

Τεχνολογίες και Λειτουργία της Τηλεπικοινωνιακής Αγοράς

Ασύρματα δίκτυα

22/11/11

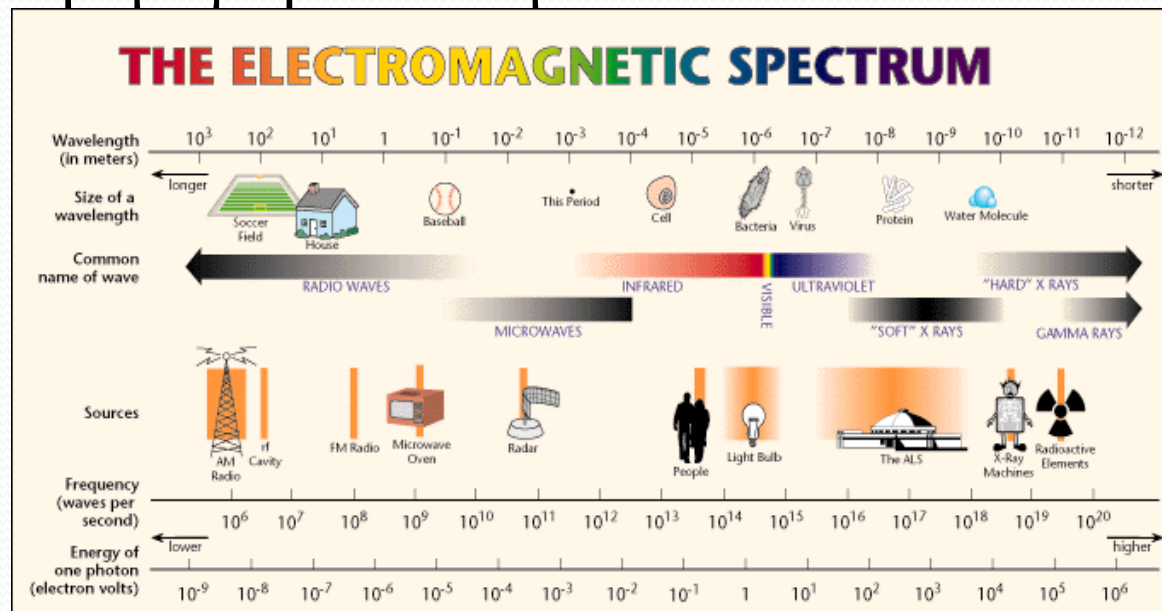
Δρ. Βασιλική Ανδρόνικου
vandro@mail.ntua.gr

Οργάνωση Διάλεξης

- Εισαγωγή
 - Ασύρματα Δίκτυα Γενικά
 - Διαφορές Ασύρματων-Ενσύρματων
 - Διάδοση Σημάτων
- Κατηγορίες Ασυρμάτων Δικτύων
 - Με βάση την ύπαρξη κεντρικού ελέγχου
 - Με βάση την τεχνολογία μετάδοσης
 - Με βάση την κλίμακα
- Χαρακτηριστικά ad-hoc δικτύων
- Πρόβλημα Κρυμμένου Τερματικού
- Cross-Layer Design

1. Ασύρματα Δίκτυα Γενικά

- Δίκτυα στα οποία η σύνδεση μεταξύ των κόμβων γίνεται χωρίς τη χρήση καλωδίων
- Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων



Source: LBL

1.1 Διαφορές Ασύρματων-Ενσύρματων

Ενσύρματα Δίκτυα

- Μικρή εξασθένιση σήματος
- Μικρή παρεμβολή από άλλα σήματα
- Ασφάλεια
- Ακριβά και δεν υποστηρίζουν κινητικότητα

Ασύρματα Δίκτυα

- Μεγάλη εξασθένιση σήματος
- Μεγάλη παρεμβολή από άλλα σήματα
- Πιο εύκολη δυνατότητα υποκλοπών
- Χαμηλό κόστος και υποστηρίζουν κινητικότητα

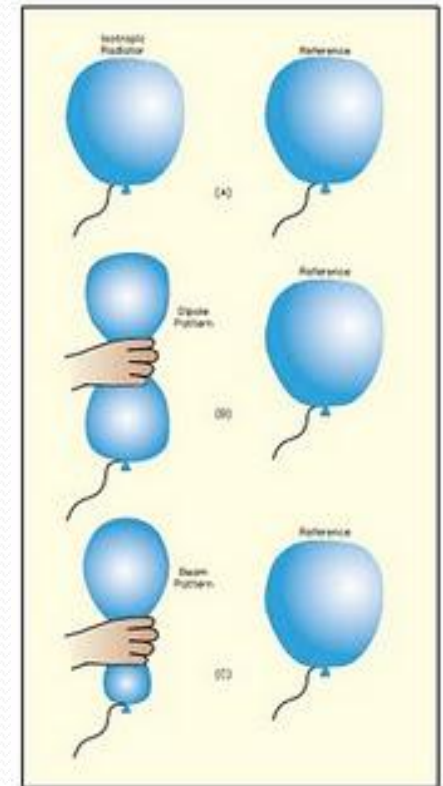
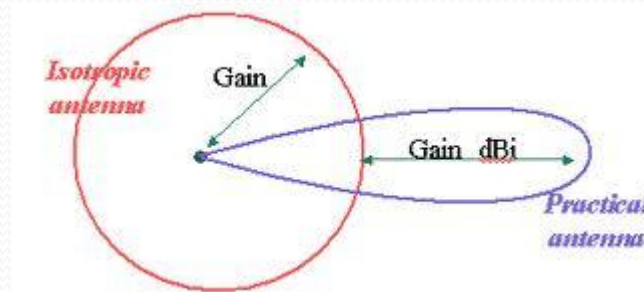
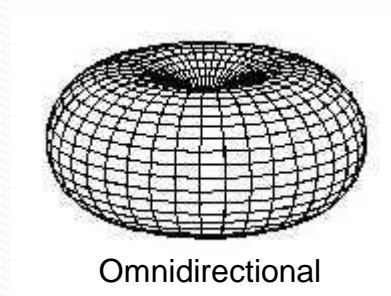
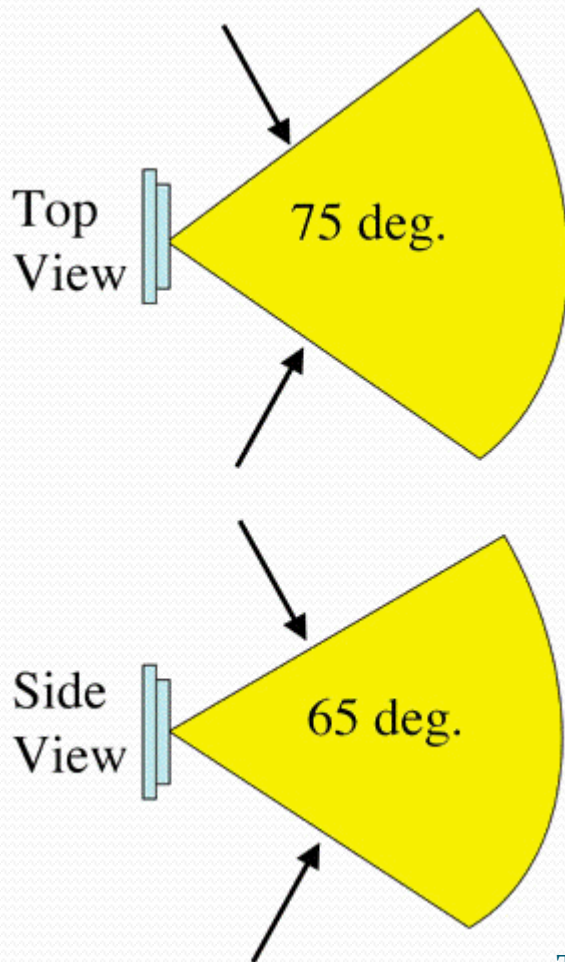
1.2 Διάδοση Σημάτων

