



# Βασικές έννοιες και ιστορική αναδρομή

ΜΥΕ006: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευάγγελος Παπαπέτρου

## Διάρθρωση μαθήματος

- Εισαγωγή
  - Ορισμός ασύρματου δικτύου
  - Παραδείγματα ασύρματων δικτύων και ανάγκες δικτύωσης
- Δομή ενός ασύρματου δικτύου
  - Αρχιτεκτονική
  - Μοντέλο ασύρματης επικοινωνίας
  - Κανάλι επικοινωνίας
  - Ψηφιακά ασύρματα δίκτυα
  - Πολλαπλή πρόσβαση
- Προκλήσεις στη σχεδίαση ασύρματων δικτύων
- Ιστορική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων
  - εξέλιξη κυψελοειδών συστημάτων
  - εξέλιξη ασύρματων δικτύων υπολογιστών

## Εισαγωγή

## Τι είναι ένα ασύρματο δίκτυο;

*Ασύρματο δίκτυο καλείται ένα δίκτυο στο οποίο η επικοινωνία των χρηστών αλλά και των δομικών στοιχείων που το αποτελούν γίνεται πλήρως ή μερικώς χωρίς τη χρήση ενσύρματων μέσων*

## Παραδείγματα ασύρματων δικτύων

- ❑ Ασύρματη τηλεφωνία: ασύρματη σύνδεση τηλεφώνου (handset) με ένα σταθμό βάσης
  - π.χ. DECT
- ❑ Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας: ασύρματη σύνδεση κινητών τηλεφώνων στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN)
  - π.χ. AMPS, GSM, GPRS, LTE
- ❑ Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών και άλλων συσκευών: ασύρματη σύνδεση φορητών υπολογιστών, εκτυπωτών, κλπ μεταξύ τους ή με το Internet
  - π.χ. δίκτυα IEEE 802.11, HIPERLAN/2, Bluetooth, IEEE 802.15, IEEE 802.16

## Ασύρματα δίκτυα vs ανάγκες δικτύωσης (1/2)

- ❑ Τα ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν σημαντική ευελιξία
  - δεν χρειάζονται καλώδια για την σύνδεση των τερματικών
  - είναι δυνατή η κινητικότητα των χρηστών
- ❑ Η ευελιξία τους καλύπτει ποικίλες ανάγκες δικτύωσης
- ❑ Σταθεροί χρήστες ή χρήστες με μικρή κινητικότητα
  - δίκτυα συνήθως συμπληρωματικά ως προς τα ενσύρματα
  - καλύπτουν μόνιμες ή και προσωρινές ανάγκες δικτύωσης
    - μόνιμες ανάγκες: επεκτάσεις ενσύρματων δικτύων (έλλειψη ενσύρματης υποδομής), διασύνδεση ενσύρματων δικτύων, και
    - προσωρινές ανάγκες: π.χ. δικτύωση συνέδρων
  - συνήθως δίκτυα μικρής κλίμακας: τοπικά δίκτυα ή δίκτυα προσωπικής περιοχής, σπανιότερα μητροπολιτικά
  - τεχνολογίες: infrastructure και ad hoc δίκτυα IEEE 802.11, HIPERLAN/2, HIPERACCESS, IEEE 802.15, IEEE 802.16, κλπ

## Ασύρματα δίκτυα vs ανάγκες δικτύωσης (2/2)

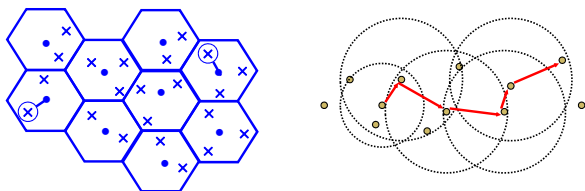
- ❑ Κινητοί χρήστες
  - Υποστήριξη υψηλής κινητικότητας σε μικρή αλλά κυρίως σε μεγάλη κλίμακα (με υποστήριξη περιαγωγής):
    - μεγάλη κλίμακα: δίκτυα ευρείας περιοχής, π.χ. κυψελοειδή συστήματα GSM, Wireless Mesh networks, δορυφορικά δίκτυα
    - μικρή κλίμακα, π.χ. mobile ad hoc networks (MANETs)
  - καλύπτουν συνήθως μόνιμες ανάγκες δικτύωσης
  - δίκτυα συνήθως ανεξάρτητα από τα ενσύρματα
- ❑ Δικτύωση με ή χωρίς υποδομή
  - δίκτυα με υποδομή:
    - βασικά δομικά στοιχεία του δικτύου προϋπάρχουν
    - καλύπτουν μόνιμες ανάγκες δικτύωσης
  - δίκτυα χωρίς υποδομή:
    - ο εξοπλισμός μόνο των χρηστών είναι αρκετός
    - καλύπτουν παροδικές ανάγκες δικτύωσης

