείας επικοινωνία μεταξύ των σταθμών.
- Δεν υπάρχει λειτουργία αναμετάδοσης (relay).

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



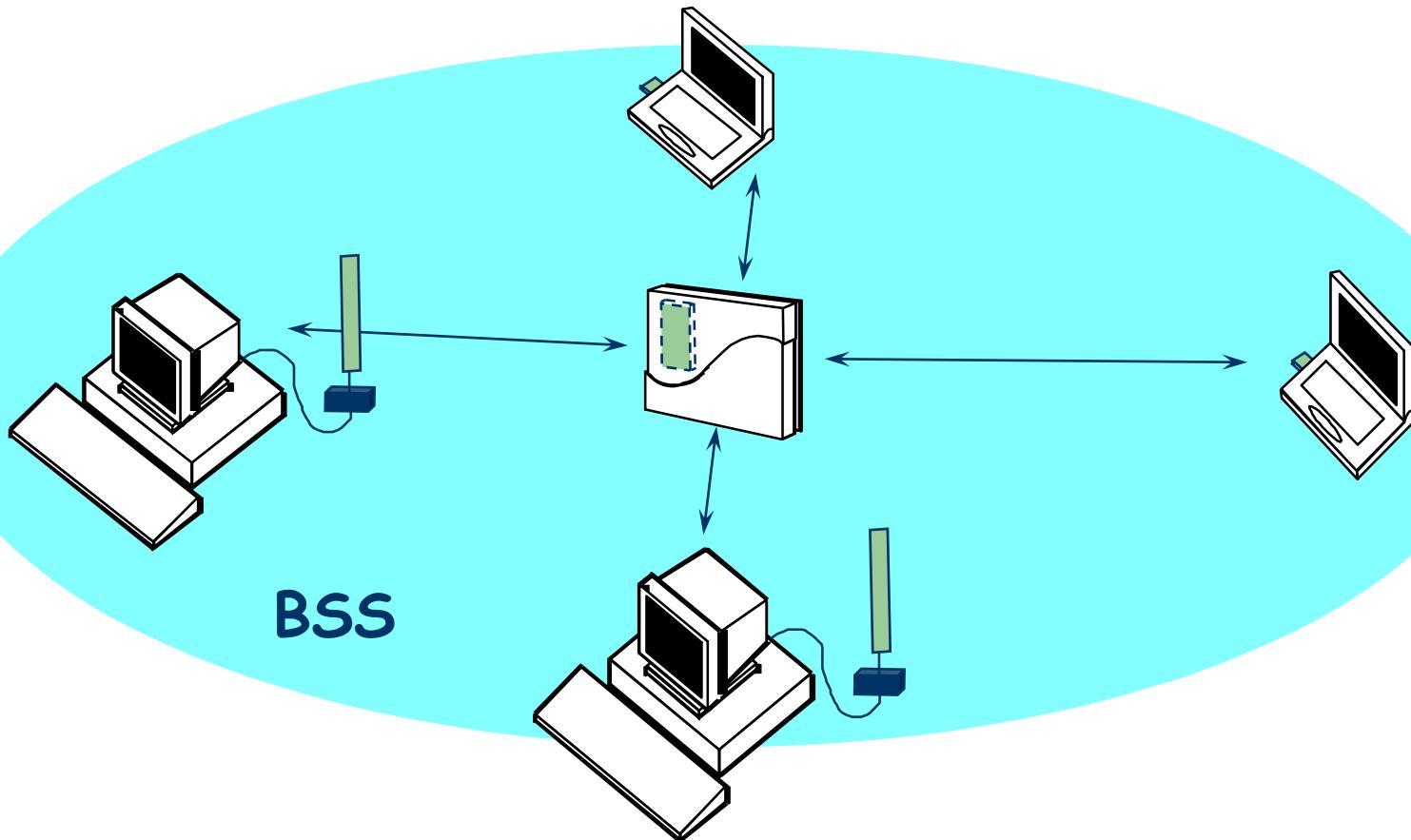
## Basic Service Set (BSS)

- Η βασική δομική μονάδα των ασύρματων δικτύων IEEE 802.11.
- Σύνολο σταθμών που ελέγχονται ενιαία από **μία** λειτουργία συντονισμού (Coordination Function).
  - **Coordination Function**: λειτουργία που προσδιορίζει πότε μπορεί ένας σταθμός να εκπέμψει ή να λάβει.
- Η περιοχή κάλυψης ενός BSS είναι αντίστοιχη της κυψέλης (cell) της κινητής τηλεφωνίας.
- Κάθε BSS προσδιορίζεται από την **SSID**.

# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



## BSS



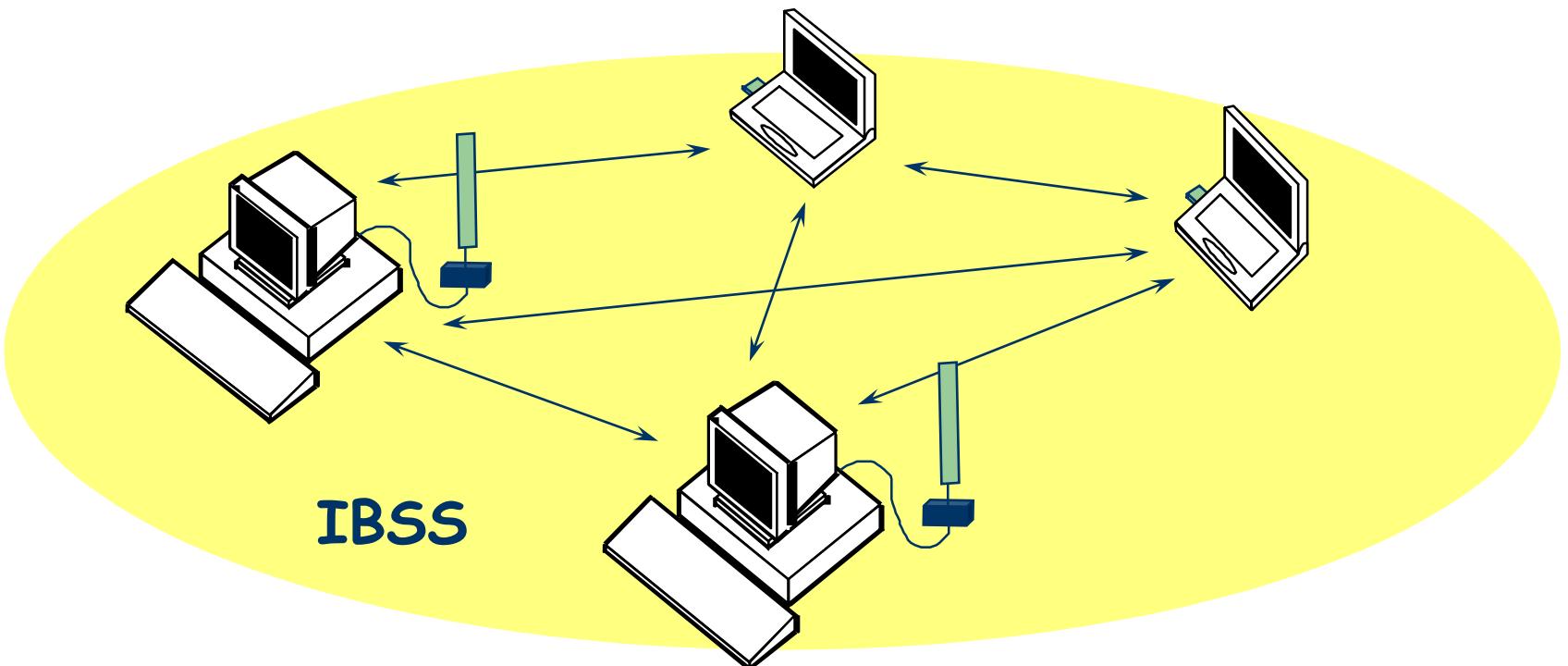


## Independent BSS (IBSS)

- 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 “αρχικοποιήσει” το δίκτυο και να αναλάβει τη λειτουργία συντονισμού.
- Η διάμετρος της κυψέλης είναι περίπου η απόσταση ραδιοκάλυψης μεταξύ δύο ασύρματων σταθμών.



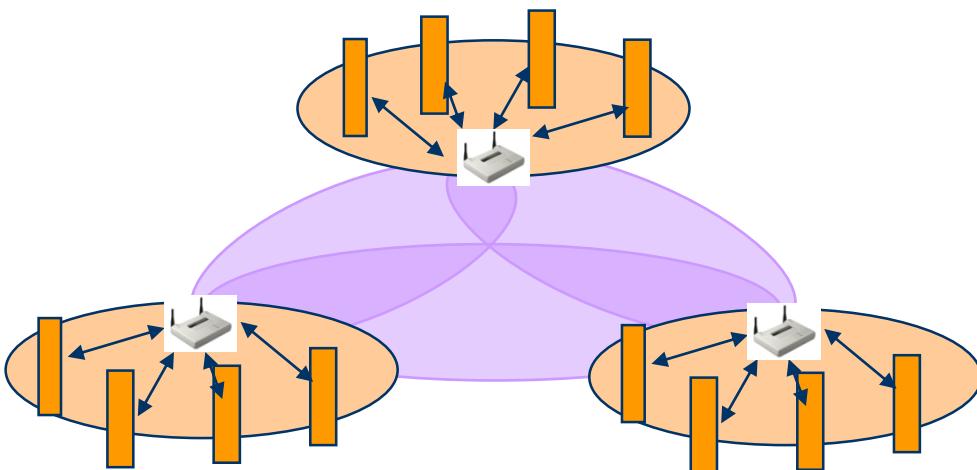
## IBSS





## Extended Service Set (ESS)

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

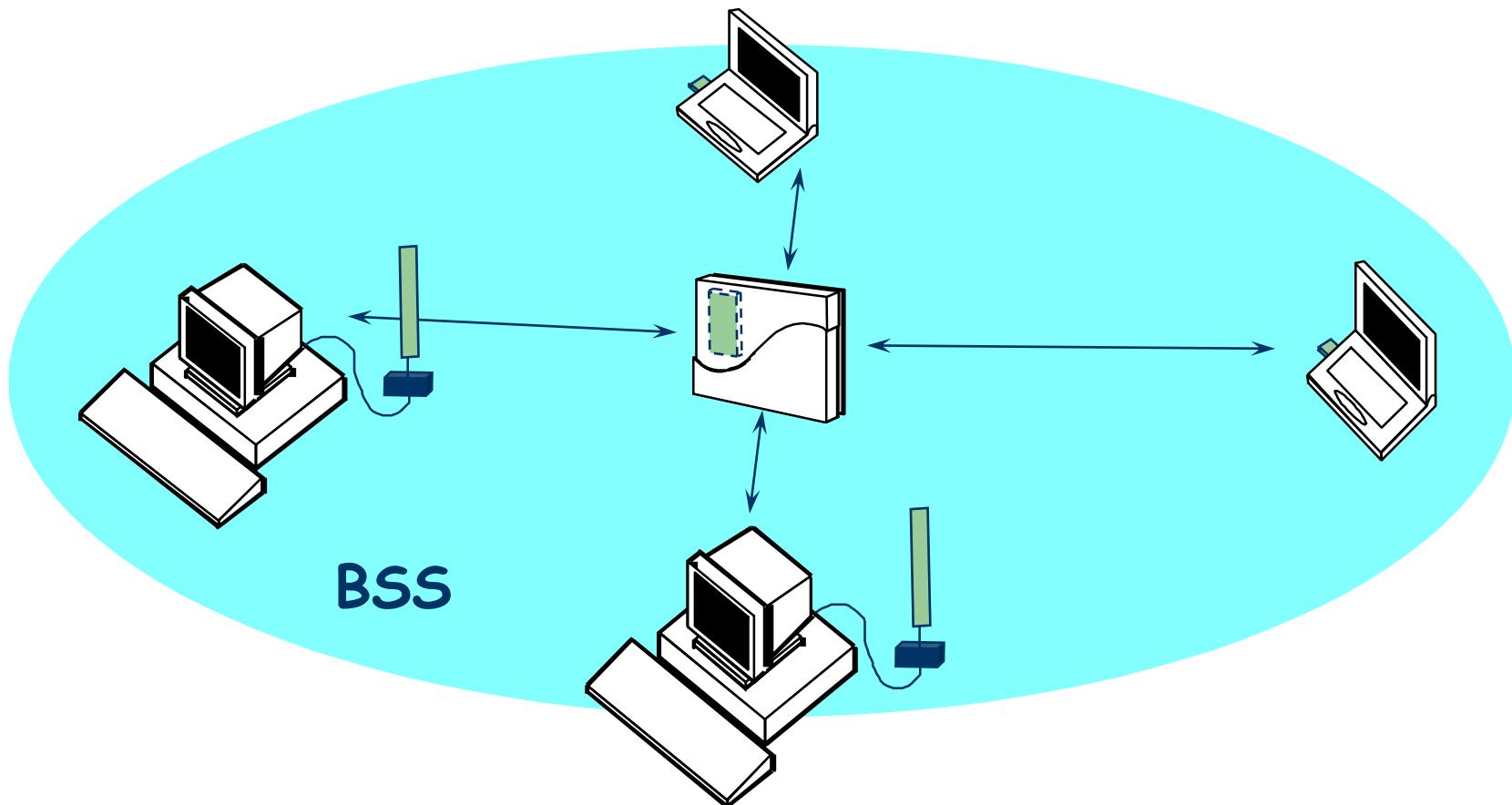


- To DS μπορεί να είναι:
  - Ενσωματωμένο: ένα AP σε αυθύπαρκτο δίκτυο,
  - Ενσύρματο: τα AP συνδέονται με καλώδια,
  - Ασύρματο: τα AP συνδέονται με ασύρματο τρόπο.

# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου

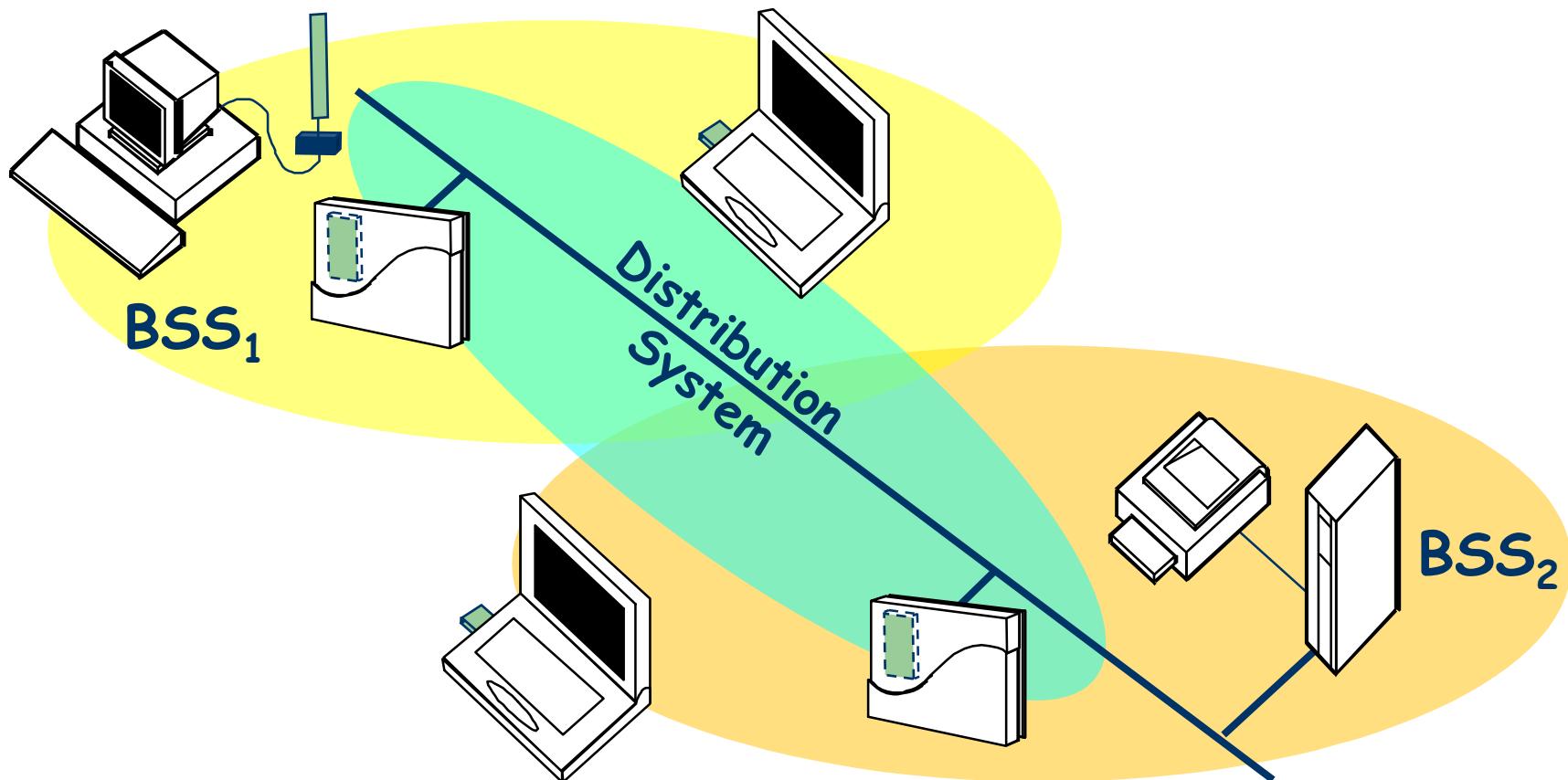


## ESS: BSS με ενσωματωμένο DS



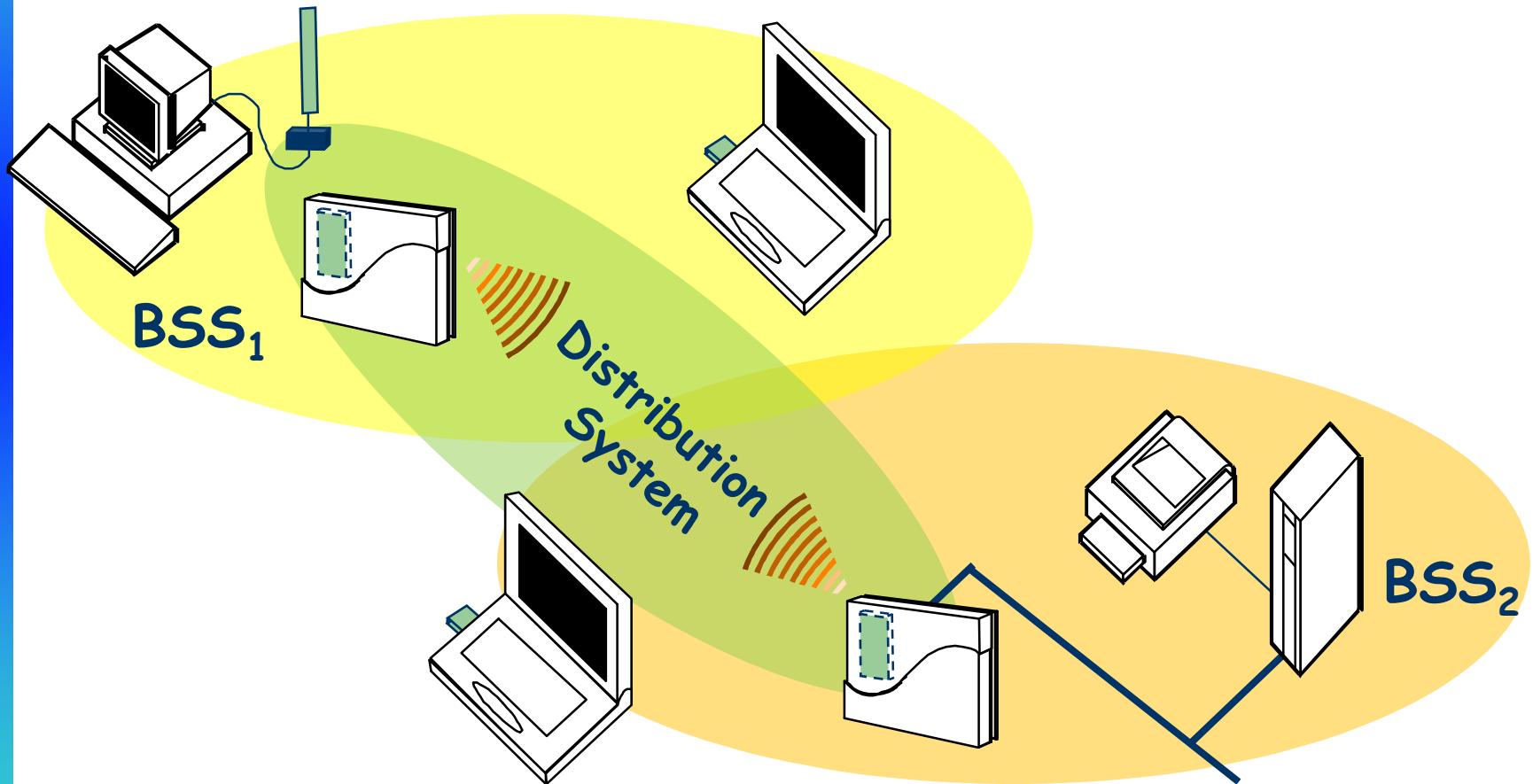


## ESS: δύο BSS και ενσύρματο DS





## ESS: δύο BSS και ασύρματο DS



# IEEE 802.11: αρχιτεκτονική δικτύου



## 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 **πάντοτε** 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.



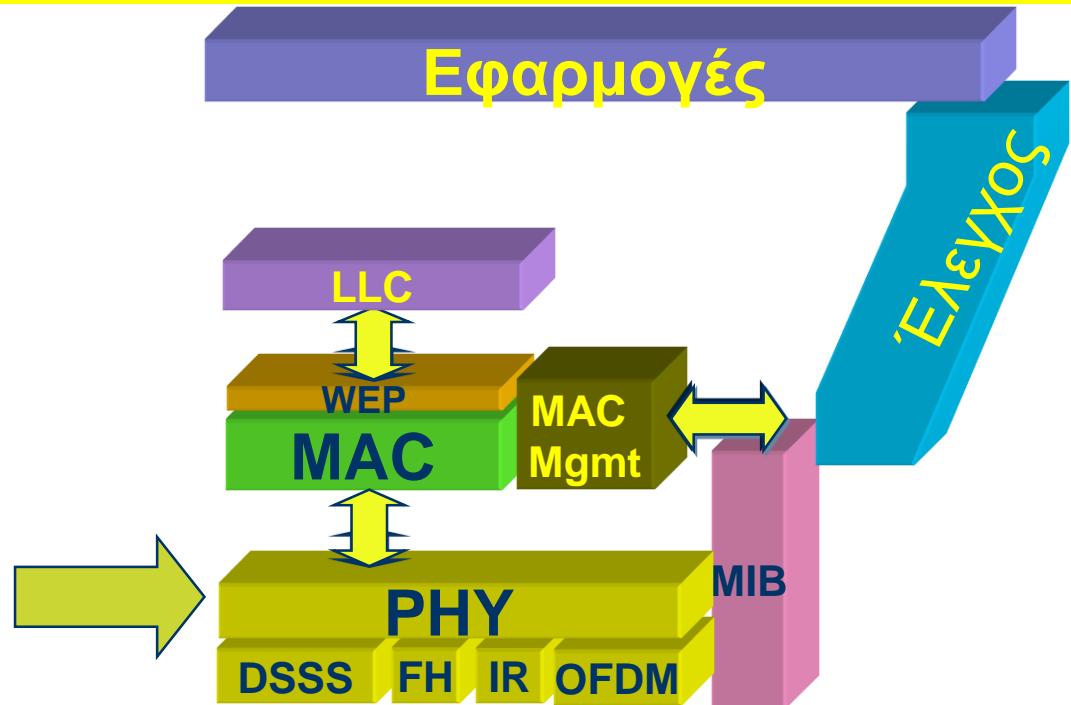
## Service Set Identifier (SSID)

- "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: φυσικό στρώμα



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



# 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 5.15-5.35 GHz και 5.470-5.725 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 802.11b

- Λειτουργεί στην περιοχή 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 802.11g

- Λειτουργεί στην περιοχή 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 σταθμού με το AP
  - Οι σταθμοί σαρώνουν την περιοχή συχνοτήτων και επιλέγουν το AP με την καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας.

# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



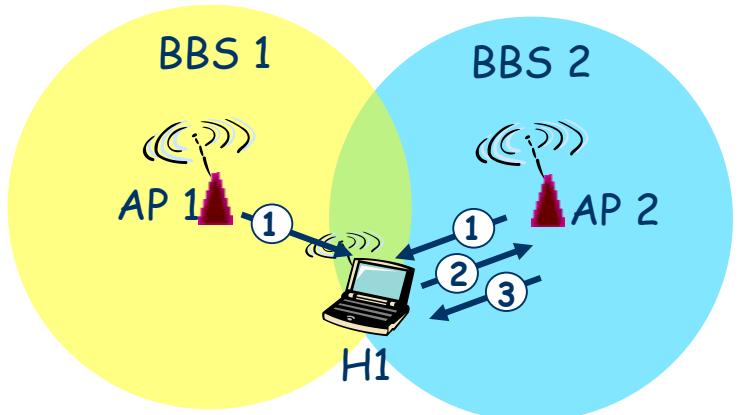
## Συσχέτιση - Association

- **Παθητική σάρωση:** εκτίμηση της ποιότητας επικοινωνίας από πλαίσια φάρους (beacon).
  - Τα πλαίσια φάροι περιέχουν το όνομα δικτύου (SSID) και τη διεύθυνση MAC του AP.
- **Ενεργή σάρωση:** αποστολή διερευνητικής αίτησης "probe Request" σε συγκεκριμένους διαύλους και λήψη απάντησης.
- 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