- Κεραίες
- Τρόποι διάδοσης
- Παράγοντες εξασθένισης σήματος

1.2.1 Κεραίες

- Η κεραία είναι μια διάταξη (έναν ηλεκτρικός αγωγός ή σύστημα από αγωγούς) η οποία πραγματοποιεί :
 - Μετάδοση (Πομπός): εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον χώρο
 - Λήψη (Δέκτης): συλλέγει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από τον χώρο
- Στην επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης, η ίδια κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μετάδοση και για λήψη
- Ισοτροπικές (Isotropic)
- Πολυ-κατευθυντικές (omnidirectional)
- Κατευθυντικές (directional)

1.2.1 Κεραίες



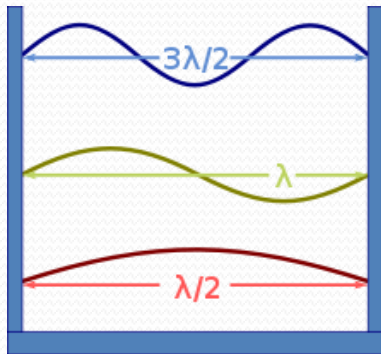
Source: wikipedia

Source" <http://new-ham-radio.blogspot.com/>

1.2.1 Κεραίες

Οι διαστάσεις, το μέγεθος και το σχήμα των κεραιών σχετίζονται άμεσα και εξαρτώνται από το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος

μήκος κύματος: η απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών κορυφών του σήματος

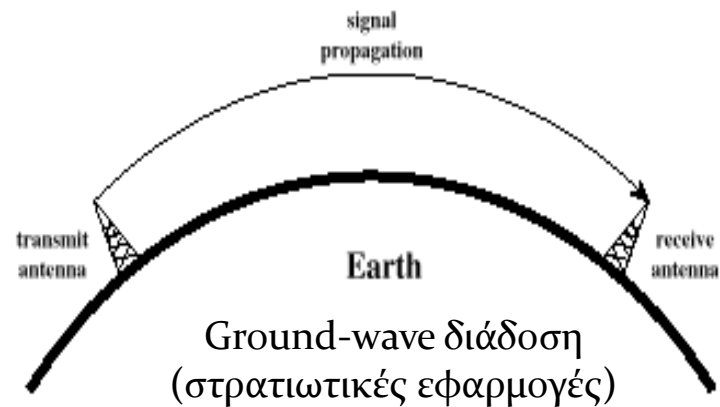
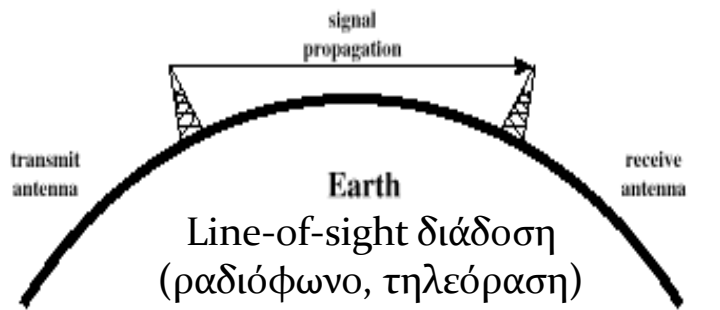


Source:
wikipedia

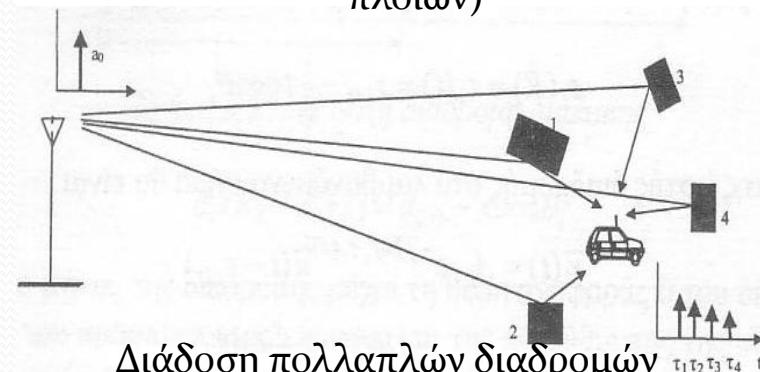
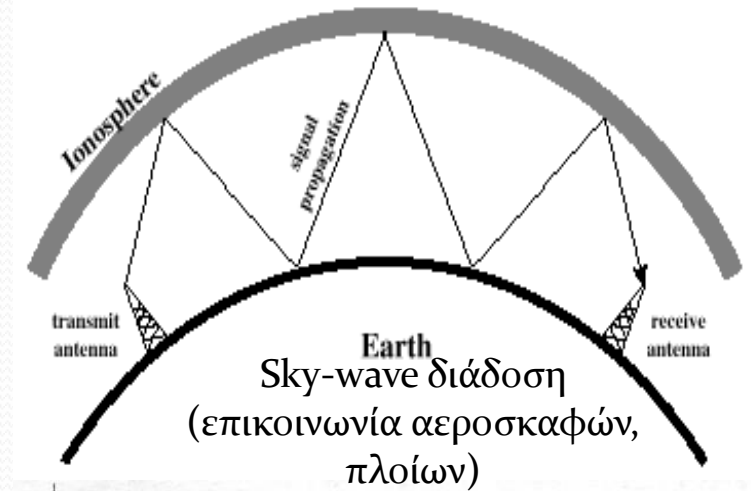
γενικότερα: η απόσταση που διανύει το κύμα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα

είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας του κύματος (όσο μικρότερη η συχνότητα ενός κύματος τόσο μεγαλύτερο το μήκος κύματός του)

1.2.2 Τρόποι Διάδοσης



Source:
wikipedia



1.2.3 Παράγοντες Εξασθένησης Σήματος

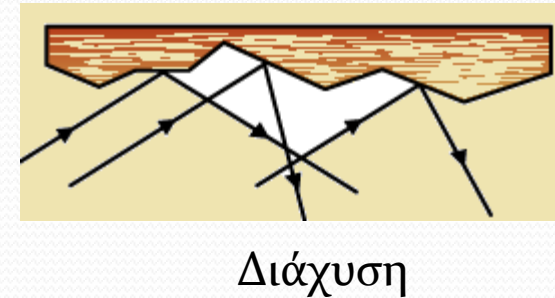
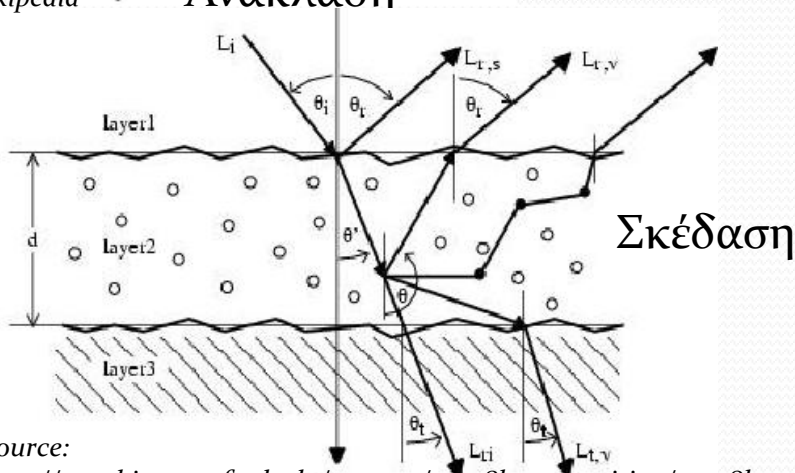
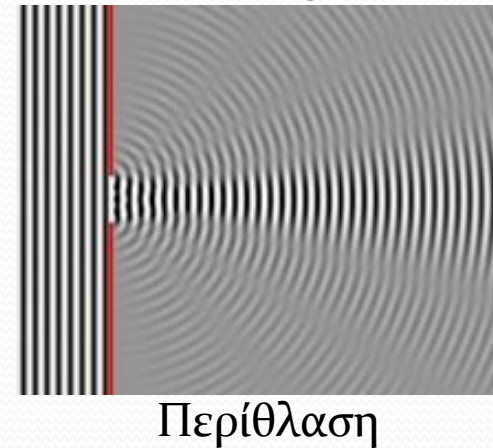
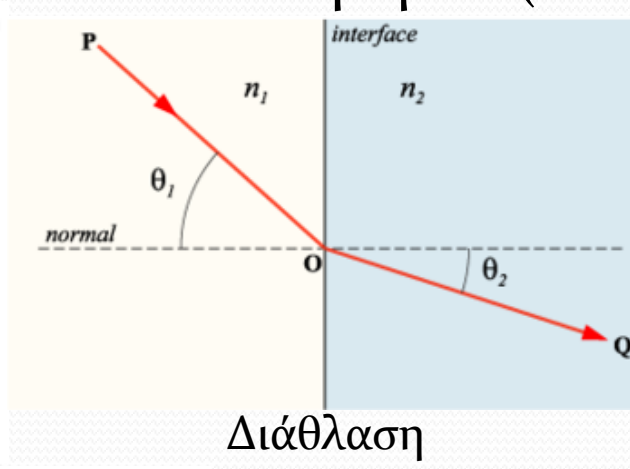
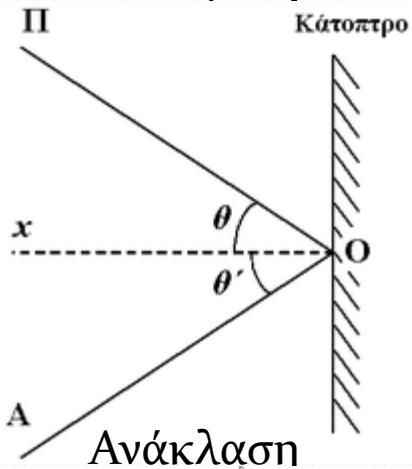
- **Θόρυβος (στενής ή ευρείας ζώνης)**
 - Θερμικός / λευκός θόρυβος (white noise)
 - Οφείλεται στη θερμική αναταραχή των ηλεκτρονίων
 - Ομοιόμορφα κατανεμημένος
 - Ενδοδιαμόρφωσης
 - παραγωγή σημάτων σε μια συχνότητα τα οποία είναι το άθροισμα ή η διαφορά των συχνοτήτων σημάτων τα οποία μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης
 - Συνακρόαση (crosstalk)
 - Ένα σήμα το οποίο μεταδίδεται σε μια γραμμή λαμβάνεται από άλλη
 - Κρουστικός (impulse)
 - ανώμαλοι παλμοί ή ακίδες θορύβου
 - μικρής διάρκειας - υψηλού πλάτους
 - βασική πηγή σφαλμάτων στη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων

1.2.3 Παράγοντες Εξασθένησης Σήματος

- Απώλειες διαδρομής (path loss)
 - Απόσταση πομπού-δέκτη
- Εξασθένηση λόγω βροχής/υγρασίας
 - Κύματα υψηλών συχνοτήτων δε διαπερνούν το νερό τόσο καλά όσο τα χαμηλών συχνοτήτων

1.2.3 Παράγοντες Εξασθένησης Σήματος

- Διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών (multipath fading)



Source: wikipedia

Source: <http://graphics.stanford.edu/courses/cs348b-competition/cs348b-02/tam/>

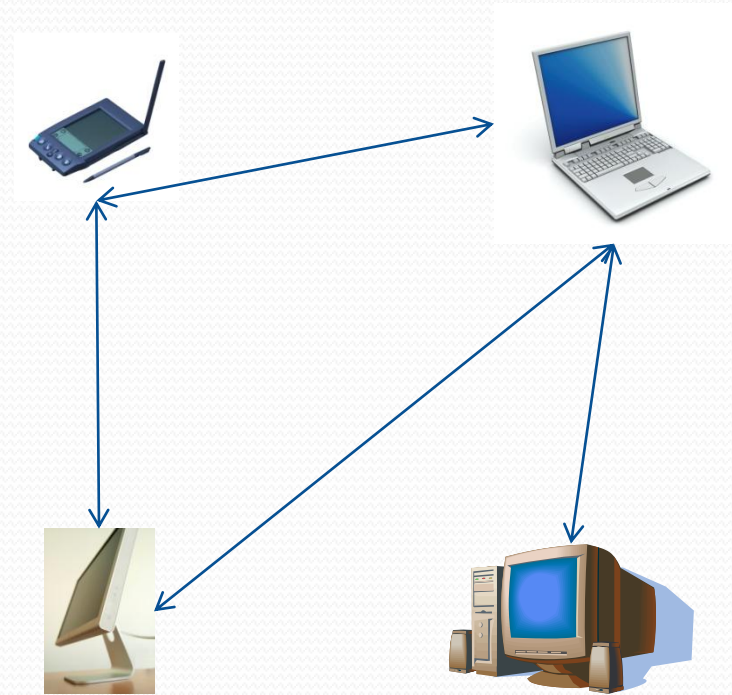
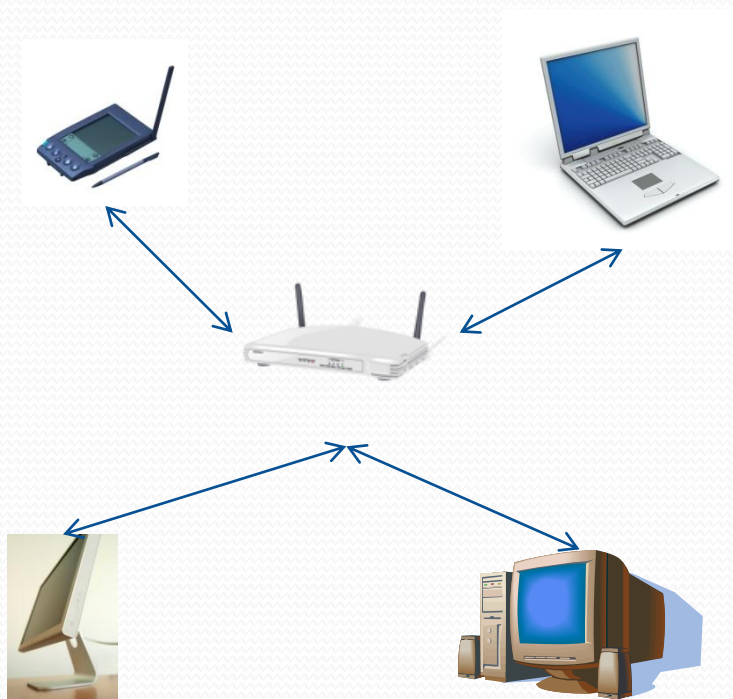
2. Κατηγοριοποίηση Ασυρμάτων Δικτύων

- Με βάση την ύπαρξη κεντρικού ελέγχου
- Με βάση την τεχνολογία μετάδοσης
- Με βάση την κλίμακα

2.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την ύπαρξη κεντρικού ελέγχου

Ελεγχόμενη λειτουργία
(infrastructure mode)

Αποκεντρωμένη λειτουργία
(ad-hoc mode)



2.1.1 Σύγκριση λειτουργιών

	Infrastructure Mode	Ad-hoc Mode
Αξιοπιστία	👍	👎
Επιδόσεις	👍	👎
Κινητότητα	👎	👍
Κόστος	👎	👍
Ευκολία ρύθμισης	👎	👍

2.2 Κατηγοριοποίηση με βάση την τεχνολογία μετάδοσης

- Αναλογικά

- Μονόδρομη εκπομπή
 - FM, AM
 - Τηλεόραση
 - Δορυφορική εκπομπή
- Αμφίδρομη επικοινωνία
 - Ασύρματα τηλέφωνα
 - Αναλογικά δίκτυα κυψέλης

