

# Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Σαράντης Πασκαλής <paskalis@di.uoa.gr>

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

# Ιστορικό

- 1970: Πανεπιστήμιο Χαβάης → ALOHANet
  - Το πρώτο ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας υπολογιστών (και το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτων!)
- 1979: Ερευνητικές προσπάθειες για χρήση spread spectrum για δημιουργία ασύρματων τοπικών δικτύων.
- 1991: Δημιουργία IEEE 802.11 working group

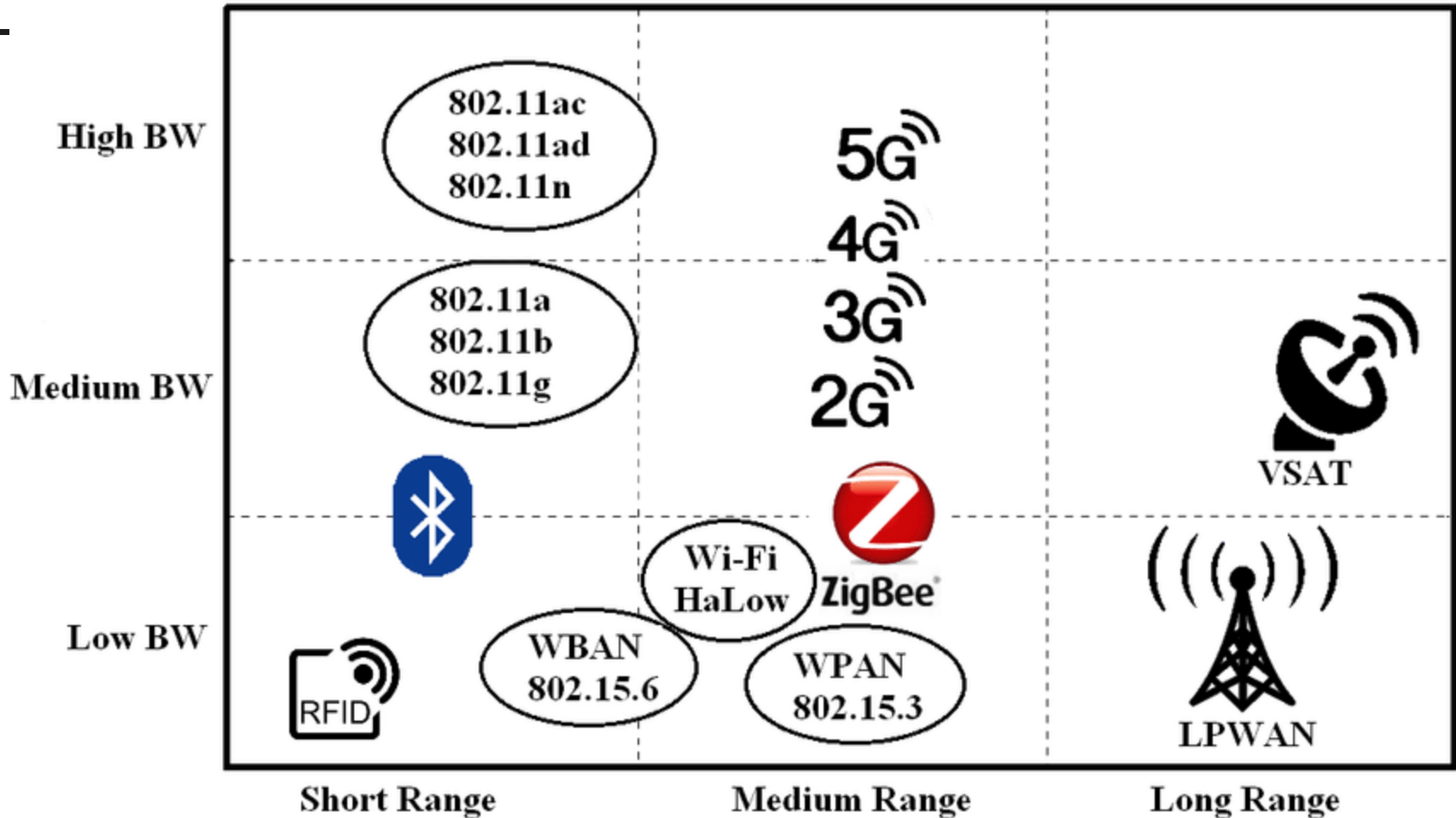


# Αναγκαιότητα

- Ζήτηση για μεγάλο εύρος ζώνης
  - από κινούμενους χρήστες
  - σε μέρη χωρίς καλωδιακή υποδομή δικτύου υπολογιστών
    - σπίτι
    - υπαίθριοι χώροι
    - γραφείο
    - χώροι αναψυχής, εστιατόρια, καφετέριες
    - αεροδρόμια, σταθμοί λεωφορείων, τραινών



# Σύγκριση με άλλα ασύρματα συστήματα πρόσβασης

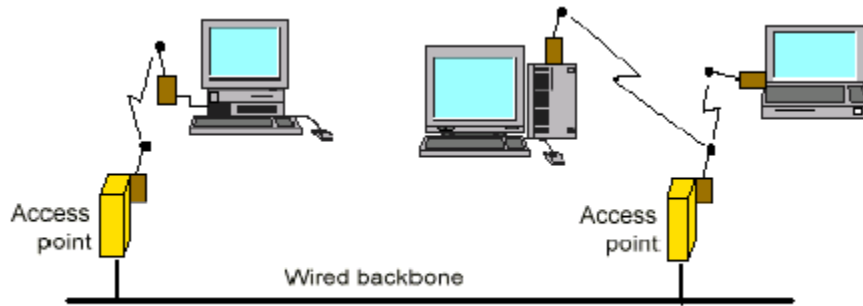


# Κατηγορίες

- Βασιζόμενα σε σταθερή υποδομή (infrastructure-based)
- Δημιουργούμενα κατά περίπτωση (ad-hoc)
- Μικτά



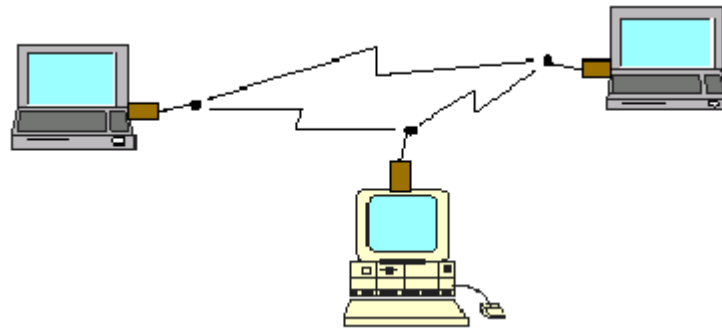
# Infrastructure-based



- Η δικτυακή πρόσβαση παρέχεται από υποδομή σταθερού δικτύου
- Ο σταθμός βάσης (access point) είναι υπεύθυνος για τις κρισιμότερες δικτυακές λειτουργίες.