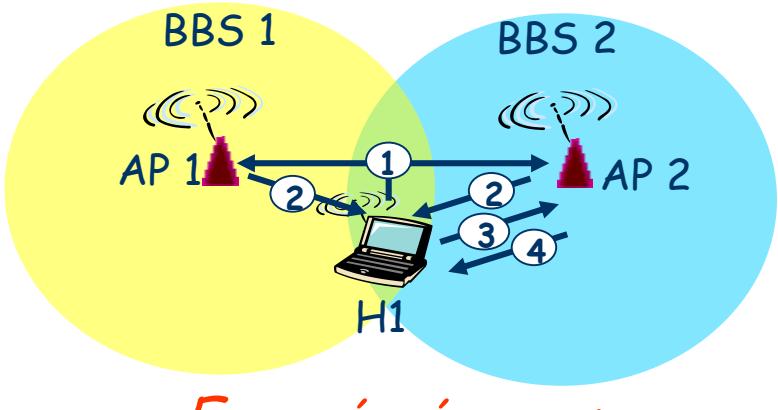


## Συσχέτιση - Association



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



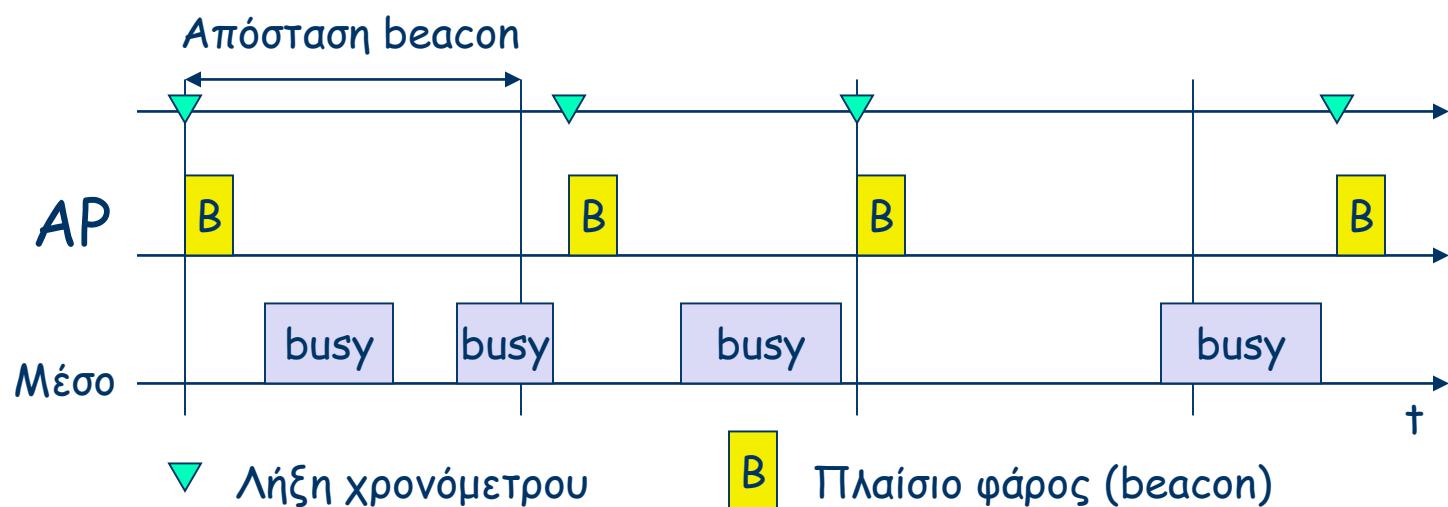
## Εκκίνηση IBSS

- 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, ⇒ συσχετισμό του σταθμού με το AP.
- Λήψη πλαισίων beacon από άλλον σταθμό που λειτουργεί σε IBSS, ⇒ είσοδος του σταθμού στο IBSS.
- Μη λήψη πλαισίων beacon με ταιριαστό όνομα δικτύου, ⇒ έναρξη εκπομπής πλαισίων beacon από τον υπόψη σταθμό.
- Όλοι οι σταθμοί στο δίκτυο IBSS συνεργάζονται στην αποστολή πλαισίων beacon.
  - Ξεκινούν έναν 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.



## Συγχρονισμός (δίκτυο με υποδομή)

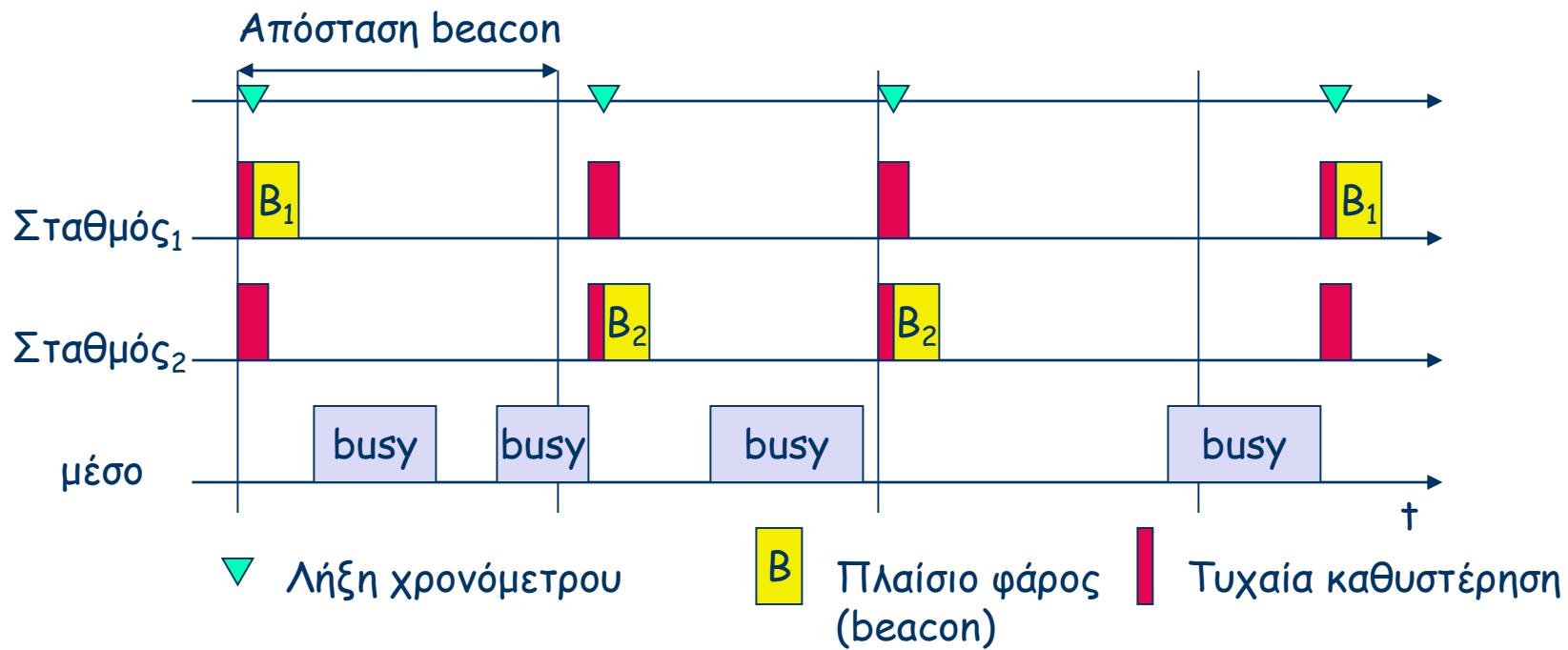
- Το σύστημα είναι συγχρονισμένο!
- Οι σταθμοί διατηρούν ρολόγια που συγχρονίζονται βάσει πληροφορίας (πλαίσια beacon) που εκπέμπει το AP.



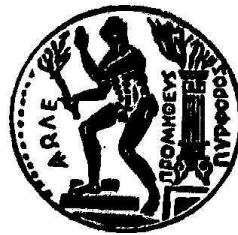
# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



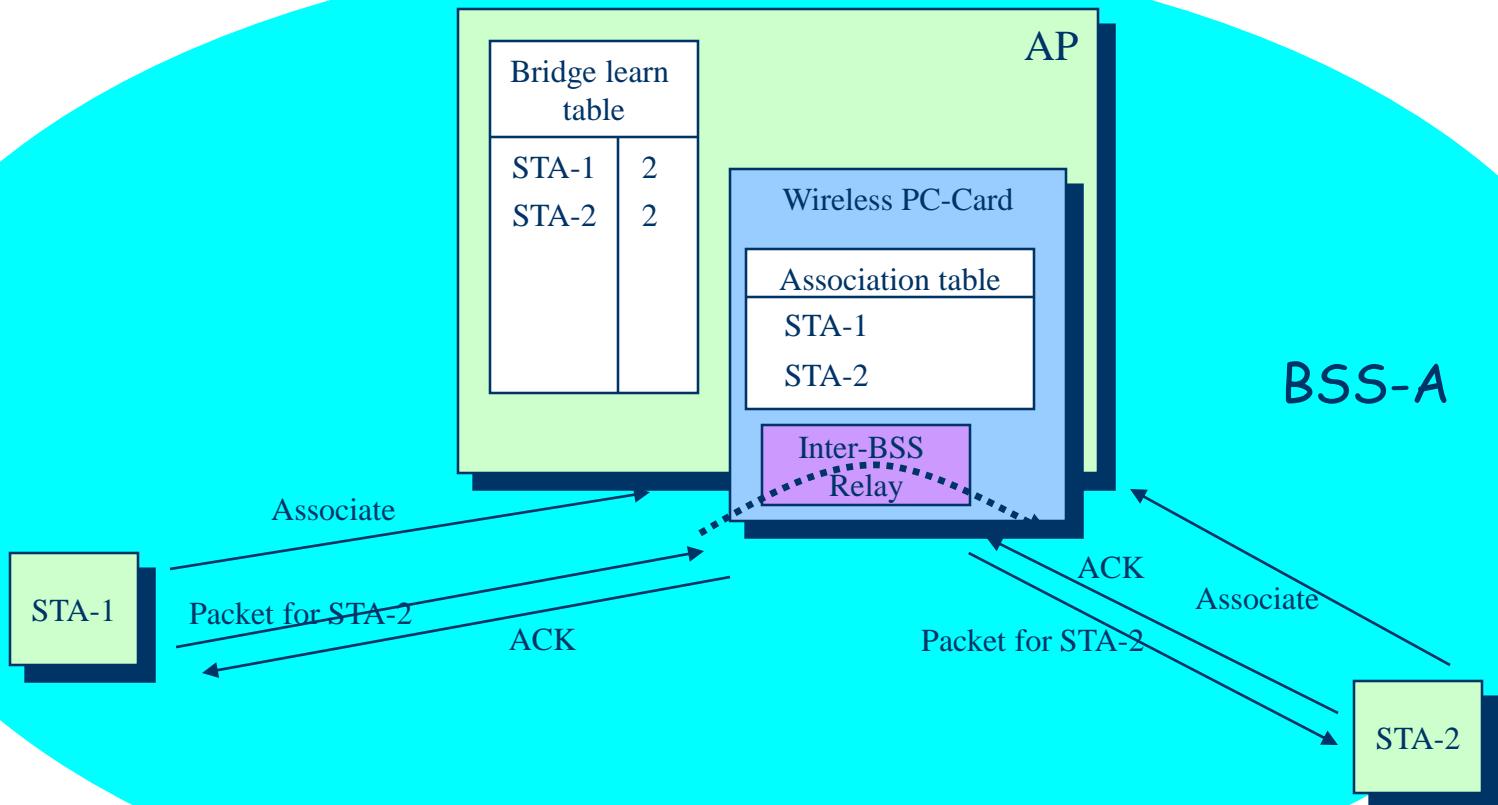
## Συγχρονισμός (αυθύπαρκτο δίκτυο)



