



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ  
ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων**

## **ΑΣΥΡΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

Διδάσκων: κ. Χρήστος Μπούρας

### Συνεργάτες:

Γεωργίου Κωνσταντίνος Α.Μ. 2614

Μπάμης Αθανάσιος Α.Μ. 2682

ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα .....	2
1 Εισαγωγή .....	4
1.1 Γιατί Ασύρματα; .....	4
1.2 Τα Ασύρματα Δίκτυα Σήμερα .....	7
1.3 Διεθνείς Οργανισμοί & Προτυποποίηση .....	8
2 Τηλεπικοινωνιακά θέματα .....	11
2.1 Διαφορές Ασύρματων και Ενσύρματων Συστημάτων .....	11
2.2 Μικροκύματα .....	13
2.3 Κεραίες .....	13
2.4 Μοντέλα Διάδοσης .....	16
2.5 Χαρακτηριστικά του Ασύρματου Καναλιού .....	17
2.6 Τεχνικές Πολύπλεξης στα Ασύρματα Συστήματα .....	18
2.7 Κωδικοποίηση Καναλιού .....	19
2.8 Διαμόρφωση .....	20
2.9 Ισοστάθμιση .....	22
3 Τεχνικές εξάπλωσης σφάλματος .....	23
3.1 Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) .....	23
3.2 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) .....	24
3.3 Code Division Multiple Access (CDMA) .....	25
3.4 Λόγοι Χρήσης των Τεχνικών Εξάπλωσης Φάσματος .....	26
4 Δικτυακά Θέματα .....	28
4.1 Φορητό IP .....	28
4.2 Ασύρματο TCP και UDP .....	30
4.3 Η Δρομολόγηση στα Ασύρματα Δίκτυα .....	31
4.4 Κυβελικά Δίκτυα .....	33
4.5 Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα .....	38
4.6 Θέματα Ασφαλείας στα Ασύρματα Δίκτυα .....	41
4.7 Παροχή Ποιότητας Υπηρεσιών στα Ασύρματα Δίκτυα .....	43
5 Κυριότερα Πρότυπα Ασύρματων Δημόσιων Δικτύων .....	44
5.1 Δορυφορικά Δίκτυα .....	45

5.2	Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WWAN).....	48
5.2.1	Φυσικό Επίπεδο.....	48
5.2.2	Το πρότυπο 2G/GSM.....	48
5.2.3	Τα πρότυπα 2,5G/GPRS-EDGE.....	50
5.2.4	Το πρότυπο 3G/UMTS.....	51
5.2.5	Το πρότυπο WAP.....	53
5.2.6	Το πρότυπο I-mode.....	53
5.3	Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WMAN).....	54
5.3.1	Το πρότυπο 802.16/WiMax.....	55
5.4	Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN).....	56
5.4.1	Το πρότυπο 802.11.....	56
5.4.2	Το πρότυπο HIPERLAN.....	58
5.4.3	Το πρότυπο HOMERF.....	59
5.5	Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (WPAN).....	59
5.5.1	Το πρότυπο BLUETOOTH/802.15.....	59
5.5.2	Το πρότυπο UWB/WiMedia.....	60
	Βιβλιογραφία.....	63
	Ελληνικοί Όροι.....	64
	Αγγλικοί Όροι.....	64

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιαστούν μερικά από τα κυριότερα θέματα που σχετίζονται με τις ασύρματες τεχνολογίες. Μιας και ο κλάδος των ασύρματων επικοινωνιών έχει μεγάλη ιστορία και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα θεμάτων, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν γενικά θέματα που σχετίζονται με ασύρματα ψηφιακά δίκτυα δεδομένων. Η κατηγορία αυτή δικτύων παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον σήμερα, κυρίως χάρη στην πρόοδο της ψηφιακής τεχνολογίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται καθημερινά είναι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα ολοένα και δημοφιλέστερα δίκτυα 802.11, καθώς και τα δίκτυα bluetooth που χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση συσκευών. Κύριος στόχος της εργασίας είναι να παρουσιαστούν, κάποια κοινά για όλα τα ασύρματα δίκτυα, θέματα, χωρίς βέβαια να αναλυθούν σε βάθος, αφού κάτι τέτοιο θα απαιτούσε μεγάλη έκταση και κατά συνέπεια θα ξέφευγε από τα πλαίσια της εργασίας. Ακολουθώντας την βιβλιογραφία ο αναγνώστης μπορεί να βρει περισσότερες πληροφορίες για όλα τα θέματα που περιγράφονται εδώ. Πρέπει να σημειωθεί ότι θεωρούνται δεδομένες κάποιες γενικές γνώσεις για δίκτυα δεδομένων και για ψηφιακές τηλεπικοινωνίες και κατά συνέπεια παρουσιάζονται μόνο θέματα που διαφοροποιούνται στα ασύρματα δίκτυα. Όσον αφορά την διάρθρωση της εργασίας, αρχικά παρουσιάζουμε κάποια βασικά τηλεπικοινωνιακά θέματα, στην συνέχεια παρουσιάζουμε σύντομα τις τεχνικές spread spectrum και κατόπιν παρουσιάζουμε τα σημαντικότερα δικτυακά θέματα που σχετίζονται με τα ψηφιακά ασύρματα δίκτυα δεδομένων. Στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται σύντομα μερικά από τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα δεδομένων.

### 1.1 ΓΙΑΤΙ ΑΣΥΡΜΑΤΑ;

Η ιστορία των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών ξεκίνησε το 1896 με την ανακάλυψη του ασύρματου τηλεγράφου από τον Guglielmo Marconi. Το 1901 πραγματοποιήθηκε η πρώτη ασύρματη μετάδοση σήματος πάνω από τον Ατλαντικό Ωκεανό, σε απόσταση 3200 χιλιομέτρων. Η ραδιοφωνία AM εγκαινιάστηκε το 1920, ενώ το πρώτο σύστημα τηλεόρασης κατασκευάστηκε το 1929. Τα τελευταία πενήντα χρόνια η εφεύρεση του τρανζίστορ και του ολοκληρωμένου κυκλώματος, έκαναν δυνατή την ανάπτυξη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μικρών-διαστάσεων, μικρού-βάρους και υψηλού ρυθμού λειτουργίας. Το γεγονός αυτό επέτρεψε με την σειρά του την κατασκευή συστημάτων δορυφορικών επικοινωνιών, συστημάτων μικροκυματικών ραδιοζεύξεων ευρείας-ζώνης, καθώς και στην ανάπτυξη κυψελικών ραδιοεπικοινωνιακών συστημάτων.

Σήμερα τα ασύρματα συστήματα γνωρίζουν τεράστια άνθιση και χρησιμοποιούνται σε ένα πλήθος εφαρμογών, πέρα από τις κλασικές. Αυτό οφείλεται σε ένα σύνολο πλεονεκτημάτων που έχει η ασύρματη δικτύωση σε σχέση με την ενσύρματη. Έτσι, καταρχήν η χρήση ενσύρματων δικτύων μπορεί πολλές φορές να είναι δαπανηρή, όπως για παράδειγμα σε ένα παλαιό συγκρότημα γραφείων όπου δεν υπάρχει ήδη κάποια δικτύωση,

ή ακόμα και αδύνατη, όπως για παράδειγμα σε ένα ορεινό και απομακρυσμένο χωριό ή σε μια απομακρυσμένη νησίδα του Αιγαίου. Επιπρόσθετα, εξαιτίας της ολοένα και αυξανόμενης ανάγκης των ανθρώπων για πρόσβαση σε απομακρυσμένα υπολογιστικά συστήματα και κυρίως στο Internet απαιτείται συχνά η δυνατότητα σύνδεσης των φορητών υπολογιστικών συστημάτων μέσω κάποιου δικτύου με το Internet. Μάλιστα, η δυνατότητα αυτή θα πρέπει να παρέχεται ακόμα και στην περίπτωση κινούμενων υπολογιστικών συστημάτων. Ένας τομέας που οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν παρουσιάσει σημαντική πρόοδο και εξάπλωση είναι η κυψελική τηλεφωνία, την οποία χρησιμοποιούν εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Ένας άλλος τομέας είναι οι δορυφορικές επικοινωνίες, που παρέχουν ένα ευρύ φάσμα από υπηρεσίες και των οποίων η χρήση αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον.

Εκτός όλων των παραπάνω ένα ακόμα πολύ σημαντικός τομέας που οι ασύρματες επικοινωνίες αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο άμεσο μέλλον είναι το λεγόμενο τελευταίο μίλι (last mile). Ως τελευταίο μίλι χαρακτηρίζεται το τελευταίο κομμάτι του καλωδίου που συνδέει τους συνδρομητές με τα κέντρα μεταγωγής του τηλεφωνικού δικτύου. Συνήθως αυτό το κομμάτι του δικτύου αποτελείται από ένα χάλκινο σύρμα, το οποίο ονομάζεται τοπικός βρόγχος (Local Loop – LL) και είναι αυτό που περιορίζει την ταχύτητα πρόσβασης των συνδρομητών στο Internet και γενικότερα σε ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα την τηλεόραση υψηλής ευκρινείας (HDTV). Η αντικατάσταση όλων των χάλκινων καλωδίων των τοπικών βρόγχων από οπτικές ίνες θα απαιτήσει πολύ μεγάλο κόστος και η υπάρχουσες λύσεις για το χάλκινο καλώδιο, όπως το DSL και το ISDN επιβάλλουν πολλούς περιορισμούς, χωρίς ταυτόχρονα να έχουν ιδιαίτερα καλές επιδόσεις. Έτσι, μία λύση που φαίνεται στον ορίζοντα, χάρη στην ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων, είναι η αντικατάσταση των χάλκινων καλωδίων από ασύρματος συνδέσμους, δηλαδή οι τοπικοί βρόγχοι να μετατραπούν σε ασύρματος τοπικούς βρόγχους (Wireless Local Loops – WLL). Αυτή η λύση αν και δεν μπορεί να συγκριθεί με τις οπτικές ίνες παρέχει καλύτερες επιδόσεις από τον χάλκινο τοπικό βρόγχο και έχει το πλεονέκτημα του σημαντικά μικρότερου κόστους, αφού απαιτεί μόνο την εγκατάσταση μίας κεντρικής κεραίας από την πλευρά του παρόχου της υπηρεσίας και μία μικρότερη κεραία σε κάθε συνδρομητή (ή πιθανόν και μόνο σε ένα σύνολο από συνδρομητές, όπως για παράδειγμα σε όλους τους συνδρομητές μιας πολυκατοικίας). Το γεγονός αυτό ευνοεί και την ανάπτυξη ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων πράγμα που σημαίνει την βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών στους συνδρομητές, καθώς και την μείωση του κόστους που αυτές προσφέρονται.

Ένας καινούργιος χώρος στον οποίο άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα ασύρματα δίκτυα είναι αυτός της διασύνδεσης συσκευών. Σήμερα, γίνεται προσπάθεια σχεδιασμού δικτύων τα οποία θα καταργήσουν τα καλώδια για την επικοινωνία μεταξύ των διάφορων συσκευών. Τέτοια παραδείγματα δικτύων, είναι ένα δίκτυο που θα συνδέει το κινητό τηλέφωνο του χρήστη με τον φορητό του υπολογιστή, το PDA ή ακόμα και την ψηφιακή φωτογραφική του μηχανή. Ένα ακόμα παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι ένα δίκτυο που θα συνδέει την κεντρική μονάδα ενός επιτραπέζιου (desktop) υπολογιστή με την οθόνη ή με τον εκτυπωτή. Άλλες πιθανές εφαρμογές τέτοιων δικτύων είναι η χρήση τους στα λεγόμενα «έξυπνα σπίτια», όπου οι διάφορες οικιακές συσκευές μπορούν να επικοινωνούν και να ρυθμίζονται από έναν κεντρικό υπολογιστή ή και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Ένας ακόμα πιθανός τομέας χρήσης ασύρματων δικτύων είναι οι «φορητοί» υπολογιστές (wearable computers), οι οποίοι είναι υπολογιστές που ο χρήστης «κουβαλάει» πάνω στο σώμα του. Παραδείγματα τέτοιων υπολογιστών είναι ένα ρολόι ή ένα ζευγάρι γυαλιών, τα οποία μπορούν να επικοινωνούν μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου με έναν εξυπηρετητή και να αποκομίζουν σημαντικές πληροφορίες ή πληροφορίες τηλεμετρίας (π.χ. έλεγχος από απόσταση της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου). Τελειώνοντας, πρέπει να αναφέρουμε ότι τα ασύρματα δίκτυα ανοίγουν το δρόμο σε πάρα πολλές νέες και «εξωτικές» εφαρμογές, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα έξυπνης σκόνης (smart dust), τα οποία αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε διάφορες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Βέβαια, τα ασύρματα δίκτυα έχουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα σε σχέση με τα ενσύρματα. Έτσι, ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης που διαθέτουν, κυρίως εξαιτίας της πληθώρας των εφαρμογών που υπάρχουν, σε συνδυασμό και με το γεγονός ότι όλα τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν ένα κοινό μέσο, την ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, πέρα από τον περιορισμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης, η ύπαρξη τόσο πολλών δικτύων, οδηγεί και σε παρεμβολές μεταξύ τους, μειώνοντας ακόμα περισσότερο της επιδόσεις τους. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, συνήθως η χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων καθορίζεται από διεθνής και εθνικούς οργανισμούς. Στην Ελλάδα υπεύθυνη για την ανάθεση των συχνοτήτων είναι η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ). Πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιες ζώνες συχνοτήτων είναι ελεύθερες για χρήση, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε χωρίς να χρειάζεται ειδική άδεια. Οι ζώνες αυτές είναι γενικά διαφορετικές σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου (π.χ. Ευρώπη, Βόρεια Αμερική) και ονομάζονται ζώνες βιομηχανίας, επιστήμης και ιατρικής (Industrial, Scientific, Medical – ISM). Ο λόγος ύπαρξής τους είναι για να παρέχουν την δυνατότητα υποστήριξης κάποιων υπηρεσιών, όπως τα ασύρματα (cordless) τηλέφωνα, τους τηλεχειρισμούς των γκαράζ ή της τηλεόρασης, τους φούρνους μικροκυμάτων και άλλα, καθώς και να παρέχουν την δυνατότητα σε όποιον ενδιαφέρεται για τα ασύρματα συστήματα να αναπτύξει δικές του εφαρμογές, χωρίς να χρειάζεται να πληρώσει σημαντικά ποσά για την απόκτηση άδειας χρήσης κάποιας ζώνης συχνοτήτων (π.χ. ερευνητικά κέντρα, πανεπιστήμια). Οι παρεμβολές μεταξύ των συστημάτων που χρησιμοποιούν τις ζώνες ISM επιτυγχάνεται με την απαίτηση όλα τα συστήματα να έχουν τόσο βραχεία εμβέλεια εκπομπής ώστε να μην συγκρούονται μεταξύ τους, ενώ τελευταία απαιτείται και η χρήση τεχνικών εξάπλωσης φάσματος (spread spectrum).

Άλλα σημαντικά ζητήματα που διαφοροποιούν τα ασύρματα από τα ενσύρματα δίκτυα είναι το γεγονός ότι τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα είναι περισσότερο επιρρεπή στον περιβαλλοντικό θόρυβο, όπως για παράδειγμα στην βροχή ή στην κοσμική ακτινοβολία. Το πρόβλημα αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού για παράδειγμα μια ισχυρή καταιγίδα μπορεί να αχρηστεύσει εντελώς ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι ότι πολλά ασύρματα δίκτυα μπορούν να έχουν περιορισμένη διάμετρο (απόσταση μεταξύ των δύο περισσότερο απομακρυσμένων κόμβων) και περιορισμένο αριθμό χρηστών, ενώ συχνά απαιτείται και οπτική επαφή μεταξύ των χρηστών. Εκτός όλων των παραπάνω, ορισμένα είδη ασύρματων δικτύων μπορεί να μην λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού ή

θερμοκρασίας, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα υπεράθρων ή laser. Όλα αυτά τα προβλήματα που αναφέρθηκαν εδώ θα συζητηθούν περισσότερο στην συνέχεια.

## 1.2 ΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΣΗΜΕΡΑ

Σήμερα τα ασύρματα δίκτυα γνωρίζουν τεράστια εξάπλωση (Εικόνα 1), η οποία αναμένεται να αυξηθεί με την έλευση νέων προτύπων όπως το 802.16 (WiMAX), το 802.15 (Bluetooth), αλλά και την έλευση της πολυαναμενόμενης κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (UMTS). Όπως και τα ενσύρματα δίκτυα, έτσι και τα ασύρματα μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες, με βάση κυρίως το μέγεθός τους και την περιοχή κάλυψής τους. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε τις κατηγορίες των δικτύων ευρείας περιοχής (Wide Area Networks – WAN), τα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (Metropolitan Area Networks – MAN), τα δίκτυα τοπικής περιοχής (Local Area Networks – LAN) και τέλος, μια νέα κατηγορία δικτύων, η οποία δεν ορίζεται στα ενσύρματα, τα δίκτυα προσωπικής περιοχής (Personal Area Networks – PAN). Στην συνέχεια θα δώθουν τα πλέον ενδεικτικά δίκτυα κάθε κατηγορίας, τα οποία θα περιγραφούν συνοπτικά στην συνέχεια.

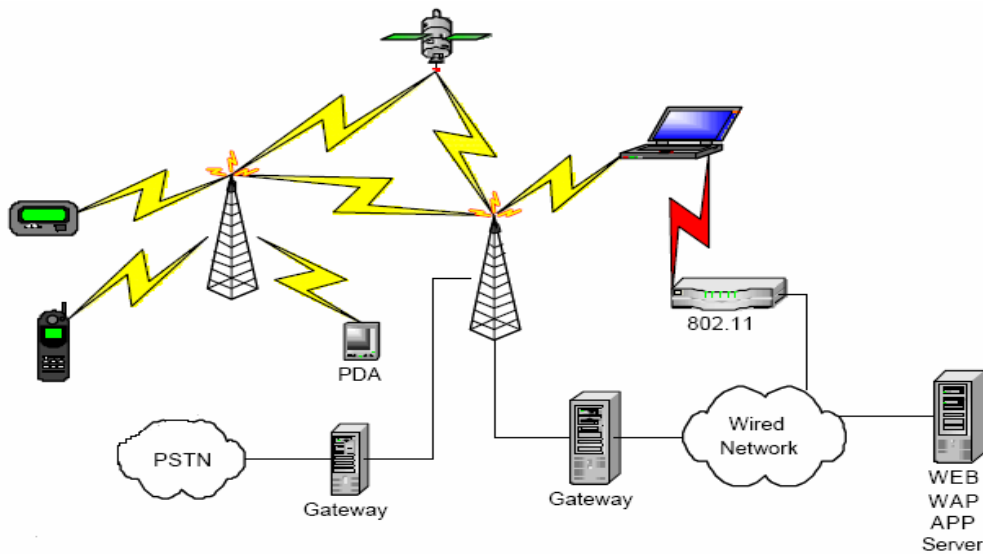
Στα δίκτυα WAN, μπορούμε να κατατάξουμε τα δορυφορικά δίκτυα, τα οποία καλύπτουν μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή και εξυπηρετούν έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Ο βασικός ρόλος αυτών των δικτύων είναι να παρέχουν διασύνδεση μεταξύ ηπείρων, παρέχοντας δυνατότητες μεταφοράς φωνής, τηλεοπτικού σήματος, υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (π.χ. GPS) και διάφορες άλλες υπηρεσίες. Ένας σημαντικός τομέας χρήσης των δορυφορικών δικτύων στο μέλλον αναμένεται να είναι η παροχή ταχύτατης σύνδεσης στο Internet. Τα περισσότερο διαδεδομένα δίκτυα WAN και γενικότερα ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν σήμερα είναι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (GSM στην Ευρώπη), τα οποία αποτελούνται από σύνολα διασυνδεδεμένων κυψελικών δικτύων και καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο μέρος του πλανήτη, εξυπηρετώντας έναν τεράστιο αριθμό χρηστών. Μια τελευταία κατηγορία δικτύων που κατατάσσονται στα WAN είναι συνήθως κάποια δίκτυα που λειτουργούν σε συχνότητες κάτω των 2MHz σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και τα οποία χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών σε πλοία και αεροσκάφη.

Ένα από τα σημαντικότερα ασύρματα δίκτυα MAN αναμένεται να είναι το 802.16, το οποίο αυτή τη στιγμή βρίσκεται υπό προτυποποίηση. Το δίκτυο αυτό αναμένεται να χρησιμοποιηθεί για αντικατάσταση των LL από WLL. Το δίκτυο αυτό αναμένεται να παρέχει υπηρεσίες φωνής, δεδομένων, τηλεόρασης υψηλής ευκρινείας και διάφορων άλλων υπηρεσιών. Άλλα γνωστά ασύρματα δίκτυα MAN, τα οποία βρίσκονται σε χρήση (αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένα, κυρίως λόγω του κόστους τους) είναι η Πολυκαναλική Πολυσημειακή Υπηρεσία Διανομής (Multichannel Multipoin Distribution Service – MMDS) και η εξέλιξη της που ονομάζεται Τοπική Πολυσημειακή Υπηρεσία Διανομής (Local Multipoint Distribution Service – LMDS). Οι υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την παροχή καλωδιακής τηλεόρασης και υπηρεσιών σταθερής τηλεφωνίας. Με την ραγδαία ανάπτυξη, όμως, του Internet άρχισαν να χρησιμοποιούνται και για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών πρόσβασης.