## Δομή ενός ασύρματου δικτύου

## Αρχιτεκτονική ασύρματων δικτύων (1/2)

### □ Δύο βασικές αρχιτεκτονικές χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα

- Με σημεία πρόσβασης (infrastructure networks)
- Χωρίς σταθμούς βάσης (ad hoc networks)



## Αρχιτεκτονική ασύρματων δικτύων (2/2)

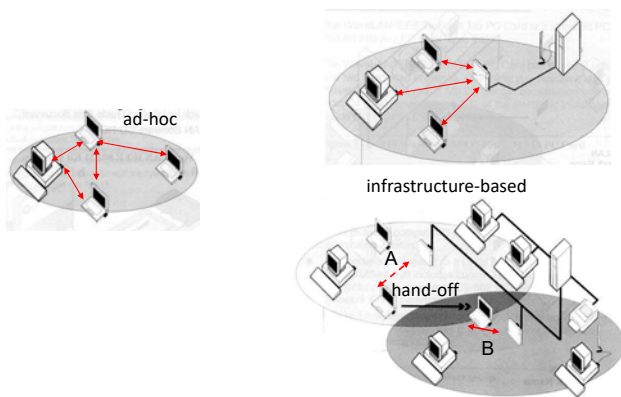
### □ Infrastructure networks

- τα τερματικά επικοινωνούν μέσω των σημείων πρόσβασης (σταθμοί βάσης)
- συνήθως επικοινωνία ενός άλματος
- οι σταθμοί βάσης συνδέονται μεταξύ τους ενσύρματα ή ασύρματα

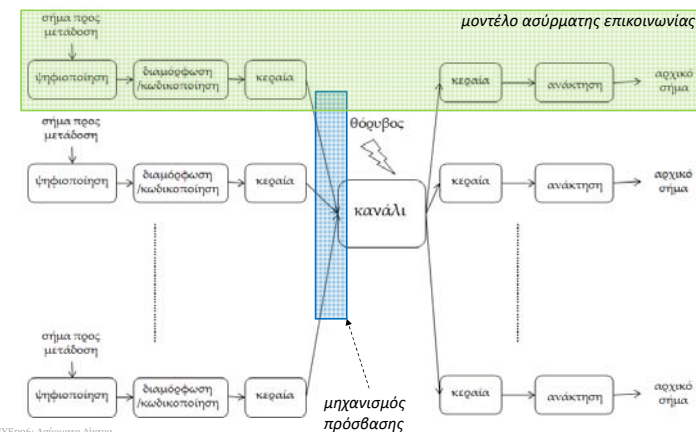
### □ Ad hoc networks

- απ'ευθείας επικοινωνία των τερματικών
  - μπορεί να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και multihop επικοινωνία
- επικοινωνία χωρίς την ανάγκη υποδομής
- δίκτυα με αυτοοργάνωση = ευελξία

## Infrastructure vs Ad Hoc

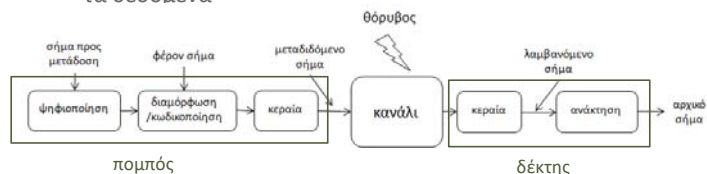


## Μοντελοποίηση ασύρματου δικτύου



## Μοντέλο ασύρματης επικοινωνίας

- Η επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών ενός ασύρματου δικτύου περιγράφεται από το παρακάτω μοντέλο
- Δομικά στοιχεία:
  - κανάλι: το κοινό μέσο στο οποίο μεταδίδεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (φορέας της πληροφορίας)
  - πομπός: μετατρέπει τα δεδομένα ώστε να μπορούν να μεταδοθούν στο κανάλι επικοινωνίας
  - δέκτης: μετατρέπει το λαμβανόμενο σήμα ώστε να ανακτήσει τα δεδομένα



ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

13

## Χαρακτηριστικά καναλιού επικοινωνίας

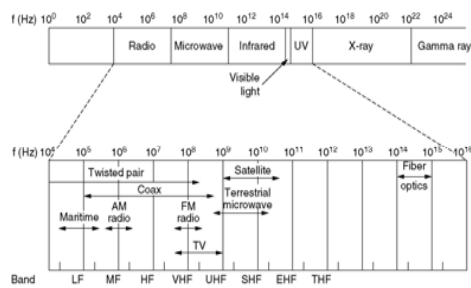
- Κατευθυνόμενη ή μη επικοινωνία
  - το ηλ. κύμα διαδίδεται προς "μια" κατεύθυνση η προς περισσότερες (ή όλες) τις κατευθύνσεις
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων W (Hz)
  - το σύνολο των συχνοτήτων που μπορεί να έχει ένα σήμα ώστε να μεταδοθεί μέσα από το κανάλι
- Επίπεδο θορύβου
  - συνήθως μετράται με το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο S/N ( συνήθως σε dB)
- Χωρητικότητα καναλιού
  - ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (ταχύτητα μετάδοσης)

ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

14

## Εύρος ζώνης συχνοτήτων (1/2)

- Διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων έχουν διαφορετικές εφαρμογές
  - π.χ. δορυφορικά δίκτυα (>10 GHz), κυψελοειδή συστήματα (~900MHz), ασύρματα τοπικά δίκτυα (2-5 GHz)

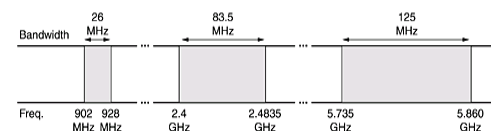


ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

15

## Εύρος ζώνης συχνοτήτων (2/2)

- Ζώνη συχνοτήτων ISM (Industrial Scientific Medical)
  - ελεύθερη χρήση
  - εφαρμογές κυρίως ασύρματων τοπικών δικτύων



ΜΥΕ006: Ασύρματα Δίκτυα

16

## Χωρητικότητα καναλιού

### □ Θεώρημα Shannon:

- ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας σε ένα κανάλι με προσθετικό Gaussian λευκό θόρυβο είναι:  $C = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$  bps

- ο λόγος ισχύος σήματος προς θόρυβο S/N προσδιορίζει το επίπεδο θορύβου στο κανάλι και μετράται συνήθως σε dB

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N}\right) \quad -3dB = 10 \log_{10}(0.5)$$

### □ Θεωρητικό όριο

- ο πραγματικός ρυθμός περιορίζεται από την υλοποίηση των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων και τις τεχνικές κωδικοποίησης

## Ψηφιακά και αναλογικά δίκτυα

- Ψηφιακό δίκτυο: ένα δίκτυο στο οποίο οι διακινούμενες πληροφορίες έχουν ψηφιακή μορφή

### □ Η ψηφιακή τεχνολογία αναφέρεται

- στη μετάδοση της πληροφορίας
- στις λειτουργίες του δικτύου

### □ Ιστορικά τα πρώτα δίκτυα ήταν αναλογικά

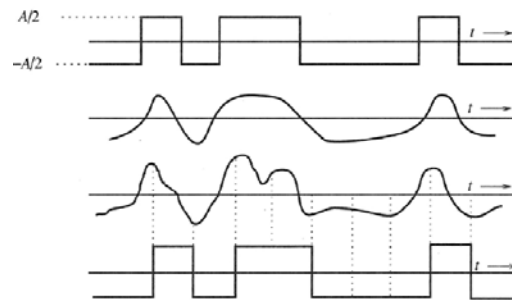
- κυρίως δίκτυα τηλεφωνίας

### □ Παραδείγματα

- αναλογικά δίκτυα: 1G δίκτυα κινητής τηλεφωνίας
- ψηφιακά δίκτυα: 3G δίκτυα κινητής επικοινωνίας, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών