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



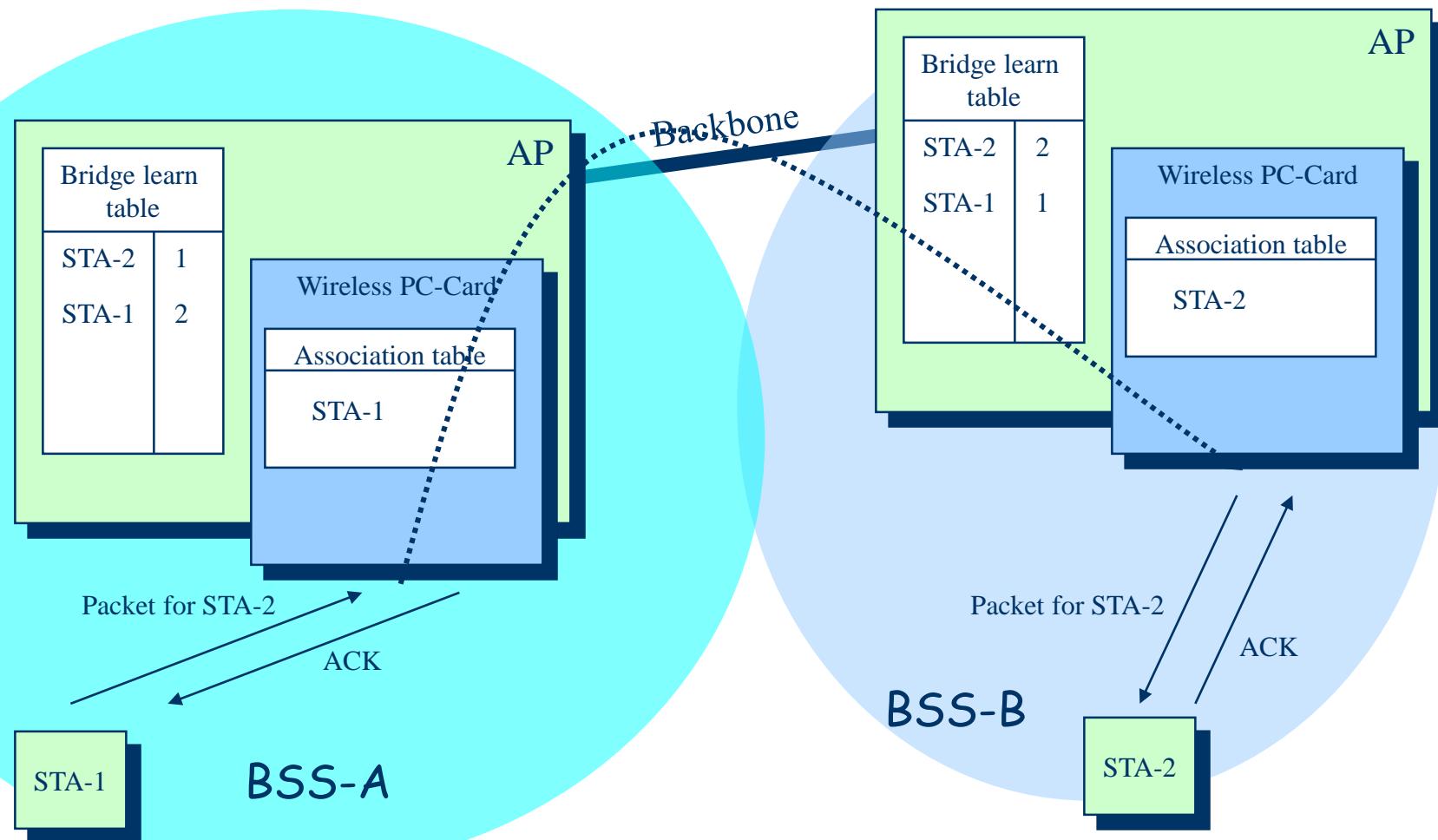
## Ποή κίνησης: Λειτουργία BSS



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



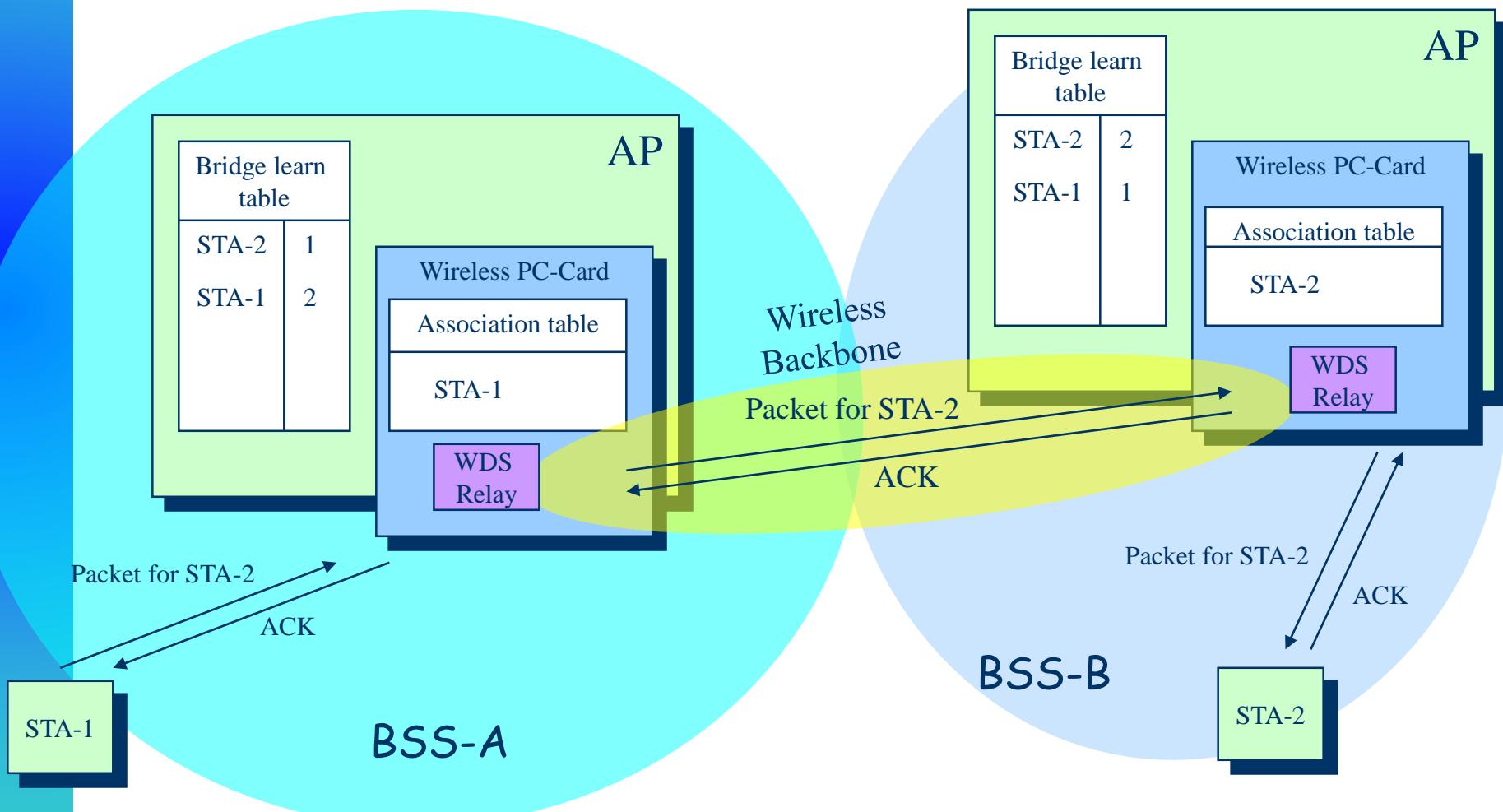
## Ποή κίνησης: Λειτουργία ESS



# IEEE 802.11: Βασικές διαδικασίες



## Ποή 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)



## Λειτουργίες συντονισμού πρόσβασης

- Distributed Coordination Function (DCF):
  - Οι σταθμοί ανταγωνίζονται για την πρόσβαση στο μέσο και μεταδίδουν όταν το μέσο γίνει αδρανές.
  - Υποχρεωτική στο 802.11.
- Point Coordination Function (PCF)
  - Λειτουργεί μόνο σε συνδυασμό με την DCF
  - Προαιρετική
  - Το AP ερωτά τους σταθμούς σε περιόδους χωρίς ανταγωνισμό και δίνει πρόσβαση σε ένα σταθμό.
  - Μετά το πέρας της περιόδου χωρίς ανταγωνισμό ακολουθεί περίοδος ανταγωνισμού.



## Βασικές λειτουργίες

- Ανίχνευση φέροντος - *Carrier sensing (CSMA)*
  - Ανιχνεύει τη δραστηριότητα στον δίαυλο μέσω της ισχύος του σήματος από άλλες πηγές (*physical carrier sensing*).
  - Ανιχνεύει την παρουσία άλλων χρηστών βλέποντας τα πακέτα στο στρώμα MAC (*virtual carrier sensing*).
  - Έχει λόγο εφαρμογής στα ασυρματικά δίκτυα:
    - Όχι φέρον → μπορείς να μεταδόσεις.
    - Μεταδίδει μόνο ένας σταθμός σε όλο το εύρος ζώνης.
    - Εάν μεταδώσουν δύο σταθμοί ταυτόχρονα, υπάρχει σύγκρουση.
    - Φέρον → μη μεταδόσεις.
    - Εάν ακούσει άλλη μετάδοση, δεν θα προκαλέσει σύγκρουση.
- Ανίχνευση συγκρούσεων - *Collision Detection (CD)*
  - Στον ραδιοδίαυλο δεν διαφέρει από τη λάθος μετάδοση.
  - Αποστολή επιβεβαίωσης στο στρώμα MAC.



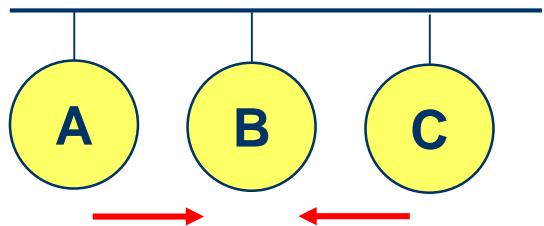
## Γιατί δεν αρκεί το CSMA/CD:

- 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.

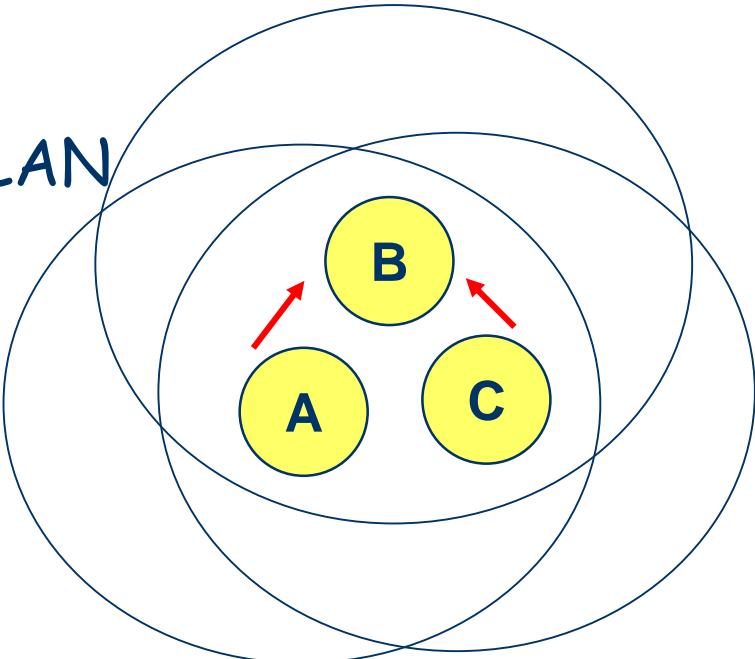


## Διαφορά μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων δίκτυων

Ethernet LAN



Ασύρματο LAN

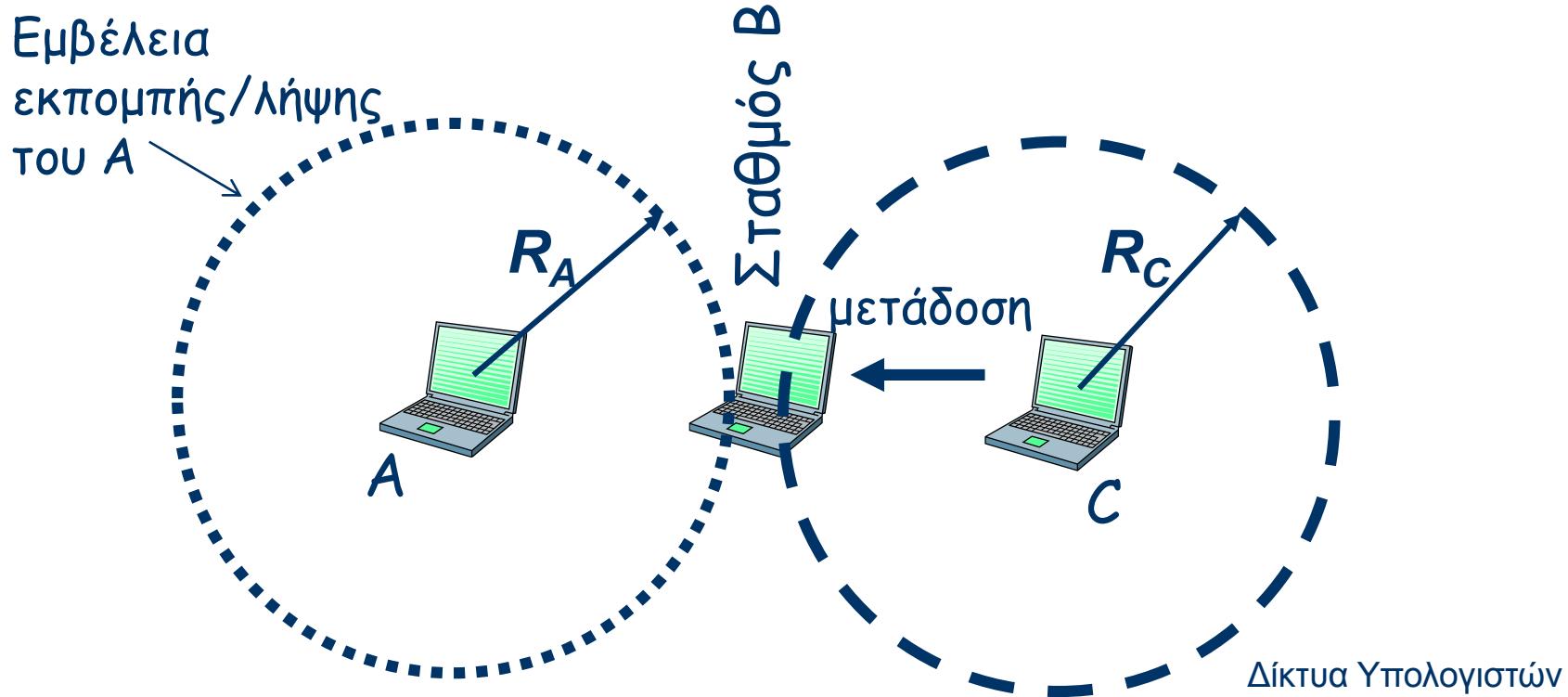


- Εάν και ο *A* και ο *C* αντιληφθούν ταυτόχρονα το κανάλι άδειο θα μεταδώσουν.
  - Στο Ethernet, η σύγκρουση θα ανιχνευθεί από τον **αποστολέα**.
  - Στα ασύρματα LAN, μόνο ο **παραλήπτης** την ανιχνεύει.