Όσον αφορά τα ασύρματα LAN, η πλέον διαδεδομένη κατηγορία που γνωρίζει μεγάλη διάδοση σήμερα είναι τα γνωστά σε όλους δίκτυα 802.11 (WiFi). Ο βασικός λόγος ύπαρξης των δικτύων αυτών είναι η ασύρματη τοπική δικτύωση, όπως για παράδειγμα σε συγκροτήματα γραφείων, στα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα για ενσύρματη δικτύωση, αλλά και στο λεγόμενο Small Office Home Office (SOHO) περιβάλλον. Τελευταία έχει αρχίσει να γίνεται συχνή χρήση δικτύων 802.11 για την δημιουργία ασύρματων κοινοτήτων χρηστών, στα πλαίσια για παράδειγμα μιας πόλης (π.χ. Patras Wireless Network). Άλλα σημαντικά πρότυπα για WLAN που αναπτύχθηκαν (και συνεχίζουν να αναπτύσσονται) είναι το HiperLAN και το HomeRF.

Τέλος, όσον αφορά την κατηγορία των ασύρματων PAN, σε αυτήν το πλέον σημαντικό πρότυπο είναι το Bluetooth, το οποίο γίνεται προσπάθεια να προτυποποιηθεί και να βελτιωθεί από την επιτροπή 802.15 της IEEE. Η νέα γενιά του Bluetooth θα παρέχει αυξημένες δυνατότητες δικτύωσης μεταξύ των διαφόρων συσκευών, στοχεύοντας στην οριστική κατάργηση των καλωδίων. Μια παλαιότερη κατηγορία PAN δικτύων είναι τα δίκτυα IrDA τα οποία χρησιμοποιούν υπέρυθρες και τα οποία δεν γνώρισαν σημαντική αποδοχή.

Εικόνα 1. Ασύρματη πραγματικότητα.



### 1.3 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ & ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Επειδή οι διάφοροι σχεδιαστές δικτύων έχουν διαφορετικές ιδέες για το πώς πρέπει να γίνονται τα πράγματα, αν δεν υπήρχε συμφωνία πάνω σε κάποια πρότυπα δικτύων, θα επικρατούσε απόλυτο χάος και οι χρήστες δεν θα μπορούσαν να καταφέρουν τίποτα. Για παράδειγμα αν δεν υπήρχε συμφωνία για ένα πρότυπο κινητής τηλεφωνίας (π.χ. GSM) τα



κινητά τηλέφωνα κάθε κατασκευαστή (π.χ. Nokia) δεν θα μπορούσαν να συνεργαστούν με όλα τα δίκτυα (π.χ. ένα Nokia τηλέφωνο πιθανόν να μην μπορούσε να συνδεθεί και με το δίκτυο της Cosmote και με το δίκτυο της Vodafone). Επομένως, τα πρότυπα επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών και άρα βοηθούν στην διεύρυνση της αγοράς τους. Η μεγαλύτερη διαθέσιμη αγορά με την σειρά της οδηγεί σε μαζική παραγωγή, οικονομίες κλίμακας κατά την κατασκευή, υλοποιήσεις VLSI και άλλα οφέλη που μειώνουν την τιμή και αυξάνουν περαιτέρω την αποδοχή. Βέβαια, το γεγονός αυτό έχει και κάποια μειονεκτήματα, όπως το ότι «παγώνει» την εξέλιξη της τεχνολογίας υπέρ ενός προτύπου. Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα προκύπτει όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερα πρότυπα από δύο ή περισσότερους οργανισμούς. Το παρήγορο είναι ότι σήμερα υπάρχει μια τάση οι διεθνείς οργανισμοί να συνεργάζονται μεταξύ τους για την έκδοση ενός προτύπου. Πάντως, παρά τα μειονεκτήματα η ύπαρξη προτύπων είναι γενικά θετική. Ευτυχώς, σε αντίθεση με τον χώρο των υπολογιστών, στον χώρο των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων, η πλειοψηφία των διαθέσιμων αρχιτεκτονικών είναι προτυποποιημένη.

Τα πρότυπα μπορεί να εμπίπτουν σε μία από δύο κατηγορίες, τα εκ των πραγμάτων (de facto) πρότυπα και τα θεσμοθετημένα (de jure) πρότυπα. Η πρώτη κατηγορία προτύπων περιλαμβάνει τα πρότυπα που απλά προέκυψαν, χωρίς κάποιο επίσημο σχεδιασμό. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν επίσημα νομικά πρότυπα, τα οποία υιοθετούνται από κάποιον εντεταλμένο οργανισμό τυποποίησης. Οι διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης διαιρούνται σε αυτούς που έχουν ιδρυθεί μέσω ενός συμφώνου ανάμεσα σε κυβερνήσεις και εκείνους που αποτελούν εθελοντικούς οργανισμούς χωρίς να βασίζονται σε κάποια συμφωνία. Στον τομέα των προτύπων για τα δίκτυα και κατά συνέπεια και για τα ασύρματα δίκτυα υπάρχουν πολλοί οργανισμοί από κάθε κατηγορία, οι σημαντικότεροι από τους οποίους παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Ένας από τους σημαντικότερους διεθνείς οργανισμούς είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU), η οποία ιδρύθηκε το 1865 και από το 1947 αποτελεί υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών. Η ITU αποτελείται από τρεις κύριους τομείς, τον Τομέα Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R), τον Τομέα Τηλεπικοινωνιών (ITU-T) και τον Τομέα Ανάπτυξης (ITU-D). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ITU-T ονομαζόταν στο παρελθόν Διεθνής Συμβουλευτική Επιτροπή Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας (CCITT). Η ITU έχει ως μέλη κυβερνήσεις κρατών, εθνικές επιτροπές τηλεπικοινωνιών (όπως την ΕΕΤΤ και την αμερικανική FCC: Federal Communications Commission), μεγάλες εταιρίες, καθώς και ερευνητικούς και άλλους οργανισμούς που σχετίζονται με της τηλεπικοινωνίες. Ο ρόλος της ITU είναι να εκδίδει συστάσεις, με τις οποίες πρέπει να συμμορφώνονται όλοι οι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού και δικτυακού εξοπλισμού.

Ένας άλλος σημαντικός οργανισμός που έχει εκδόσει μερικά από τα σημαντικότερα πρότυπα ασύρματων δικτύων είναι το Ίδρυμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE). Ξεχωριστό ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιτροπή 802 που έχει τυποήσει και συνεχίζει την τυποποίηση πολλών ειδών δικτύων, μεταξύ των οποίων και τα ασύρματα δίκτυα 802.11 (WiFi), 802.16 (WiMAX) και 802.15 (Bluetooth).

Ένας σημαντικός οργανισμός στον χώρο της τυποποίησης, όχι μόνο σε σχέση με τα δίκτυα ή τους υπολογιστές, είναι ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Standards Organisation – ISO). Στον ISO συμμετέχουν η επιτροπές τυποποίησης κάθε χώρας (μεταξύ των οποίων και το Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτύπων ή ANSI), καθώς και κάθε

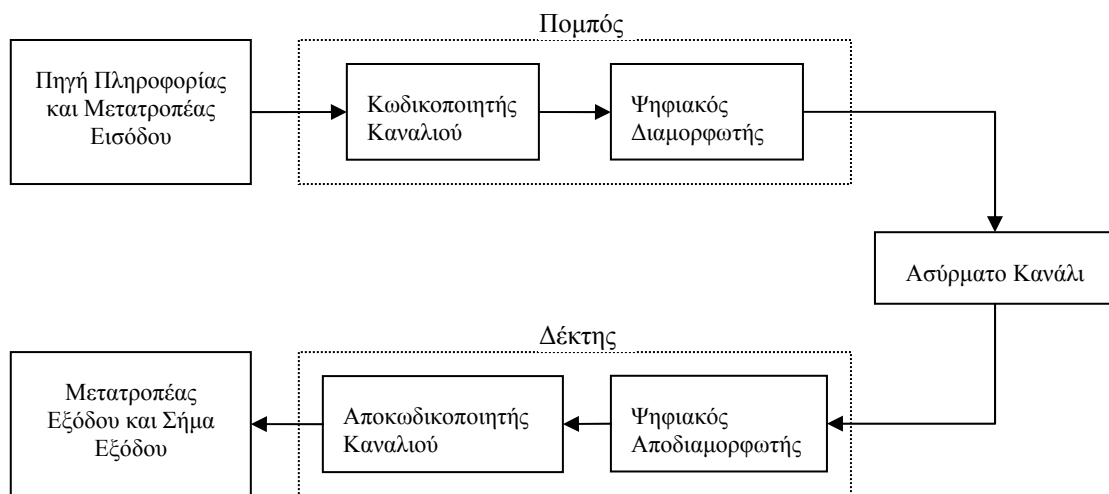
άλλος ενδιαφερόμενος, όπως για παράδειγμα οι κατασκευαστές. Ο ISO είναι ένας ιδιωτικός, μη κρατικός και μη κερδοσκοπικός οργανισμός.

Όσον αφορά το Internet η προτυποποίηση γίνεται από την Κοινωνία του Internet (Internet Society), η οποία αποτελείται από άτομα που ενδιαφέρονται για το Internet. Το Internet Society περιλαμβάνει τρεις οργανισμούς, το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Internet (Internet Architecture Board – IAB), την Ομάδα Εργασίας Έρευνας Internet (Internet Research Task Force – IRTF) και την Ομάδα Εργασίας Μηχανικών Internet (Internet Engineering Task Force – IETF). Η IAB έχει σαν ρόλο τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής του Internet και τον καθορισμό κατευθυντήριων γραμμών για την IETF. Η IRTF είναι υπεύθυνη για την έρευνα και την ανάπτυξη νέων αρχιτεκτονικών και πρωτοκόλλων του Internet, η οποία γίνεται με την χρήση τεχνικών εγγράφων που ονομάζονται Αιτήσεις Υποβολής Σχολίων (Request For Comments – RFC). Τέλος, η IETF είναι υπεύθυνη για την βραχυπρόθεσμη τεχνική υποστήριξη των αποφάσεων της IRTF, καθώς και την διαδικασία προτυποποίησης (μέσω των RFC) των χρησιμοποιούμενων στο Internet πρωτοκόλλων.

## 2 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, όπως και κάθε άλλο σύστημα τηλεπικοινωνιών αποτελούνται από έναν πομπό, έναν δέκτη και ένα κανάλι (Εικόνα 2). Στην περίπτωση μας, αφού ασχολούμαστε με ασύρματες επικοινωνίες υπολογιστών, η πηγή της πληροφορίας είναι ήδη ψηφιακή με αποτέλεσμα να μην μας ενδιαφέρουν οι διάφορες μέθοδοι κβαντισμού και συμπίεσης του σήματος εισόδου. Επομένως, θα επικεντρωθούμε κυρίως στις διαφορές που παρουσιάζει το ασύρματο κανάλι σε σχέση με το ενσύρματο, καθώς και στις διαφορές στην κωδικοποίησή του και στην διαμόρφωση του σήματος.

Εικόνα 2. Διάγραμμα λειτουργικών βαθμίδων ενός ασύρματου συστήματος επικοινωνίας.



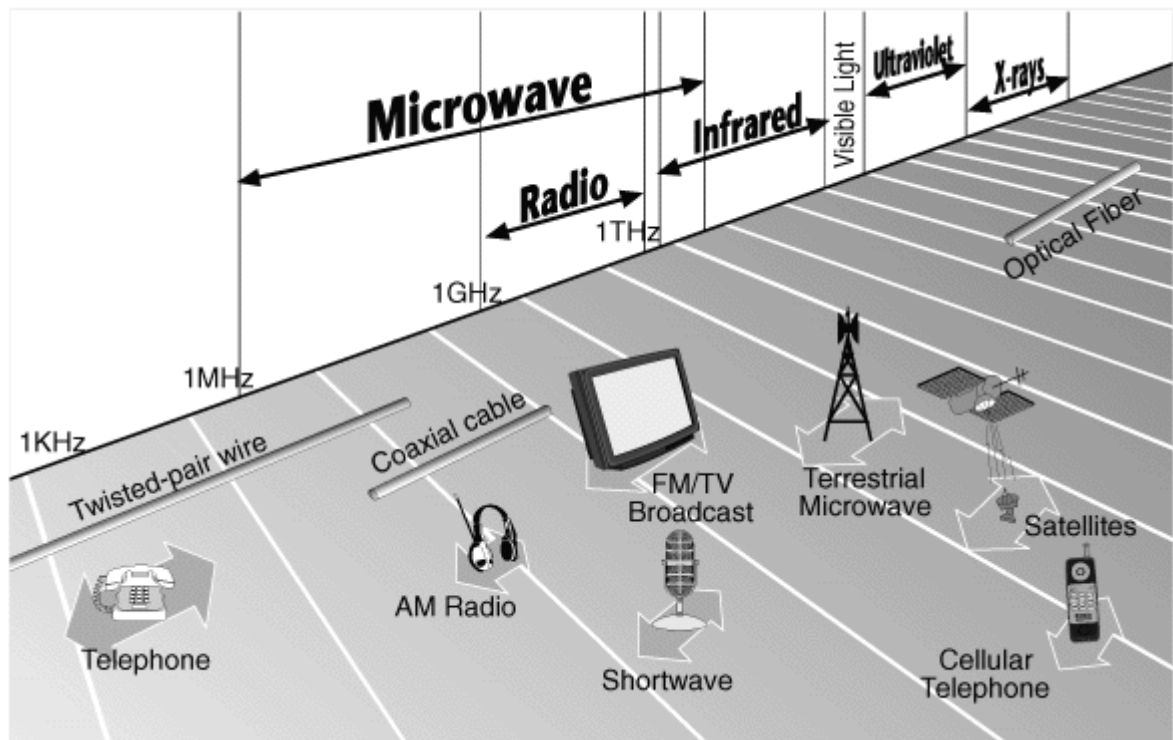
### 2.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΝΣΥΡΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σε αντίθεση όμως με τα ενσύρματα συστήματα τα ασύρματα συστήματα έχουν να αντιμετωπίσουν κάποια επιπλέον προβλήματα, γεγονός το οποίο οδηγεί σε διαφορετική σχεδίαση των πομπών και των δεκτών τους. Στα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εισέρχεται στο μέσο διάδοσης με την βοήθεια μιας κεραίας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (περισσότερα για τις κεραίες και τις ιδιότητές τους θα αναφερθούν στην συνέχεια) και το κανάλι είναι η ατμόσφαιρα (ή το κενό αν ο πομπός ή/και ο δέκτης μας βρίσκονται στο διάστημα). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το ασύρματο κανάλι εκτός από τον αναπόφευκτο θερμικό θόρυβο, που οφείλεται κυρίως στην πρώτη βαθμίδα του δέκτη (κύκλωμα ανίχνευσης), να εισάγει έναν επιπλέον προσθετικό θόρυβο που προέρχεται από διαταραχές όπως ο θόρυβος «ανθρώπινων δραστηριοτήτων» (man-made noise) και ατμοσφαιρικοί θόρυβοι που συλλαμβάνονται από τις κεραίες λήψης (π.χ.

θόρυβοι που δημιουργούνται από κινητήρες, κεραυνούς κ.τ.λ.). Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό πρόβλημα στα ασύρματα κανάλια είναι η διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών (multipath propagation), η οποία οδηγεί σε υποβάθμιση του σήματος. Μια τέτοια παραμόρφωση του σήματος χαρακτηρίζεται ως μη προσθετική διαταραχή του σήματος, η οποία εκδηλώνεται ως χρονικές διακυμάνσεις της έντασης του σήματος και συνήθως καλείται διάλειψη (fading). Πολλές φορές τα ασύρματα δίκτυα πρέπει να επιτρέπουν κίνηση, συνήθως του πομπού (mobile networks) κάτι το οποίο εισάγει πρόσθετες δυσκολίες (π.χ. φαινόμενο Doppler).

Στην Εικόνα 3 φαίνονται οι κυριότερες ζώνες συχνοτήτων και μερικές χαρακτηριστικές χρήσεις τους. Επειδή οι συχνότητες είναι πεπερασμένες, θεωρούνται ως δημόσιο αγαθό και συνήθως η χρήση του καθορίζεται από εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς (στην Ελλάδα από την ΕΕΤΤ), ώστε να αποφεύγεται η αλόγιστη χρήση τους και οι παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Εικόνα 3. Κυριότερες ζώνες συχνοτήτων και οι χρήσεις τους.



## 2.2 ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

Για τα ασύρματα δίκτυα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ζώνη των μικροκυμάτων. Οι συνηθισμένες συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τα ασύρματα συστήματα είναι μεταξύ 2 και 40GHz. Όσο υψηλότερη είναι η χρησιμοποιούμενη συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερος και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (data rate). Για τα μικροκύματα, η απόσβεση (attenuation) του σήματος που οφείλεται στα διάφορα είδη θορύβων που αναφέραμε παραπάνω και μπορεί να εκφραστεί σαν

$$L = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 dB,$$

όπου  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος.

Στην ζώνη των μικροκυμάτων η απόσβεση αυξάνεται σημαντικά με την βροχόπτωση και ιδιαίτερα για συχνότητες μεγαλύτερες από 10GHz. Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι η ευρεία χρήση των μικροκυμάτων και ιδιαίτερα στις δημοφιλείς ζώνες ISM (Industrial, Scientific, Medical), των οποίων η χρήση είναι ελεύθερη. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις υψηλές συχνότητες το κόστος κατασκευής των πομποδεκτών είναι υψηλό και άρα οι συχνότητες αυτές δεν ενδύκνυνται για χρήση από ιδιώτες.

## 2.3 ΚΕΡΑΙΕΣ

Μια κεραία μπορεί να οριστεί σαν ένας ηλεκτρικός αγωγός ή σύστημα αγωγών που χρησιμοποιείται τόσο για την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον χώρο όσο και για την συλλογή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από τον χώρο. Στην περίπτωση του πομπού η κεραία μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ενώ στην περίπτωση του δέκτη συμβαίνει το αντίθετο. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η κεραία χρησιμοποιείται τόσο για λήψη όσο και για εκπομπή.

Μια συνηθισμένη κεραία εκπέμπει ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις, αλλά στην τυπική περίπτωση δεν έχει την ίδια επίδοση προς κάθε κατεύθυνση. Ο συνηθισμένος τρόπος για να περιγράψουμε την επίδοση μιας κεραίας είναι μέσω της χρήσης ενός radiation pattern, το οποίο είναι ένας γραφικός τρόπος απεικόνισης των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της κεραίας ως συνάρτηση των συντεταγμένων του χώρου. Συνήθως το radiation pattern είναι δισδιάστατο και αποτελείται από ένα σημείο που συμβολίζει την κεραία και μια καμπύλη, η απόσταση κάθε σημείου της οποίας είναι ανάλογη της ενέργειας που εκπέμπει η κεραία σε αυτήν την κατεύθυνση. Το μέγεθος του radiation pattern είναι τυχαίο και το μόνο που έχει σημασία είναι η σχετική απόσταση από την κεραία προς κάθε απόσταση. Η σχετική απόσταση εκφράζει την σχετική ενέργεια που εκπέμπει η κεραία προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση. Το radiation pattern παρέχει έναν εύκολο τρόπο για τον προσδιορισμό του πλάτους των λοβών (beam width) της κεραίας, το

οποίο και αποτελεί ένα μέτρο της κατευθυντικότητας της κεραίας. Το beam width ορίζεται σαν την γωνία μέσα στην οποία η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι τουλάχιστον το μισό της ενέργειας η οποία εκπέμπεται στην προτιμώμενη κατεύθυνση και αναφέρεται συχνά και σαν half-power beam.

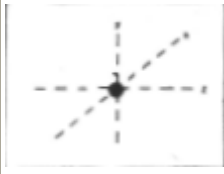
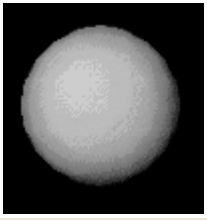

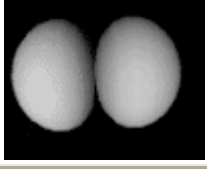
Το απλούστερο radiation pattern προκύπτει από μια ιδεατή κεραία που ονομάζεται ισοτροπική (isotropic antenna) και αποτελείται από ένα σημείο (που συμβολίζει την κεραία) και έναν κύκλο που την περιβάλλει. Τα σημαντικότερα είδη κεραιών είναι οι μη-κατευθυντικές (omnidirectional) (ιδανική περίπτωση των οποίων είναι η ισοτροπική) και οι κατευθυντικές (directional). Στο πρώτο είδος κεραιών χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι διπολικές κεραίες, ενώ στο δεύτερο οι παραβολικές κεραίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για την επικοινωνία με τους δορυφόρους.