# Ad-hoc



- Οι ασύρματοι κόμβοι αυτο-οργανώνονται σε δίκτυο
- Δεν υπάρχουν εξ αρχής ρυθμιστές του δικτύου (π.χ. access points). Αυτοί μπορεί να εκλεγούν/δημιουργηθούν στην πορεία.



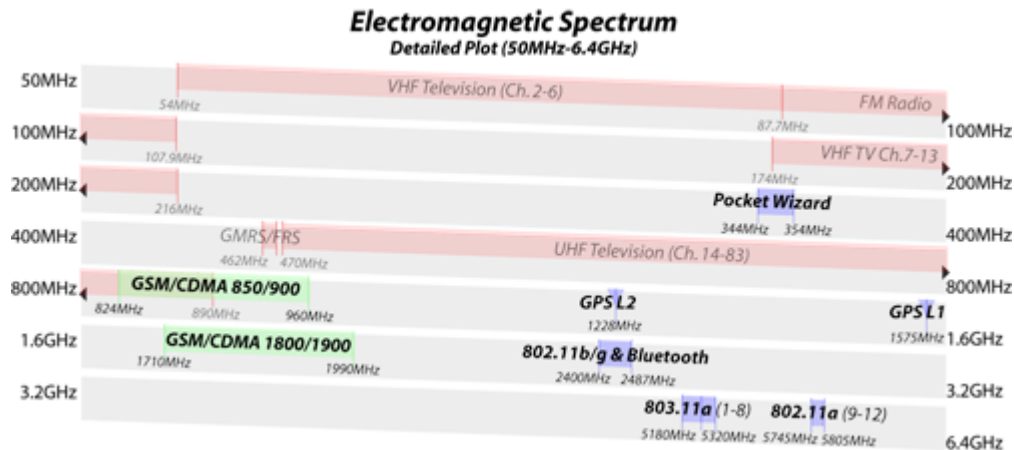
# Μικτά

- Η αρχιτεκτονική του τοπικού δικτύου παρέχει τη δυνατότητα να λειτουργεί το δίκτυο
  - μόνο σε κατάσταση σταθερής υποδομής
  - μόνο σε κατάσταση ad-hoc
  - και στις δύο καταστάσεις
- Παράδειγμα: οικογένεια προτύπων IEEE 802.11





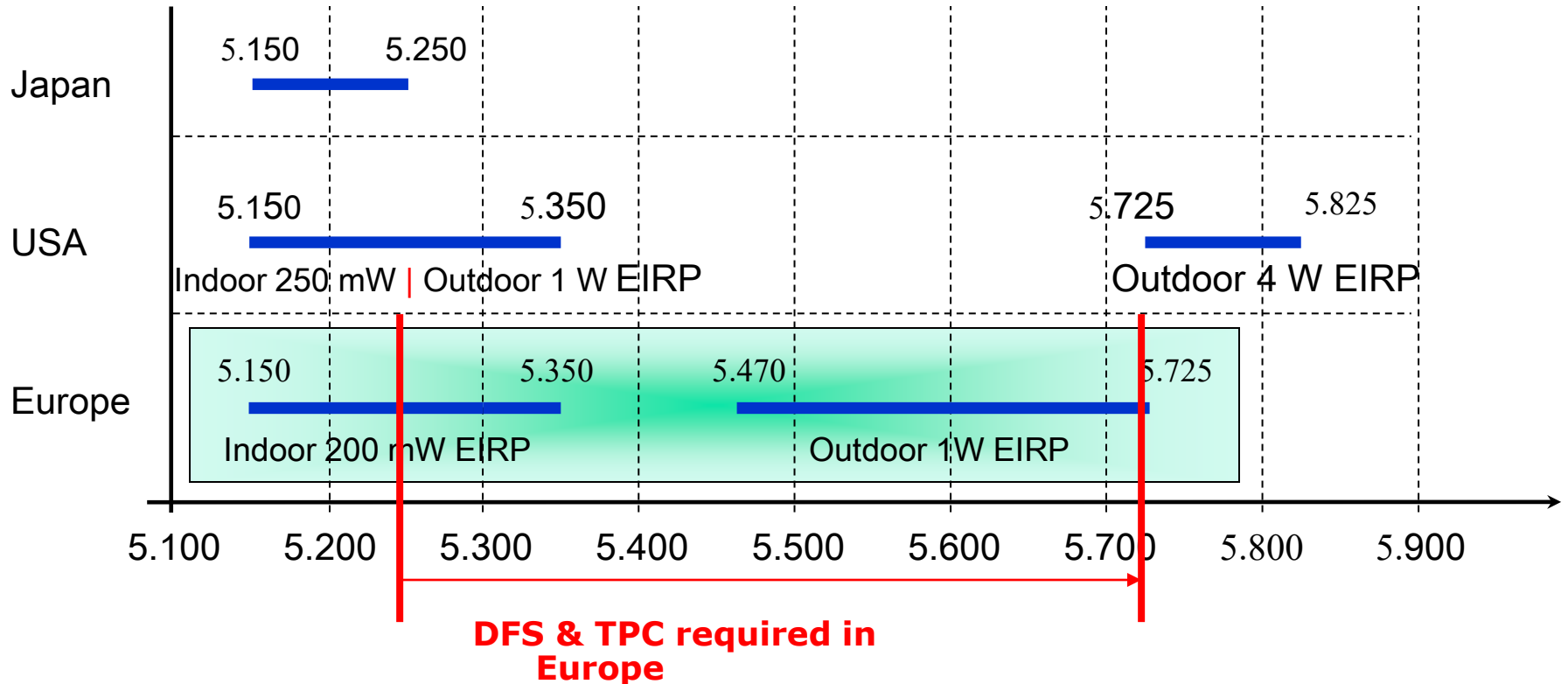
# Μη αδειοδοτημένο φάσμα



- Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα λειτουργούν σε περιοχές μη αδειοδοτημένου φάσματος
  - 2,45 GHz (ISM band 2400-2500 MHz)
  - 5 GHz (διαφορές ανά χώρα/ήπειρο)