## Το πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

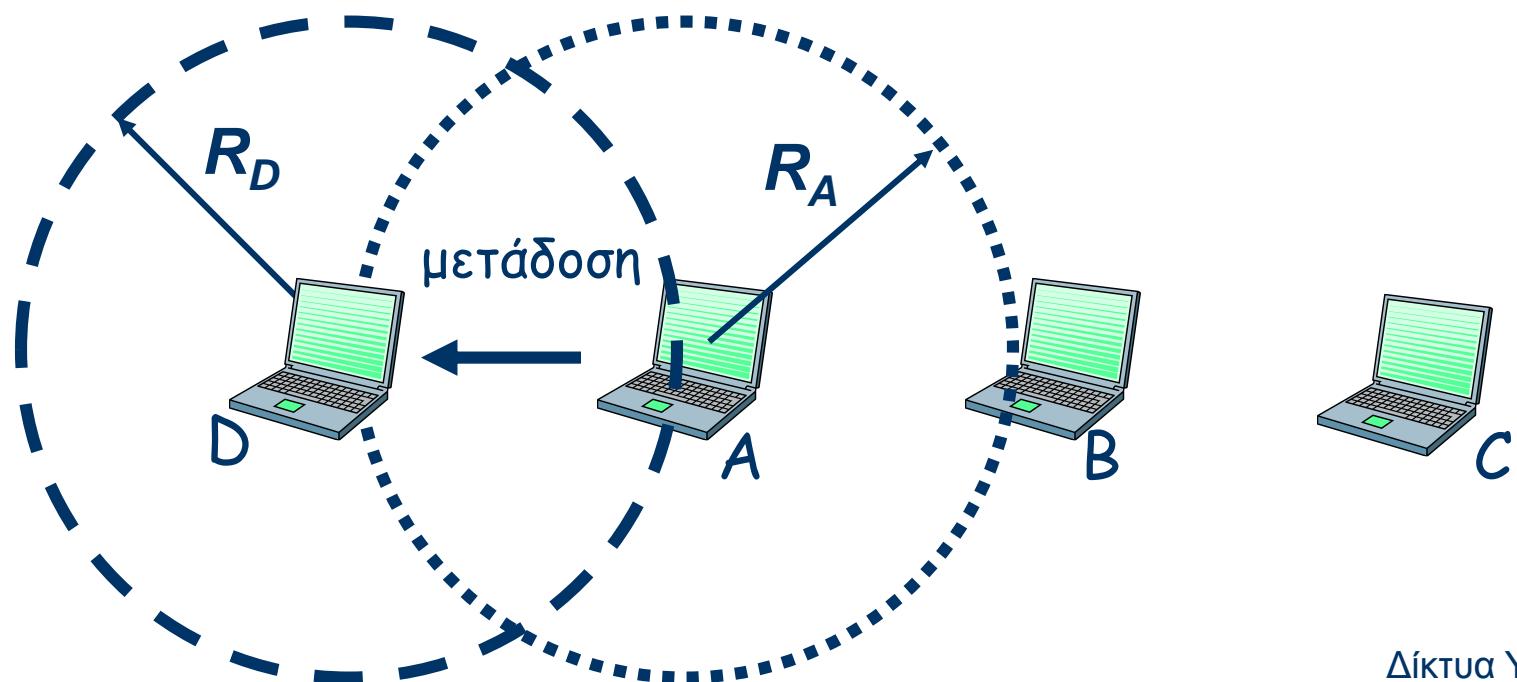
- Ο σταθμός A δεν ξέρει ότι ο σταθμός B είναι απασχολημένος λαμβάνοντας από τον σταθμό C.
- Μπορεί ο A να αρχίσει τη δική του μετάδοση και να προκαλέσει σύγκρουση.





## Το πρόβλημα εκτεθειμένου κόμβου

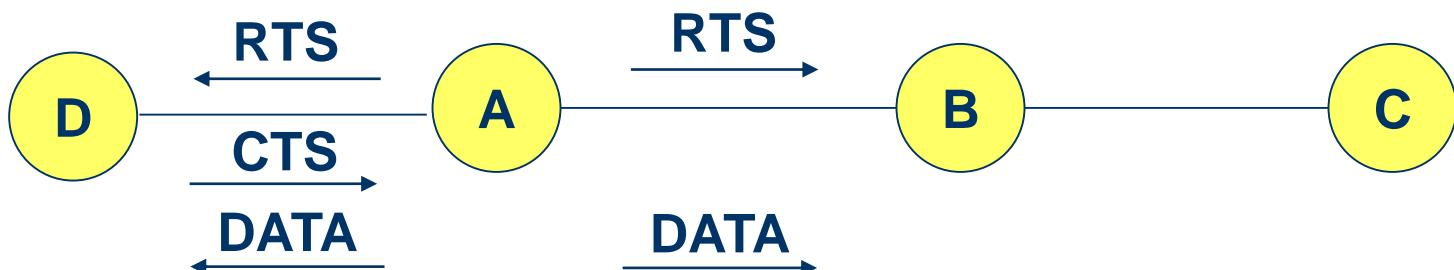
- Ο σταθμός  $B$  θέλει να μεταδώσει στον  $C$ , αλλά λανθασμένα νομίζει ότι θα παρεμβάλει τη μετάδοση του  $A$  προς τον  $D$ .
  - *Απέχει από τη μετάδοση (μειωμένη απόδοση).*





## 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).



## 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.



## 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 (Ο έως το παράθυρο ανταγωνισμού).
  - Έτσι αποφεύγονται συγκρούσεις λόγω πολλών σταθμών που μεταδίδουν αμέσως μόλις ακούσουν ότι το μέσο είναι ελεύθερο.



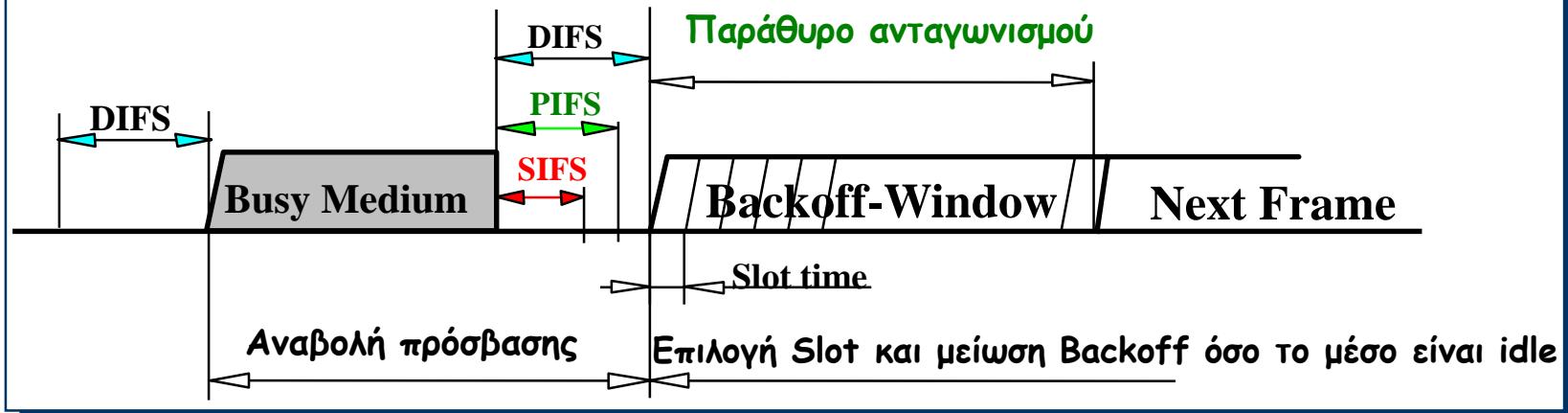
## CSMA/CA

- 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 δίσυλο μέσω ανταλλαγής πλαισίων RTS/CTS.
- Η μείωση της διέλευσης λόγω της περιόδου αποχής αντισταθμίζεται από τις λιγότερες αναμεταδόσεις.



## Προτεραιότητες: Inter-frame spacing

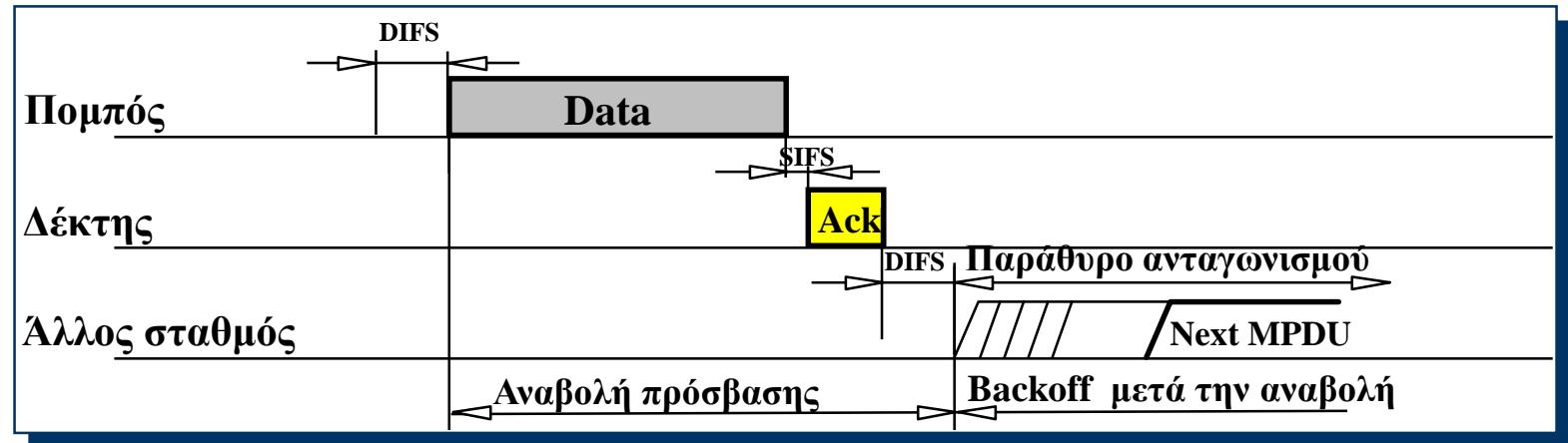
Ελεύθερη πρόσβαση όταν το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS



- Inter frame spacing απαιτείται για τις μεταδόσεις στο στρώμα MAC
  - SIFS : Short InterFrame Space
  - PIFS : PCF InterFrame Space = SIFS + 1
  - DIFS : DCF InterFrame Space = PIFS + 1
- Backoff timer: εκφράζεται σε αριθμό time slots
  - Για DSSS PHY: 20μs/slot



## Πλαίσια data και η επαλήθευσή τους



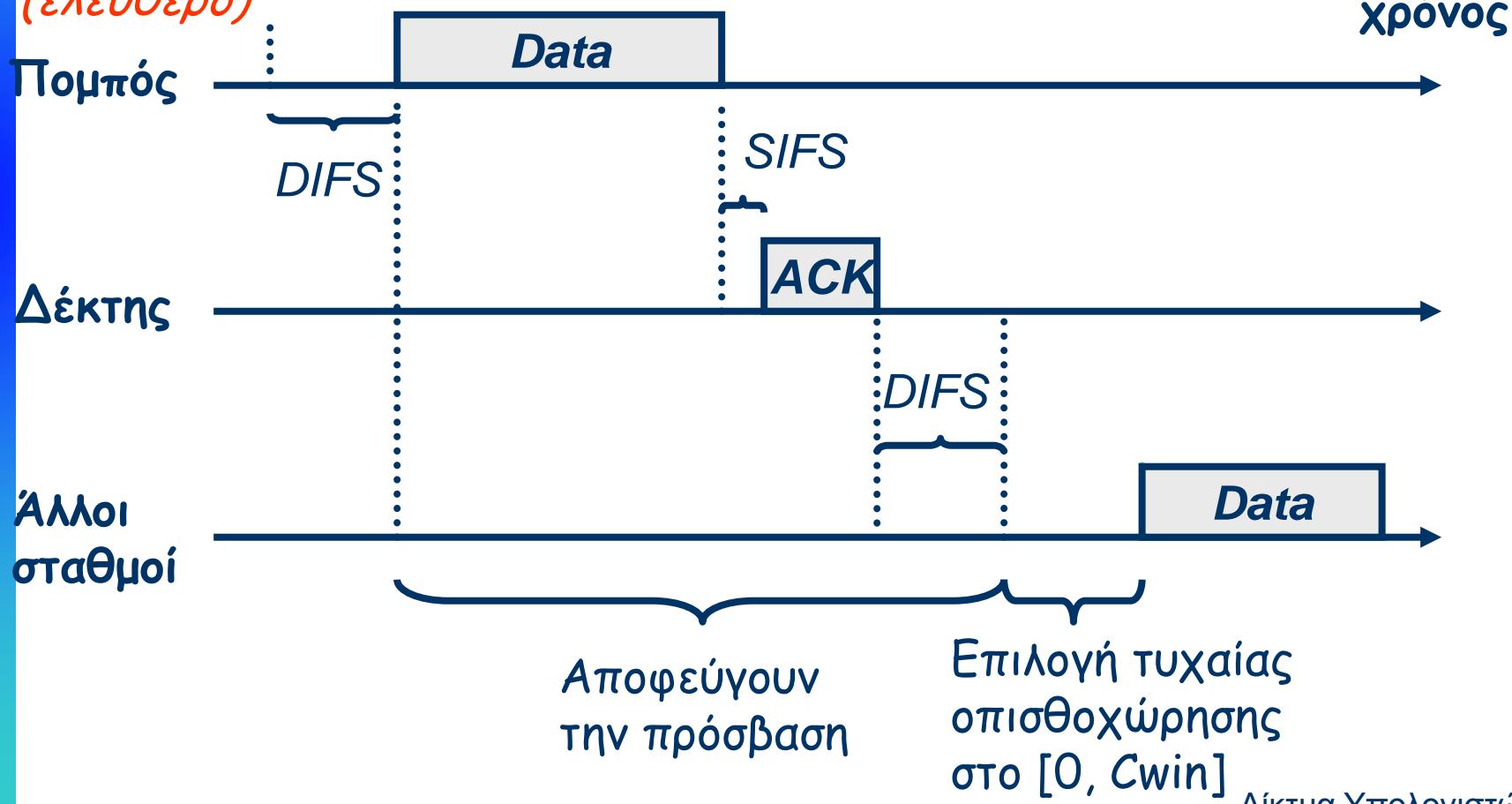
- Οι επαληθεύσεις στέλνονται μετά από SIFS.
- Απαιτείται να παρέλεθει χρονικό διάστημα DIFS πριν το μέσον θεωρηθεί ελεύθερο για χρήση.