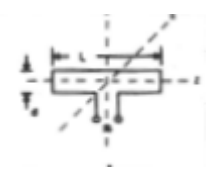
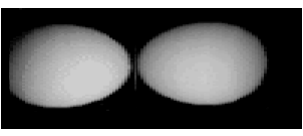
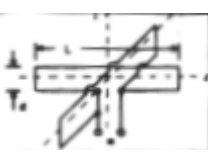
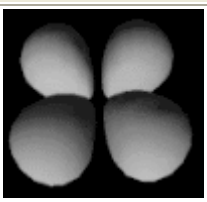

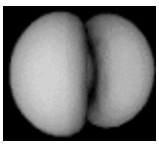

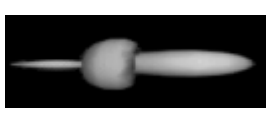
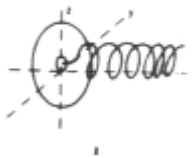


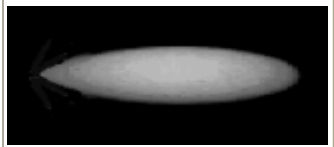
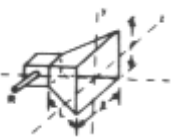
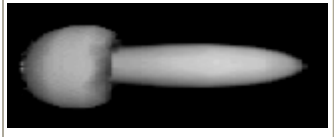
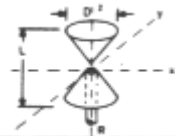
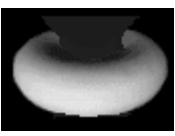
Δύο ακόμα σημαντικές έννοιες που σχετίζονται με τις κεραίες είναι το κέρδος της κεραίας (antenna gain) το οποίο ορίζεται ως η ενεργειακή διαφορά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε μία κατεύθυνση σε σχέση με την ενέργεια που εκπέμπει η ιδανική μη-κατευθυντική κεραία (ισοτροπική) στην ίδια κατεύθυνση. Το κέρδος της κεραίας είναι ένα μέτρο της κατευθυντικότητάς της. Ένα ακόμα σχετικό μέτρο είναι η effective area της κεραίας, η οποία σχετίζεται με τα φυσικά χαρακτηριστικά της κεραίας (όπως το μέγεθος και το σχήμα της). Τα δύο παραπάνω μέτρα σχετίζονται σύμφωνα με τον τύπο

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2},$$

όπου G είναι το κέρδος της κεραίας,  $A_e$  είναι η effective area της κεραίας και  $\lambda = f/c$  είναι το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (f είναι η συχνότητά της και c είναι η ταχύτητα του φωτός). Στην Εικόνα 4 που ακολουθεί φαίνονται μερικές συνηθισμένες κεραίες και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Εικόνα 4. Μερικές συνηθισμένες κεραίες και τα χαρακτηριστικά τους.

Name	Shape	Gain (over isotropic)	Beamwidth -3 dB	Radiation Pattern
Isotropic		0 dB	360	
Dipole $\lambda/2$		2.14 dB	55	

Folded Dipole $\lambda/2$ Cylindrical B		5.64 dB	45	
Turnstile $\lambda/2$		-0.86 dB	50 due to cusps B	
Full wave loop $D = \lambda/\pi$		3.14 dB	200	
Yagi $\lambda/2$		7.14 dB	25	
Helical $L = 6\lambda$		10.1 dB	30	
Parabolic Dipole $D = 5\lambda/2$ B		14.7 dB	20	
Horn $3\lambda$		15 dB	15	
Biconical Horn $H = 9\lambda/2$ $D = 14\lambda$		14 dB	360x200	

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι γίνονται προσπάθειες για την δημιουργία έξυπνων κεραιών. Η ιδέα των έξυπνων κεραιών υλοποιείται από μια διάταξη κεραιών και προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος. Η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσαρμοστική κατευθυντική εκπομπή ή λήψη. Ειδικότερα, η ύπαρξη μιας διάταξης κεραιών μας δίνει την δυνατότητα να ελέγξουμε τον τρόπο πο εκπέμπει και λαμβάνει η συνολική διάταξη. Καθεμιά από τις κεραιές συνήθως εκπέμπει και λαμβάνει σχεδόν ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Ωστόσο, τοποθετώντας πολλές κεραιές στην σειρά και ρυθμίζοντας κατάλληλα τη φάση των σημάτων με τα οποία αυτές τροφοδοτούνται μπορούμε να κατευθύνουμε τον κύριο λωβό (beam) της διάταξης.

## 2.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Ως μοντέλο διάδοσης (propagation mode) χαρακτηρίζεται ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από μία κεραία. Υπάρχουν τρία δυνατά μοντέλα διάδοσης, το μοντέλο εδαφικού-κύματος (ground-wave), το μοντέλο κύματος-χώρου (sky-wave) και το μοντέλο οπτικής-επαφής (Line Of Sight – LOS). Στην Εικόνα 5 φαίνονται τα μοντέλα διάδοσης που ακολουθούν οι διάφορες ζώνες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Εικόνα 5. Κυριότερες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μοντέλα διάδοσης που ακολουθούν και τυπικές χρήσεις τους.

Frequency Band	Designation	Propagation Characteristics	Typical Users
3-30 kHz	Very Low Frequency (VLF)	Ground wave, low attenuation, day or night, high noise level	Long range navigation, submarine communication
30-300 kHz	Low Frequency (LF)	Similar to VLF but not quite as reliable	Long range navigation, marine radio beacons
300-3000 kHz	Medium Frequency (MF)	Ground wave and night skywave, low attenuation at night and high in day, atmospheric noise	AM broadcasting, maritime radio, direction finding, emerging frequencies
3-30 MHz	High Frequency (HF)	Ionospheric reflection varying with time of day, season and frequency	Amateur radio, military communication, international broadcasting, long distance plane and ship communication
30-300 MHz	Very High Frequency (VHF)	Nearly Line-Of-Sight (LOS) propagation, scattering due to temperature inversions, cosmic noise	VHF television, FM broadcasting, FM two-way radio, AM plane communication, aircraft navigational aids
0.3-3 GHz	Ultra High Frequency (UHF)	LOS propagation, cosmic noise	UHF television, radar, microwave links, navigational aids
3-30 GHz	Super High Frequency (SHF) <sup>a</sup>	LOS propagation, rainfall attenuation above 10 GHz, atmospheric attenuation due to oxygen and water vapour	Satellite Communication, microwave links and radar
30-300 GHz	Extremely High Frequency (EHF) <sup>b</sup>	Same as above	Radar, experimental satellite uses
10 <sup>3</sup> -10 <sup>7</sup> GHz	Infrared, visible light, ultraviolet	LOS propagation, atmospheric due to water vapour (fog) for some wavelengths (for example, visible)	Optical Communication

<sup>a</sup> Smaller bands within this range are also designated by letters S,C,X or Ka and Ku.

<sup>b</sup> The upper end of this band is called the mm (millimetre) band because of wavelengths used.



Στο μοντέλο εδαφικού-κύματος τα κύματα ακολουθούν την διαμόρφωση του εδάφους και μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται κυρίως για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων (π.χ. για επικοινωνία με πλοία), καθώς και για την ραδιοφωνία AM. Τα κύματα-χώρου έχουν την ιδιότητα ότι ανακλώνται από κάποια στρώματα της ιονόσφαιρας, με αποτέλεσμα να μπορούν να διαδοθούν σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων (σημαντικά μικρότερη από τα ground-waves βέβαια).

Το μοντέλο κυμάτων που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τις ασύρματες επικοινωνίες υπολογιστών είναι το LOS, το οποίο ακολουθούν συνήθως και τα μικροκύματα. Στο μοντέλο LOS πρέπει να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ της κεραίας του πομπού και του δέκτη. Πολλές φορές, όμως, χάρη στην ιδιότητα της διάθλασης (diffraction) και της ανάκλασης (reflection) των κυμάτων συχνά είναι δυνατή η επικοινωνία ακόμα και όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των δύο κεραιών. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής διάθλασης της ατμόσφαιρας τείνει να μειώνεται με το υψόμετρο. Αυτό το φαινόμενο κάνει τα κύματα που βρίσκονται πλησιέστερα στο έδαφος να κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτά που βρίσκονται ψηλότερα, με αποτέλεσμα την κάμψη τους. Επιπρόσθετα, λόγω των ανακλάσεων ή και του διασκορπισμού (scattering) των κυμάτων εξαιτίας της πρόσκρουσής τους σε εμπόδια που συναντούν κατά την διάδοσή τους μπορεί να αλλάζουν κατεύθυνση και άρα κάποια από αυτά να φτάνουν τελικά στην κεραία του δέκτη. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται Near Line Of Sight (NLOS). Η μέγιστη δυνατή απόσταση που μπορεί να έχουν δύο κεραιές για να έχουν οπτική επαφή είναι

$$d = 3.57 \left( \sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2} \right),$$

όπου  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών,  $h_1$  και  $h_2$  είναι τα ύψη των κεραιών και  $K$  είναι ένας παράγοντας προσαρμογής που σχετίζεται με την διάθλαση και συνήθως επιλέγεται  $K = 4/3$ .

## 2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Στις ασύρματες επικοινωνίες υπολογιστών χρησιμοποιούνται συνήθως κύματα LOS. Επομένως, θα ασχοληθούμε μόνο με τα σημαντικότερα προβλήματα που εισάγονται σε τέτοιου είδους κανάλια.

Έτσι, το πρώτο σημαντικό πρόβλημα είναι η απόσβεση του εκπεμπόμενου σήματος με την αύξηση της απόστασης από τον πομπό, η οποία αναφέρεται ως Free Space Loss και για την ισοτροπική κεραία δίνεται από τον τύπο

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 \text{ dB},$$

όπου  $P_t$  είναι η ενέργεια του σήματος στον πομπό  $P_r$  είναι η ενέργεια του σήματος στην κεραία του δέκτη,  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών και  $\lambda$  είναι το μήκος

κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Ενώ αν θέλουμε να λάβουμε υπόψη μας το κέρδος των κεραιών τότε

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2 (d)^2}{G_r G_t \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_r A_t},$$

όπου  $G_t$  και  $A_t$  είναι το κέρδος και η effective area της κεραίας του πομπού και  $G_r$  και  $A_r$  είναι τα αντίστοιχα μέτρα για την κεραία του δέκτη. Από την τελευταία σχέση μπορούμε εύκολα να δούμε ότι το free space loss μπορεί να μειωθεί με την χρήση κατάλληλων κεραιών.

Όσον αφορά τον γνωστό μας από τα ενσύρματα συστήματα θερμικό θόρυβο, ο οποίος συνήθως μοντελοποιείται σαν λευκός προσθετικός θόρυβος (AWGN κανάλια) δεν παύει να υπάρχει και στα ασύρματα κανάλια. Επιπρόσθετα στα ασύρματα κανάλια είναι συχνό το φαινόμενο της ύπαρξης intermodulation noise. Ο intermodulation noise δημιουργεί σήματα σε μία συχνότητα που είναι άθροισμα ή διαφορά των αρμονικών δύο άλλων σημάτων που μεταδίδονται στο ίδιο μέσο.

Σημαντική επίδραση στα ραδιοκύματα έχει και η ατμόσφαιρα. Στις συχνότητες πάνω από τα 10GHz το μήκος κύματος των κυμάτων γίνεται σχετικά μικρό με αποτέλεσμα να απορροφάται εύκολα από τις σταγόνες του νερού, ακόμα και αυτού που εξατμίζεται ή της ομίχλης, καθώς και από τα διάφορα φυσικά εμπόδια (όπως για παράδειγμα πυκνή βλάστηση). Ιδιαίτερα στις πολύ υψηλές συχνότητες (>60GHz) αυτή είναι και η βασική αιτία απόσβεσης του σήματος.

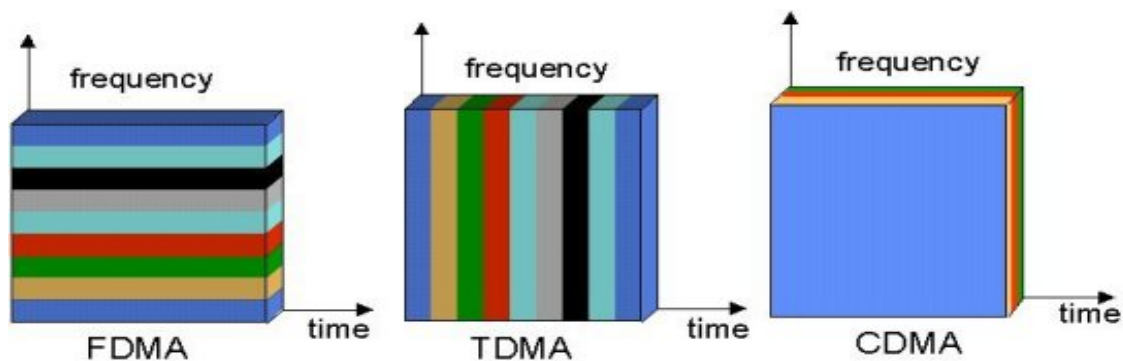
Τέλος, ένα σημαντικό πρόβλημα των ασύρματων καναλιών είναι η διάδοση πολλαπλών διαδρομών (multipath). Εξαιτίας των ανακλάσεων και του διασκορπισμού το εκπεμπόμενο σήμα μπορεί να φτάσει στον δέκτη από περισσότερες από μία κατευθύνσεις και με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις, δημιουργώντας διάφορα προβλήματα (ιδιαίτερα σε συστήματα όπου έχουμε μετάδοση ήχου ή εικόνας σε πραγματικό χρόνο). Για τον περιορισμό του φαινομένου του multipath χρησιμοποιούνται συνήθως ισχυρά κατευθυντικές κεραιές.

## 2.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Επειδή όλα τα ασύρματα συστήματα πρέπει να μοιραστούν ένα περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων, είναι απαραίτητο το φάσμα να μοιράζεται στους χρήστες έτσι ώστε να αυξάνει την χωρητικότητα του συστήματος, διατηρώντας ταυτόχρονα την απόδοσή του. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι πολύπλεξης. Δύο από τις σημαντικότερες, οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά και σε ενσύρματα συστήματα, είναι η Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA) και η Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA). Στην FDM το φάσμα συχνοτήτων διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων, με κάθε χρήστη να έχει την αποκλειστική χρήση κάποιας ζώνης. Στο TDM οι χρήστες χρησιμοποιούν το μέσον με τη

σειρά (εκ περιτροπής), με κάθε χρήστη να λαμβάνει περιοδικά όλο το εύρος ζώνης. Μια ακόμα κλασική μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι η Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) με αυτήν την μέθοδο ολόκληρο το φάσμα μοιράζεται από όλους τους χρήστες ταυτόχρονα. Συγκεκριμένα κάθε πομπός στέλνει τα δεδομένα του χρησιμοποιώντας έναν κωδικό. Μόνο εκείνος ο δέκτης που γνωρίζει τον κωδικό του πομπού θα μπορέσει να λάβει τα δεδομένα. Τέλος, στα σύγχρονα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούνται τεχνικές ευρέως φάσματος (Spread Spectrum) οι οποίες θα αναλυθούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο (το CDMA είναι και αυτό κατά μία έννοια τεχνική εξάπλωσης φάσματος. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 6) φαίνεται γραφικά ο τρόπος λειτουργίας των τριών παραπάνω μεθόδων.

Εικόνα 6. Παράδειγμα του τρόπου λειτουργίας των τριών μεθόδων πολύπλεξης.



## 2.7 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Όπως είναι γνωστό η κωδικοποίηση καναλιού προστατεύει τα ψηφιακά δεδομένα από τα σφάλματα μετάδοσης, εισάγοντας πλεονάζουσα πληροφορία στο μεταδιδόμενο σήμα. Οι κώδικες καναλιού μπορούν να διακριθούν σε κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων (error detection codes) και σε κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων (error correction codes). Στα ενσύρματα συστήματα χρησιμοποιούνται συχνότερα κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων, αφού επιβαρύνουν λιγότερο τόσο την ποσότητα της πλεονάζουσας πληροφορίας που προστίθεται όσο και την επεξεργασία της. Συγκεκριμένα στα συστήματα στα οποία ο ρυθμός σφαλμάτων είναι μικρός προτιμώνται κώδικες ανίχνευσης λαθών, αφού η περιοδική επαναποστολή κάποιων πακέτων που λήφθησαν λάθος κοστίζει λιγότερο από την πολυπλοκότητα που εισάγουν οι κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων. Όμως, τα ασύρματα δίκτυα είναι δίκτυα με υψηλό ρυθμό σφαλμάτων και επομένως σε πολλές περιπτώσεις συμφέρει η χρήση κωδικοποίησης διόρθωσης σφαλμάτων (π.χ. 802.16).

Στενά συνδεδεμένη με την κωδικοποίηση του καναλιού είναι και η έννοια της Απόστασης Hamming (Hamming Distance), που ορίζεται ως το πλήθος των θέσεων bit στις οποίες διαφέρουν δύο κωδικολέξεις (codeword) των  $n$  bit. Ως κωδικολέξη ορίζεται η ομάδα  $n$  bit η οποία περιέχει  $m$  bit δεδομένων και  $r$  bit ελέγχου (ή πλεονασμού). Η σημασία της απόστασης Hamming είναι ότι, αν δύο κωδικολέξεις έχουν απόσταση  $d$ , τότε απαιτούνται  $d$  σφάλματα του ενός bit για να μετατραπεί η μία στην άλλη. Οι ιδιότητες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων ενός κωδικού εξαρτώνται από την απόσταση Hamming του κωδικού.

Οι διάφοροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων βασίζονται στο ότι εξαιτίας του τρόπου υπολογισμού των bit ελέγχου δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι  $2^n$  δυνατοί συνδιασμοί κωδικολέξεων. Για να είναι δυνατή η διόρθωση  $d$  σφαλμάτων, απαιτείται ένας κωδικός με απόσταση  $2d+1$ , επειδή με αυτόν τον τρόπο οι έγκυρες κωδικολέξεις είναι τόσο απομακρυσμένες μεταξύ τους που, ακόμα και με  $d$  αλλαγές, η αρχική κωδικολέξη εξακολουθεί να είναι πλησιέστερη στο αποτέλεσμα από οποιαδήποτε άλλη κωδικολέξη και επομένως, μπορεί να προσδιοριστεί με μονοσήμαντο τρόπο. Το πιο απλό παράδειγμα κώδικα ανίχνευσης σφαλμάτων, είναι ένας κώδικας στον οποίο τα δεδομένα προστατεύονται από ένα bit ισοτιμίας (parity bit).

Για να είναι δυνατό να ανιχνευθούν  $d$  σφάλματα απαιτείται ένας κωδικός των με απόσταση  $d+1$ , επειδή με έναν τέτοιο κωδικό δεν υπάρχει κανένας τρόπος  $d$  σφάλματα του ενός bit να μετατρέψουν μια έγκυρη κωδικολέξη σε μια άλλη έγκυρη κωδικολέξη. Όταν ο παραλήπτης δει μια άκυρη κωδικολέξη μπορεί να καταλάβει ότι έχει προκύψει ένα σφάλμα κατά την μετάδοση. Ο πλέον συνηθισμένος κώδικας ανίχνευσης σφαλμάτων είναι ο πολυωνυμικός κωδικός (polynomial code), που είναι γνωστός και ως Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check – CRC). Οι πολυωνυμικοί κωδικοί βασίζονται στην θεώρηση των ακολουθιών bit ως αναπαραστάσεις πολυωνύμων και στην προσθήκη σε κάθε πλαίσιο ενός αθροίσματος ελέγχου (checksum) το οποίο δημιουργείται με την βοήθεια ενός παράγοντος πολυωνύμου (generator polynomial) το οποίο έχει προσυμφωνηθεί από τον αποστολέα και τον παραλήπτη.

## 2.8 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακές τεχνικές διαμόρφωσης (modulation). Η πρόοδος που έχει συντελεστεί στα VLSI κυκλώματα και στους ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος (Digital Signal Processors – DSP) έχει συντελέσει ώστε η ψηφιακή διαμόρφωση να είναι αποδοτικότερη ως προς το κόστος σε σχέση με την αναλογική μετάδοση. Ταυτόχρονα, η ψηφιακή μετάδοση παρέχει μεγαλύτερη αντοχή στον θόρυβο και τις παραμορφώσεις που εισάγει το κανάλι, κάνει την πολύπλεξη διαφορετικού είδους πληροφοριών ευκολότερη, παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια, αφού κάνει ευκολότερη την κρυπτογράφηση των δεδομένων, παρέχει δυνατότητες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων, συμπίεσης των δεδομένων και πολλά άλλα.

Η απόδοση των διάφορων τεχνικών διαμόρφωσης μετράται συχνά με βάση την φασματική αποδοτικότητα και την αποδοτικότητα ισχύος. Ως φασματική αποδοτικότητα (spectral efficiency) ορίζεται ο ρυθμός μεταδιδόμενης πληροφορίας ανά Hz του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης. Μονάδα μέτρησής της είναι το bit/s/Hz. Η φασματική αποδοτικότητα μετράει την ικανότητα ενός σχήματος διαμόρφωσης να μεταδίδει ένα μεγάλο ρυθμό πληροφορίας στο ελάχιστο δυνατό εύρος ζώνης ή διαφορετικά να χρησιμοποιεί αποδοτικά το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Η ικανότητα αυτή αποτελεί βασικό στόχο στις ασύρματες επικοινωνίες, όπου το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι περιορισμένο και επομένως πολύτιμο. Γενικά, η αύξηση του ρυθμού δεδομένων σημαίνει μείωση της χρονικής διάρκειας του παλμού ενός συμβόλου και επομένως αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος. Υπάρχει δηλαδή μια αναπόφευκτη σχέση μεταξύ ρυθμού δεδομένων και χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης. Ο όρος αποδοτικότητα ισχύος (power efficiency) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ικανότητα μια τεχνικής διαμόρφωσης να διατηρεί την ακρίβεια της μεταδιδόμενης πληροφορίας σε χαμηλά επίπεδα ισχύος. Ορίζεται ως ο λόγος της φέρουσας προς τον θόρυβο (Carrier-to-Noise Ratio – CNR) ή ισοδύναμα ως ο λόγος ενέργειας συμβόλου προς πυκνότητα ισχύος θορύβου  $E_s/N_0$  (symbol energy to noise power spectral density ratio).

Στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών πέρα από τις κλασικές επιθυμητές ιδιότητες, χαμηλός Ρυθμός Σφαλμάτων Bit (Bit Error Rate – BER), να αποδίδει καλά σε συνθήκες εξασθένισης, να καταλαμβάνει το ελάχιστο δυνατό εύρος ζώνης και να είναι εύκολο και οικονομικό στην υλοποίηση απαιτούνται και κάποιες πρόσθετες ιδιότητες. Οι σημαντικότερες από τις ιδιότητες αυτές είναι ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath phenomenon) και τα προβλήματα που αυτό προκαλεί λόγω επιλεκτικής και γρήγορης εξασθένισης, το πρόβλημα των παρεμβολών από άλλους χρήστες, η ανάγκη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση ενέργειας (σταθερή περιβάλλουσα / αποδοτικότητα ισχύος) και η επιτακτική ανάγκη για φασματική αποδοτικότητα.

Όσον αφορά την αναλογική διαμόρφωση, οι συνηθισμένες τεχνικές είναι η Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Modulation – AM), η Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation – FM) και η Διαμόρφωση Γωνίας (Angle Modulation). Στην διαμόρφωση πλάτους η πληροφορία περιέχεται στο πλάτος των χρησιμοποιούμενων κυματομορφών. Στην διαμόρφωση γωνίας μεταβάλλεται η γωνία της ημιτονικής φέρουσας κυματομορφής, σύμφωνα με το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος βασικής ζώνης. Τέλος, στην διαμόρφωση συχνότητας, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση της διαμόρφωσης γωνίας, η πληροφορία περιέχεται στις συχνότητες της κυματομορφής, δηλαδή το πλάτος του φέροντος σήματος διατηρείται σταθερό, ενώ η συχνότητά του μεταβάλλεται με βάση το διαμορφώνον σήμα πληροφορίας. Η διαμόρφωση FM είναι η πιο διαδεδομένη αναλογική τεχνική διαμόρφωσης (κυρίως στα κινητά ασύρματα συστήματα επικοινωνιών), αφού έχει καλύτερη συμπεριφορά στον θόρυβο, έχει την δυνατότητα ανταλλαγής μεταξύ εύρους ζώνης και βελτιωμένης απόδοσης σε συνθήκες θορύβου, δίνει σήμα με σταθερό πλάτος (γεγονός που επιτρέπει την αποδοτική ενίσχυση του και οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας σε σχέση με την AM) και τέλος είναι πιο ανθεκτική σε παρεμβολές γειτονικών καναλιών. Παρόλα αυτά η FM απαιτεί μεγαλύτερη ζώνη συχνοτήτων από την AM και επίσης, τόσο οι πομποί όσο και οι δέκτες FM είναι περισσότερο πολύπλοκοι από τους AM.

Στην ψηφιακή διαμόρφωση, όπως και στην αναλογική διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ανάλογα με το αν μεταβάλλεται το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση της φέρουσας, σύμφωνα με τα σύμβολα προς μετάδοση. Οι τρεις μέθοδοι διαμόρφωσης είναι η Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude-Shift Keying – ASK), όπου το πλάτος της φέρουσας μεταβάλλεται ανάλογα με το σύμβολο, η Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας (Frequency-Shift Keying – FSK), όπου η συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με το σύμβολο και τέλος, η Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (Phase-Shift Keying – PSK) όπου η φάση του φέροντος σήματος μεταβάλλεται με το σύμβολο.

Οι ψηφιακές τεχνικές διαμόρφωσης χωρίζονται περαιτέρω σε γραμμικές και μη-γραμμικές. Στις γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος αλλάζει γραμμικά με το διαμορφώνον σήμα. Οι τεχνικές αυτές είναι αποδοτικές ως προς το εύρος ζώνης και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συχνά στα ασύρματα συστήματα. Οι πιο διαδεδομένες γραμμικές τεχνικές είναι οι QPSK, OQPSK και  $\pi/4$  QPSK. Αντίθετα οι μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης διατηρούν το πλάτος της φέρουσας σταθερό ανεξάρτητα από τις μεταβολές στο διαμορφώνον σήμα. Αυτές οι τεχνικές έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν την χρήση αποδοτικών ενισχυτών χωρίς να αυξάνεται το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το μεταδιδόμενο σήμα, μπορούν να πετυχαίνουν χαμηλή εκτός εύρους ακτινοβολία ενέργειας και με κατάλληλο σχεδιασμό του δέκτη εξασφαλίζουν υψηλή ανοσία στο θόρυβο και σε διακυμάνσεις του σήματος. Ωστόσο, οι μη-γραμμικές μέθοδοι έχουν το μεγάλο μειονέκτημα ότι καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης, γεγονός αποτρεπτικό σε πολλές εφαρμογές με περιορισμένο εύρος ζώνης. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων τεχνικών διαμόρφωσης είναι η BFSK και η MSK. Τέλος, υπάρχουν και συνδιασμοί γραμμικών και μη-γραμμικών τεχνικών, όπως η M-QAM.

## 2.9 ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΗ

Πέρα από τις διάφορες μορφές θορύβου ένα κανάλι μπορεί να προκαλέσει διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference – ISI). Αυτό σημαίνει ότι τα μεταδιδόμενα σύμβολα μπλέκονται μεταξύ τους και καθένα από αυτά επηρεάζεται από τα προηγούμενα και από τα επόμενά του. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα ασύρματα συστήματα, εξαιτίας του φαινομένου του multipath. Συνήθως για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται ανάμεσα στον αποδιαμορφωτή και στον αποκωδικοποιητή του καναλιού μια διάταξη, που ονομάζεται ισοσταθμιστής (equalizer). Η διάταξη αυτή επεξεργάζεται το λαμβανόμενο σήμα, ώστε να ακυρώσει το ανακάτεμα των συμβόλων που προκλήθηκε λόγω του καναλιού. Στα ασύρματα συστήματα ο ισοσταθμιστής πρέπει να είναι προσαρμοστικός, αφού το ασύρματο κανάλι μεταβάλλεται με τον χρόνο.

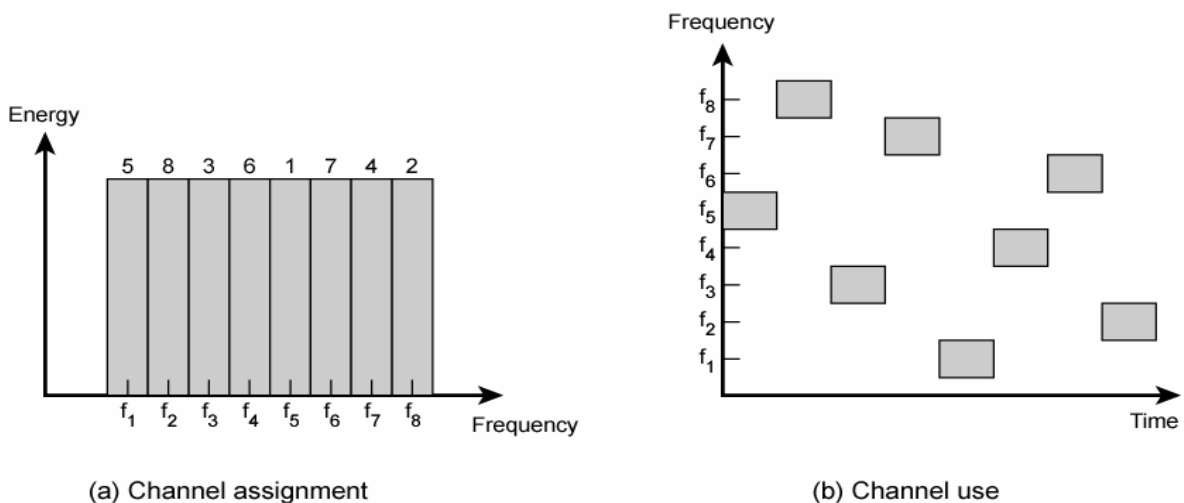
### 3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Μια ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούμενη τεχνική στις ασύρματες επικοινωνίες είναι η τεχνική της εξάπλωσης φάσματος (spread spectrum). Σχεδόν όλα τα σύγχρονα πρωτόκολλα (συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων) ασύρματης δικτύωσης χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνική (π.χ. 802.11, 802.16). Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε αρχικά για στρατιωτική χρήση, αφού δυσκολεύει την υποκλοπή των μεταδιδόμενων πληροφοριών και είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στις παρεμβολές. Σύντομα όμως, χάρη στα πλεονεκτήματά του άρχισε να χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα ασύρματων επικοινωνιών και ιδιαίτερα στις ζώνες ISM, όπου είναι πολύ συχνό φαινόμενο οι παρεμβολές. Οι τεχνικές spread spectrum μπορούν να θεωρηθούν τόσο ως τεχνικές διαμόρφωσης, όσο και ως τεχνικές πολύπλεξης. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε μερικές από τις πλέον συνηθισμένες τεχνικές εξάπλωσης φάσματος.

#### 3.1 FREQUENCY-HOPPING SPREAD SPECTRUM (FHSS)

Η τεχνική Εξάπλωσης Σφάλματος με Συνεχή Αλλαγή Συχνότητας (Frequency-Hopping Spread Spectrum – FHSS) είναι η πιο εύκολη στην υλοποίηση τεχνική. Στην FHSS ο πομπός σε τακτά χρονικά διαστήματα αλλάζει συχνότητα μετάδοσης. Για την μετάβαση από συχνότητα σε συχνότητα χρησιμοποιείται μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών με όλους τους σταθμούς να χρησιμοποιούν το ίδιο φύτρο (seed) και τα ίδια χρονικά διαστήματα παραμονής σε κάθε συχνότητα (dwell time). Ο χρόνος παραμονής είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος, θα πρέπει όμως πάντα να παραμένει μικρότερος από 400msec. Ένα τυπικό παράδειγμα FHSS φαίνεται στην Εικόνα 7.

Εικόνα 7. Τυπικό παράδειγμα FHSS.



Πιο τυπικά υπάρχουν  $2^k$  φέρουσες συχνότητες που σχηματίζουν  $2^k$  κανάλια. Η απόσταση μεταξύ δύο φερουσών συχνοτήτων και κατά συνέπεια το πλάτος κάθε καναλιού επιλέγονται σύμφωνα με το εύρος ζώνης του σήματος προς μετάδοση. Ο πομπός εκπέμπει σε ένα μόνο κανάλι κάθε φορά για χρόνο ίσο με το διάστημα παραμονής. Σε αυτό το διάστημα ένας αριθμός από bit εκπέμπεται χρησιμοποιώντας κάποια από τις τεχνικές διαμόρφωσης που αναφέρθηκαν. Η πλέον συνηθισμένη τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με την FHSS είναι η M-FSK, η οποία χρησιμοποιεί  $M = 2^L$  διαφορετικές συχνότητες για να κωδικοποιήσει μια ακολουθία από  $L$  bits. Η ακολουθία των συχνοτήτων καθορίζεται από έναν κώδικα εξάπλωσης (spreading code). Για να μπορεί ο δέκτης να λάβει ό,τι στέλνει ο πομπός θα πρέπει να χρησιμοποιεί τον ίδιο spreading code ώστε να είναι συγχρονισμένος με τον πομπό στις αλλαγές συχνοτήτων. Υπάρχουν δύο συνηθισμένα είδη FHSS ανάλογα με το αν η περίοδος του συμβόλου είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τα διαστήματα παραμονής. Έτσι, σε περίπτωση που η διάρκεια παραμονής είναι μικρότερη από την περίοδο συμβόλου έχουμε Fast FHSS, ενώ στην αντίθετη περίπτωση έχουμε Slow FHSS. Η Fast FHSS έχει μεγαλύτερη αντοχή στον θόρυβο και στις παρεμβολές.

Η FHSS χρησιμοποιεί εύρος φάσματος συχνοτήτων που είναι  $k$  φορές μεγαλύτερο από το εύρος του φάσματος πληροφορίας (όπου  $k$  είναι ο αριθμός των εναλλασσόμενων συχνοτήτων). Αυτό δεν είναι αναγκαστικά μειονέκτημα, αφού επιτρέπει στο ίδιο εύρος φάσματος να εξυπηρετηθούν έως  $k$  χρήστες (ο καθένας με διαφορετική σειρά αλλαγής συχνοτήτων). Επιπρόσθετα, συνήθως το  $k$  είναι αρκετά μεγάλο, δηλαδή το εύρος ζώνης των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων είναι πολύ μεγαλύτερο του εύρους ζώνης κάθε καναλιού. Αυτό σημαίνει ότι για να παρεμβληθεί κάποιος σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί FHSS θα πρέπει να εκπέμπει στο σύνολο του εύρους ζώνης με μία σταθερή ισχύ, κάτι το οποίο εξηγεί γιατί τα συστήματα που χρησιμοποιούν FHSS είναι ανθεκτικά στις παρεμβολές.

### **3.2 DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM (DSSS)**

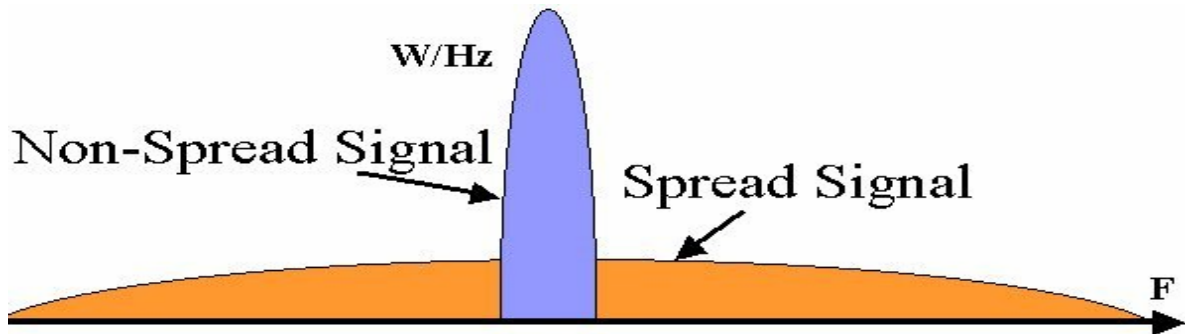
Η δεύτερη πιο συνηθισμένη μορφή εξάπλωσης σφάλματος είναι η εξάπλωση φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS), η οποία εξαπλώνει το σήμα σε μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων (Εικόνα 8). Η εξάπλωση γίνεται σύμφωνα με έναν spreading code, ο οποίος εξαπλώνει το σήμα ανάλογα με τον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται.

Μία τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά είναι να συνδιάζονται τα bit του σήματος εισόδου με την ακολουθία των bit του spreading code χρησιμοποιώντας την πράξη XOR. Με αυτή την μέθοδο κάθε bit με την τιμή 1 στην ακολουθία εισόδου αντιστρέφει τον spreading code, ενώ κάθε bit με τιμή 0 τον αφήνει όπως είναι. Κατά συνέπεια το πραγματικό εκπεμπόμενο σήμα έχει το εύρος ζώνης του spreading code, το οποίο είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης που απαιτούσε το σήμα εισόδου. Μία παραλλαγή του DSSS είναι το



High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS) το οποίο χρησιμοποιείται από το ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο 802.11 .

Εικόνα 8. Απεικόνιση της ιδέας του DSSS.



### 3.3 CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA)

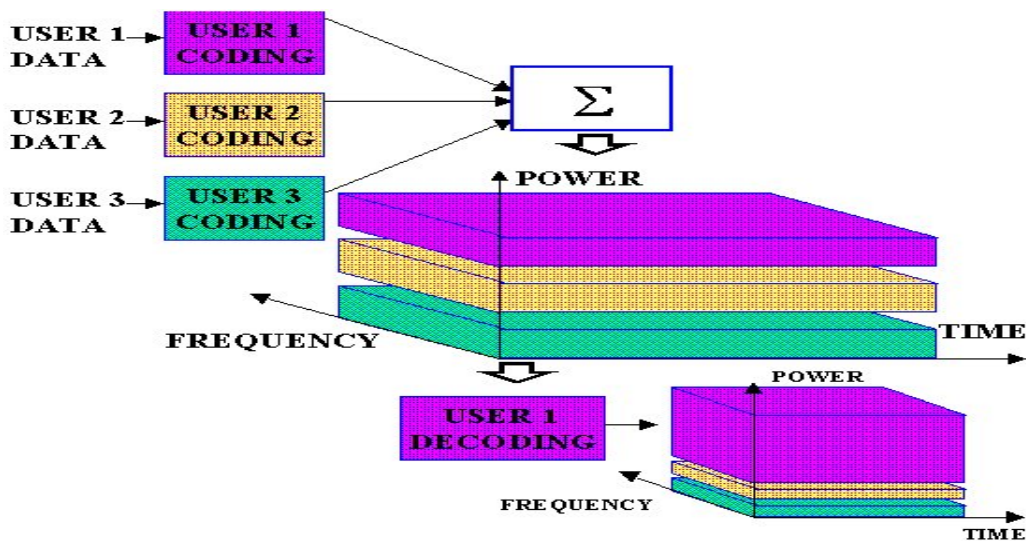
Η μέθοδος της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με την DSSS και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, ιδιαίτερα στα κινητά συστήματα επικοινωνιών (χρησιμοποιείται σε κάποια συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς και αναμένεται να πρωταγωνιστήσει στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς). Η CDMA βασίζεται στην υπόθεση ότι τα πλαίσια που παρουσιάζουν διένεξη (δηλαδή που αλληλοπαρεμβάλλονται) δεν αλλοιώνονται ολοκληρωτικά, αλλά αντίθετα ότι τυχόν πολλαπλά σήματα προστίθενται γραμμικά.

Έτσι, σε κάθε bit προς αποστολή διαιρείται σε  $m$  σύντομα διαστήματα που ονομάζονται θραύσματα (chips). Σε κάθε πομπό εκχωρείται ένας κωδικός των  $m$  bit, ο οποίος ονομάζεται ακολουθία θραυσμάτων (chip sequence). Για να μεταδώσει το bit 1 ο σταθμός στέλνει την ακολουθία θραυσμάτων του, ενώ για να μεταδώσει το bit 0 στέλνει το συμπλήρωμα ως προς 1 της ακολουθίας θραυσμάτων του. Προφανώς, σύμφωνα με τα παραπάνω η χρήση CDMA απαιτεί την αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης κατά έναν παράγοντα  $m$  και αυτός είναι και ο λόγος που θεωρείται τεχνική εξάπλωσης φάσματος. Για να ανακτήσει ο δέκτης την ακολουθία των bit που έστειλε ο πομπός θα πρέπει να γνωρίζει προκαταβολικά την ακολουθία θραυσμάτων του. Η ιδέα του CDMA φαίνεται παραστατικά στην Εικόνα 9 που ακολουθεί.

Στο CDMA ο πομπός και ο δέκτης θα πρέπει να είναι συγχρονισμένοι, κάτι που στην πράξη είναι αδύνατο. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι ο πομπός να μεταδίδει μια μεγάλη ακολουθία θραυσμάτων, επιτρέποντας έτσι στον δέκτη να συγχρονιστεί. Σε περίπτωση που πομπός και δέκτης είναι συγχρονισμένοι οι μεταδόσεις των άλλων σταθμών παρουσιάζονται σαν ένας τυχαίος θόρυβος, που όμως αν ο αριθμός των πομπών είναι μεγάλος ή η ισχύς εκπομπής του πομπού είναι σχετικά μικρή μπορεί να αποτρέψουν την

ορθή λήψη της εκπεμπόμενης ακολουθίας θραυσμάτων από τον δέκτη. Για τον λόγο αυτό, συνήθως η CDMA χρησιμοποιείται σε ασύρματα συστήματα με ένα σταθερό σταθμό βάσης και πολλούς κινητούς σταθμούς σε διάφορες αποστάσεις από τις βάσεις (π.χ. κινητή τηλεφωνία), όπου κάθε πομπός στέλνει μόνο στον σταθμό βάσης και κάθε δέκτης λαμβάνει μόνο από τον σταθμό βάσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο κάθε πομπός μπορεί να ρυθμίζει την ισχύ του ανάλογα με την απόσταση του από τον σταθμό βάσης, ή και ακόμα ο σταθμός βάσης να καθορίζει την ισχύ εκπομπής κάθε πομπού, ώστε να αποφεύγονται οι αλληλοεπικαλύψεις.

Εικόνα 9. Τρόπος λειτουργίας του CDMA.



### 3.4 ΛΟΓΟΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Οι τεχνικές spread spectrum έχουν ένα σύνολο από πλεονεκτήματα τα οποία τις καθιστούν ιδανικές για χρήση σε ασύρματα συστήματα επικοινωνιών. Συγκεκριμένα :

- 1) Παρουσιάζουν ανοχή σε παρεμβολές διαφωνίας (crosstalk interference).
- 2) Είναι ανθεκτικά στο θόρυβο και κατά συνέπεια παρουσιάζουν μικρό ρυθμό σφαλμάτων bit (BER) και εξαιτίας της ψηφιακής φύσης τους ελαχιστοποιούν την παρουσία στατικού ηλεκτρισμού (συνηθισμένο φαινόμενο στα αναλογικά συστήματα).