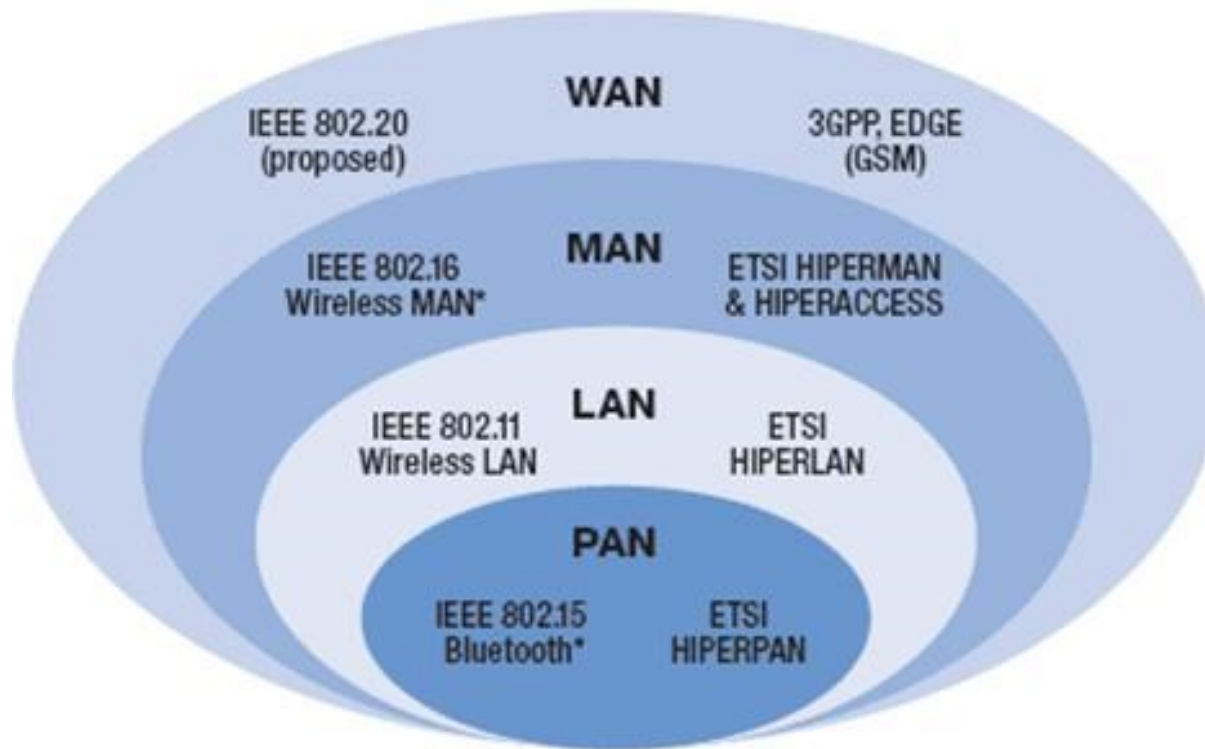


# Μη αδειοδοτημένο φάσμα 5 GHz

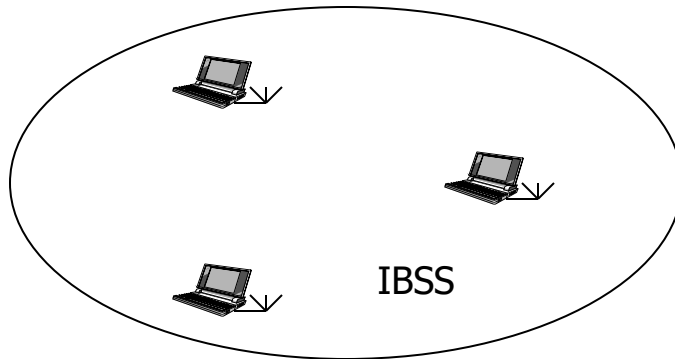


# Πρότυπα

## Global Wireless Standards



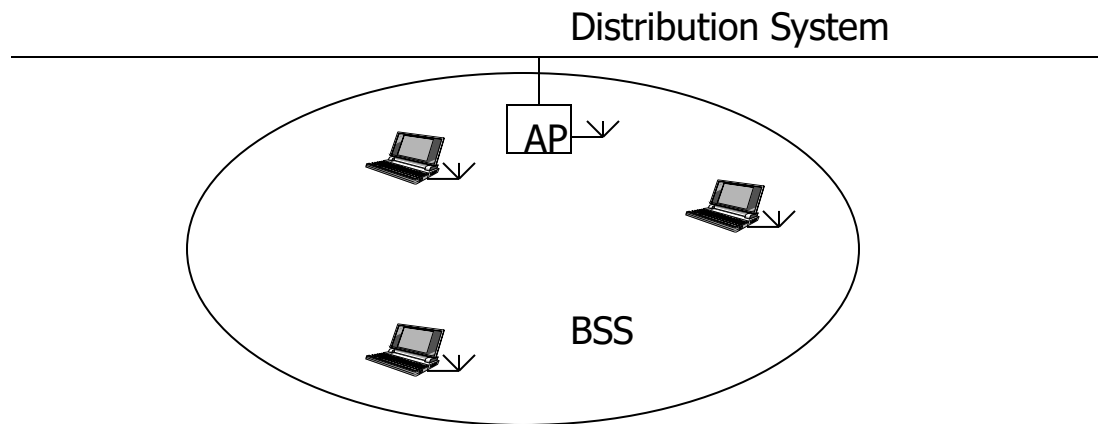
# Τοπολογίες - IBSS



- Independent Basic Service Set
- Ad-hoc mode



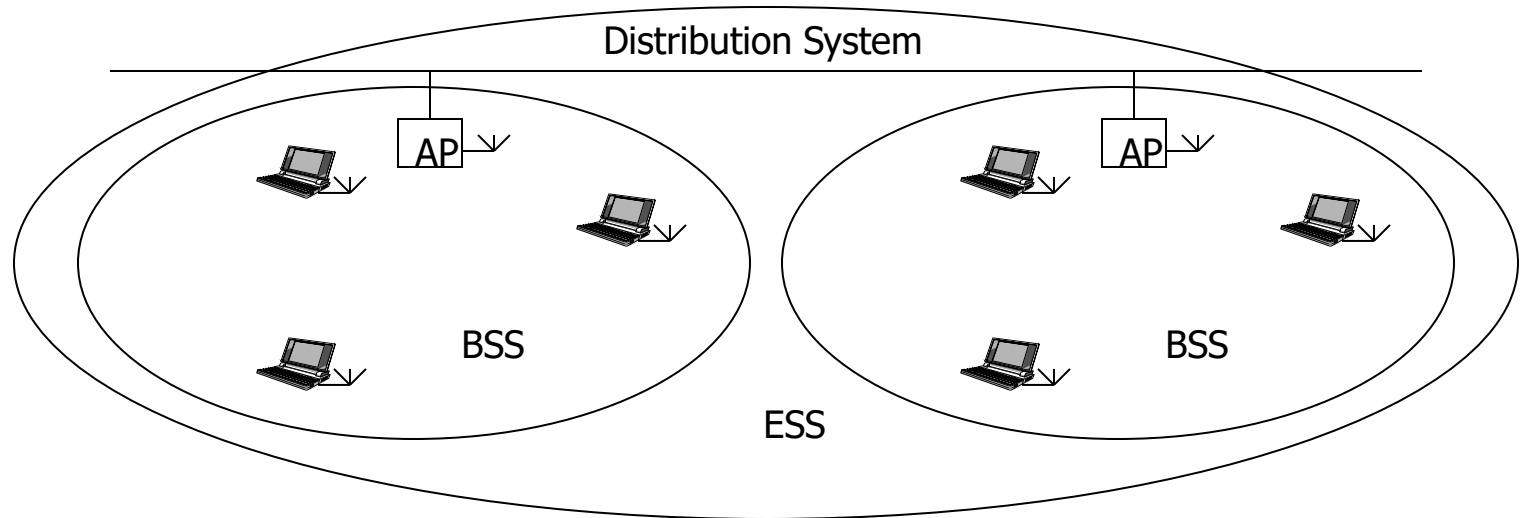
# Τοπολογίες - BSS



- Infrastructure Basic Service Set
- Infrastructure mode
- Όλα τα τερματικά επικοινωνούν με το σταθμό βάσης (access point)