## CSMA/CA: χρονοδιάγραμμα

Ξεκινά η ακρόση  
του μέσου  
(ελεύθερο)

$Cwin$  = παράθυρο ανταγωνισμού



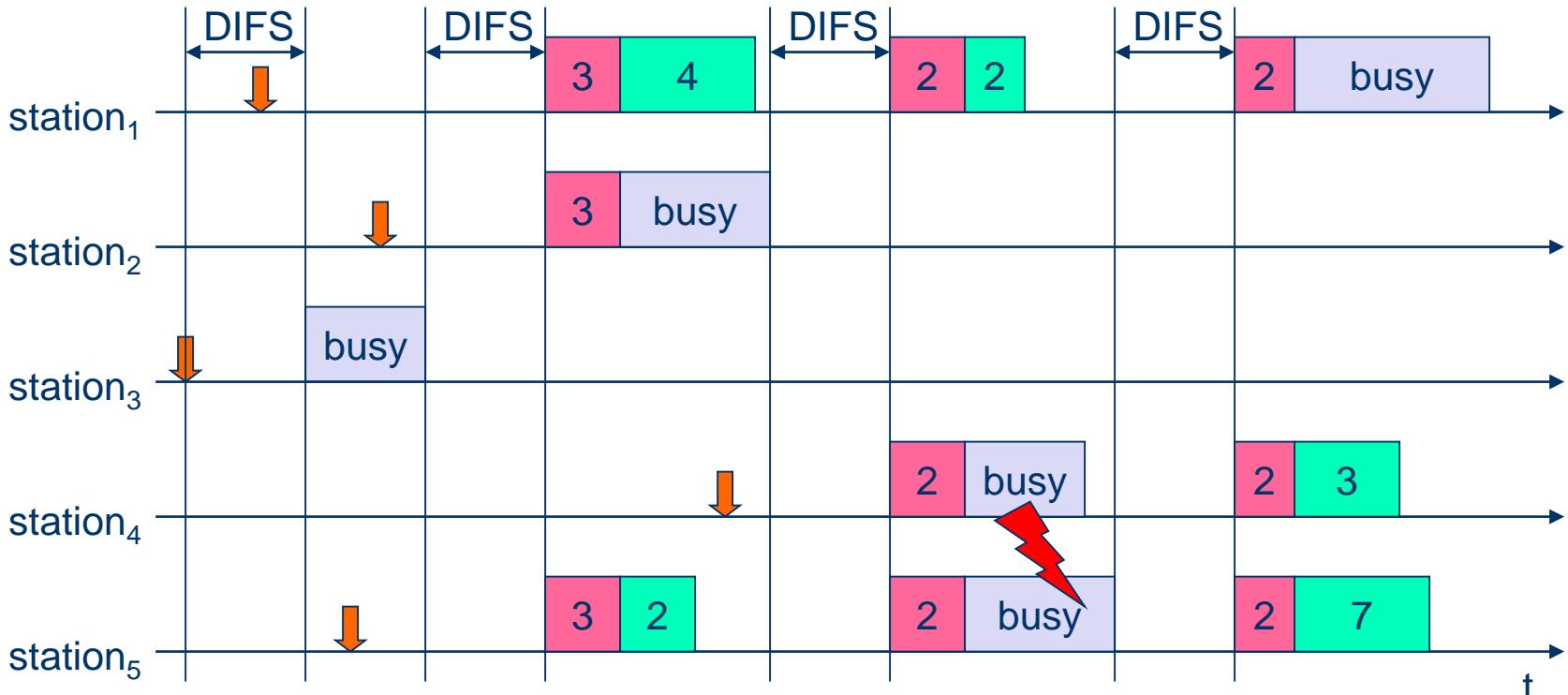


## Network Allocation Vector (NAV)

- 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.



## CSMA/CA: παράδειγμα



busy

απασχολημένο (πλαίσιο, ack, κλπ)



Άφιξη πακέτου στο MAC

bo<sub>e</sub>

Παρωχημένη οπισθοχώρηση

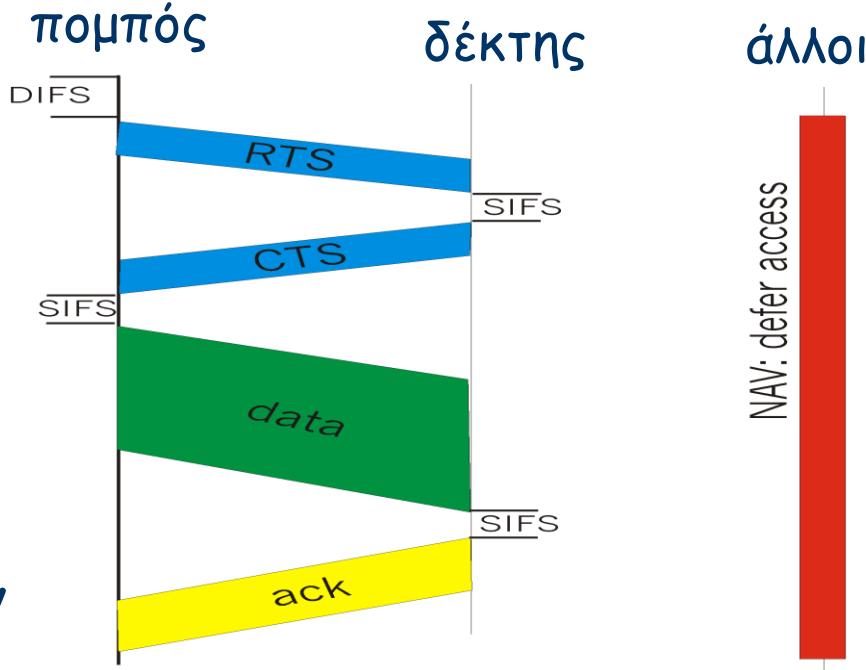
bo<sub>r</sub>

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 δίσυλο για τον πομπό, ειδοποιώντας τους (τυχόν κρυμμένους) σταθμούς.
- Αποφυγή συγκρούσεων λόγω κρυμμένων σταθμών.

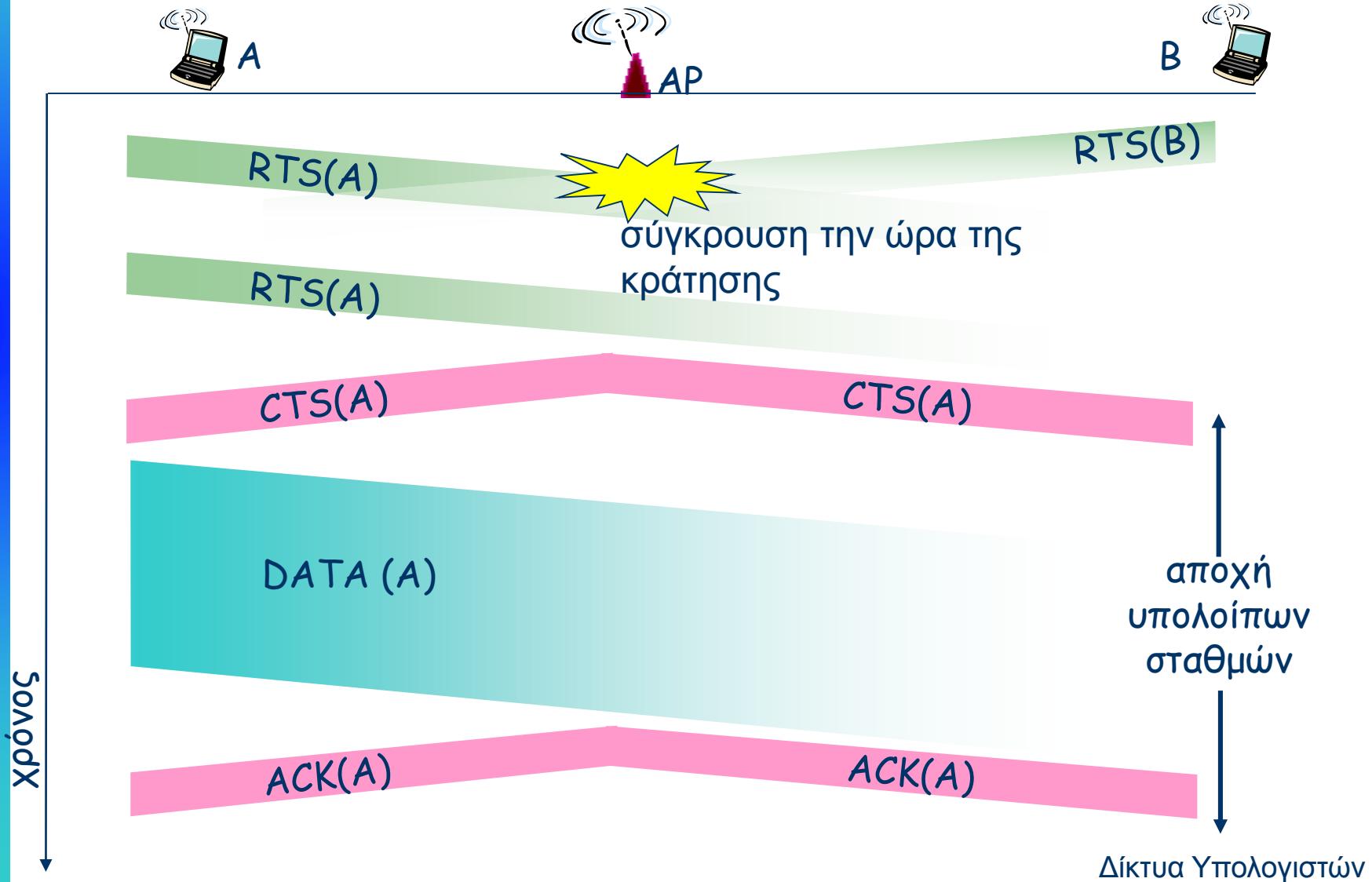


RTS: 20 byte  
 CTS: 14 byte  
 ACK: 14 byte

Περαιτέρω αποφυγή συγκρούσεων χρησιμοποιώντας μικρά πακέτα κράτησης.



## CSMA/CA: ανταλλαγή RTS-CTS

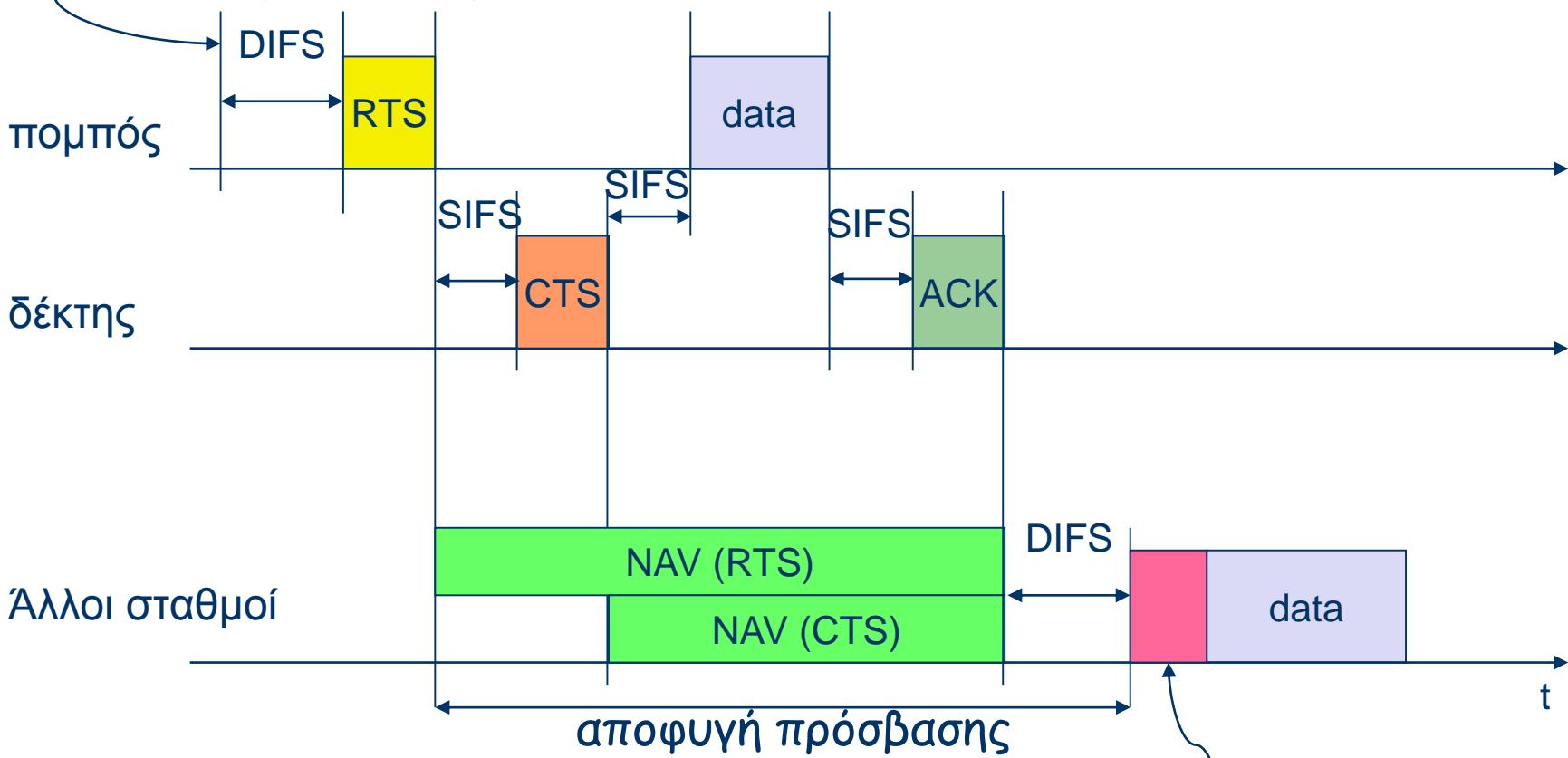




## CSMA/CS: χρονοδιάγραμμα με RTS/CTS

Ξεκινά η ακρόση του  
μέσου (ελεύθερο)