- 3) Οι επιδόσεις τους δεν επηρεάζονται σημαντικά από το φαινόμενο του multipath fading, αλλά αντίθετα με χρήση κάποιων τεχνικών (Rake) μπορεί να το χρησιμοποιήσει για να ισχυροποιήσει το λαμβανόμενο σήμα.
- 4) Είναι κατεξοχήν ασφαλή συστήματα, αφού για να μπορέσει ο δέκτης να λάβει το εκπεμπόμενο σήμα θα πρέπει στην περίπτωση του FHSS να γνωρίζει την ακολουθία αλλαγής συχνοτήτων του πομπού και τον χρόνο παραμονής του σε κάθε συχνότητα, ενώ στα DSSS και CDMA θα πρέπει να γνωρίζει τον κωδικό που αυτός χρησιμοποιεί. Επιπρόσθετα, χάρη στα παραπάνω είναι δύσκολο να ανιχνευθούν (αφού η ισχύς εκπομπής σε κάθε συχνότητα είναι περιορισμένη και μπορεί να θεωρηθεί ως τυχαίος θόρυβος) και δύσκολο να εμποδιστεί η λειτουργία τους, αφού ο παρεμβολέας θα πρέπει να εκπέμπει στο σύνολο των συχνοτήτων με αρκετά μεγάλη ισχύ.
- 5) Είναι ιδανικά για χρήση σε κορεσμένα φάσματα συχνοτήτων (π.χ. στις ISM ζώνες) αφού δημιουργούν περιορισμένες παρεμβολές σε άλλα συστήματα που τυχόν λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες.
- 6) Μπορούν να λειτουργούν σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, αφού υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της χρησιμοποιούμενης ισχύος, δεδομένου ότι δεν δημιουργούν παρεμβολές στα άλλα συστήματα.

Το βασικό μειονέκτημα των μεθόδων spread spectrum είναι όπως αναφέρθηκε ήδη το μεγάλο εύρος ζώνης (σε σχέση με το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος πληροφορίας) που απαιτούν, το οποίο όμως, όπως επίσης αναφέρθηκε, μπορεί να ισοσταθμιστεί από την δυνατότητα υποστήριξης πολλών χρηστών ταυτόχρονα στο ίδιο φάσμα. Ένα, επιπρόσθετο μειονέκτημα είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα υλοποίησης των πομποδεκτών, η οποία ευτυχώς χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας και των ψηφιακών επεξεργαστών σήματος μπορεί να αγνοηθεί.

## 4 ΔΙΚΤΥΑΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε μερικά σημαντικά δικτυακά ζητήματα που σχετίζονται με τα ασύρματα δίκτυα. Καταρχήν πρέπει να αναφέρουμε ότι η στοίβα πρωτοκόλλων που έχει επικρατήσει και χρησιμοποιείται σήμερα από τα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς όλων σχεδόν των δικτύων είναι η TCP/IP, κυρίως χάρη στην ανάπτυξη του Internet. Επομένως, στην συνέχεια θα αναλύσουμε μερικά ζητήματα που σχετίζονται με την χρήση του TCP/IP στα ασύρματα δίκτυα, καθώς και θέματα σχετικά με την δρομολόγηση και τους δύο πλέον διαδεδομένους τρόπους λειτουργίας των ασύρματων δικτύων (κυβελικά και ad-hoc ασύρματα δίκτυα). Στο τέλος θα αναφερθούμε στα κυριότερα προβλήματα ασφαλείας που προκύπτουν στα ασύρματα δίκτυα, καθώς και σε θέματα παροχής ποιότητας υπηρεσιών (QoS) σε αυτά.

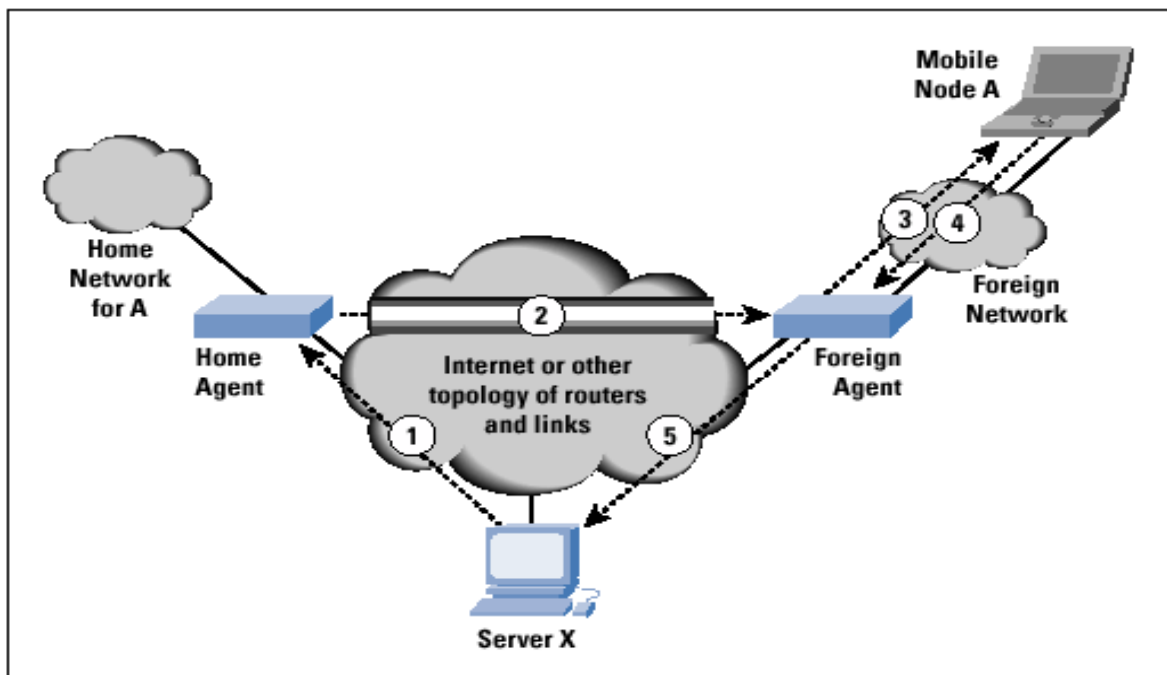
### 4.1 ΦΟΡΗΤΟ IP

Για να μπορεί κάθε χρήστης που συνδέεται σε ένα δίκτυο να χρησιμοποιεί συνδεομοστρεφείς υπηρεσίες (π.χ. TCP) πρέπει να χρησιμοποιεί διαρκώς μια σταθερή διεύθυνση IP. Η διεύθυνση IP όμως, πρέπει να αντιπροσωπεύει κάθε φορά το επικοινωνιακό μέσο που χρησιμοποιείται κάθε φορά, καθώς και το σημείο που βρίσκεται ο χρήστης. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δρομολογητές δεν χρησιμοποιούν ολόκληρη την διεύθυνση IP (αφού κάτι τέτοιο θα απαιτούσε οι δρομολογητές να έχουν αποθηκευμένους και να διαχειρίζονται τεράστιους πίνακες δρομολόγησης), αλλά μόνο κάποιο τμήμα της που καθορίζει το δίκτυο στο οποίο ανήκει. Κατά συνέπεια, κάθε φορά που κάποιο τερματικό μετακινείται σε διαφορετικό δίκτυο ανατίθεται σε αυτό μια διαφορετική διεύθυνση, που αντιστοιχεί στο νέο δίκτυο. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στα ασύρματα συστήματα και κυρίως στα κινητά δίκτυα, τα οποία είναι από την φύση τους δυναμικά και στα οποία τα τερματικά μπορούν να μετακινούνται από δίκτυο σε δίκτυο συνεχώς. Με βάση την κινητικότητα των τερματικών, μπορούμε να τους κατατάξουμε σε στάσιμους (stationary), που είναι οι υπολογιστές που δεν μετακινούνται ποτέ, σε αποδημιτικούς (migratory), που είναι συνήθως φορητοί υπολογιστές, που είναι κατά βάση στάσιμοι, αλλά μετακινούνται από μια σταθερή τοποθεσία σε μια άλλη από καιρό σε καιρό και η τελευταία κατηγορία είναι οι περιπλανώμενοι (roaming) που είναι υπολογιστές που λειτουργούν εν κινήσει και θέλουν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς μετακινούνται (π.χ. PDA). Οι migratory και roaming υπολογιστές αναφέρονται συχνά και ως κινητοί υπολογιστές υπηρεσίας (mobile hosts).

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος αναπτύχθηκε το φορητό IP (mobile IP), το οποίο είναι ένας μηχανισμός για να υποστηρίξει ξεκάθαρη δικτυακή συνδεσιμότητα στους κινητούς σταθμούς. Το φορητό IP επιτρέπει στον κινητό σταθμό να διευθυνσιοδοτηθεί από την διεύθυνση IP που χρησιμοποιείται στο δικό του δίκτυο (home IP address), ανεξάρτητα από το δίκτυο στο οποίο τη συγκεκριμένη είναι υλικά προσαρτημένο.

Κάθε δίκτυο που θέλει να επιτρέψει στους χρήστες του να «περιπλανιούνται» πρέπει να εγκαταστήσει έναν οικείο πράκτορα (home agent). Κάθε δίκτυο που θέλει να επιτρέψει επισκέπτες πρέπει να εγκαταστήσει έναν ξένο πράκτορα (foreign agent). Η λειτουργία κάθε ξένου πράκτορα είναι να παρακολουθεί όλους τους κινητούς υπολογιστές υπηρεσίας που συνδέονται στο δίκτυο αυτό, ενώ η λειτουργία κάθε οικείου πράκτορα είναι να παρακολουθεί όλους τους κινητούς υπολογιστές υπηρεσίας που ανήκουν στο «οικείο» δίκτυο, αλλά έχουν «μετακομίσει» σε κάποιο άλλο δίκτυο. Όταν ένας κινητός υπολογιστής υπηρεσίας συνδεθεί σε ένα ξένο δίκτυο, επικοινωνεί με τον εκεί ξένο πράκτορα και εγγράφεται σε αυτόν. Ο ξένος πράκτορας επικοινωνεί τότε με τον οικείο πράκτορα του χρήστη δίνοντας του μια διεύθυνση επιμέλειας (care-of address), συνήθως με την διεύθυνση IP του ίδιου του ξένου πράκτορα (Εικόνα 10). Όταν φτάνει ένα πακέτο στο οικείο LAN του χρήστη, σταματάει σε κάποιον δρομολογητή συνδεδεμένο στο LAN. Όταν ο δρομολογητής προσπαθήσει να επικοινωνήσει με τον «μετανάστη» κινητό υπολογιστή υπηρεσίας (χρησιμοποιώντας ένα πακέτο ARP), θα απαντήσει αντί αυτού ο οικείος πράκτορας, παραλαμβάνοντας αυτός το πακέτο. Στην συνέχεια ο οικείος πράκτορας θα ενσωματώσει ολόκληρο το πακέτο στο ωφέλιμο φορτίο ενός πακέτου IP, το οποίο και στείλει μέσω σύραγγας στην διεύθυνση επιμέλειας. Επιπρόσθετα, ο οικείος πράκτορας θα ενημερώσει τον αποστολέα του πακέτου για την διεύθυνση επιμέλειας, ώστε τυχόν επόμενα πακέτα που θα στείλει να μην χρειαστεί να κάνουν παρακάμψεις.

Εικόνα 10. Σχηματική παράσταση του τρόπου λειτουργίας του mobile IP.



Μερικές φορές ο ίδιος ο κινητός υπολογιστής υπηρεσίας γίνεται ξένος πράκτορας του εαυτού του, γεγονός όμως που συνεπάγεται ότι ο «επισκέπτης» υπολογιστής θα πρέπει να λάβει μία από τις IP διευθύνσεις του δικτύου στο οποίο συνδέεται και επιπρόσθετα, ότι θα πρέπει πιθανόν να αποθυλακώνει όλα τα IP πακέτα που λαμβάνει (με ότι αυτό

συνεπάγεται π.χ. στην περίπτωση που το δίκτυο στο οποίο συνδέεται είναι 802.x). Τέλος, το φορητό IP εισάγει και κάποια πρόσθετα ζητήματα ασφαλείας (π.χ. ένας οικείος πράκτορας να λάβει μήνυμα από έναν υποκλοπέα να προωθή όλα τα μηνύματα που προορίζονται για κάποια διεύθυνση IP σε αυτόν), τα οποία επιλύονται συνήθως με την χρήση κρυπτογραφικών πρωτοκόλλων πιστοποίησης ταυτότητας.

## 4.2 ΑΣΥΡΜΑΤΟ TCP ΚΑΙ UDP

Θεωρητικά, τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς θα πρέπει να είναι ανεξάρτητα από την τεχνολογία του υποκείμενου επιπέδου δικτύου. Στην πραγματικότητα, όμως, το υποκείμενο δίκτυο έχει σημασία, επειδή οι περισσότερες υλοποιήσεις του TCP έχουν βελτιστοποιηθεί προσεκτικά βασιζόμενες σε υποθέσεις οι οποίες ισχύουν για ενσύρματα συστήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των επιδόσεων των ασυρμάτων συστημάτων.

Ένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα είναι ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης. Στις περισσότερες υλοποιήσεις του TCP οι λήξεις του χρόνου αναμονής (timeouts) προκαλούνται από συμφόρηση και όχι από χαμένα πακέτα. Κατά συνέπεια, όταν λήξει ο χρόνος ανάμνησης, το TCP επιβραδύνει και στέλνει με μικρότερο ρυθμό, προσπαθώντας να μειώσει το φορτίο του δικτύου. Αντίθετα, στα ασύρματα δίκτυα υπάρχουν πολλοί λόγοι πέρα από την συμφόρηση για τους οποίους μπορεί να λήξει ο χρόνος αναμονής. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ως πηγές απώλειας πακέτων τα λάθη λόγω του θορύβου, φαινόμενο πολύ συνηθισμένο στα ασύρματα κανάλια ή απώλειες πακέτων λόγω της μετακίνησης των χρηστών από ένα δίκτυο σε κάποιο άλλο (π.χ. στα κυψελικά δίκτυα). Κατά συνέπεια σε αντίθεση με την περίπτωση των ενσύρματων δικτύων στα ασύρματα δίκτυα συνήθως οι λήξεις του χρόνου αναμονής δεν προκαλούνται εξαιτίας του φόρτου του δικτύου, αλλά εξαιτίας σφαλμάτων και κατά συνέπεια το TCP δεν χρειάζεται να μειώσει τον ρυθμό αποστολής πακέτων, αλλά να ξαναστείλει το δυνατόν συντομότερα το πακέτο. Για να γίνει το παραπάνω πρόβλημα περισσότερο σύνθετο πρέπει να αναφέρουμε ότι συνήθως τα ασύρματα δίκτυα διασυνδέονται με κάποιο ενσύρματο δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι είναι αδύνατο να αλλάξουμε τον τρόπο αντιμετώπισης των timeouts από το TCP, αφού κάτι τέτοιο θα δημιουργούσε πρόβλημα στο ενσύρματο δίκτυο.

Συνήθως για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιούνται δύο λύσεις. Η πρώτη από αυτές είναι το έμμεσο TCP (Indirect TCP – I-TCP), σύμφωνα με το οποίο η σύνδεση TCP σπάει σε δύο (ή περισσότερα αν είναι απαραίτητο) κομμάτια στο όριο μεταξύ του ασύρματου και του ενσύρματου τμήματος του διαδικτύου. Αυτό το σπάσιμο είναι δυνατό στην περίπτωση που η ενδιάμεση συσκευή (π.χ. σταθμός βάσης) μπορεί να διακρίνει τα δύο δίκτυα. Η συσκευή τότε διατηρεί δύο TCP συνδέσεις, μία κατά μήκος του ασύρματου δικτύου και μία κατά μήκος του ενσύρματου, χρησιμοποιώντας διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης στα timeouts κάθε τμήματος. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι ότι παραβιάζει την σημασιολογία του TCP, αφού κάθε μέρος της σύνδεσης είναι μια πλήρης σύνδεση TCP και κατά συνέπεια επιστρέφονται επιβεβαιώσεις κατά μήκος της. Δηλαδή ο αποστολέας ενός μηνύματος σε ένα κυψελικό δίκτυο θα λάβει μια επιβεβαίωση

από τον σταθμό βάσης χωρίς το μήνυμα να έχει παραδοθεί στον παραλήπτη. Η δεύτερη λύση είναι η προσθήκη ενός πράκτορα παρακολούθησης (snoring agent) ο οποίος παρατηρεί και αποθηκεύει τα πακέτα TCP που στέλνονται στο ασύρματο τερματικό, καθώς και τις επιβεβαιώσεις που επιστρέφονται από αυτό. Εάν ο πράκτορας παρακολούθησης παρατηρήσει να στέλνεται ένα πακέτο TCP σε κάποιο ασύρματο σταθμό χωρίς να επιστραφεί μια επιβεβαίωση πριν να λήξει ο (σχετικά μικρός) χρόνος αναμονής του, ο πράκτορας αναμεταδίδει αμέσως το πακέτο, χωρίς να ενημερώσει τον αποστολέα του μηνύματος. Τα αντίγραφα των επιβεβαιώσεων απορρίπτονται από τον πράκτορα για να αποφευχθεί η παρερμηνεία τους ως δείγματα συμφόρησης του δικτύου. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι σε περίπτωση που η ασύρματη σύνδεση είναι αξιόπιστη και ο χρόνος αναμονής του πράκτορα είναι μικρός, μπορεί να έχουμε πολλές άσκοπες αναμεταδόσεις που συνεπάγονται σπατάλη του διαθέσιμου εύρους ζώνης και μπορεί να οδηγήσουν σε συμφόρηση.

Όσον αφορά το UDP, αν και από την φύση του πρέπει να θεωρείται αναξιόπιστο, πολλά προγράμματα το χρησιμοποιούν θεωρώντας ότι θα είναι αρκετά αξιόπιστο (κάτι που συμβαίνει στα ενσύρματα δίκτυα). Αυτό όμως, δεν ισχύει σχεδόν ποτέ στα ασύρματα δίκτυα με αποτελέσματα τέτοια προγράμματα να είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν σε ασύρματα δίκτυα.

### **4.3 Η ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ**

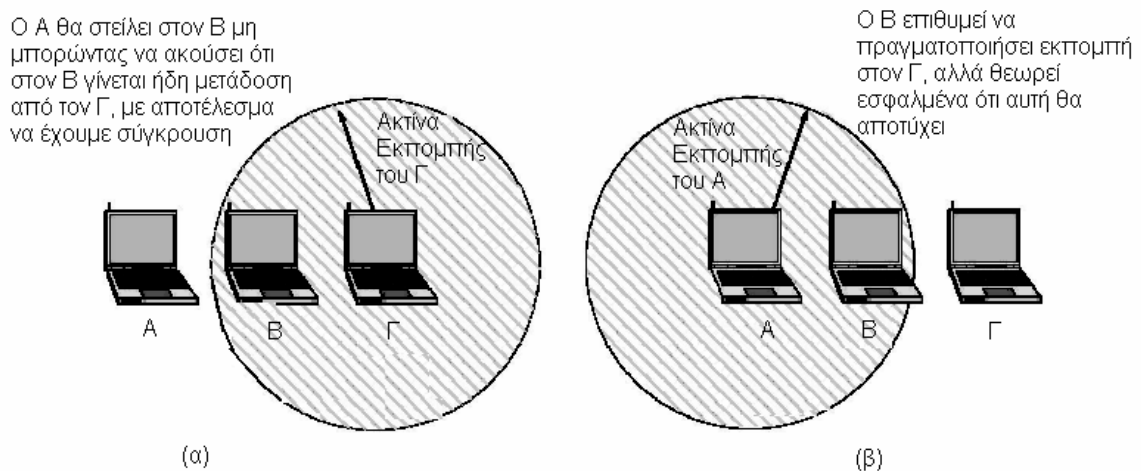
Τα ασύρματα δίκτυα είναι από την φύση τους δίκτυα εκπομπής. Κάθε κόμβος έχει μία ακτίνα εκπομπής και κάθε άλλος κόμβος που βρίσκεται εντός της μπορεί να «ακούει» τις μεταδόσεις του. Αν δύο κόμβοι μεταδώσουν ταυτόχρονα θα υπάρξει σύγκρουση και το σήμα που θα προκύψει θα είναι συνήθως παραμορφωμένο. Επομένως, είναι απαραίτητο τα ασύρματα δίκτυα να έχουν ένα μηχανισμό διαιτησίας της προσπέλασης στο μέσο (MAC). Για ενσύρματα δίκτυα υπάρχουν πολλοί διαθέσιμοι αλγόριθμοι που ελέγχουν την προσπέλαση στο κοινό μέσο, όπως για παράδειγμα ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το Ethernet (CSMA/CD και δυαδική εκθετική οπισθοχώρηση), οι οποίοι όμως, δυστυχώς, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ασύρματα δίκτυα.

Ο λόγος που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κλασικές τεχνικές των ενσύρματων δικτύων είναι το γεγονός ότι στα ασύρματα δίκτυα δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα ανίχνευσης φέροντος (carrier sense protocols). Αυτό συμβαίνει επειδή είναι δυνατόν δύο διαφορετικοί κόμβοι, έστω Α και Γ, να μην μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους (π.χ. λόγω μεγάλης απόστασης μεταξύ τους), αλλά να μπορούν και οι δύο να επικοινωνήσουν με έναν τρίτο, έστω Β (π.χ. ο τρίτος σταθμός βρίσκεται στο μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο πρώτων). Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα σε περίπτωση που ο Α και ο Γ θέλουν να στείλουν στον Β, να εκτελούν ανίχνευση φέροντος και επειδή δεν θα ανιχνεύουν κάποια μετάδοση (αφού καθένας από τους Α και Γ δεν βρίσκεται εντός της ακτίνας εκπομπής του άλλου) να στέλνουν και οι δύο στον Β, με αποτέλεσμα την σύγκρουση, την οποία ο Α και ο Γ δεν θα καταλάβουν. Το πρόβλημα αυτό που παρουσιάζεται όταν ένας σταθμός δεν μπορεί να εντοπίσει την παρουσία ενός δυνητικού

ανταγωνιστή για το κοινό μέσον επειδή ο ανταγωνιστής βρίσκεται πολύ μακριά ονομάζεται πρόβλημα του κρυφού κόμβου (hidden node problem).