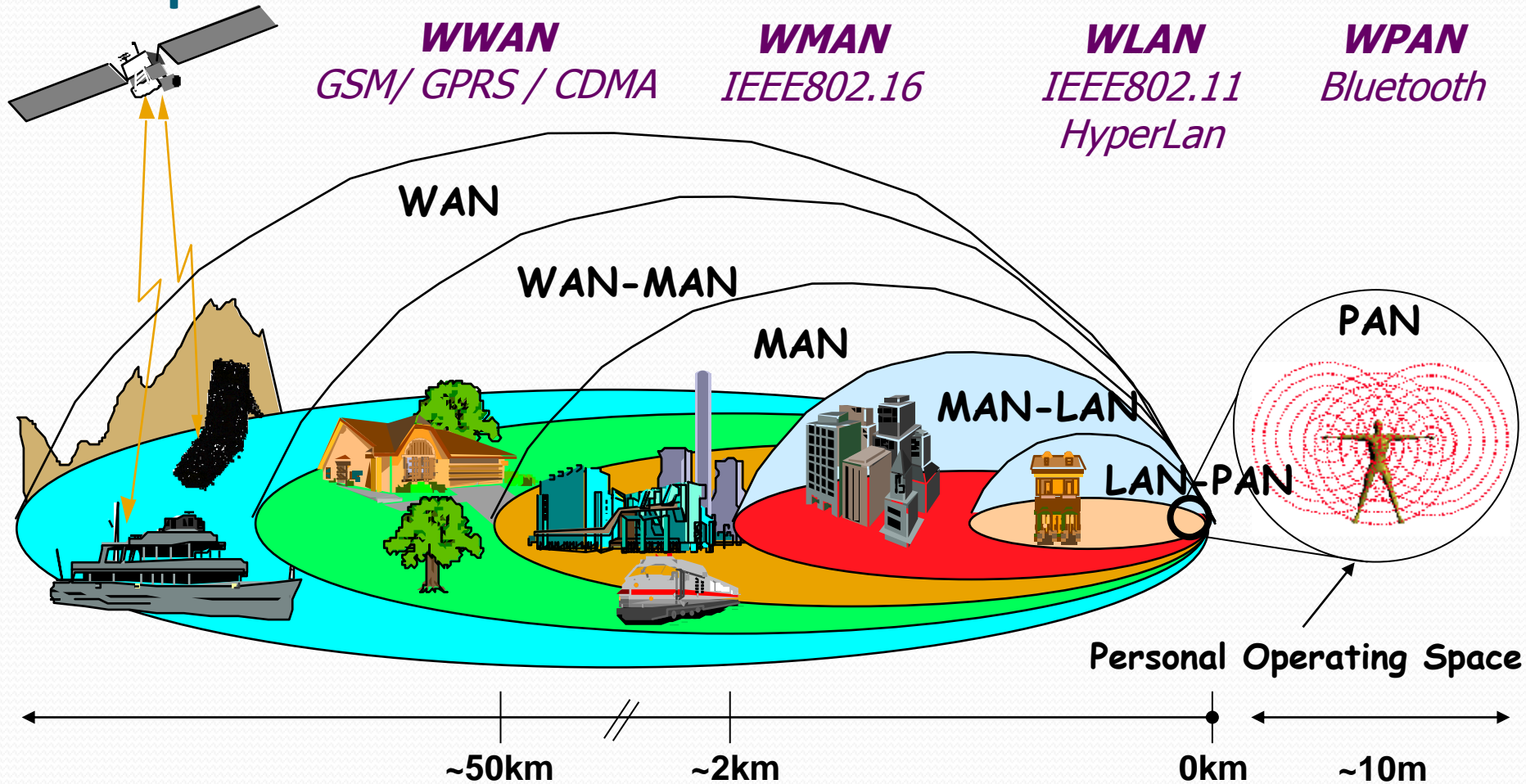
- Ψηφιακά

- Αμφίδρομη μετάδοση
 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα
 - Δίκτυα υπερύθρων
 - Δίκτυα bluetooth
 - Ασύρματος τοπικός βρόγχος
 - Ψηφιακά δίκτυα κυψέλης

2.3 Κατηγοριοποίηση με βάση την κλίμακα

- **Wireless Personal Area Network** (διασυνδέουν συσκευές σε μία πολύ περιορισμένη απόσταση, π.χ. Bluetooth, 802.15)
- **Wireless Local Area Network** (διασυνδέουν μικρό αριθμό συσκευών σε μία περιορισμένη απόσταση, π.χ. 802.11)
- **Wireless Metropolitan Area Network** (διασυνδέουν πολλά WLANs, π.χ. 802.16)
- **Mobile devices networks** (διασυνδέουν φορητές συσκευές, π.χ. GSM και PCS)

2.3 Κατηγοριοποίηση με βάση την κλίμακα



Personal Operating Space

~50km

~2km

0km

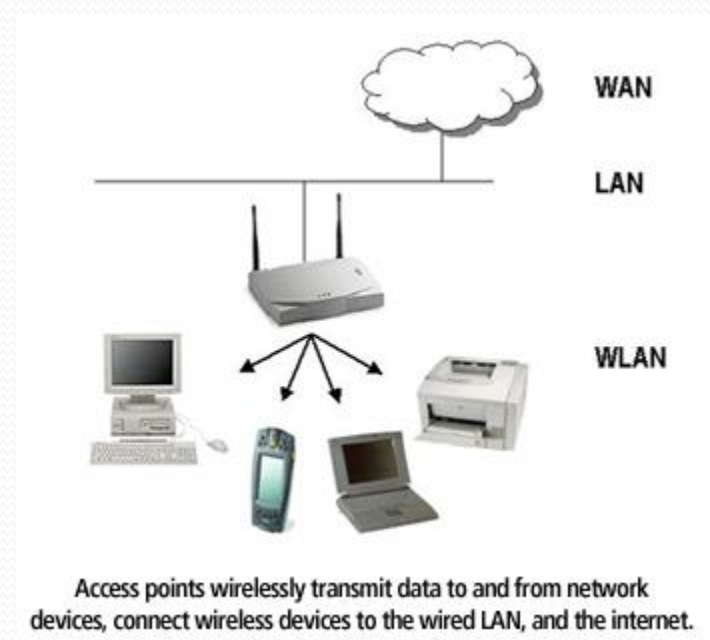
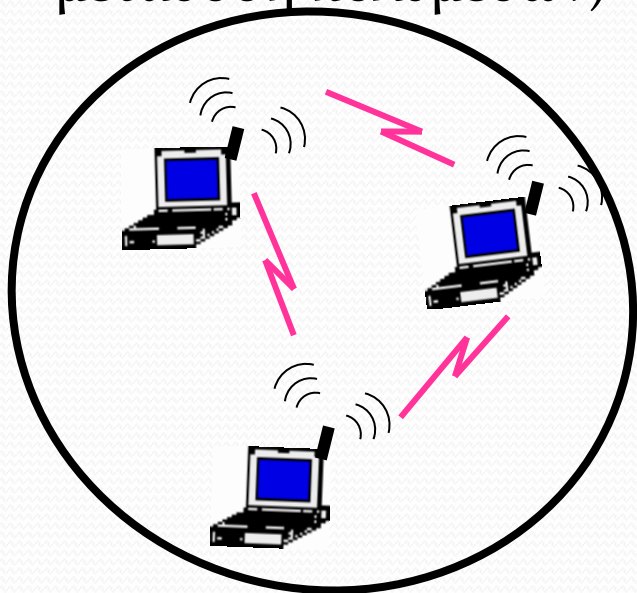
~10m

Τεχνολογίες και Λειτουργία Τηλεπικοινωνιακής

Courtesy of IEEE 802.15, Jan. 2001

2.3.1 Wireless LANs (WLANs)

- Συνδέουν τοπικούς υπολογιστές (100m ακτίνα)
- Κοινό μέσο μετάδοσης (τυχαία πρόσβαση)
- Χαμηλές επιδόσεις σε συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογών (π.χ. μετάδοση πολυμέσων)



Εφαρμογές WLANs

- Προέκταση τοπικών δικτύων
- Διασύνδεση αντικριστών κτιρίων
- Νομαδική πρόσβαση
- Ad hoc δικτύωση

Τεχνικές Μετάδοσης WLANs

- Υπέρυθρες (Infrared-IR)
- Στενού Φάσματος Συχνοτήτων (Narrowband microwave)
- Ευρέως Φάσματος Συχνοτήτων (Spread spectrum)