$C_{win}$  = παράθυρο ανταγωνισμού



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



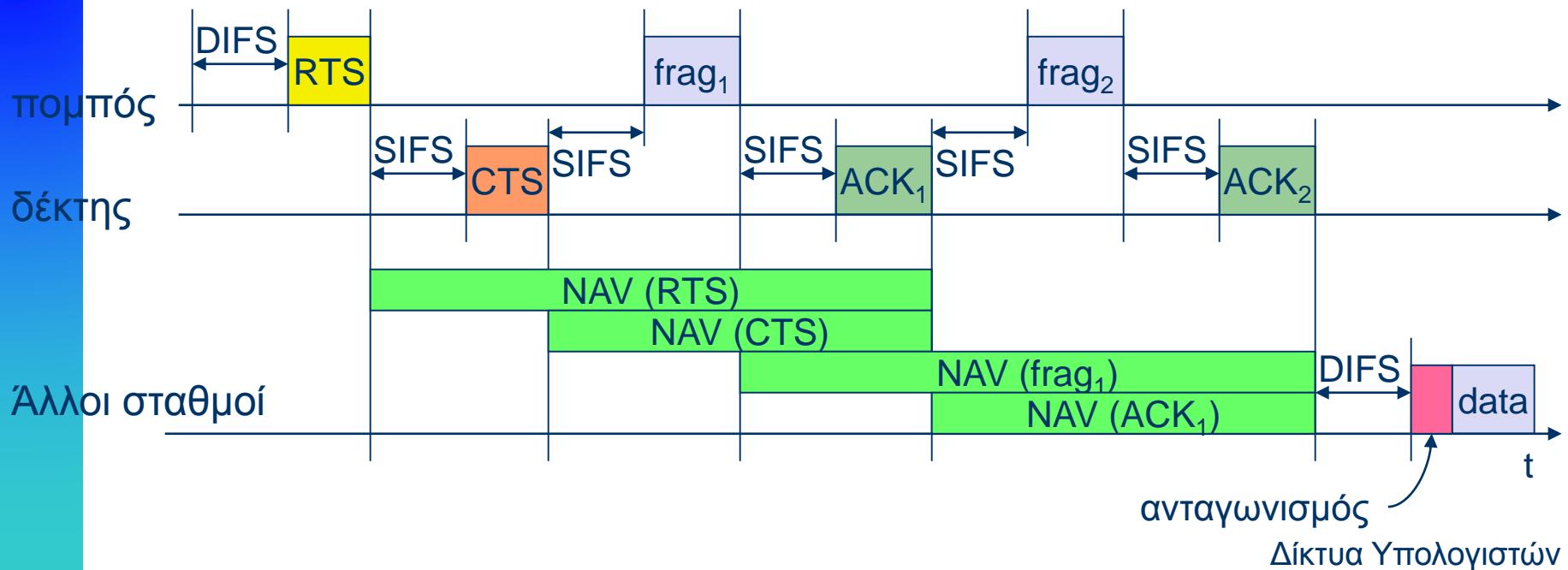
## CSMA/CA: RTS/CTS + ACK

- Το 802.11 προσθέτει ACK στη σηματοδοσία 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

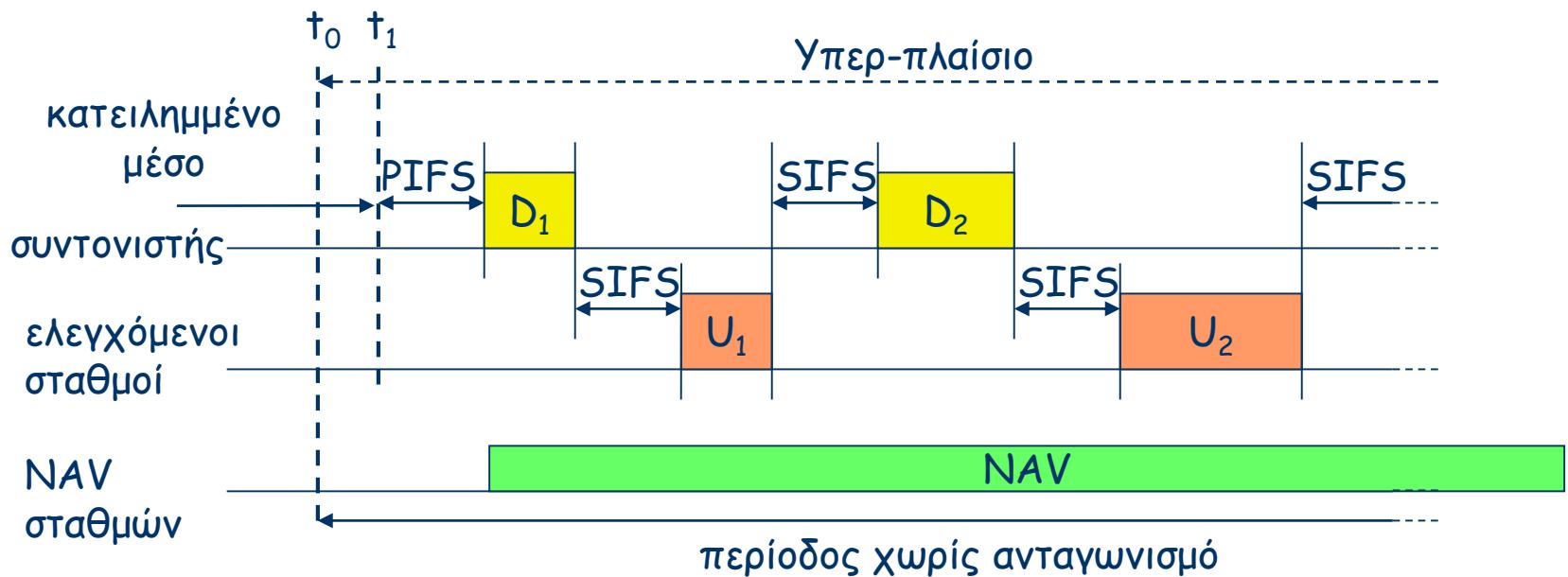
- Για να μειωθεί ο χρόνος κατάληψης του καναλιού σε περίπτωση σύγκρουσης, ένα πλαίσιο μπορεί να θρυμματισθεί και να μεταδοθεί ως πολλά μικρότερης διάρκειας πλαίσια.





## Point Coordination Function (PCF)

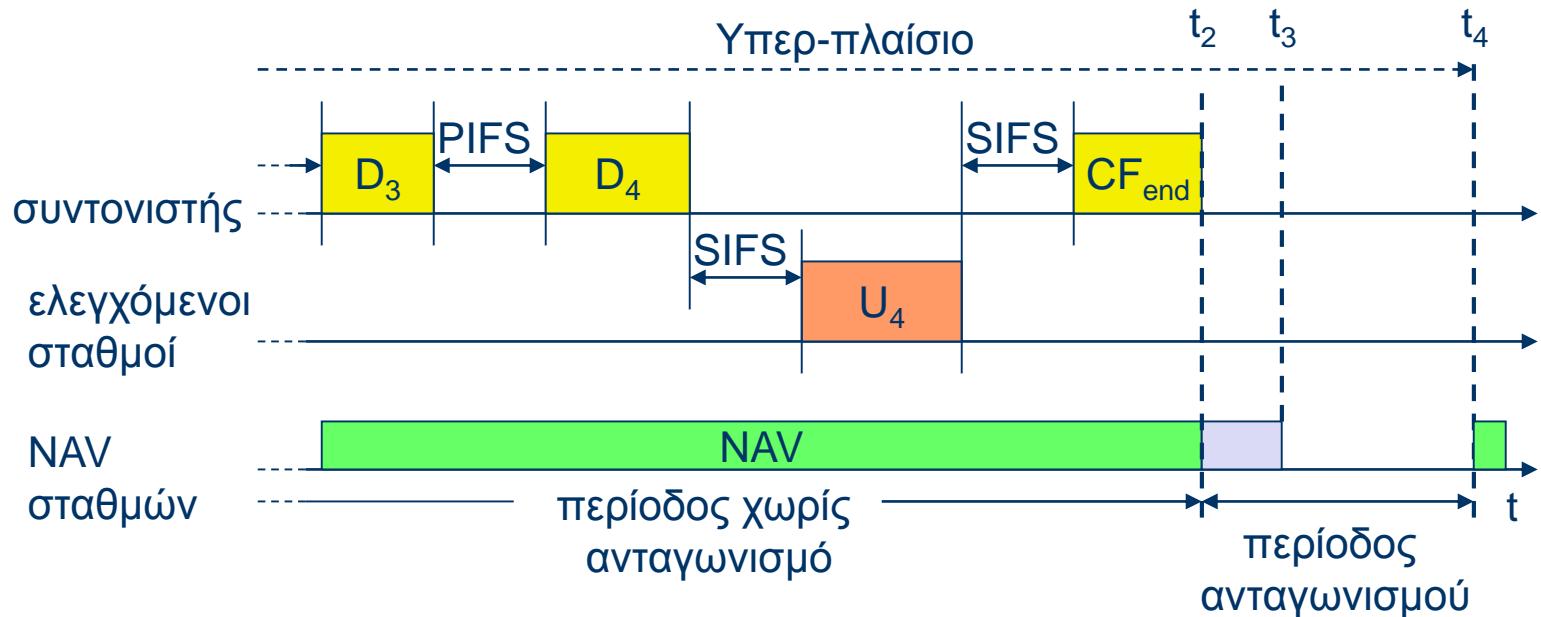
- Σε τι διαφέρει η PCF και η DCF;
- Ερωταποκρίσεις σταθμών → Polling



D: ροή καθόδου ή δεδομένα από τον συντονιστή  
 U: δεδομένα από ελεγχόμενο ασύρματο σταθμό



## PCF (συνέχεια)





## Τύποι πλαισίων

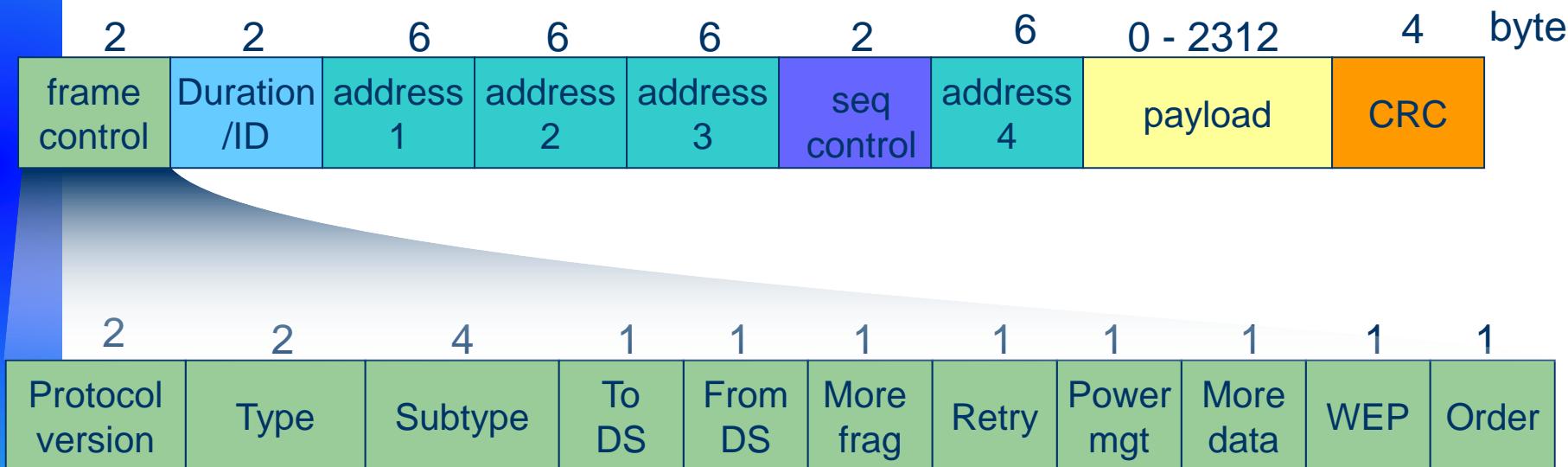
- Η μορφή της επικεφαλίδας MAC διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου:
  - Πλαίσια ελέγχου (Control Frames): παραλείπονται αρκετά πεδία
  - Πλαίσια διαχείρισης (Management Frames)
  - Πλαίσια δεδομένων (Data Frames)

# IEEE 802.11: MAC



## Μορφή πλαισίου 802.11b

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



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



## Το 1<sup>o</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	Order



## To 2<sup>o</sup> byte tou pediou eleghou plaisiou

- **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 θραύσματα 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	Order



# IEEE 802.11: MAC

## To 2<sup>o</sup> byte tou pediou eleghou plaisiou

- 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	Order



## Τα άλλα πεδία του πλαισίου

2	2	6	6	6	2	6	0 - 2312	4
frame control	Duration /ID	address 1	address 2	address 3	seq control	address 4	payload	CRC

- **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 πλαισίου (για την αναγνώριση της σειράς των πλαισίων και εντοπισμό αντιγράφων). Υποπεδίο 4 bit για τα Θραύσματα.
- **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 SSID, 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.