# Τοπολογίες - ESS



- Extended Service Set
- Οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν μεταξύ τους για να εξυπηρετήσουν κινούμενα τερματικά
- Το ESS «κρύβει» την κινητικότητα από δικτυακές συσκευές εκτός ESS

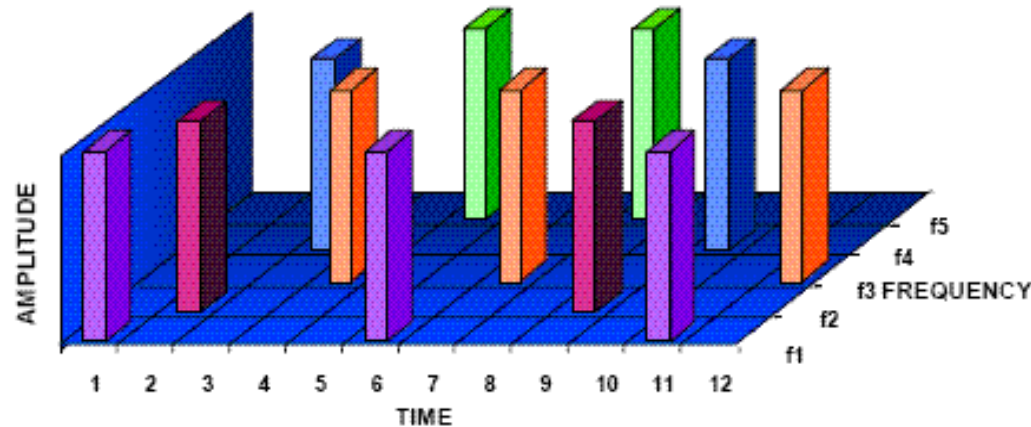


# 802.11 PHY

- 2,4 & 5 GHz
- Baseband IR, 1 & 2 Mbps, 16-PPM & 4-PPM
- 2,4 GHz Frequency Hopping Spread Spectrum
- 2,4 GHz Direct Sequence Spread Spectrum
- 2,4 GHz High Rate DSSS (802.11b)
- 5 GHz OFDM (802.11a)



# Frequency Hopping Spread Spectrum



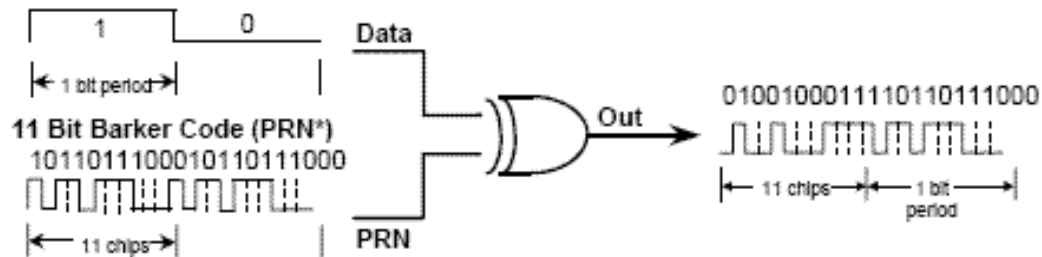
- Ζώνη εύρους 83,5 MHz
- Χωρίζεται σε 75 κανάλια  $< 1$  MHz
- Οι πομποδέκτες αλλάζουν κανάλι ομαδικά με ψευδοτυχαίο τρόπο
- Ισχύς φιλτράρεται σε  $-20$ db στην άκρη ζώνης



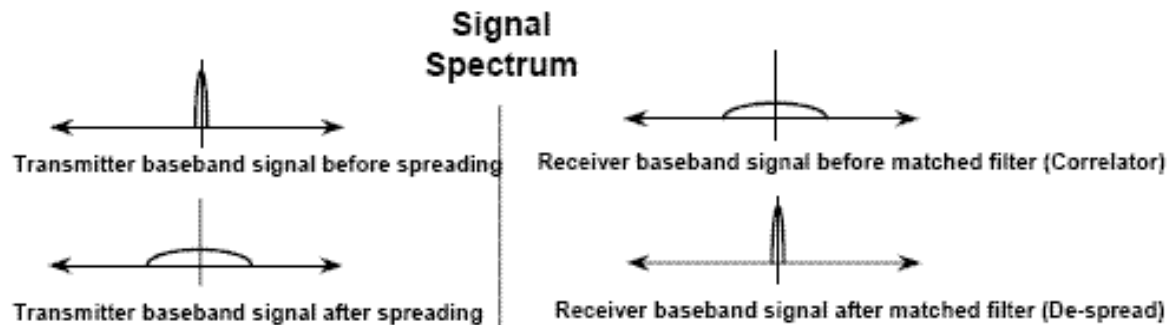


# Direct Sequence Spread Spectrum

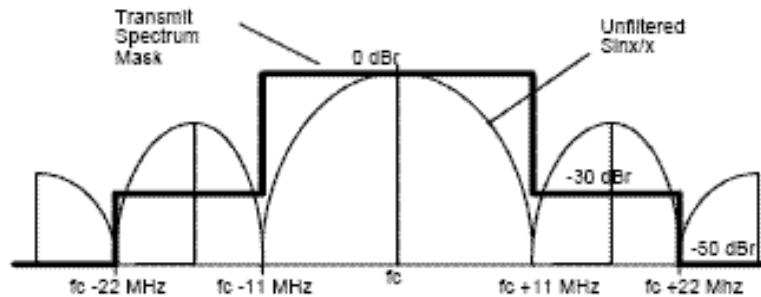
RF Energy is Spread by XOR of Data with PRN Sequence



\* PRN: Pseudorandom Number



# DSSS και κανάλια



Channel	USA	ETSI	Japan
1	2412 MHz	2412 MHz	N/A
2	2417 MHz	2417 MHz	N/A
3	2422 MHz	2422 MHz	N/A
4	2427 MHz	2427 MHz	N/A
5	2432 MHz	2432 MHz	N/A
6	2437 MHz	2437 MHz	N/A
7	2442 MHz	2442 MHz	N/A
8	2447 MHz	2447 MHz	N/A
9	2452 MHz	2452 MHz	N/A
10	2457 MHz	2457 MHz	N/A
11	2462 MHz	2462 MHz	N/A
12	N/A	2467 MHz	N/A
13	N/A	2472 MHz	N/A
14	N/A	N/A	2484 MHz