Υπέρυθρες

- Χρήσεις
 - WPAN και WLAN περιορισμένης εμβέλειας
- Πλεονεκτήματα
 - Το φάσμα είναι σχεδόν απεριόριστο
 - Πιθανότητα για υψηλούς ρυθμούς δεδομένων
 - Το φάσμα δε διοικείται
 - Φτηνός και απλός εξοπλισμός
 - Χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις
 - Αντανακλάται από φωτεινά χρωματισμένα αντικείμενα
 - Αντανάκλαση στο ταβάνι για πλήρη κάλυψη του δωματίου
 - Δε διαπερνά τοίχους
 - Είναι πιο ασφαλές σε επιθέσεις υποκλοπής
 - Μικρότερη παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών δωματίων
- Μειονεκτήματα
 - Το φως του ήλιου και ο εσωτερικός φωτισμός φαίνονται ως θόρυβος
 - Εύκολα εμποδίζεται η μετάδοση από κοινά υλικά (τοίχους, φυτά, ανθρώπους)
 - Μικρή εμβέλεια
 - Επηρεάζεται από τον καιρό (απευθείας ήλιος, βροχή, ομίχλη, σκόνη)

Narrowband microwave

- Δεν είναι ακριβώς τεχνολογία μετάδοσης WLAN
- Χρήσεις
 - Κυρίως για τη διασύνδεση LAN μεταξύ κτιρίων
- Πλεονεκτήματα
 - Φτηνός τρόπος για να αποφύγουμε τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών για τη διασύνδεση των LANs
- Μειονεκτήματα
 - Απαιτείται line-of-sight για την επικοινωνία
 - Απαιτείται αδειοδότηση για την εκπομπή και η επαναχρησιμοποίηση μιας συχνότητας είναι δυνατή μόνο σε απόσταση άνω των 28km

Spread Spectrum (1)

- Τεχνική διαμοίρασμού του φάσματος
- **Frequency hopping spread spectrum**
 - Ο πομπός εκπέμπει ένα σήμα σε μία ακολουθία φαινομενικά τυχαίων συχνοτήτων
 - Ο δέκτης αλλάζει συχνότητες σε συγχρονισμό με τον πομπό ώστε να λαμβάνει το σήμα
 - Τα μηνύματα μπορούν να ληφθούν πλήρως μόνο αν η ακολουθία των συχνοτήτων είναι γνωστή
 - Μόνο ο πραγματικός παραλήπτης γνωρίζει την ακολουθία
 - Υπάρχουν κανόνες για τον χρόνο δέσμευσης μίας συχνότητας
- **Direct sequence spread spectrum**
 - Χρησιμοποιείται από τα περισσότερα WLANs
 - Ο πομπός εκπέμπει προσθέτοντας στα μηνύματα πλεονάζοντα bits τα οποία αποκαλούνται “chips” (τουλάχιστον δέκα σε κάθε bit δεδομένων)
 - Ο δέκτης θα πρέπει να γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο ο πομπός παράγει τον κώδικά του για να αποκρυπτογραφήσει τα μηνύματα
 - Ο κώδικας αυτός επιτρέπει την εκπομπή πολλών direct sequence πομπών στον ίδιο χώρο χωρίς παρεμβολές
 - Υπάρχουν κανόνες για το πλήθος των chips

Spread Spectrum (2)

- **Χρήσεις**
 - WLAN με απαιτήσεις ασφάλειας
 - Πολλαπλά τοπικά δίκτυα οι συχνότητες και η εμβέλεια των οποίων επικαλύπτονται
 - Αρχικά σχεδιάστηκε για στρατιωτικούς σκοπούς για την αποφυγή παρεμβολών και υποκλοπών των σημάτων
- **Πλεονεκτήματα**
 - Τα σήματα είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε παρεμβολές
 - Τα σήματα είναι δύσκολο να υποκλαπούν
 - Τα σήματα μπορούν να μοιραστούν μία μπάντα συχνοτήτων με πολλές συμβατικές μεταδόσεις που προκαλούν μικρές παρεμβολές
 - Πολλοί χρήστες αξιοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων
- **Μειονεκτήματα**
 - Εισαγάγουν την ανάγκη χρονισμού το οποίο αυξάνει το κόστος
 - Μη αποδοτική αξιοποίηση του εύρους ζώνης (bandwidth)
 - Πολύπλοκη υλοποίηση

Σύγκριση τεχνικών μετάδοσης WLAN

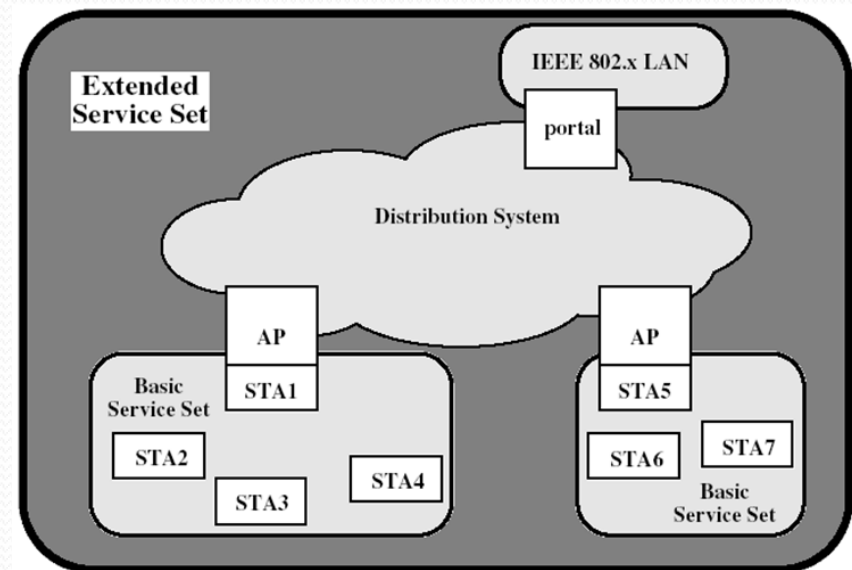
	Spread Spectrum	Narrowband Microwave	Infrared
Frequency	902MHz to 928 MHz ; 2.4 GHz to 2.4385 GHz ; 5.725 GHz to 5.825 GHz	18.825 GHz to 19.205 GHz	3×10^{14} Hz
Maximum coverage	32 to 250m, or up to 4.500m ²	12 to 40m, or up to 450m ²	10 to 25 m
Line of sight required	No	Yes	Yes
Transmit power	Less than 1 W	25 mW	N/A
License required	No	Yes	No
Interbuilding use	Possible with antenna	Yes	Possible
Rated speed (% of 10 Mbps wire)	20% to 50%	33%	50% to 100%

Προδιαγραφές WLAN

- IEEE 802.11X (Wi-Fi)

802.11 (Αρχιτεκτονική)

- Stations
 - Access Points (AP)
 - Wireless Clients (STA)
 - MAC Addresses
- Basic Service Set (BSS)
 - Infrastructure BSS
 - Independent BSS (IBSS)
 - BSSID::=MAC Address of the connecting AP
- Extended Service Set (ESS)
 - SSID::=32 bit char string (Service Set ID)
- Distribution System (DS)



802.11 δομή πλαισίου

- Δύο τύποι πλαισίων
 - **Πλαίσια Διαχείρισης** τα οποία επιτρέπουν τη διατήρηση της επικοινωνίας
 - **Πλαίσια Ελέγχου** τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανταλλαγή πλαισίων δεδομένων μεταξύ σταθμών
- Ροή πλαισίων Ελέγχου (4-way handshake)
 - Η πηγή στέλνει ένα πλαίσιο Request to Send (RTS) στον σταθμό προορισμό
 - Ο προορισμός αποκρίνεται με ένα πλαίσιο Clear to Send (CTS)
 - Αφού λάβει το πλαίσιο CTS, η πηγή στέλνει δεδομένα
 - Ο προορισμός αποκρίνεται με ACK
 - Το πλαίσιο RTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που λαμβάνουν (στην περιοχή του πομπού) ότι μετάδοση δεδομένων είναι σε εξέλιξη
 - Το πλαίσιο CTS ειδοποιεί όσους σταθμούς είναι στην περιοχή του δέκτη
 - Έτσι οι υπόλοιποι σταθμοί σιωπούν προς αποφυγή σύγκρουσης

802.11 (Amendments)