2	2	6	6	6	2	6	0 - 2312	4
frame control	Duration /ID	address 1	address 2	address 3	seq control	address 4	payload	CRC

# IEEE 802.11: MAC



## Πεδία διεύθυνσεων

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)

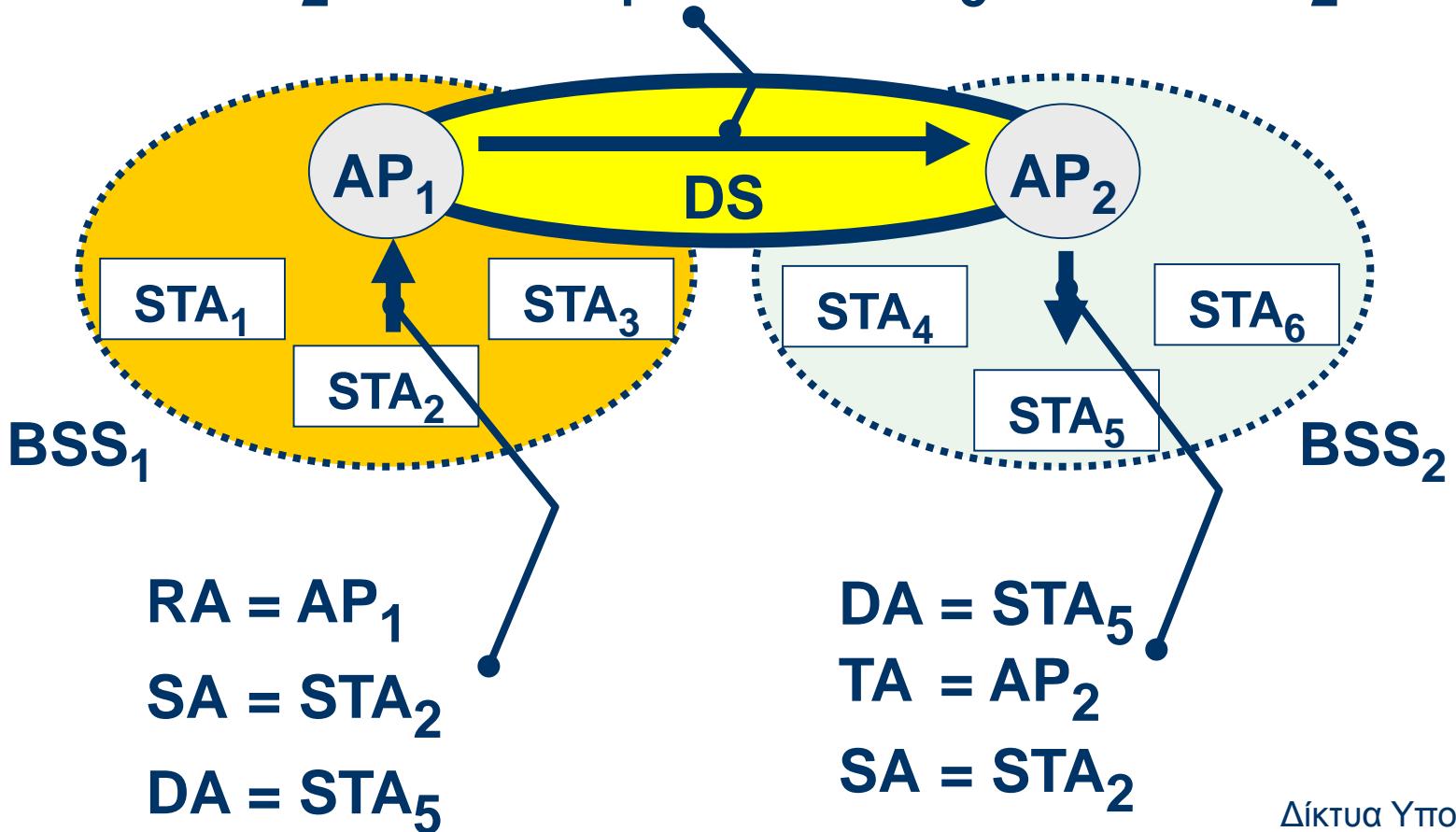
TA: διεύθυνση του πομπού AP (στο WDS που μεταδίδει το πλαίσιο)

BSSID: διεύθυνση του AP ή ταυτότητα του IBSS



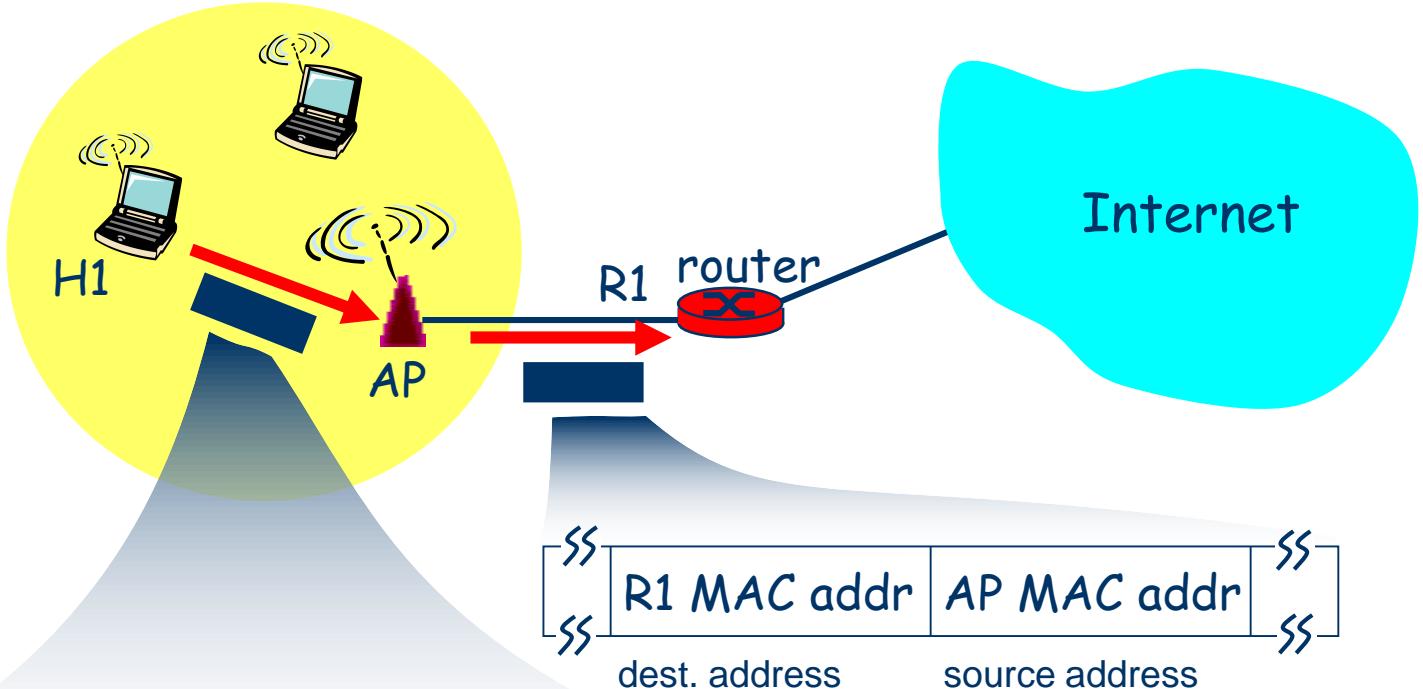
**Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων σε DS**  
**Μετάδοση  $STA_2 \rightarrow STA_5$**

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





## Παράδειγμα χρήσης διευθύνσεων (με υποδομή)



Πλαίσιο 802.3

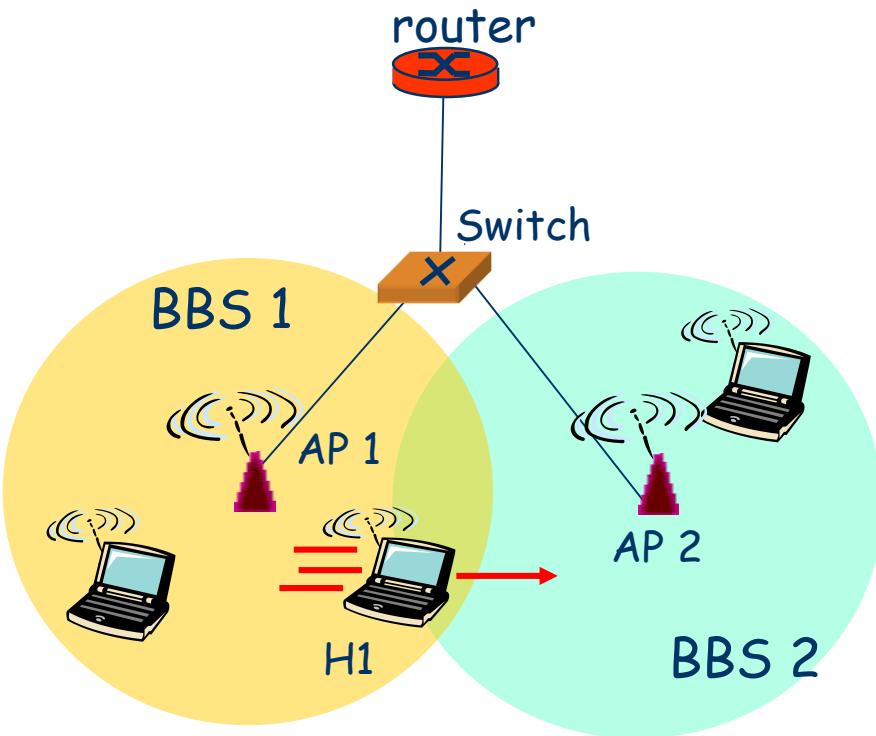


Πλαίσιο 802.11

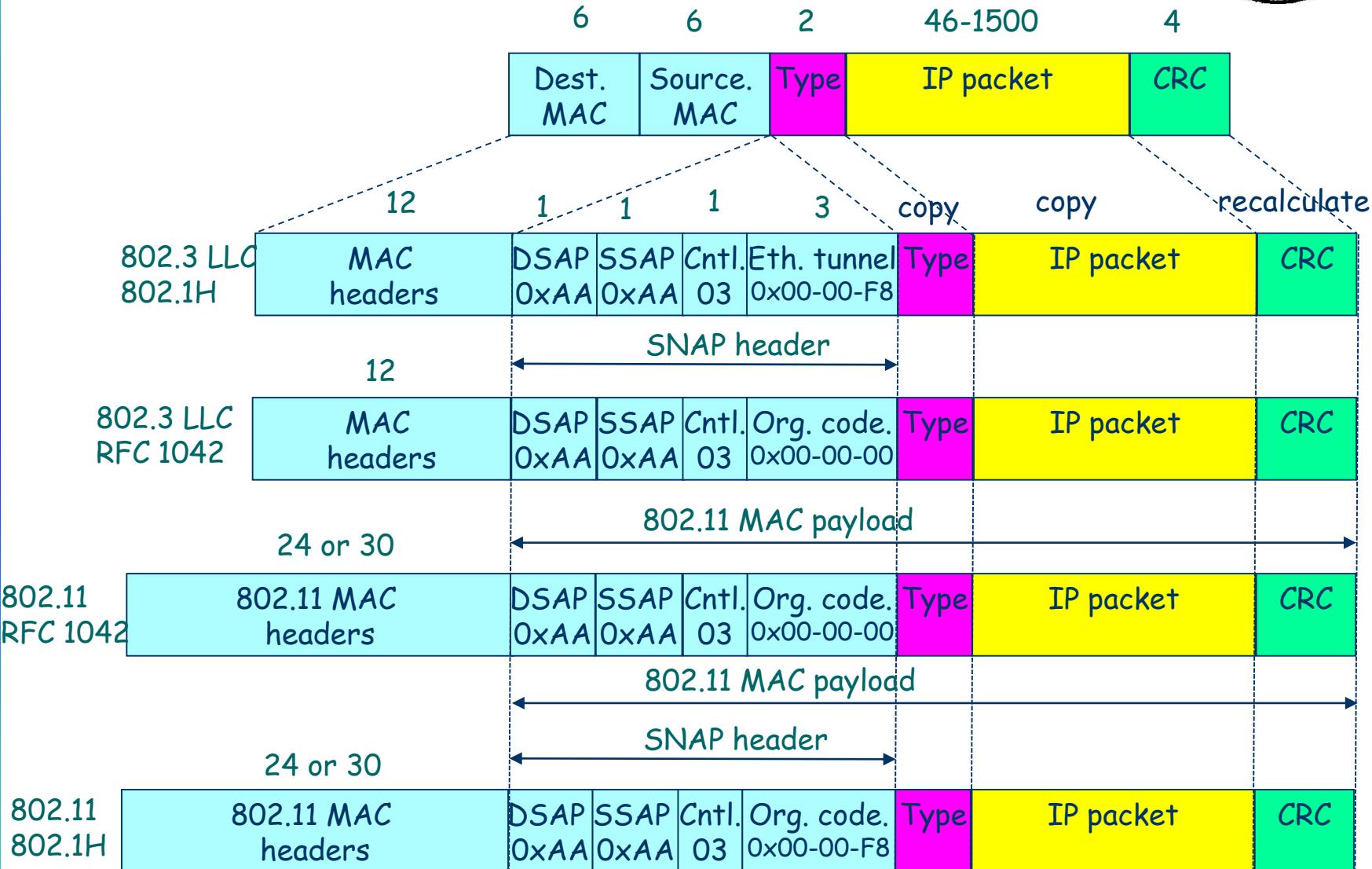


## Κινητικότητα στο ίδιο Υποδίκτυο

- 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.



# Ενθυλάκωση στο 802.11 (RFC 1042, 802.1H)



# IEEE 802.11 και TCP/IP