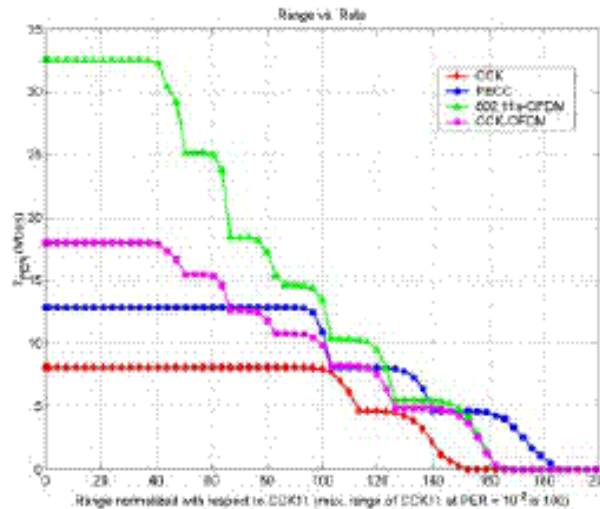
# OFDM PHY

- Data rates: 6, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
- 48 sub-carriers
- Sub-carrier modulation: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
- Bit interleaved convolutional coding,  $K=7$ ,  $R=1/2, 2/3, 3/4$
- OFDM frame duration: 4 $\mu$ s guard interval: 0.8ms
- 18MHz channel spacing, 9-10 channels in 200MHz bandwidth



# IEEE 802.11g

- Υποχρεωτικά:
  - CCK με πρόλογο (802.11b)
  - OFDM στα (802.11a στα 2,4 GHz)
- Προαιρετικά:
  - PBCC (Texas Instruments, 22 Mbps)
  - CCK-OFDM (Intersil, 54 Mbps)



Range vs. throughput rate comparison of

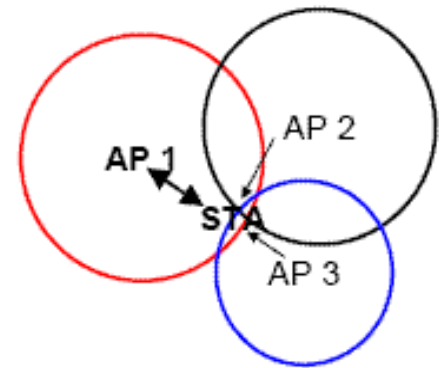
- CCK (802.11b),
- OFDM ("802.11a"),
- PBCC,
- CCK-OFDM

(Batra, Shoemake; Texas Instruments; Doc: 11-01-286r2)



# 802.11h

- Διαχείριση φάσματος και ισχύος εκπομπής
- TPC (Transmission Power Control)
  - Υποστηρίζει μείωση παρεμβολών, μείωση κατανάλωσης ενέργειας, έλεγχο κάλυψης και ευρωστία ζεύξης
  - Οι σταθμοί βάσης ορίζουν και αλληλοενημερώνονται για τους περιορισμούς ισχύος (τοπικούς και κανονιστικούς)
  - Οι σταθμοί επιλέγουν τη βέλτιστη ισχύ εκπομπής για κάθε πλαίσιο σύμφωνα με τους περιορισμούς
- DFS (Dynamic Frequency Selection)
  - Οι σταθμοί βάσης επιλέγουν
  - Τα τερματικά παρέχουν αναφορές



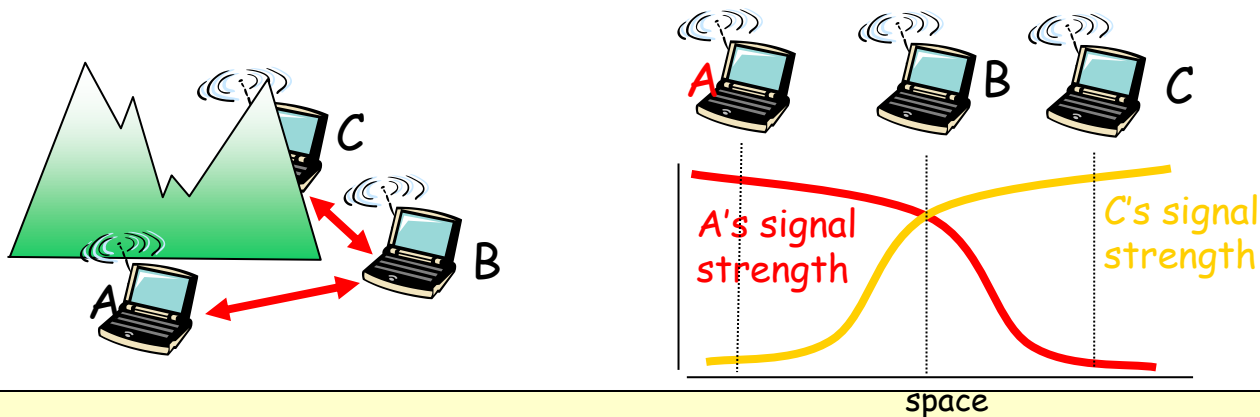
# 802.11 MAC

- Βασικά χαρακτηριστικά
  - Distributed Coordination Function (DCF)
    - CSMA/CA
    - Χρησιμοποιεί Clear Channel Assessment (CCA) από το φυσικό επίπεδο για Carrier Sense
  - Αντιμετωπίζει παρεμβολές
    - CSMA/CA + ACK για unicast
    - CSMA για broadcast
  - Παραμετροποιήσιμη χρήση RTS/CTS για προστασία από το πρόβλημα «κρυμμένων τερματικών»
  - Περιλαμβάνει κατάτμηση για να λειτουργεί με διαφορετικά φυσικά επίπεδα
- Point Coordination Function (PCF)
  - Ο σταθμός βάσης συντονίζει τα τερματικά



# 802.11 Multiple Access

- αποφυγή συγκρούσεων:  $>2$  κόμβοι μεταδίδουν ταυτόχρονα
- 802.11: CSMA - sense before transmitting
  - αποφυγή σύγκρουσης με τερματικό που μεταδίδει
- 802.11: *no* collision detection!
  - δύσκολο να αντιληφθεί συγκρούσεις κατά τη μετάδοση, εξαιτίας αδύναμων σημάτων
  - δεν μπορεί να αντιληφθεί συγκρούσεις σε όλες τις περιπτώσεις (κρυμμένο τερματικό, εξασθένηση)
  - στόχος: αποφυγή συγκρούσεων: CSMA/C(ollision)A(voidance)