- Η ψηφιακή τεχνολογία έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια εξ' αιτίας της ανωτερότητάς της

## Ψηφιακή μετάδοση: ανθεκτικότητα στο θόρυβο



## Ψηφιακή vs αναλογικής μετάδοσης

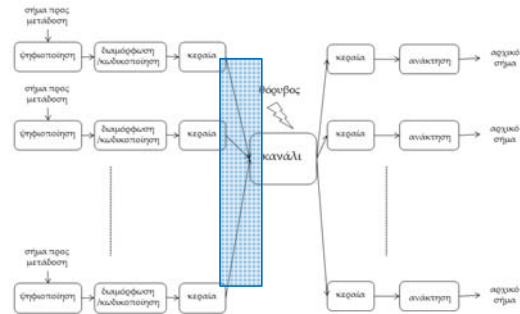
### □ Η ψηφιακή μετάδοση υπερτερεί της αναλογικής

- Μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων
  - ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων => ανθεκτικότητα σε θόρυβο
- Ασφάλεια διακινούμενης πληροφορίας
  - κρυπτογράφηση
- Μεγάλη ακτίνα επικοινωνίας
  - διόρθωση σφαλμάτων και χρήση αναμεταδοτών
- Χαμηλό κόστος τηλεπικοινωνιακών διατάξεων
  - λόγω της τεχνολογίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
- Καλύτερη χρήση πόρων του συστήματος
  - εξελιγμένες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, π.χ. CDMA

## Μηχανισμοί πολλαπλής πρόσβασης (1/2)

### □ Μηχανισμοί πολλαπλής πρόσβασης

- απαραίτητοι ώστε πολλοί χρήστες να χρησιμοποιούν το ίδιο κοινό μέσο



## Μηχανισμοί πολλαπλής πρόσβασης (2/2)

### □ Είδη μηχανισμών πολλαπλής πρόσβασης

- με ανταγωνισμό (contention-based):
  - οι χρήστες ανταγωνίζονται για τη χρήση του καναλιού
  - χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας δικτύωση
  - παραδείγματα: Aloha, CSMA/CD
- χωρίς ανταγωνισμό (contention-less):
  - οι πρόσβαση των χρηστών στο κοινό μέσο έχει καθοριστεί εκ των προτέρων
  - χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλης κλίμακας δικτύωση όπου υπάρχει υποδομή
  - οι τεχνικές ταυτόχρονης μετάδοσης πολλών χρηστών στο ίδιο κοινό μέσο ονομάζονται και τεχνικές πολυπλεξίας
  - παραδείγματα: TDMA, FDMA, CDMA

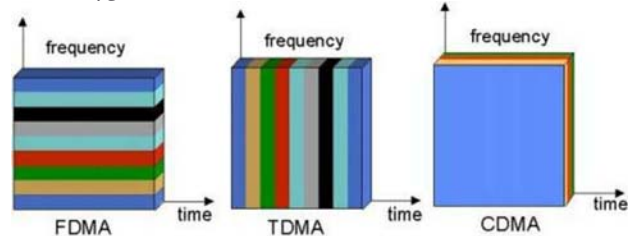
## Τεχνικές πολυπλεξίας (1/2)

### □ TDMA (Time Division Multiple Access)

- σε κάθε χρήστη ανατίθεται περιορισμένος χρόνος για μετάδοση

### □ FDMA (Frequency Division Multiple Access)

- σε κάθε χρήστη ανατίθενται συγκεκριμένες συχνότητες για



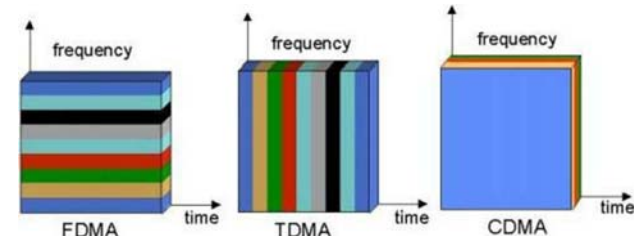
## Τεχνικές πολυπλεξίας (2/2)