Το αντίθετο πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί όταν ο Β προσπαθήσει να μεταδώσει στον Γ, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται μια μετάδοση από τον Α στον Β. Ο Β θα ανιχνεύσει την μετάδοση του Α και δεν θα εκπέμψει στον Γ, παρότι στην πραγματικότητα δεν θα υπάρξει σύγκρουση. Αυτό το πρόβλημα ονομάζεται πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου (exposed node problem). Παραδείγματα του προβλήματος του κρυμμένου και του εκτεθειμένου κόμβου φαίνονται στην Εικόνα 11. Το βασικό πρόβλημα της ανίχνευσης φέροντος είναι ότι, πριν ξεκινήσει την μετάδοσή του ένας σταθμός θέλει να ξέρει αν υπάρχει δραστηριότητα γύρω από τον παραλήπτη. Το CSMA, όμως, μπορεί να μας πληροφορήσει για τον αν υπάρχει δραστηριότητα γύρω από το σταθμό που ανιχνεύει το φέρον σήμα. Παρόλα αυτά σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και η ανίχνευση των μεταδόσεων που γίνονται από γειτονικούς σταθμούς μπορεί να συμβάλλει στην αποφυγή πολλών συγκρούσεων και για αυτό το λόγο συχνά χρησιμοποιείται. Τέλος, η ανίχνευση των συγκρούσεων είναι τις περισσότερες φορές αδύνατη από έναν σταθμό που μεταδίδει. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανίχνευση συγκρούσεων θα απαιτούσε την ταυτόχρονη λειτουργία ενός πομπού και ενός δέκτη σε έναν κόμβο, κάτι το οποίο συνήθως δεν είναι δυνατόν για τους κινητούς κόμβους ενός ασύρματου δικτύου εξαιτίας της αύξησης του μεγέθους, της κατανάλωσης ισχύος και του κόστους που κάτι τέτοιο θα επέφερε.

Εικόνα 11. (α) το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου και (β) το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου.



Επομένως, σε ένα ασύρματο σύστημα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε τεχνικές πολυπλεξίας, όπως TDMA, FDMA ή CDMA είτε κάποιο πρωτόκολλο κρατήσεων (reservation protocols). Επίσης, είναι δυνατό κάθε χρήστης που εκπέμπει να εκπέμπει ταυτόχρονα και ένα σήμα κατηλειμένου (π.χ. σε ένα κοινόχρηστο κανάλι) το οποίο αποτρέπει όλους τους υπόλοιπους κόμβους να εκπέμψουν (π.χ. κάθε κόμβος ακούει το κοινόχρηστο κανάλι, σε περίπτωση που δεν ακούσει σήμα κατηλειμένου, εκπέμπει ένα σήμα κατηλειμένου και στην συνέχεια στέλνει τα δεδομένα του). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τεχνικές κρατήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην περίπτωση που υπάρχει κάποιος συντονιστής στο σύστημα, ενώ απαιτεί, όπως και το TDMA, συγχρονισμό, κάτι

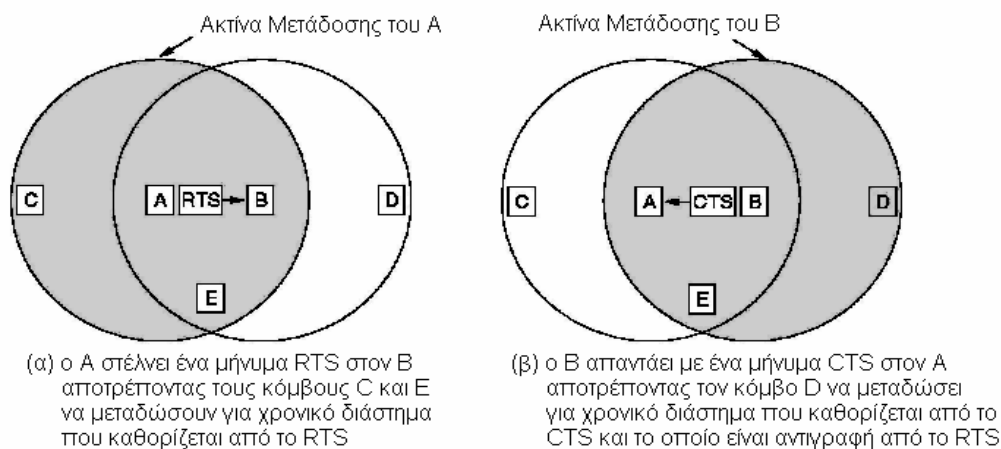


το οποίο είναι εγγενώς δύσκολο ακόμα και για ενσύρματα συστήματα. Συνήθως, το πρωτόκολλο δρομολόγησης εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του δικτύου και κυρίως από το αν υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός βάσης ή όχι. Σε επόμενες ενότητες θα εξεταστούν οι δύο βασικότερες αρχιτεκτονικές δικτύων, τα κυψελικά και τα ad hoc δίκτυα.

Ένα πολύ χρήσιμο πρωτόκολλο δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα (μια παραλλαγή του οποίου χρησιμοποιείται και στο 802.11) είναι το Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless (MACAW). Η βασική ιδέα του πρωτοκόλλου αυτού είναι να αποφεύγονται οι συγκρούσεις με την ανταλλαγή μικρών πλαισίων ελέγχου μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη πριν την αποστολή των δεδομένων, ώστε να ενημερώνονται όλοι οι κόμβοι εντός της εμβέλειας του παραλήπτη για την επερχόμενη εκπομπή.

Συγκεκριμένα, όταν ένας χρήστης A θέλει να στείλει δεδομένα σε έναν χρήστη B, ξεκινάει στέλνοντας ένα πλαίσιο αίτησης αποστολής (Request To Send – RTS) στον B. Το πλαίσιο RTS περιέχει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους υπόλοιπους κόμβους, οι οποίοι είναι εντός της εμβέλειας του A, για να καθορίσουν τον χρόνο που θα πάρει η αποστολή δεδομένων από τον A στον B και κατά συνέπεια τον χρόνο που θα πρέπει να μείνουν «σιωπηλοί». Όταν ο B λάβει το RTS απαντάει με ένα πλαίσιο έγκρισης αποστολής (Clear To Send – CTS), το οποίο περιέχει τις ίδιες πληροφορίες με το RTS και το οποίο χρησιμοποιείται για να αποτρέψει τους κόμβους που βρίσκονται εντός της εμβέλειας του B να εκπέμψουν. Ένα παράδειγμα του τρόπου λειτουργίας του MACAW φαίνεται στην Εικόνα 12 που ακολουθεί.

Εικόνα 12. Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του MACAW.



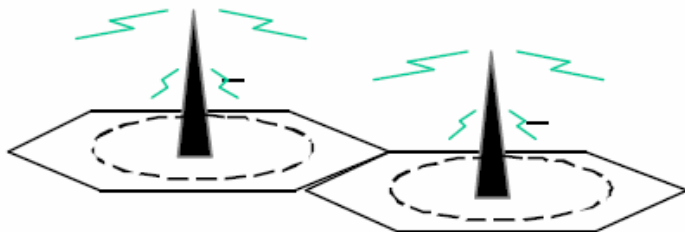
#### 4.4 ΚΥΨΕΛΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τα κυψελικά δίκτυα (cellular networks) χρησιμοποιούνται κυρίως σήμερα από τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, καθώς και από διάφορα συστήματα που σχετίζονται με

την μετάδοση φωνής. Το γεγονός αυτό αναμένεται να αλλάξει χάρη και στην έλευση της κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς που θα υποστηρίξει και μετάδοση δεδομένων υψηλού ρυθμού. Άλλωστε τα ήδη υπάρχοντα συστήματα υποστηρίζουν συνήθως την μετάδοση σύντομων μηνυμάτων δεδομένων (π.χ. SMS, MMS ή ακόμα και μεταφορά υπερκειμένου με χρήση WAP ή i-mode). Πρέπει να σημειωθεί ότι και το IEEE 802.11, όταν λειτουργεί σε infrastructure mode, είναι ουσιαστικά ένα κυψελικό δίκτυο.

Στα κυψελικά δίκτυα ο χώρος κάλυψης χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, τα οποία ονομάζονται κυψέλες (cells). Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από έναν σταθμό βάσης και κάθε σταθμός που βρίσκεται εντός των ορίων της κυψέλης μπορεί να επικοινωνεί μόνο με τον σταθμό βάσης (βέβαια μπορεί να υπάρχουν και υβριδικές καταστάσεις όπου κάποιος ή όλοι οι σταθμοί μπορεί να επικοινωνούν άμεσα με κάποιους άλλους ή και με έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης) ένα παράδειγμα ενός τέτοιου δικτύου με δύο σταθμούς βάσης φαίνεται στην Εικόνα 13. Σε κάθε σταθμό βάσης εκχωρείται ένα μέρος από το συνολικό φάσμα συχνοτήτων με χρήση κάποιας από τις μεθόδους πολύπλεξης (TDMA, FDMA ή CDMA) που αναφέραμε παραπάνω. Σε γειτονικές κυψέλες ανατίθενται διαφορετικές συχνότητες, ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ γειτονικών σταθμών βάσης. Επιπρόσθετα, κάθε χρήστης που βρίσκεται σε μία κυψέλη χρησιμοποιεί έναν πομπό μικρής ισχύος ώστε να ακούγεται σε μια μικρή μόνο γεωγραφική περιοχή. Τα μεγέθη των κυψελών μπορεί να έχουν διαφορετικά μεγέθη τα οποία μπορεί να κυμαίνονται από μερικές δεκάδες μέτρα (π.χ. ένα γραφείο μιας εταιρείας) μέχρι δεκάδες χιλιόμετρα (π.χ. κυψέλες κινητής τηλεφωνίας σε αγροτικές περιοχές).

Εικόνα 13. Κυψελικό δίκτυο με δύο σταθμούς βάσης.



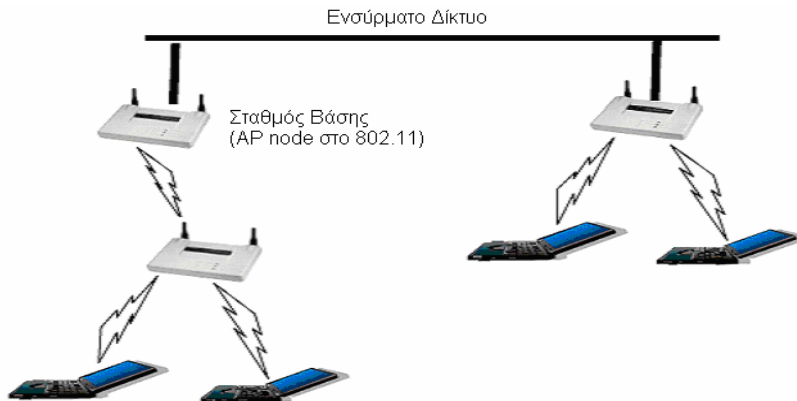
Συχνά, κυρίως στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, οι κυψέλες οργανώνονται έτσι ώστε γειτονικοί σταθμοί βάσης να είναι περίπου ισαπέχουσες, με αποτέλεσμα η μορφή των κυψελών να μπορεί να προσεγγιστεί από εξάγωνα (Εικόνα 14). Κάθε χρήστης προσδιορίζει την κυψέλη στην οποία ανήκει με βάση την ισχύ του σήματος που λαμβάνει από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι είναι πιθανόν ένας χρήστης να μην επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης που βρίσκεται πλησιέστερα σε αυτόν (π.χ. λόγω ύπαρξης φυσικών εμποδίων). Οι σταθμοί βάσης μπορεί να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους είτε με την χρήση ραδιοκυμάτων είτε με την χρήση ενός ενσύρματου δικτύου (π.χ. στην κινητή τηλεφωνία κάθε σταθμός βάσης επικοινωνεί με ένα Mobile Switching Center ή MSC, το οποίο με την σειρά του μπορεί να συνδέεται με το PSTN). Ένα παράδειγμα δομής ενός ασύρματου LAN (802.11) φαίνεται στην

Εικόνα 15.

Εικόνα 14. Πρότυπα διάδοσης ακτινοβολίας σε κυψελικά δίκτυα.



Εικόνα 15. Δομή ενός ασύρματου 802.11 LAN που δουλεύει σε ESS mode.



Ο βασικός λόγος χρήσης κυψελικών δικτύων είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων, που αυτά παρέχουν. Η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι ότι κυψέλες που απέχουν τόσο μεταξύ τους, ώστε να μην δημιουργούνται παρεμβολές, μπορούν να χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες (Εικόνα 16). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δυνατότητα υποστήριξης περισσότερων χρηστών από το δίκτυο, από αυτούς που θα μπορούσε να υποστηρίξει σε περίπτωση που ολόκληρο το φάσμα χρησιμοποιούνταν σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή.

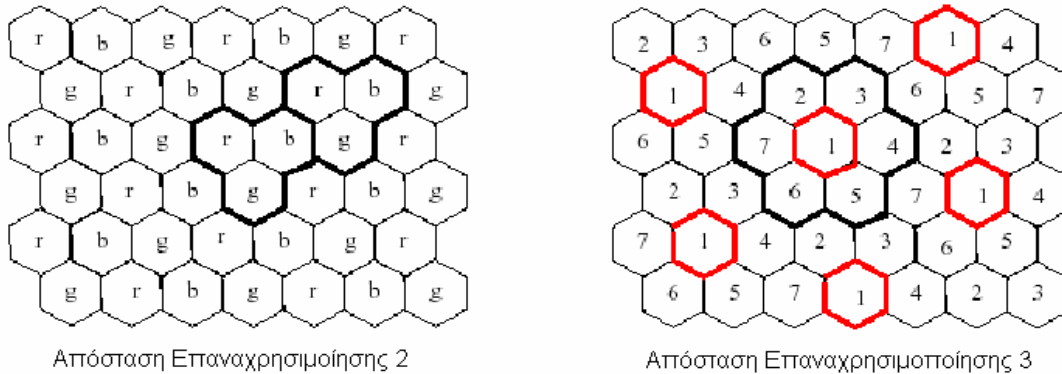
Συγκεκριμένα αν θεωρήσουμε ένα κυψελικό δίκτυο με συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε  $S$  κανάλια και υποθέσουμε ότι ανά  $N$  κυψέλες (cluster) μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν τα ίδια κανάλια χωρίς να δημιουργούνται παρεμβολές τότε ο διαθέσιμος αριθμός καναλιών ανά κυψέλη θα είναι  $k = S/N$ . Αν ένα cluster αντιγραφεί  $M$  φορές μέσα σε ένα δίκτυο ο συνολικός αριθμός καναλιών στο σύστημα θα είναι

$$C = MkN = \Lambda S/N,$$

όπου  $\Lambda = MN$  είναι ο συνολικός αριθμός κυψελών στο σύστημα. Από τον παραπάνω τύπο φαίνεται ότι η χωρητικότητα ενός καναλιού είναι ανάλογη του αριθμού,  $M$ , των φορών

που μια ομάδα συχνοτήτων (καναλιών) ξαναχρησιμοποιείται. Το  $N$  που ονομάζεται μέγεθος του cluster (και τυπικά είναι ίσος με 4, 7 ή 12) καθορίζει το άνω όριο της παρεμβολής μεταξύ των κυψελών και ο αντίστροφός του,  $1/N$  ορίζει τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse factor), ο οποίος αντιπροσωπεύει το ποσοστό του συνόλου των διαθέσιμων συχνοτήτων του συστήματος που ανατίθεται σε κάθε κυψέλη.

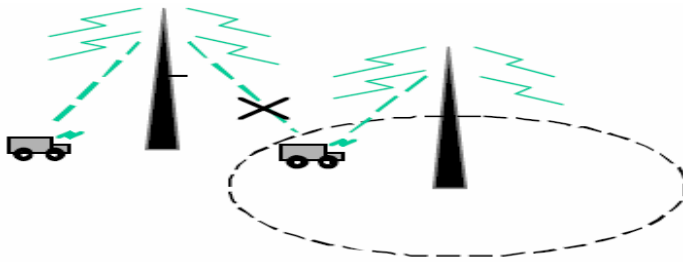
Εικόνα 16. Πρότυπα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων για  $N=3$  και για  $N=7$ .



Οι κυριότερες παρεμβολές που εμφανίζονται σε κυψελικά δίκτυα και οι οποίες καθορίζουν κατά συνέπεια τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι οι παρεμβολές που δημιουργούν χρήστες που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι σε διαφορετικές κυψέλες (co-channel interference) και οι παρεμβολές που δημιουργούν χρήστες που βρίσκονται στην ίδια κυψέλη και χρησιμοποιούν γειτονικά κανάλια (adjacent channel interference). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περιορισμοί χωρητικότητας στα κυψελικά δίκτυα καθορίζονται κυρίως από παρεμβολές και όχι από τον θόρυβο του καναλιού.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα σε κυψελικά δίκτυα είναι η κινητικότητα των χρηστών. Η κινητικότητα των χρηστών δημιουργεί ένα σύνολο από προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Έτσι, το βασικό πρόβλημα που προκύπτει από την κινητικότητα των χρηστών είναι η ανάγκη για αλλαγή του χρησιμοποιούμενου καναλιού, διαδικασία που ονομάζεται handoff ή handover, ενώ συχνά στα ασύρματα LAN λέγεται roaming (Εικόνα 17). Η ανάγκη για αλλαγή καναλιού προκύπτει όταν ένας χρήστης μετακινείται από μία κυψέλη σε μία άλλη, αυτό δεν σημαίνει υποχρεωτικά και γεωγραφική μετακίνηση, αλλά απλώς την μείωση της ισχύς του σήματος του σταθμού βάσης στον οποίο ανήκει ο χρήστης. Με την διαδικασία του handoff η διαχείριση του χρήστη μεταφέρεται από τον ένα σταθμό βάσης σε έναν γειτονικό. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από το handoff είναι η πιθανότητα στην κυψέλη στην οποία θέλει να μεταβεί ο χρήστης να μην υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια, με αποτέλεσμα ο χρήστης να απορριφθεί. Εξαιτίας αυτού και κάποιων άλλων προβλημάτων, τα handoffs θα πρέπει να εκτελούνται επιτυχώς και όσο το δυνατό σπανιότερα.

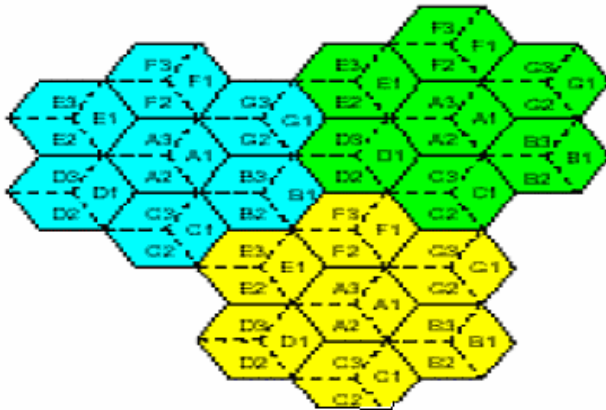
Εικόνα 17. Handoff.



Τα handoffs ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο γίνονται μπορεί να χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα soft και τα hard handoffs. Στο soft handoff ο χρήστης μπορεί να επικοινωνεί κατά το διάστημα της μετάβασης και με τους δύο σταθμούς βάσης με αποτέλεσμα η μετάβαση να γίνεται ομαλά χωρίς διακοπές στην επικοινωνία, έχοντας όμως ως συνέπεια την αυξημένη απαίτηση για κανάλια και άρα την μείωση της απόδοσης του συστήματος. Στο hard handoff η μετάβαση εκτελείται άμεσα χωρίς οποιοδήποτε μεταβατικό στάδιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι διεξάγεται σημαντική έρευνα για το πρόβλημα του handoff και έχουν αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών για την διαχείρισή του. Επιπλέον, στα κυψελικά δίκτυα δεδομένων προκύπτουν συχνά προβλήματα εξαιτίας των αλλαγών της δικτυακής διεύθυνσης των υπολογιστών, προβλήματα που αντιμετωπίζονται με τεχνικές παρόμοιες με αυτή του mobile IP.

Τελειώνοντας, την περιγραφή των κυψελικών δικτύων πρέπει να αναφέρουμε ότι με την χρήση των κυψελικών δικτύων είναι σχετικά απλή η αύξηση του υποστηριζόμενου αριθμού χρηστών. Έτσι, εκτός από τον προφανή τρόπο της αύξησης του διαθέσιμου εύρου ζώνης (αριθμού καναλιών) που χρησιμοποιεί το σύστημα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική δανεισμού συχνοτήτων, σπάσιμο κυψελών ή τμηματοποίηση της κυψέλης. Στην μέθοδο του δανεισμού συχνοτήτων μια κυψέλη δανείζεται συχνότητες από μια γειτονική της σε περίπτωση που όλα τα δικά της είναι απασχολημένα, φροντίζοντας όμως τα δανεισμένα κανάλια να μην πραγματοποιούν παρεμβολές σε γειτονικές κυψέλες. Σπάσιμο κυψελών (cell splitting) μπορούμε να εφαρμόσουμε σε περιοχές με μεγάλη κατανομή χρηστών (π.χ. το κέντρο μιας μεγάλης πόλης). Στην μέθοδο αυτή χωρίζουμε μια μεγάλη κυψέλη σε έναν αριθμό από μικρότερες, μειώνοντας ταυτόχρονα την ισχύς εκπομπής κάθε σταθμού βάσης. Βέβαια, η μέθοδος αυτή έχει σαν συνέπεια την σημαντική αύξηση του κόστους εξαιτίας της ανάγκης αγοράς και της εγκατάστασης των πρόσθετων σταθμών βάσης. Ο τελευταίος τρόπος είναι η τμηματοποίηση της κυψέλης (cell sectoring) στην περίπτωση της οποίας η κεραία του σταθμού βάσης δεν μεταδίδει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, αλλά κατευθύνει το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος της προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση (Εικόνα 18). Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να χωρίσουμε την κυψέλη σε μικρότερα τμήματα, καθένα από τα οποία καλύπτεται από μία κατευθυντική κεραία και κατά συνέπεια να έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων μέσα στην ίδια κυψέλη. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα (και κατά συνέπεια και κόστος) των κεραίων, καθώς και αύξηση των παρεμβολών.