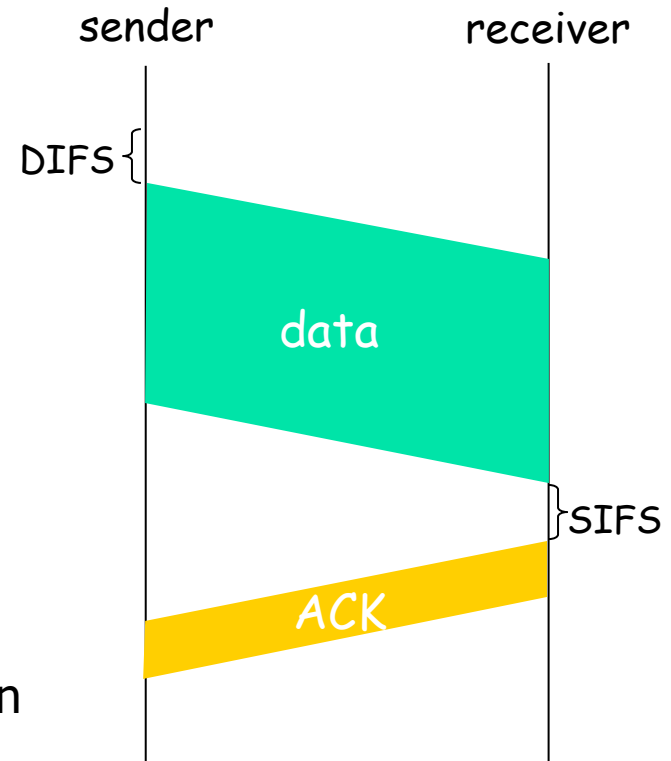
# 802.11 CSMA/CA

## 802.11 sender

- 1 if sense channel idle for **DIFS** then transmit entire frame (no CD)
- 2 if sense channel busy then start random backoff time  
timer counts down while channel idle  
transmit when timer expires  
if no ACK, increase random backoff interval, repeat 2

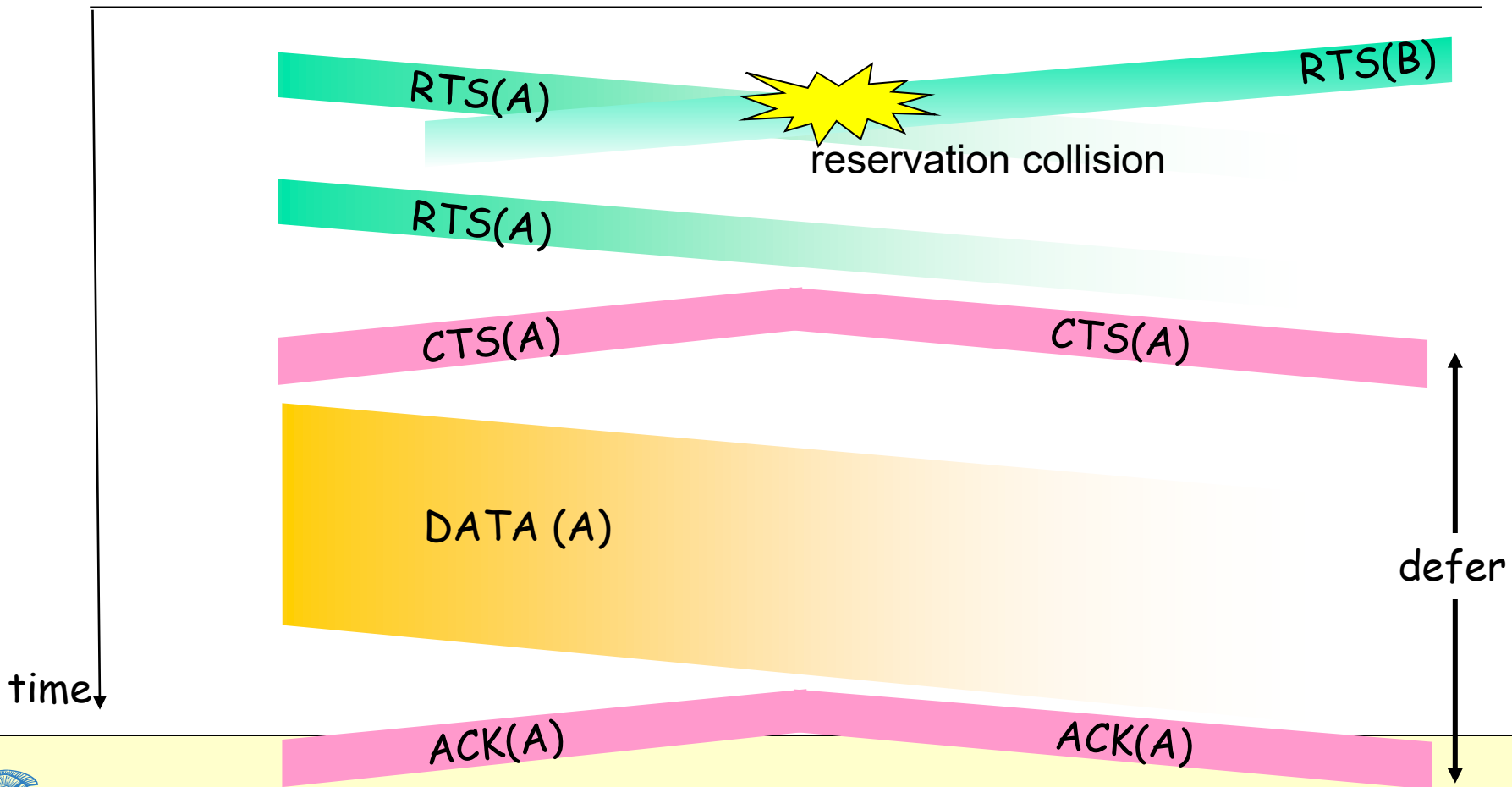
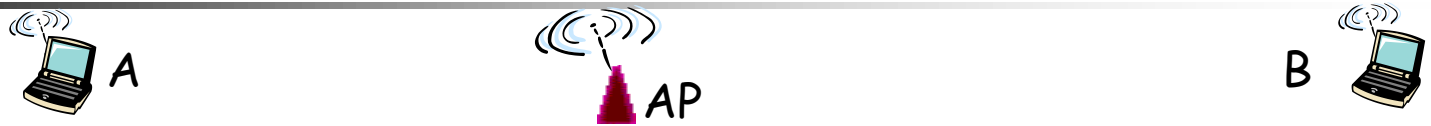
## 802.11 receiver

- if frame received OK  
return ACK after **SIFS** (ACK needed due to hidden terminal problem)