### □ CDMA (Code Division Multiple Access)

- όλοι οι χρήστες εκπέμπουν ταυτόχρονα σε όλες τις συχνότητες αλλά κάθε χρήστης "κωδικοποιεί" τα δεδομένα του με ένα μοναδικό κώδικα

### □ SDMA (Space Division Multiple Access)

- δύο χρήστες μπορούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα αν βρίσκονται σε "μεγάλη" απόσταση μεταξύ τους



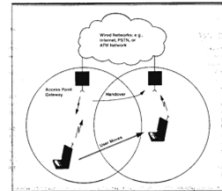
## Προκλήσεις στη σχεδίαση των ασύρματων δικτύων

## Ασύρματα vs Ενσύρματα δίκτυα (1/2)

- Η σχεδίαση των ασύρματων δικτύων αντιμετωπίζει ιδιαίτερες προκλήσεις σε σχέση με:
  - την ασύρματη μετάδοση
  - την μεταβλητότητα του δικτύου/κινητικότητα των χρηστών
- Ασύρματη Διάδοση/Μετάδοση
  - η διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (φορέας της πληροφορίας) είναι *σύνθετη* και *μεταβαλλόμενη με το χρόνο* διεργασία
  - η ασύρματη μετάδοση είναι λιγότερο *αξιόπιστη*
  - η προστασία από *θόρυβο* και *παρεμβολές* είναι περιορισμένη
  - η *ασφάλεια* των μεταδιδόμενων δεδομένων είναι περιορισμένη

## Ασύρματα vs Ενσύρματα δίκτυα (2/2)

- Κινητικότητα χρηστών
  - η κίνηση ενός χρήστη επηρεάζει τη διάδοση του ηλ. κύματος
  - η κατανομή των χρηστών μέσα στο δίκτυο είναι σημαντική, π.χ. χρήση κοινών πόρων, παρεμβολή μεταξύ χρηστών, κλπ
    - **Handoff** ή **handover**: ο χρήστης ενδέχεται να εξυπηρετηθεί από διαφορετικούς σταθμούς πρόσβασης του δικτύου
  - η θέση ενός χρήστη στο δίκτυο είναι σημαντική (η διεύθυνση δεν σχετίζεται με αυτήν)
    - **Location management**: το δίκτυο πρέπει να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή τη θέση του χρήστη



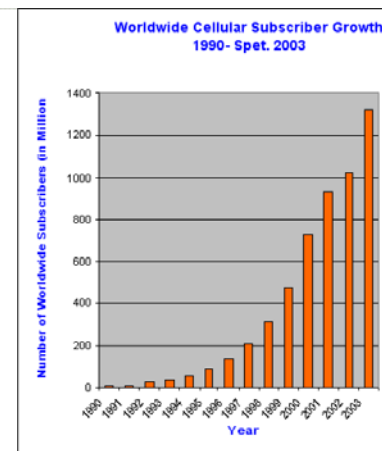
## Ιστορική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων

## Γενικά (1/2)

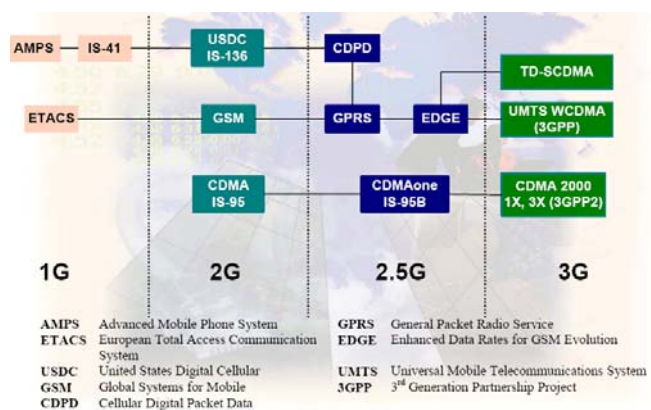
- Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων σηματοδοτήθηκε κυρίως από δύο κλάδους
  - κυψελοειδή συστήματα
  - ασύρματα δίκτυα υπολογιστών
  
- Οι δύο αυτοί κλάδοι τείνουν να συγκλίνουν σε ένα κοινό δίκτυο
  - δίκτυα 3G, WLANs, Wireless Mesh Networks, ad hoc networks, κλπ