- IEEE 802.11a
 - Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 5 GHz
 - Παρέχει ρυθμούς 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
 - Ελάχιστες συσκευές λειτουργούν στη ζώνη των 5 GHz
 - Μικρή εμβέλεια (Μεγάλη πιθανότητα εξασθένισης σήματος)
- IEEE 802.11b
 - Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2.4 GHz
 - Παρέχει ρυθμούς 5.5 και 11 Mbps
 - Επηρεάζεται από άλλες συσκευές (φούρνους μικροκυμάτων, Bluetooth συσκευές κλπ) λόγω χρήσης κοινής μπάντας
- IEEE 802.11g
 - Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2.4 GHz (όμοια θέματα παρεμβολών με το b)
 - Παρέχει ρυθμούς έως και 54 Mbps
 - Συμβατό με 802.11b (αν και η συνύπαρξη ρίχνει την ταχύτητα)
- IEEE 802.11n
 - Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 5GHz και/ή των 2.4GHz
 - Παρέχει ρυθμούς στα 50-600 Mbps
 - Εκδόθηκε το Σεπτέμβρη του 2009

2.3.2 Wireless PANs (WPANs)

- Συνδέουν τοπικούς υπολογιστές σε πολύ μικρή ακτίνα (max:10m)
- Plugging-in concept
- Επιλεκτική συνδεσιμότητα



Εφαρμογές WPANs

- Διασύνδεση συσκευών τις οποίες οι άνθρωποι είτε μεταφέρουν μαζί τους είτε έχουν σε ένα γραφείο
Παραδείγματα:
 - ιατρικές συσκευές τις οποίες «φοράει» στο σώμα του ένας ασθενής για την παρακολούθηση της υγείας του
 - αντικατάσταση καλωδίων μεταξύ υπολογιστών και περιφερειακών συσκευών
 - ανταλλαγή πολυμεσικού περιεχομένου
 - υπηρεσίες βασισμένες στη θέση

Τεχνικές Μετάδοσης WPANs

- Υπέρυθρες (Infrared-IR)
- Ραδιοκύματα σε ένα Ευρύ Φάσμα Συχνοτήτων (Spread spectrum)

Προδιαγραφές WPANs

- Bluetooth
- IEEE 802.15

Bluetooth (Αρχιτεκτονική)

- **Radio**

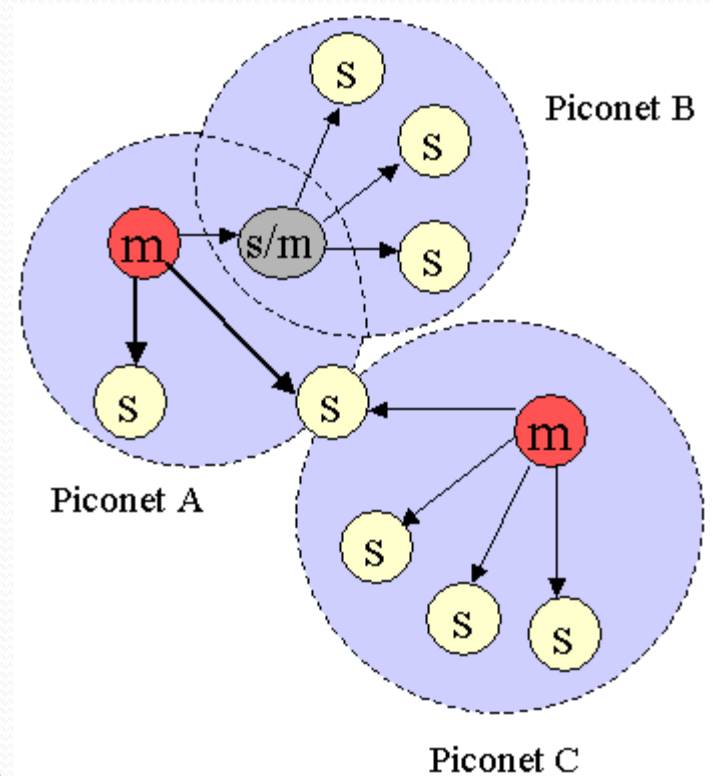
- Master - Slave
- $BD_ADDR ::= 48\text{-bit}$ μοναδική διεύθυνση συσκευής
- TDM

- **Piconet**

- Common channel
- Το πολύ 7 active slaves
- 3-bit active device address

- **Scatternet**

- 2 ή περισσότερα piconets στον ίδιο χώρο με κόμβους οι οποίοι συμμετέχουν σε περισσότερα από ένα και επικοινωνούν μεταξύ τους

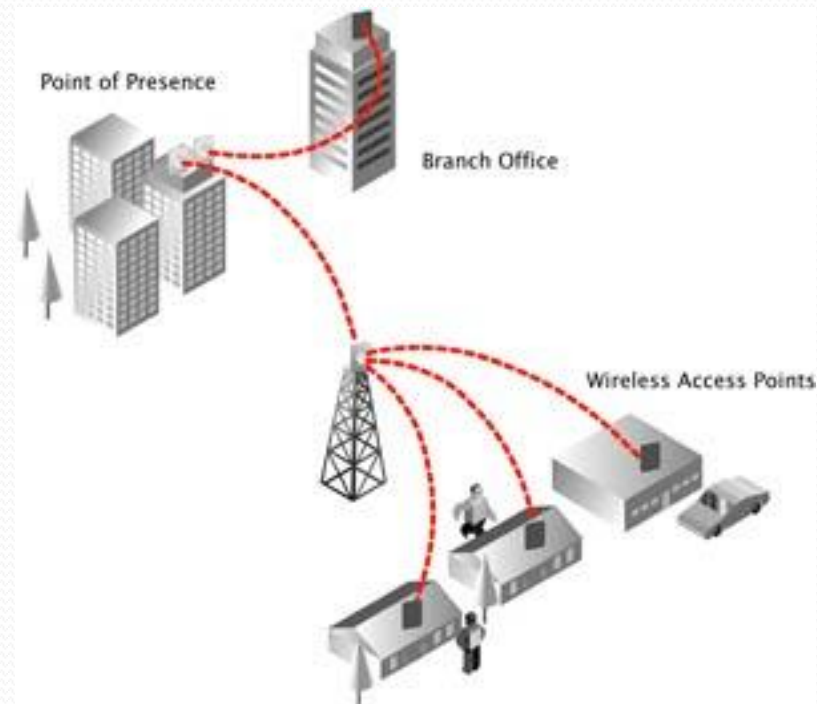


Bluetooth (Amendments)

- Bluetooth 1.0 and 1.0B
- Bluetooth 1.1 (802.15.1-2002)
- Bluetooth 1.2
 - 721 Kbit/s
- Bluetooth 2.0 + Enhanced Data Rate
 - 2.1 Mbits/s
- Bluetooth 2.1 + EDR
 - 3 Mbits/s
- Bluetooth 3.0 + HS
 - 24 Mbits/s
- Bluetooth low energy

2.3.3 Wireless MANs (WMANs)

- Διασυνδέουν ασύρματα άλλα δίκτυα για την παροχή υπηρεσιών προς καταναλωτές, επιχειρήσεις κλπ
- Εμβέλεια 4 με 10 Km
- Μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων 1 με 10 Mbps



Εφαρμογές WMANs

- Λύση στο πρόβλημα του τελευταίου χιλιομέτρου (last mile/kilometre)
 - Το τελευταίο σημείο για την παροχή συνδεσιμότητας στον καταναλωτή
 - Άλλες λύσεις: Plain Old Telephone Systems (POTS), ISDN, Digital Subscriber Line (DSL), κλπ

Wireless Local Loop (WLL)

- Ασύρματη πρόσβαση συνδρομητών στο **PSTN**
- Δύο εναλλακτικές WLL
 - Στενής Ζώνης : Αντικατάσταση υπάρχοντος **τηλεφωνικού δικτύου**
 - Ευρείας Ζώνης: Παροχή αμφίδρομης υψηλής ταχύτητας υπηρεσίας φωνής και δεδομένων
- Δυναμική ανάθεση καναλιού και εύρους ζώνης