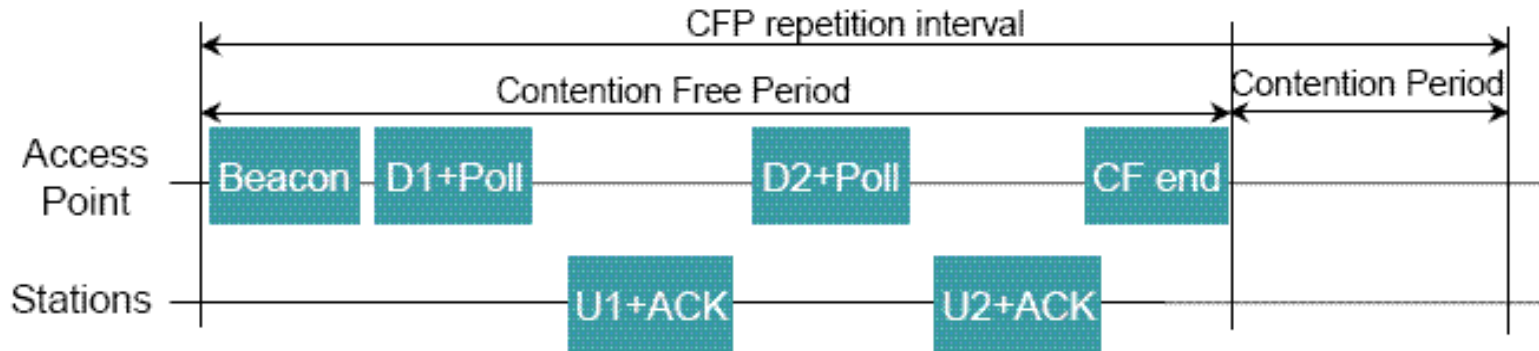




# RTS-CTS



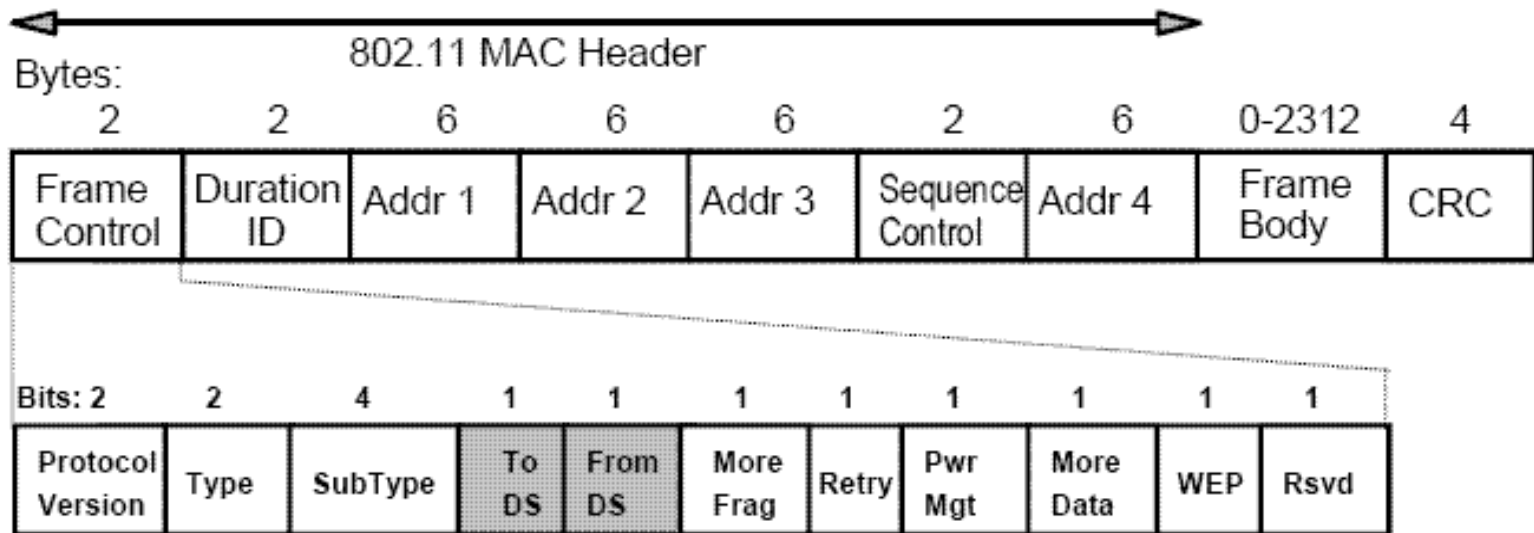
# Point Coordination Function (PCF)



- Παρέχεται χρονική περίοδος χωρίς ανταγωνισμό και χρονική περίοδος με ανταγωνισμό υπό τον έλεγχο του σταθμού βάσης
- Ο σταθμός βάσης ρωτάει τα τερματικά κατά τη διάρκεια της περιόδου χωρίς ανταγωνισμό
- Το NAV (Network Allocation Vector) παραπέμπει την κίνηση υπό ανταγωνισμό στο τέλος
- Οι PCF και DCF παραπέμπουν η μία στην άλλη