## Γενικά (2/2)

- Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων υπήρξε ραγδαία τα τελευταία χρόνια
  - παράδειγμα: ανάπτυξη των κυψελοειδών συστημάτων



## Εξέλιξη ασύρματων κυψελοειδών δικτύων



## Κυψελοειδή δίκτυα: εξέλιξη (1/3)

- Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1<sup>st</sup> Generation - 1G)
  - εμφανίστηκαν τη δεκαετία του '70 και υλοποιήθηκαν τη δεκαετία του '80
  - αναλογικά συστήματα με χαμηλή χωρητικότητα
  - χαμηλή χωρητικότητα
  - ρυθμοί μετάδοσης 8-10 Kbps
  - αντιπροσωπευτικά συστήματα
    - AMPS (Advanced Mobile Phone System)
      - αναπτύχθηκε από την AT&T Bell Labs.
      - ιδιαίτερα δημοφιλές σε ΗΠΑ, Νότια Αμερική, Αυστραλία και Κίνα
    - ETACS (European Total Access Communication Systems)
      - σχεδόν ίδιο με το AMPS



## Κυψελοειδή δίκτυα: εξέλιξη (2/3)

### □ Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2<sup>nd</sup> Generation - 2G)

- υλοποιήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '90
- μερικώς ψηφιακά συστήματα
- αύξηση χωρητικότητας μέχρι και 3 φορές σε σχέση με τα 1G
- ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των 10 Kbps
- υπηρεσίες φωνής, γραπτών μηνυμάτων, fax, κλπ
- αντιπροσωπευτικά συστήματα
  - GSM (Global Systems for Mobile communications)
    - Ευρωπαϊκό πρότυπο, μετάδοση φωνής, μηνυμάτων, fax, κλπ
    - ρυθμοί μετάδοσης ~25Kbps
  - IS-95 (United States Digital Cellular Standard)
    - χωρητικότητα 8-10 φορές μεγαλύτερη του AMPS, ρυθμοί μετάδοσης 14.4 Kbps

## Κυψελοειδή δίκτυα: εξέλιξη (3/3)

### □ Δίκτυα 2.5G

- Πλήρως ψηφιακά συστήματα -
- Μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης
- Υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και όχι απλά φωνής
- Σύνδεση με το Internet
- Αντιπροσωπευτικά πρότυπα:
  - GPRS (General Packet Radio Service): στηρίζεται στο GSM
    - ρυθμοί μετάδοσης 56-114 kbps
  - EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution): βελτιωμένες τεχνικές κωδικοποίησης
    - ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 384 Kbps

## Συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς - 3G (1/2)

### □ Βασικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης
  - ρυθμοί μετάδοσης περίπου 2Mbps
- Υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών
  - εφαρμογές Internet, ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων και φωνής, τηλεδιάσκεψη
- Περιορισμένη
  - πρόσβαση των χρηστών από οπουδήποτε στον κόσμο και από οποιοδήποτε δίκτυο

### □ Οργανισμοί προτυποποίησης: 3GPP και 3GPP2

- 3GPP: εστιάζει στη συμβατότητα με τα συστήματα GSM, GPRS, EDGE, κλπ
- 3GPP2: εστιάζει στη συμβατότητα με συστήματα όπως το IS-95

## Συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς - 3G (2/2)

### □ Βασικά πρότυπα:

- 3GPP UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
  - στηρίζεται στο σύστημα GSM/EDGE
  - ρυθμοί μέχρι 2Mbps
- 3GPP2 CDMA 2000
  - ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 2 Mbps
- TD-SCDMA (Time Division Synchronous TDMA)
  - προτάθηκε από τις CATT (China Academy and Telecommunications Technology) και Siemens
  - στηρίζεται στην υποδομή του GSM
  - χρήση εξελιγμένων κεραιών στους σταθμούς βάσης
  - ρυθμοί μετάδοσης μέχρι 384 kbps