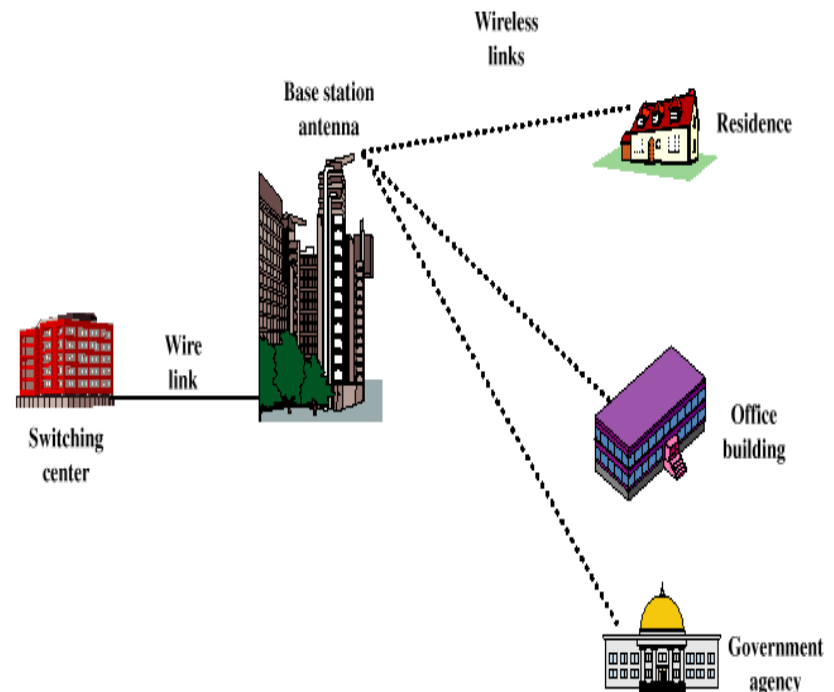


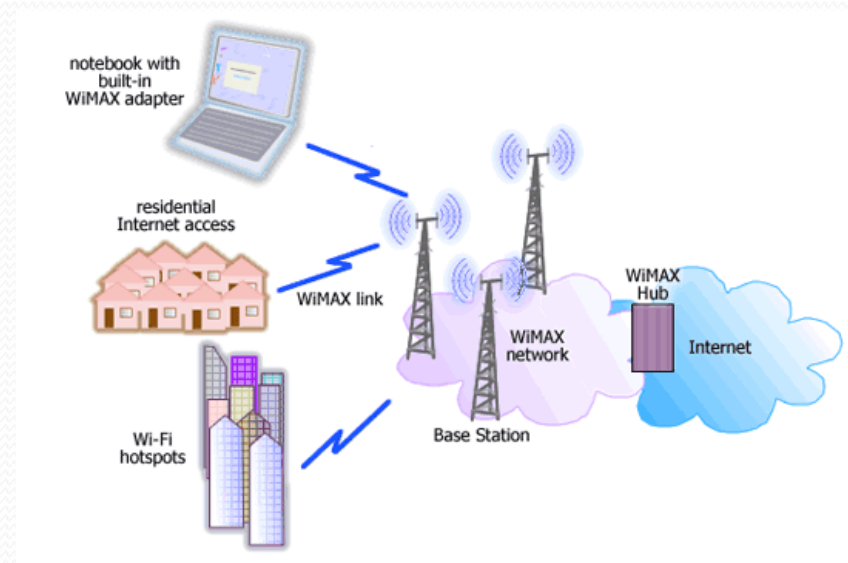
Figure 11.9 WLL Configuration

Σύγκριση WLL και Ενσύρματων Συστημάτων για τη last mile σύνδεση

	WLL	Ενσύρματα Συστήματα
Κόστος		
Χρόνος εγκατάστασης		
Επιλεκτική Εγκατάσταση		
Επιδόσεις		
Ασφάλεια		

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

- Χρήσεις
 - Ασύρματη σύνδεση στο last mile
 - Σύνδεση Wi-Fi hotspots στο Internet.
 - Υπηρεσίες δεδομένων και τηλεπικοινωνιών
- Εμβέλεια: ~10Km
- Εξυπηρετεί και κινητές τηλεπικοινωνίες



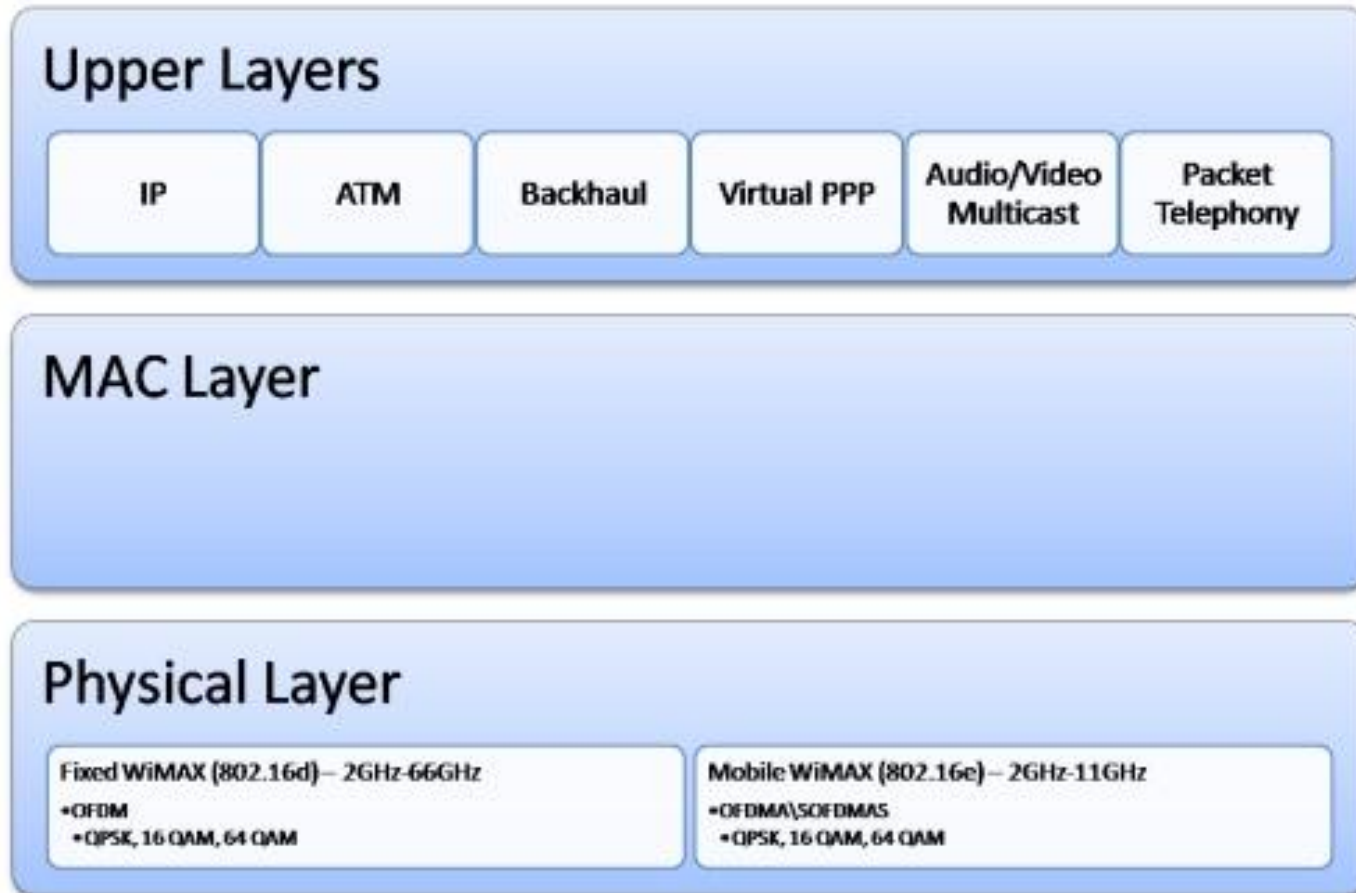
Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

- Κινητικότητα
- Διαλειτουργικότητα
- «Εύκολη» και χαμηλού κόστους εγκατάσταση-επέκταση
- Απομακρυσμένες περιοχές ή με φυσικούς περιορισμούς
- Μεταφερσιμότητα

Προδιαγραφές WMANs

- IEEE 802.16 (Πρότυπο Ασύρματης Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης-Broadband Wireless Access)

802.16 (Αρχιτεκτονική)



802.16 (Υποομάδες Ανάπτυξης)

- IEEE 802.16.1 Ασύρματη Διεπαφή για 10-66 GHz
- IEEE 802.16.2 Συνύπαρξη ασύρματης πρόσβασης συστημάτων ευρείας ζώνης.
- IEEE 802.16.3 Ασύρματη Διεπαφή για συχνότητες με χορήγηση αδείας στη περιοχή των 2-11GHz.