# Μορφή πλαισίου

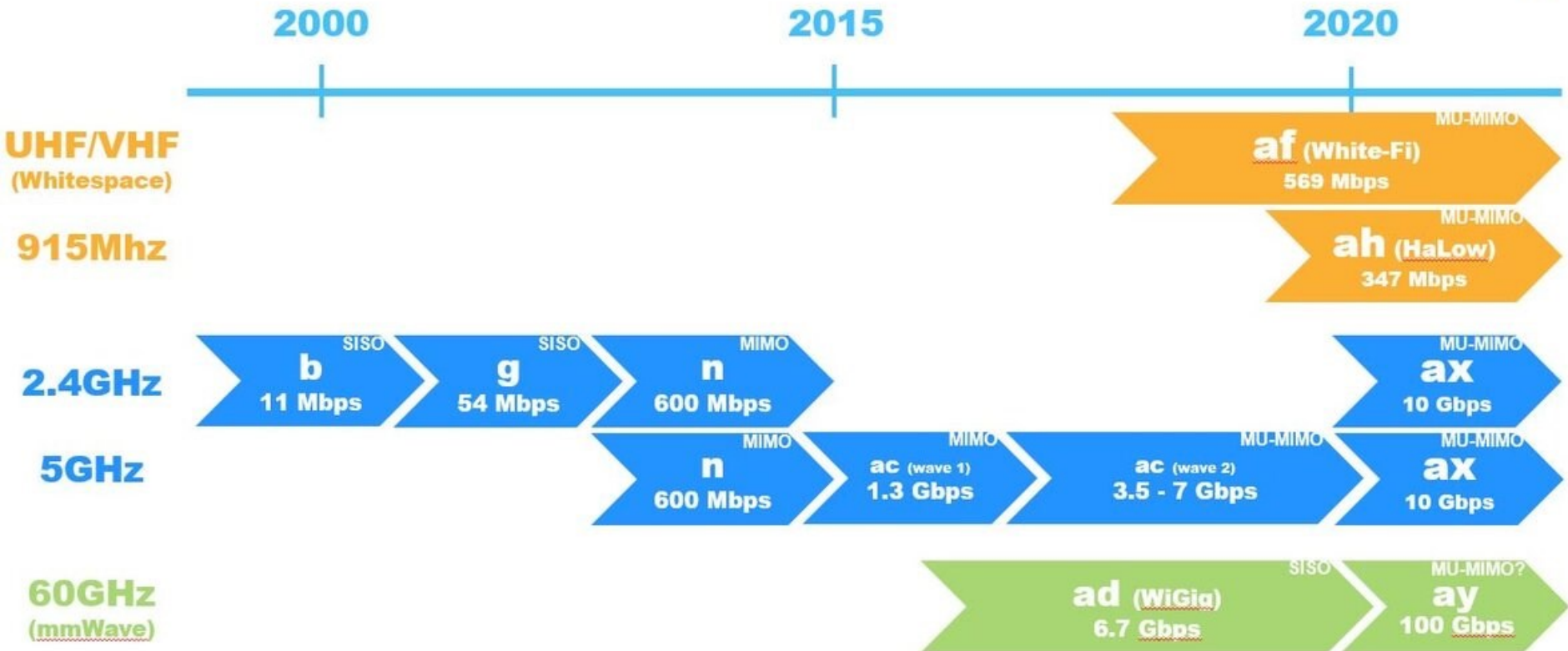


- Πλαίσια ελέγχου
- Πλαίσια διαχείρισης
- Πλαίσια δεδομένων

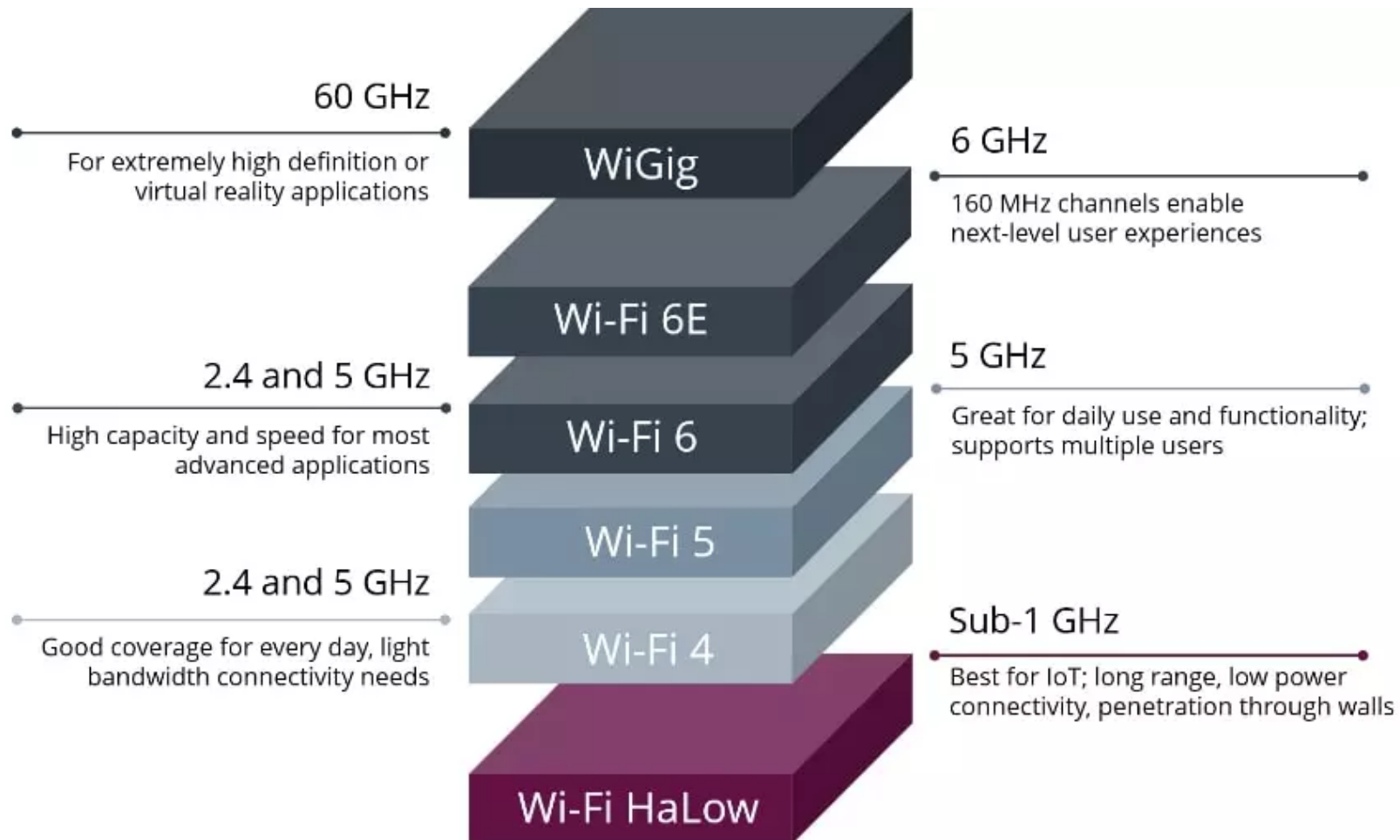


# Οικογένεια 802.11

## WiFi Mix



# Οικογένεια 802.11



# 802.11n – WiFi 4 (2009)

- Χρήση πολλαπλών κεραιών (MIMO)
  - μέχρι 4 διαφορετικές ροές δεδομένων
  - μέχρι 150 Mbps ανά ροή
    - μέχρι 600 Mbps η μέγιστη απόδοση
- Κανάλια 40 MHz
- ως 4 διαφορετικές ροές δεδομένων



# 802.11ac – WiFi 5 (2014)

- wider channels (80 or even 160 MHz)
- Up to 8 MIMO streams
- Downlink Multi User MIMO
- Better modulation scheme
- Theroretical rates up to 2 Gbps. Real rates ~50%



# 802.11ax – WiFi 6 (2019)

- Operation in all ISM bands
- OFDMA
- Multi user MIMO (downlink + uplink)
- Spatial frequency reuse
- 2 NAVs
- Theroretical rates up to 11 Gbps. Real rates ~35%





# 802.11be (υπό διαμόρφωση)

- Channels 320MHz wide
- Multi-band/multi-channel aggregation and operation
- 16 spatial streams and Multiple Input Multiple Output (MIMO) protocols enhancements
- Multi-Access Point (AP) Coordination (e.g. coordinated and joint transmission)
- Enhanced link adaptation and retransmission protocol (e.g. Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ))
- Etc.



# Πρότυπα 802.11

TABLE 1: IEEE 802.11 COMMON WIFI STANDARDS BREAKDOWN

Standard	Frequency Band	Bandwidth	Modulation Scheme	Channel Arch.	Maximum Data Rate	Range	Max Transmit Power
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, FHSS	2 Mbps	20 m	100 mW
b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK to 256-QAM	CCK, DSSS	11 Mbps	35 m	100 mW
a	5 GHz	22 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m	100 mW
g	2.4 GHz	23 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m	100 mW
n	2.4 GHz, 5 GHz	24 MHz and 40 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m	100 mW
ac	5 GHz	20, 40, 80, 80+80=160 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	6.93 Gbps	35 m	160 mW
ad	60 GHz	2.16 GHz	BPSK to 64-QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps	10 m	10 mW
af	54-790 MHz	6, 7, and 8 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	26.7 Mbps	>1km ?	100 mW
ah	900 MHz	1, 2, 4, 8, and 16 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	40 Mbps	1 km	100 mW



# Τέλος

---

- Ερωτήσεις ;