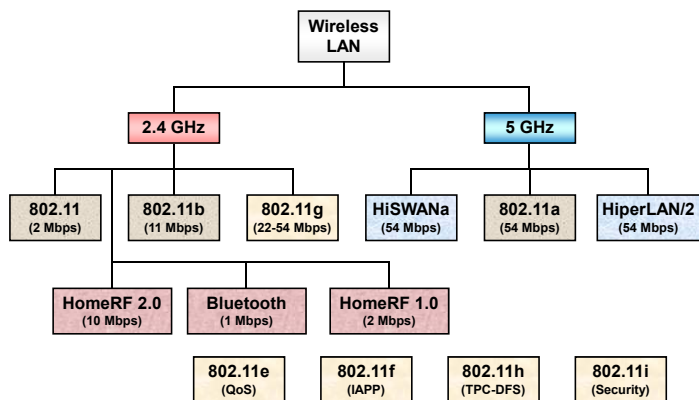
## Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα: Εξέλιξη (1/2)

- ❑ **1940:** πρώτη χρήση τεχνολογίας διευρυμένου φάσματος
- ❑ **1980:** πρώτες εφαρμογές με την τεχνολογία στενής ζώνης
- ❑ **1989:** η κανονιστική αρχή FCC στις ΗΠΑ αποδίδει συχνότητες για εμπορική εκμετάλλευση ( ISM bands, 900 MHz, 2.4 GHz, 5 GHz)
- ❑ **1990:** πρώτα προϊόντα σε συχνότητες 900 MHz, η IEEE ξεκινά την προτυποποίηση για WLANs
- ❑ **1994:** πρώτα προϊόντα σε συχνότητες 2.4 GHz

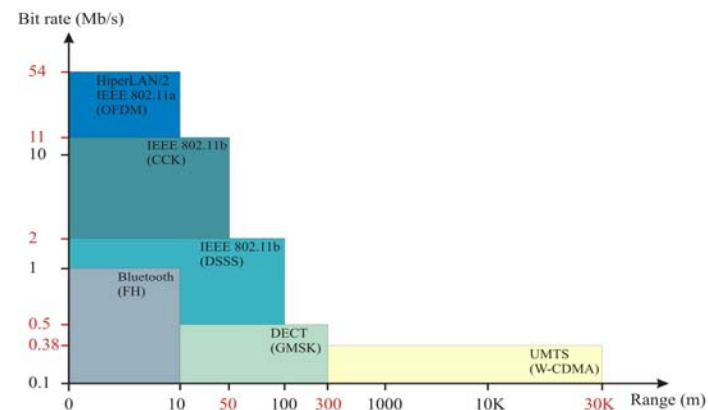
## Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα: Εξέλιξη (2/2)

- ❑ **1997:** έγκριση του προτύπου IEEE 802.11, προϊόντα σε συχνότητες 2.4 GHz
- ❑ **1999:** κυκλοφορία προϊόντων IEEE 802.11b
- ❑ **2000:** η ονομασία Wi-Fi εισάγεται για να περιγράψει προϊόντα 802.11b, βελτίωση του προτύπου 802.11b από το 802.11 WG, έρευνα σε θέματα ασφάλειας των προϊόντων Wi-Fi από το 802.11 TG

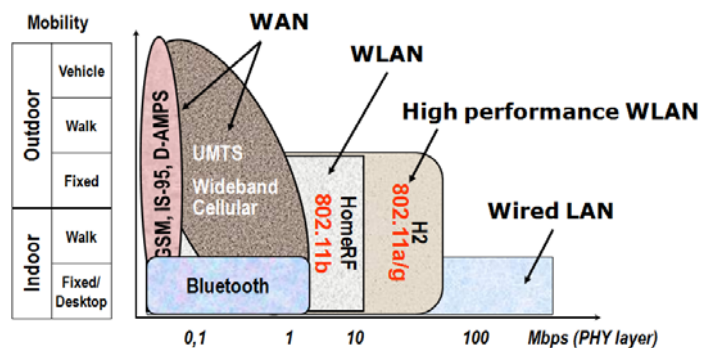
## Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα: Προτυποποίηση (1/2)



## Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα: Προτυποποίηση (2/2)



## Προτυποποίηση και χαρακτηριστικά λειτουργίας



## Ενοποίηση ασύρματων δικτύων

- Ενοποίηση των ασύρματων και εσύρματων δικτύων
  - σημαντικός είναι και ο ρόλος του Internet