2.3.4 Δίκτυα Φορητών Συσκευών

- Κυρίως για κινητές τηλεπικοινωνίες
- Κυψελωτά δίκτυα
 - Οι περιοχές κάλυψης διαιρούνται σε κυψέλες
 - Υποστήριξη πολλαπλής εκπομπής με διαμοιρασμό συχνοτήτων, χρόνου ή και κώδικα
 - Οι σταθμοί-βάσεις συντονίζουν την πρόσβαση στο μέσο
- Αναλυτικότερα στο επόμενο μάθημα...

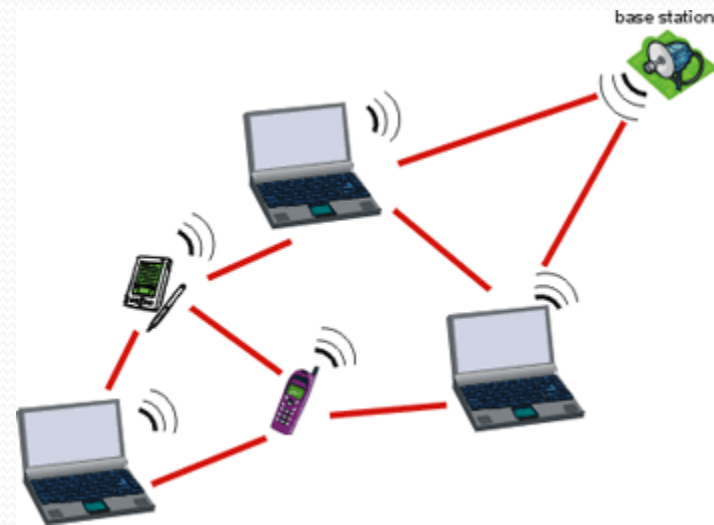


2.3.5 Σύγκριση Πρωτοκόλλων

Parameters	IEEE802.16d (802.16-2004 Fixed WiMAX)	IEEE802.16e (802.16-2005 Mobile WiMAX)	802.11 (WLAN)	802.15.1 (Bluetooth)
Frequency Band:	2-66GHz	2 - 11GHz	2.4 - 5.8GHz	2.4GHz
Range	~50 km	~50 km	~100 meters	~10 meters
Maximum Data rate:	~134 Mbps	~15 Mbps	~55 Mbps	~3Mbps
Number of users:	Thousands	Thousands	Dozens	Dozens

3. Χαρακτηριστικά ad-hoc δικτύων

- Αποκεντριοποιημένα ασύρματα δίκτυα
- Συνδέουν συσκευές σε μικρές αποστάσεις
- Ομότιμες συνδέσεις
- Κοινό μέσο μετάδοσης (τυχαία πρόσβαση)
- Χαμηλές επιδόσεις

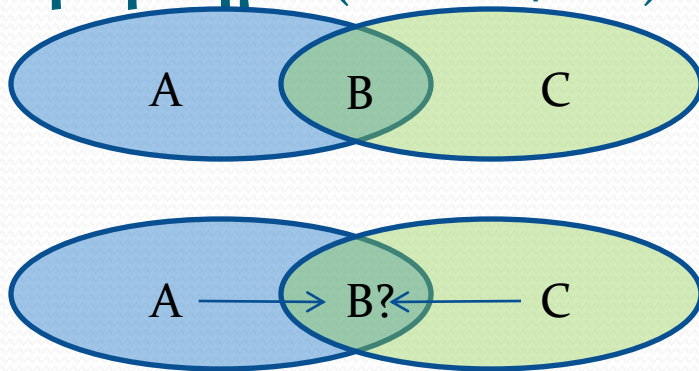


3.1 Εφαρμογές ad-hoc δικτύων

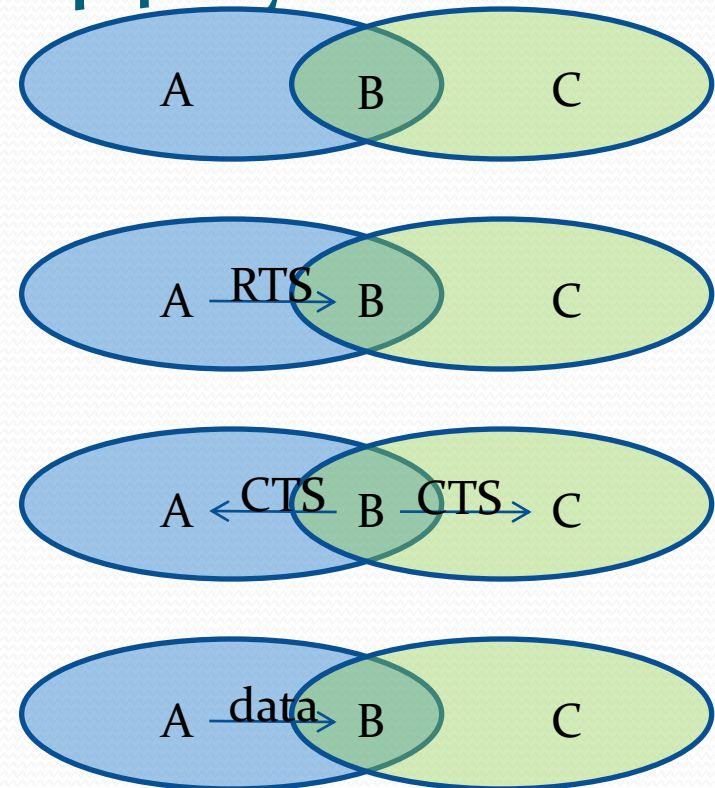
- Στρατιωτικές
 - Επικοινωνία σε πεδία ασκήσεων-μαχών
 - Δίκτυα αισθητήρων
- Εφαρμογές Υγείας
 - Σε περιβάλλον νοσοκομείου
 - Σε καταστάσεις παροχής έκτακτης βοήθειας εκτός νοσοκομείου
- Υπηρεσίες σε καταστάσεις ανάγκης
 - Σεισμοί, Φωτιές, Πλημμύρες, Τρομοκρατικές ενέργειες
- Εμπορικές
 - Οικιακό δίκτυο
 - PANS (Personal Area NetworkS)
- Εκπαιδευτικές
 - Συνδιαλέξεις
 - Συνέδρια

4. Πρόβλημα κρυμμένου τερματικού

Πρόβλημα (CSMA/CA)



Λύση: 4-way handshake



time ↓

5. Cross-Layer Design

- Μη λειτουργικές απαιτήσεις (non-functional requirements-NFR) δικτύων
 - Ποιότητα
 - Ενέργεια
 - Ασφάλεια
 - ...
- Τα επίπεδα (OSI) μπορούν να παραμετροποιηθούν ανεξάρτητα για τη βελτιστοποίηση των NFRs
- Cross-Layer Design
 - **Κοινή** αντιμετώπιση επιπέδων κατά το σχεδιασμό για την επίτευξη των συνολικών στόχων NFRs
 - Κατάργηση της ανεξαρτησίας των επιπέδων
- Προσαρμογή ρυθμού, ενέργειας και κωδικοποίησης στο φυσικό στρώμα ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των εφαρμογών στις τρέχουσες συνθήκες του καναλιού και του δικτύου

5.1 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Cross-Layer Design

- Πλεονεκτήματα:
 - Εκμετάλλευση αλληλεπιδράσεων μεταξύ στρωμάτων
 - Προώθηση προσαρμοστικότητας σε όλα τα στρώματα με βάση την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτών
 - Στα ασύρματα: στενή αλληλεξάρτηση μεταξύ των στρωμάτων
- Μειονεκτήματα:
 - Δύσκολος ο χαρακτηρισμός των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρωτοκόλλων στα διαφορετικά στρώματα
 - Συνδυασμένη βελτιστοποίηση σε διαφορετικά στρώματα μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκους αλγόριθμους
- Σημείωση: Η κατανόηση και η εκμετάλλευση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων αποτελεί τον πυρήνα του σχεδιασμού cross-layer design.