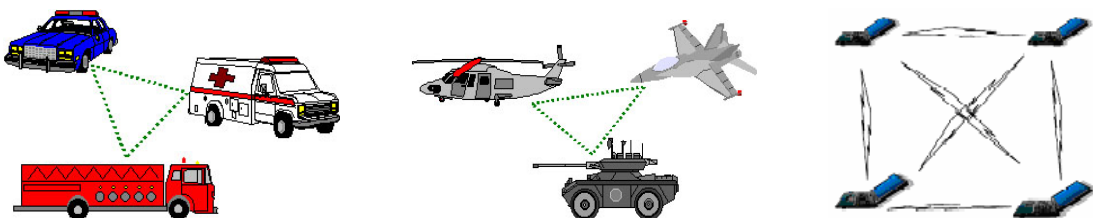
Εικόνα 18. Τμηματοποίηση της κυψέλης (cell sectoring), με χρήση κεραιών που εκπέμπουν σε γωνίες 120°.



#### 4.5 ΑΣΥΡΜΑΤΑ Ad Hoc ΔΙΚΤΥΑ

Τα ασύρματα ad hoc δίκτυα αποτελούνται από κόμβους (σταθμούς) που συνδέονται δυναμικά μεταξύ τους. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν υποθέτουν την ύπαρξη μιας σταθερής υποδομής. Οι κόμβοι ενός ad-hoc δικτύου μπορούν να είναι κινητοί ή σταθεροί με μεταβαλλόμενες ακτίνες μετάδοσης (Εικόνα 19). Τα κινητά ad hoc δίκτυα αναφέρονται συχνά ως Mobile Ad hoc NETWORKS (MANETs). Βασικό χαρακτηριστικό των ad hoc δικτύων είναι ότι οι κόμβοι των δικτύων παίζουν ενεργό ρόλο κατά την δρομολόγηση των πακέτων, προωθώντας εκτός από τα δικά τους πακέτα και τα πακέτα γειτονικών κόμβων. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που ο αποστολέας και ο παραλήπτης ενός πακέτου δεν βρίσκονται εντός της ακτίνας ο ένας του άλλου (ή πιθανόν μόνο ο ένας από τους δύο βρίσκεται εντός της ακτίνας του άλλου).

Εικόνα 19. Παραδείγματα ad hoc δικτύων.



Η σημασία των ad hoc δικτύων είναι πολύ μεγάλη, κυρίως χάρη στην μεγάλη ευκολία και ταχύτητα με την οποία μπορούν να εγκατασταθούν, αφού δεν απαιτούν την ύπαρξη

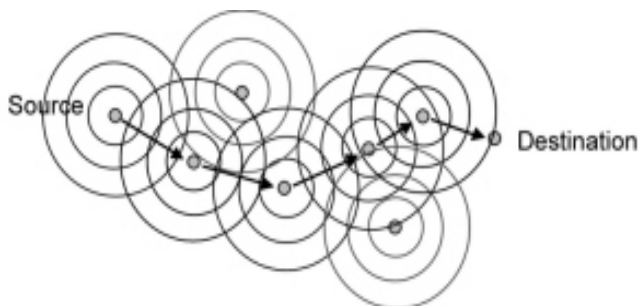
σταθερής υποδομής. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της δυναμικής τους φύσης είναι η εύκολη προσθήκη και απομάκρυνση νέων κόμβων, καθώς και το γεγονός ότι κάθε κόμβος εξαρτάται μόνο από τους γειτονικούς του, με αποτέλεσμα την αυξημένη αξιοπιστία των ad hoc δικτύων. Έτσι, τα ad hoc δίκτυα χρησιμοποιούνται συχνά σε στρατιωτικές εφαρμογές και σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης όπου πρέπει να υπάρχει γρήγορη ανάπτυξη επικοινωνιακού δικτύου με περιορισμένες ή μηδενικές υποδομές σε πιθανόν εχθρικό περιβάλλον (π.χ. σε εχθρική χώρα, σε δάση, στην θάλασσα, σε περιοχές που έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές κ.α.). Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις που υπάρχει άμεση ανάγκη για την παροχή δικτυακών υπηρεσιών χωρίς την ύπαρξη των αναγκαίων υποδομών (π.χ. σε ένα συνέδριο, σε μία συνάντηση εργασίας σε ένα ξενοδοχείο κ.α.).

Τα ad hoc δίκτυα παρουσιάζουν σημαντική ανομοιογένεια, αφού κάθε κόμβος μπορεί να διαφέρει από τους υπόλοιπους σε πολλά χαρακτηριστικά, όπως την υπολογιστική ισχύ, την ακτίνα εκπομπής ή την διάρκεια ζωής των μπαταριών (αν π.χ. είναι ένας φορητός υπολογιστής ή ένας PDA). Επιπλέον, τα διάφορα ad hoc δίκτυα μπορεί να διαφέρουν σε πολλά χαρακτηριστικά τους, όπως τους χρησιμοποιούμενους ρυθμούς επικοινωνίας, στο αν παρέχουν συνδεδεσοστρεφής ή ασυνδεδεσμένες υπηρεσίες, στο αν παρέχουν δυνατότητες broadcast ή multicast, στο αν συνυπάρχουν ή όχι με άλλα δίκτυα τα οποία έχουν κάποια σταθερή υποδομή ή τέλος, αν υποστηρίζουν την κινητικότητα των χρηστών και με τι ρυθμούς.

Σημαντικό ρόλο σε κάθε ad hoc δίκτυο παίζει η ακτίνα μετάδοσης κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα μετάδοσης των κόμβων, τόσο μικρότερος θα είναι ο μέσος αριθμός μεταδόσεων που θα απαιτείται για την αποστολή ενός πακέτου από ένα κόμβο σε κάποιον άλλο. Από την άλλη μεριά η μικρή ακτίνα εκπομπής των κόμβων μειώνει την πιθανότητα συγκρούσεων, καθώς και τις παρεμβολές μεταξύ των κόμβων. Με άλλα λόγια, όσο μικρότερη είναι η ακτίνα εκπομπής, τόσο περισσότερες μεταδόσεις θα μπορούν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Επιπρόσθετα, η ακτίνα μετάδοσης παίζει καθοριστικό ρόλο και στην κατανάλωση ενέργειας κάθε κόμβου, η οποία είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος στα περισσότερα ad hoc δίκτυα και συχνά η σημαντικότερη στα MANET. Έτσι, η ακτίνα μετάδοσης θα πρέπει να επιλέγεται όσο το δυνατό μικρότερη, φροντίζοντας όμως ταυτόχρονα να μην είναι τόσο μικρή που το δίκτυο να παύει να είναι συνεκτικό. Μια καλή επιλογή είναι, συνήθως, να επιλέγεται η ακτίνα μετάδοσης, έτσι ώστε κάθε μετάδοση να «ακούγεται» από περίπου 6 κόμβους.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στα ad hoc δίκτυα είναι η δρομολόγηση (Εικόνα 20). Ο λόγος είναι ότι οι περισσότεροι από τους γνωστούς αλγόριθμους δρομολόγησης έχουν σχεδιαστεί ώστε να λειτουργούν κάτω από συνθήκες οι οποίες είναι πολύ πιο ευνοϊκές από αυτές που ισχύουν σε ασύρματα δίκτυα. Μία από τις βασικότερες ιδιαιτερότητες που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης των ασύρματων δικτύων είναι η κινητικότητα των χρηστών, η οποία αλλάζει πολύ συχνά την τοπολογία του δικτύου, με αποτέλεσμα να απαιτείται πολύ συχνά η κατασκευή νέων διαδρομών. Επιπρόσθετα, εξαιτίας του περιορισμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης στα ασύρματα δίκτυα, απαιτείται ο αριθμός των σχετικών με την δρομολόγηση μηνυμάτων να είναι περιορισμένος. Επίσης, στα ασύρματα δίκτυα το ποσοστό των πακέτων που χάνονται είναι αρκετά υψηλό, τόσο εξαιτίας της αυξημένης πιθανότητας λαθών μετάδοσης, όσο και εξαιτίας της αυξημένης πιθανότητας καταστροφής συνδέσμων (π.χ. εξαιτίας της μετακίνησης ενός κόμβου).

Εικόνα 20. Παράδειγμα δρομολόγησης σε ένα ad hoc δίκτυο.



Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα των ιδιοτήτων που επιθυμούμε να έχουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης στα ad hoc δίκτυα. Έτσι, καταρχήν, τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα θα πρέπει να είναι κατανεμημένα, με κάθε κόμβο να είναι αρκετά «έξυπνος» ώστε να μπορεί να παίρνει αποφάσεις δρομολόγησης. Αυτό είναι απαραίτητο, αφού ένα κεντρικοποιημένο πρωτόκολλο δρομολόγησης δεν θα ήταν αξιόπιστο σε περίπτωση κίνησης των κόμβων. Επιπρόσθετα, το πρωτόκολλο θα πρέπει να δημιουργεί γρήγορα δρομολογήσεις για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν πριν αλλάξει η τοπολογία του δικτύου, διατηρώντας παράλληλα το επιπλέον φορτίο στο δίκτυο για τους σκοπούς της δρομολόγησης χαμηλό. Εκτός όλων αυτών, το πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι επιθυμητό να μπορεί να παίρνει αποφάσεις δρομολόγησης βασισμένες και στην ενεργειακή κατάσταση κάθε κόμβου, καθώς και στην πιθανή επίδραση αυτών των αποφάσεων σε αυτήν. Τέλος, κάθε σύνδεσμος μεταξύ κόμβων θα πρέπει να θεωρείται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης ως μίας κατεύθυνσης, αφού η επικοινωνία προς την μία κατεύθυνση μπορεί να περιορίζεται από φυσικούς παράγοντες ή και την μορφολογία του χώρου, την ακτίνα εκπομπής κάθε κόμβου και άλλα.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να διακριθούν με βάση το εάν η δρομολόγηση γίνεται κατανεμημένα σε κάθε κόμβο ή κεντρικοποιημένα από τον κόμβο που στέλνει το πακέτο. Στην πρώτη περίπτωση κάθε κόμβος αποφασίζει για τον επόμενο κόμβο στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, που πολλές φορές ονομάζεται δρομολόγηση πηγής (source routing) η διαδρομή που θα ακολουθήσει κάθε πακέτο καθορίζεται από τον κόμβο αποστολέα του πακέτου. Οι διαδρομές αυτές μπορεί να είναι είτε στατικές, είτε να προσαρμόζονται δυναμικά στην κατάσταση του δικτύου. Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι σε πρωτόκολλα βασισμένα σε πίνακες (table driven protocols), όπου κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορίες για τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου και τα πρωτόκολλα βασισμένα στην κατ' απαίτηση αρχικοποίηση από την πηγή (source initiated on-demand driven protocols), τα οποία δημιουργούν μια διαδρομή όποτε αυτή ζητηθεί από κάποιον κόμβο αφετηρία.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας είναι τα Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol, Wireless Routing Protocol, Global State Routing, Fisheye State Routing, Hierarchical State Routing, Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol και Clusterhead Gateway Switch Routing Protocol. Στα on-demand



routing protocols ανήκουν μεταξύ άλλων τα Cluster based Routing Protocol, Ad hoc On-demand Distance Vector Routing, Dynamic Source Routing Protocol, Temporally Ordered Routing Algorithm, Associativity Based Routing και Signal Stability Routing.

Για την προσαρμογή των δρομολογίων στην κατάσταση του δικτύου χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μεγάλες κατηγορίες αλγορίθμων. Η πρώτη κατηγορία είναι οι αλγόριθμοι βασιζόμενοι σε διανύσματα απόστασης (distance vectors). Σε αυτά τα πρωτόκολλα, κάθε κόμβος στέλνει σε όλους τους γειτονικούς του κόμβους τις αποστάσεις που γνωρίζει για όλους τους κόμβους του δικτύου. Κάθε κόμβος υπολογίζει με βάση τις πληροφορίες από τους γειτονικούς του κόμβους τα συντομότερα μονοπάτια προς κάθε πιθανό προορισμό (κλασικό παράδειγμα αυτού του είδους των αλγορίθμων είναι ο Distributed Bellman-Ford – DBF). Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτής της κατηγορίας αλγορίθμων είναι η αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας «κυκλικών» βρόγχων στην δρομολόγηση ενός πακέτου εξαιτίας της παρουσίας σφαλμάτων σε κάποιον κόμβο. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την πιθανότητα εγκλωβισμού πακέτων σε ένα τέτοιο βρόγχο, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση παράδοσης ή και την απώλεια των πακέτων, η οποία σε περίπτωση σφαλμάτων στο ίδιο το πρωτόκολλο μπορεί να οδηγήσει σε οριστική κατάρρευση του δικτύου.

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία αλγορίθμων δρομολόγησης είναι οι αλγόριθμοι βασιζόμενοι στην κατάσταση των συνδέσμων (link state). Στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους αλγορίθμους, κάθε κόμβος πληροφορεί τους γειτονικούς του για την κατάσταση των γειτονικών του συνδέσμων, με αποτέλεσμα κάθε κόμβος να έχει συνολική εικόνα του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο κάθε κόμβος μπορεί να επιλέξει το συντομότερο μονοπάτι προς οποιονδήποτε κόμβο χρησιμοποιώντας κάποιον κεντρικοποιημένο αλγόριθμο δρομολόγησης (π.χ. Dijkstra). Με την χρήση αυτών των αλγορίθμων η πιθανότητα δημιουργίας κύκλων εξαιτίας λανθασμένων, πιθανόν λόγω καθυστέρησης στην διάδοση, πληροφοριών για την κατάσταση των συνδέσμων, μπορούν να επιλυθούν σύντομα.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω η ύπαρξη πληθώρας διαθέσιμων πρωτοκόλλων δρομολόγησης θα πρέπει να είναι αναμενόμενη. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης κατάλληλο για την πλειοψηφία των ad hoc δικτύων, αλλά σε κάθε ad hoc δίκτυο το πρωτόκολλο δρομολόγησης επιλέγεται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

#### **4.6 ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ**

Η ασφάλεια είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σε όλα τα δίκτυα. Στα ασύρματα δίκτυα τα προβλήματα ασφαλείας είναι ακόμα μεγαλύτερα, αφού τα δίκτυα αυτά είναι από την φύση τους δίκτυα εκπομπής και κατά συνέπεια καθένας που βρίσκεται εντός της ακτίνας εκπομπής ενός πομπού μπορεί να «ακούσει» τα μεταδιδόμενα δεδομένα. Το πρόβλημα είναι ακόμα μεγαλύτερο στα ad hoc δίκτυα όπου τα δεδομένα δρομολογούνται στον προορισμό τους πιθανόν μέσω άλλων κόμβων. Επιπρόσθετα, σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι πρακτικά πολύ δύσκολο να ανιχνευθεί η υποκλοπή δεδομένων από έναν ωτακουστή, αφού η υποκλοπή αυτή δεν επηρεάζει σε τίποτα την μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων (ή του κόμβου και ενός σταθμού βάσης) και επιπλέον, είναι σχεδόν

αδύνατο να εντοπιστεί ο ίδιος ο ωτακουστής. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την ευρεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, κάνει τα ασύρματα δίκτυα ελκυστικούς στόχους για τους hackers και τους crackers. Έτσι, για κάθε είδος ασυρμάτων δικτύων και κυρίως για τα δίκτυα 802.11 έχουν αναπτυχθεί ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών που καθιστούν την διατήρηση της ασφαλείας αυτών των δικτύων έναν εφιάλτη ακόμα και για τους πιο έμπειρους διαχειριστές.

Σε κάθε ασύρματο δίκτυο υπάρχουν δύο βασικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Το πρώτο από αυτά είναι η προστασία των δεδομένων που εκπέμπονται με την χρήση κάποιας μεθόδου κρυπτογράφησης. Υπάρχουν πάρα πολλές διαφορετικές μέθοδοι κρυπτογράφησης που μπορούν να διαφέρουν σε πολλά χαρακτηριστικά τους. Οι χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικοί σε επιθέσεις, διατηρώντας ταυτόχρονα το επιπλέον φορτίο που εισάγουν στο δίκτυο όσο το δυνατό μικρότερο. Επιπλέον, συχνά η διαδικασία της κρυπτογράφησης των δεδομένων πραγματοποιείται από το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων, αφού μια τέτοια υπηρεσία δεν παρέχεται από το επίπεδο δικτύου ή μεταφοράς. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην διασύνδεση ασύρματων και ενσύρματων δικτύων.

Πρέπει να σημειωθεί, εδώ, ότι η IETF έχει προτείνει μια σχεδίαση που ονομάζεται ασφάλεια IP (IP security – IPsec), η οποία περιγράφεται στα RFC 2401, 2402 και 2406. Η σχεδίαση αυτή σε γενικές γραμμές παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών για την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Αντί να γίνει προαιρετική η κρυπτογράφηση (επειδή είναι υπολογιστικά δαπανηρή), αποφασίστηκε να απαιτείται πάντα, αλλά να επιτρέπεται η χρήση ενός κενού αλγορίθμου (RFC 2410). Το IPsec δίνει την δυνατότητα χρησιμοποίησης πολλών υπηρεσιών, αφού όλοι οι χρήστες δεν απαιτούν την ίδια ασφάλεια και τις ίδιες επιδόσεις, ενώ παρέχει και την δυνατότητα χρησιμοποίησης πολλών διαφορετικών αλγορίθμων, αφού ένας αλγόριθμος που θεωρείται ασφαλής τώρα, μπορεί στο μέλλον να «σπάσει». Πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι υπηρεσίες βασίζονται σε κρυπτογραφία συμμετρικού κλειδιού, επειδή είναι κρίσιμο το θέμα της υψηλής απόδοσης. Το IPsec αν και βρίσκεται στο επίπεδο του IP είναι συνδεσοστρεφές, αφού για να υπάρχει οποιαδήποτε ασφάλεια θα πρέπει να εγκαθιδρυθεί ένα κλειδί, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα χρονικό διάστημα (ουσιαστικά αυτό είναι ένα είδος σύνδεσης). Η «σύνδεση» με την έννοια του IPsec ονομάζεται συσχέτιση ασφαλείας (Security Association – SA). Το IPsec παρέχει δύο καταστάσεις λειτουργίας, την κατάσταση μεταφοράς (transport mode), όπου το η κεφαλίδα του IPsec με τις πληροφορίες ασφαλείας εισάγεται μετά την κεφαλίδα IP και πριν από την κεφαλίδα TCP και την κατάσταση σήραγγας (tunnel mode), όπου ολόκληρο το πακέτο IP, κεφαλίδα και ωφέλιμο φορτίο ενθυλακώνονται στο σώμα ενός νέου πακέτου IPsec.

Το δεύτερο βασικό πρόβλημα είναι η δυνατότητα πιστοποίησης των χρηστών (authentication), ώστε μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες να μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Σε αντίθεση με ένα ενσύρματο δίκτυο όπου μπορούμε να προσδιορίσουμε από που προέρχονται τα πακέτα που λαμβάνουμε, σε ένα ασύρματο δίκτυο η προέλευση των πακέτων δεν μπορεί να ελεγχθεί. Έτσι, απαιτείται πριν την αποστολή οποιουδήποτε πακέτου η πιστοποίηση του χρήστη, ώστε να αποτρέπεται η μη εξουσιοδοτημένη χρήση του δικτύου, αλλά και να είναι δυνατός ο εντοπισμός ενός χρήστη που αντιβαίνει στους κανονισμούς λειτουργίας του. Συνήθως η πιστοποίηση γίνεται είτε με την εγκαθίδρυση ενός κοινόχρηστου κλειδιού (ανταλλαγή κλειδιού Diffie-Hellman), είτε με χρήση ενός κέντρου διανομής κλειδιών, είτε τέλος, με την χρήση κρυπτογραφίας δημοσίου κλειδιού.

Ένα πρωτόκολλο πιστοποίησης ταυτότητας που χρησιμοποιείται σε πολλά πραγματικά συστήματα είναι το σύστημα Kerberos, το οποίο σχεδιάστηκε στο M.I.T. και βασίζεται σε μια παραλλαγή του αλγορίθμου Needham-Schroeder (πολύδρομο πρωτόκολλο πρόκλησης-απάντησης).

#### **4.7 ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ**

Η παροχή ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) είναι ιδιαίτερα σημαντική σε όλα τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Η μετάδοση διαφόρων ειδών πολυμέσων μέσω δικτύου έχει αποκτήσει πολύ μεγάλη σημασία και κατά συνέπεια τα ασύρματα δίκτυα θα πρέπει να την λαμβάνουν σοβαρά υπόψη. Ιδιαίτερα τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (π.χ. 802.16), όπου καλούνται να παίξουν τον ρόλο Wireless Local Loop (WLL), αλλά και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα πρέπει να παρέχουν ιδιαίτερα καλή συμπεριφορά σε μετάδοση ήχου και κινούμενης εικόνας.

Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων η παροχή QoS είναι πιο δύσκολη από την περίπτωση των ενσύρματων δικτύων. Η αυξημένη δυσκολία οφείλεται κυρίως στην συνεχή μεταβολή της τοπολογίας των δικτύων και ιδιαιτέρως των MANET, σε συνδυασμό με το γεγονός πως οι απαραίτητες για την δρομολόγηση πληροφορίες που αφορούν στην κατάσταση του δικτύου είναι συχνά ανακριβείς. Επιπλέον, τα γνωστότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν παρέχουν την δυνατότητα δρομολόγησης με ποιότητα υπηρεσίας, αλλά βασίζονται σε μια best effort λογική. Η όλη κατάσταση περιπλέκεται περαιτέρω εξαιτίας της φύσης των ασύρματων δικτύων, τα οποία είναι από την φύση τους δίκτυα εκπομπής. Ιδιαίτερα δε στα ad hoc δίκτυα, οι πιθανότητα συγκρούσεων δεν επιτρέπει υποθέσεις παροχής ενός εγγυημένου εύρους ζώνης.

Συνήθως, ο σύγχρονος τρόπος παροχής QoS σε ασύρματα δίκτυα είναι με χρήση ποιότητας υπηρεσιών χωρίς εγγυήσεις (soft QoS) και με τον περιορισμό πως τα δίκτυα θα ικανοποιούν κάποιες πρόσθετες απαιτήσεις. Στο soft QoS δεν παρέχονται εγγυήσεις, αλλά θεωρείται πως είναι ανεκτή η ύπαρξη μεταβατικών περιόδων, κατά τις οποίες δεν θα παρέχεται η ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Έτσι, η κλασική ιδέα της χρήσης κρατήσεων μπορεί να υλοποιηθεί και σε ασύρματα δίκτυα με την προσθήκη ενός τρόπου για γρήγορη πραγματοποίηση των κρατήσεων, αφού διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος ο αλγόριθμος να μην προλαβαίνει τις γρήγορες μεταβολές του δικτύου. Ένας ακόμα τρόπος παροχής soft QoS σε ασύρματα δίκτυα είναι η χρήση αλγορίθμων δρομολόγησης που βασίζονται στην πρόβλεψη της θέσης των κόμβων και συνεπώς της τοπολογίας του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο δεν δημιουργούνται καθυστερήσεις λόγω της αναμονής για τον υπολογισμό μονοπατιών από το πρωτόκολλο.

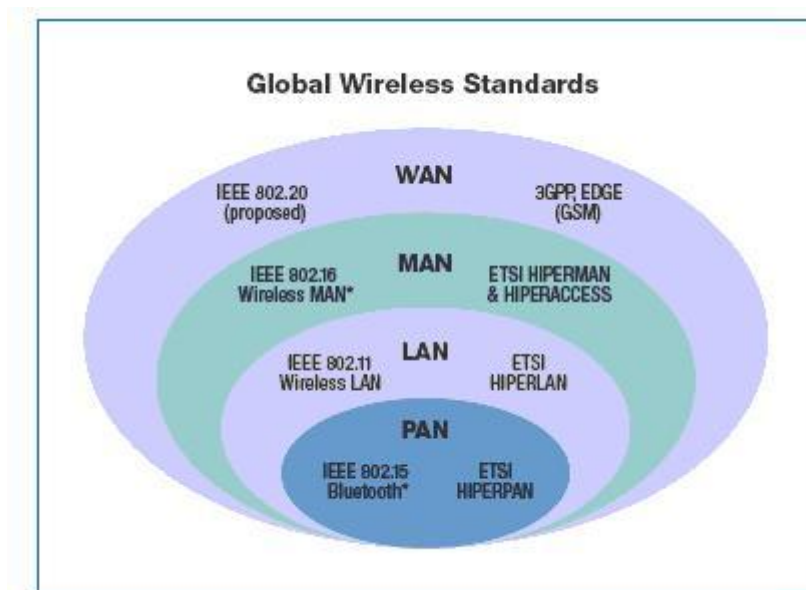
## 5 ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε τα κυριότερα πρότυπα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δημόσια δίκτυα. Επίσης θα αναφέρουμε και κάποια που δεν χρησιμοποιούνται ενώ είχαν τις προοπτικές και κάποια που κατά πάσα πιθανότητα θα έχουν ευρεία αποδοχή στο μέλλον. Αρχικά θα περιγράψουμε του τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους και έπειτα θα αναφερθούμε σε πρότυπα που χρησιμοποιούνται από κάθε κατηγορία επίγειων ασύρματων δικτύων πηγαίνοντας από τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής σε δίκτυα που καλύπτουν μικρότερες περιοχές, φτάνοντας τελικά στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα.

Εικόνα 21. Ένας τηλεπικοινωνιακός Δορυφόρος



Εικόνα 22. Κατηγοριοποίηση των επίγειων ασύρματων δικτύων σύμφωνα με την περιοχή που καλύπτουν



## 5.1 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του διαστήματος, για διάφορες εφαρμογές και για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι είναι οι πιο διαδεδομένοι και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φωνής και δεδομένων και για την παροχή υπηρεσιών εύρεσης θέσης και πλοήγησης. Περιέχουν πολλούς αναμεταδότες, καθένας από τους οποίους λαμβάνει σε κάποιο τμήμα του φάσματος, ενισχύει το εισερχόμενο σήμα, και στη συνέχεια το επανεκπέμπει σε άλλη συχνότητα για να αποφευχθούν τυχόν παρεμβολές με το εισερχόμενο σήμα. Οι κατερχόμενες δέσμες ακτινών μπορεί να είναι ευρείες ώστε να καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της επιφάνειας της γης, ή να είναι στενές ώστε να καλύπτουν μια περιοχή με διάμετρο λίγες εκατοντάδες χιλιόμετρα μόνο (bent-pipe).

Υπάρχουν τρεις περιοχές που μπορούν τα τοποθετηθούν οι δορυφόροι με ασφάλεια. Οι δορυφόροι Γεωστατικής Γήινης Τροχιάς (GEO) τοποθετούνται σε ύψος 35.000 km περίπου και έχουν το χαρακτηριστικό ότι έχουν περίοδο τροχιάς 24 ώρες όσες δηλαδή και η γη γύρω από τον εαυτό της. Έτσι ένας δορυφόρος σε γεωστατική τροχιά φαίνεται από τη γη σαν να μην κινείται και δεν χρειάζεται πολύπλοκα επεξεργαστικά συστήματα για να υπολογίζεται συνεχώς η θέση του. Αυτοί οι δορυφόροι μπορούν να καλύψουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας της γης επειδή έχουν πολύ μεγάλο αποτύπωμα, αλλά απαιτούν ισχυρούς πομπούς λόγω της μεγάλης τους απόστασης από τη γη. Οι δορυφόροι Μέσης Γήινης Τροχιάς (MEO) τοποθετούνται σε ύψος 5.000-15.000 km και από τη γη φαίνονται να κινούνται αργά, έχοντας περίοδο γύρω στις 6 ώρες. Έτσι θα πρέπει να παρακολουθείται η θέση τους καθώς κινούνται. Έχουν μικρότερο αποτύπωμα και απαιτούν πομπούς μικρότερης ισχύος από τους GEO. Δεν χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς προς το παρόν. Μια εφαρμογή που έχουν είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Ανεύρεσης Θέσης (GPS) που χρησιμοποιεί 24 δορυφόρους MEO. Οι δορυφόροι Χαμηλής Γήινης Τροχιάς (LEO) τοποθετούνται σε ύψος κάτω από 1500 km περίπου και έχουν πολύ μικρή περίοδο περιστροφής γύρω από τη γη. Έτσι απαιτούνται πολλοί τέτοιοι δορυφόροι για να έχουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Οι σταθμοί εδάφους δεν χρειάζονται πολύ ισχύ λόγω της πολύ μικρής απόστασης από την επιφάνεια της γης. Έχουν το πλεονέκτημα ότι χρειάζονται πολύ λιγότερη ενέργεια για να τεθούν σε τροχιά. Αυτοί οι δορυφόροι κινούνται μέσα στην ατμόσφαιρα που είναι πολύ αραιή σε αυτά τα ύψη δημιουργώντας ελάχιστες τριβές. Χρησιμοποιούνται ήδη για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς (internet, κινητή τηλεφωνία) όπως και οι δορυφόροι GEO.

Ένας σύγχρονος δορυφόρος έχει γύρω στους 40 αναμεταδότες, με 80 MHz εύρος ζώνης ο καθένας. Συνήθως κάθε αναμεταδοτής λειτουργεί σαν bent-pipe. Οι πιο πρόσφατοι δορυφόροι έχουν και δυνατότητες επεξεργασίας απιτρέποντας πιο σύνθετες λειτουργίες. Στους πρώτους δορυφόρους η διαίρεση των αναμεταδοτών σε κανάλια ήταν στατική καθώς το εύρος ζώνης διαμοιραζόταν σε σταθερές ζώνες συχνοτήτων. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται τεχνικές πολύπλεξης. Μέχρι πρόσφατα συνηθέστερη στα δορυφορικά κανάλια ήταν η πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας αν και πλέον χρησιμοποιείται κυρίως η πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου. Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν κάποιες περιοχές συχνοτήτων στις οποίες εκπέμπουν (μπάντες). Για να επιτρέπεται η ταυτόχρονη επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις χρειάζονται δύο κανάλια, ένα προς κάθε

κατεύθυνση. Οι μπάντες που χρησιμοποιούνται από τους δορυφόρους είναι οι S, L, C, X, Ku, Ka. Για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς χρησιμοποιούνται κυρίως οι μπάντες C ( 4/6 GHz) και Ku (12/14 GHz) αν και στο μέλλον πιθανόν να χρησιμοποιείται ευρέως και η Ka (20/30 GHz) με φάσμα 3500 MHz που προς το παρόν απαιτεί ακριβό εξοπλισμό. Οι μπάντες S, L, C είναι ήδη συνωστισμένες από επίγεια και δορυφορικά κανάλια σε αντίθεση με την Ku. Έτσι στα πρώτα περιορίζεται η ισχύς μετάδοσης σε 8-10 W για να μην παρεμβάλλονται τα σήματα μεταξύ τους.

Τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών καναλιών επηρεάζουν την συμπεριφορά του συστήματος που πρέπει να υλοποιηθεί περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μέσο δικτύωσης. Καταρχήν υπάρχει ένα όριο στην μετάδοση των δεδομένων λόγω της πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός. Έτσι όσον αφορά τους γεωστατικούς δορυφόρους απαιτείται χρόνος 239,6 ms για να διαδοθεί ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα διανύοντας δύο φορές την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και της γης. Η καθυστέρηση διάδοσης μπορεί να αυξηθεί λόγω εσωτερικής επεξεργασίας του σήματος στον δορυφόρο ή αν η σύνδεση περιλαμβάνει πολλά hops ή συνδέσμους μεταξύ δορυφόρων και από άλλους παράγοντες δρομολόγησης. Από την άλλη οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς έχουν μια καθυστέρηση διάδοσης της τάξης των 80ms και επιπλέον καθυστερήσεις μπορούν να εμφανιστούν όταν ένας δορυφόρος χάνεται από το πεδίο λήψης ενός επίγειου σταθμού αλλά εμφανίζεται στο πεδίο λήψης ενός άλλου και έτσι το κανάλι μετακινείται σε αυτόν. Τα δορυφορικά κανάλια εξαρτώνται πλήρως από τον θόρυβο. Λόγω της πολύ μεγάλης απόστασης το σήμα εξασθενεί σε μεγάλο βαθμό. Επίσης οι υψηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται απορροφούνται συνήθως από την βροχή. Τα σφάλματα κυμαίνονται στα 1 bit ανά 10 εκατομμύρια bits ή λιγότερο.

Όσον αφορά την ασφάλεια τα πράγματα είναι δύσκολα. Ο δορυφόρος είναι από τη φύση του ένα μέσο εκπομπής έτσι οποιοσδήποτε μπορεί να «αλούει» ότι δεδομένα στέλνει ένας δορυφόρος. Έτσι απαιτείται η χρησιμοποίηση τεχνικών κρυπτογράφησης με δημόσια και ιδιοτικά κλειδιά για την διασφάλιση των δεδομένων.

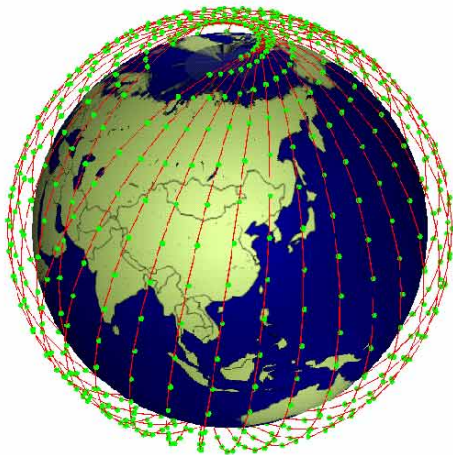
Μια νέα εξάλιξη στον τομέα των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων είναι η ανάπτυξη μικρών σταθμών χαμηλού κόστους οι οποίοι ονομάζονται VSAT (Very Small Aperture Terminals). Αυτοί οι πολύ μικροί σταθμοί εργασίες έχουν πολύ μικρές κεραίες και εκπέμπουν με ισχύ 1 Watt περίπου. Το ανερχόμενο κανάλι έχει ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων 19,2 Kbps ενώ το κατερχόμενο έχει 512 Kbps. Μερικές φορές λόγω της χαμηλής ισχύος δεν είναι δυνατό να επικοινωνήσουν δύο VSAT έτσι χρησιμοποιείται ένας ειδικός επίγειος σταθμός (hub) ο οποίος έχει μια μεγάλη κεραία υψηλής ενίσχυσης με σκοπό να ενισχύσει και να αναμεταδώσει το σήμα.

Τα τελευταία χρόνια οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν δορυφόρους για την παροχή πρόσβασης στο internet. Χρησιμοποιούνται δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς. Υπάρχουν τρία είδη τέτοιων συνδέσεων. Πρώτη η σύνδεση απευθείας στον χρήστη, ενώνει τον χρήστη με ένα δορυφορικό σύστημα απευθείας, μέσω ενός δορυφορικού πιάτου. Αν και αυτή η λύση θεωρείται πολύ ακριβή λόγω του εξοπλισμού που θα πρέπει να έχει κάποιος, το σύστημα Teledesic υπόσχεται μεγάλες ταχύτητες αποστολής (100 Mbps) και λήψης (720 Mbps) χρησιμοποιώντας μια μικρή σταθερή κεραία τύπου VSAT. Βέβαια το Teledesic θα χρησιμοποιεί δορυφόρους χαμηλής τροχιάς, 30, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα Internet over Satellite (Εικόνα 23). Μέχρι τώρα η λύση που προτεινόταν είναι

τα δεδομένα να στέλνονται μέσω μιας φτηνής αργής γραμμής και να λαμβάνονται μέσω του GEO δορυφόρου με υψηλή ταχύτητα που φτάνει τα 45 Mbps. Δεύτερον η άμεση δορυφορική σύνδεση μέσω ISP. Εδώ ο ISP έχει την σύνδεση με ένα δορυφορικό σύστημα και την χειρίζεται αναλόγως. Πάλι όμως τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω μιας αργής συμβατικής σύνδεσης και λαμβάνονται μέσω του δορυφόρου. Τρίτη περίπτωση είναι η έμμεση δορυφορική σύνδεση μέσω ISP στην οποία ο ISP δεν έχει κάποια συμφωνία με κάποια δορυφορική εταιρεία αλλά μέσω άλλης εταιρείας παρόχου internet προσφέρει αυτήν την υπηρεσία. Γενικά οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων μέσω δορυφόρων ανέρχεται σε 5 Mbps και οι ταχύτητες λήψης 45 Mbps.

Επιπλέον οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τους δορυφόρους και για τηλεφωνικούς σκοπούς. Ένα σύστημα που υποσχόταν πολλά είναι το Iridium παρά το γεγονός ότι απέτυχε. Αποτελείται από 66 δορυφόρους LEO τοποθετημένους σε ύψος 750 km. Κάθε δορυφόρος υποστηρίζει μέχρι 48 κυψέλες(σημειακές ακτίνες), έτσι ώστε όλοι μαζί να καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης. Επίσης κάθε δορυφόρος έχει χωρητικότητα 3840 καναλιών, δίνοντας ένα σύνολο από 253.440 καναλιών για μετάδοση φωνής και δεδομένων. Με μία φορητή συσκευή σαν τα φορητά τηλέφωνα θα μπορούσε κάποιος να κάνει τηλεφωνικές κλήσεις σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Η συσκευή αυτή απαιτεί μικρή ισχύ για την εκπομπή από την γη λόγω της μικρής αποστασης με τον δορυφόρο. Η μεταγωγή γίνεται στο διάστημα μεταξύ των δορυφόρων οι οποίοι απαιτούν επιπλέον εξοπλισμό μεταγωγής μέσω δορυφόρων. Μια εναλλακτική λύση σε σχέση με το Iridium είναι το Globalstar που χρησιμοποιεί 48 δορυφόρους LEO αλλά η μεταγωγή γίνεται στο έδαφος σε αντίθεση με το Iridium.

Εικόνα 23. Η διάταξη των δορυφόρων LEO του συστήματος Teledesic



## 5.2 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (WWAN)

Τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι κυρίως τα κυψελικά δίκτυα που καλύπτουν μεγάλες περιοχές. Οι χρήστες με τις τηλεφωνικές του συσκευές επικοινωνούν και ανταλλάσσουν πακέτα ακόμα και αν βρίσκονται πολύ μακριά ο ένας από τον άλλο, χρησιμοποιώντας τα κυψελικά δίκτυα και ίσως σε συνδυασμό με τα PSTN δίκτυα. Εκτός από τα πρωτόκολλα στο φυσικό επίπεδο θα δούμε και κάποια πρωτόκολλα στο επίπεδο εφαρμογών.

### 5.2.1 Φυσικό Επίπεδο

Ήδη από τα δίκτυα κινητών τηλεφώνων πρώτης γενιάς δημιουργήθηκε η βασική δομή της αρχιτεκτονικής αυτών των δικτύων που χρησιμοποιείται και στην δεύτερη γενιά και θα χρησιμοποιηθεί και στην τρίτη και πιθανότατα και στην τέταρτη. Έτσι μία κινητή συσκευή-τηλέφωνο(mobile station) πρέπει να βρίσκεται στην εμβέλεια ενός σταθμού βάσης. Ο σταθμός βάσης εξυπηρετεί τις αιτήσεις και επικοινωνεί με άλλους σταθμούς βάσης ή με το PSTN μέσω των Κέντρων Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας (MTSO ή MSC). Όταν ο σταθμός βάσης που ελέγχει την συσκευή πρέπει να αλλάξει τότε πραγματοποιείται μια διαδικασία που ονομάζεται μεταβίβαση (handoff). Η ισχύς που εκπέμπει ο σταθμός βάσης καθορίζεται από την ακτίνα της κυψέλης. Συνήθως η ακτίνα μιας κυψέλης είναι 1 έως 20 km και η ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης 1 ως 10 Watt (στις μικροκυψέλες οι αντίστοιχες τιμές είναι 0.1 ως 1 km και 0.1 ως 1 Watt). Η ισχύς εκπομπής της συσκευής καθορίζεται μετά από μια διαδικασία συναλλαγής με τον σταθμό βάσης (η ισχύς της συσκευής έχει φυσικά κάποιο όριο) . Παρακάτω θα αναφερθούμε στα σημαντικότερα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα και σε αυτά που θα χρησιμοποιηθούν στο άμεσο μέλλον.

### 5.2.2 Το πρότυπο 2G/GSM

Το παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) σχεδιάστηκε και πρωτυποποιήθηκε από την ETSI ύστερα από την ασυμβατότητα μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνταν στα κινητά τηλέφωνα πρώτης γενιάς σε όλη την Ευρώπη. Πρωτοεμφανίστηκε το 1990 στην Ευρώπη και επιτρέπει την λειτουργία της ίδιας συσκευής σε όλες τις χώρες που υποστηρίζουν το GSM. Στις μέρες μας είναι το κυριότερο πρότυπο δεύτερης γενιάς παγκοσμίως με πάνω από ένα δισεκατομμύριο συνδρομητές, κυρίως στην Ευρώπη και την Ασία, το 2004.

Ο σταθμός βάσης περιλαμβάνει έναν ελεγκτή και έναν ή περισσότερους πομποδέκτες. Μία κυψέλη GSM μπορεί να έχει ακτίνα από 100 m ως 35 km. Ο ελεγκτής του σταθμού βάσης μπορεί να ελέγχει έναν πομποδέκτη ή πολλούς και συνεπώς πολλά κελιά. Επίσης δεσμεύει ραδιοσυχνότητες, χειρίζεται τις μεταβιβάσεις μιας φορητής συσκευής μεταξύ των κελιών και χειρίζεται την διεπαφή με το MCS. Το υποσύστημα δικτύου παρέχει το σύνδεσμο μεταξύ του κυψελωτού δικτύου και του PSTN. Επίσης χειρίζεται τις μεταβιβάσεις μεταξύ συσκευών που ελέγχονται μεταξύ διαφορετικών σταθμών βάσης, πιστοποιεί τους χρήστες,



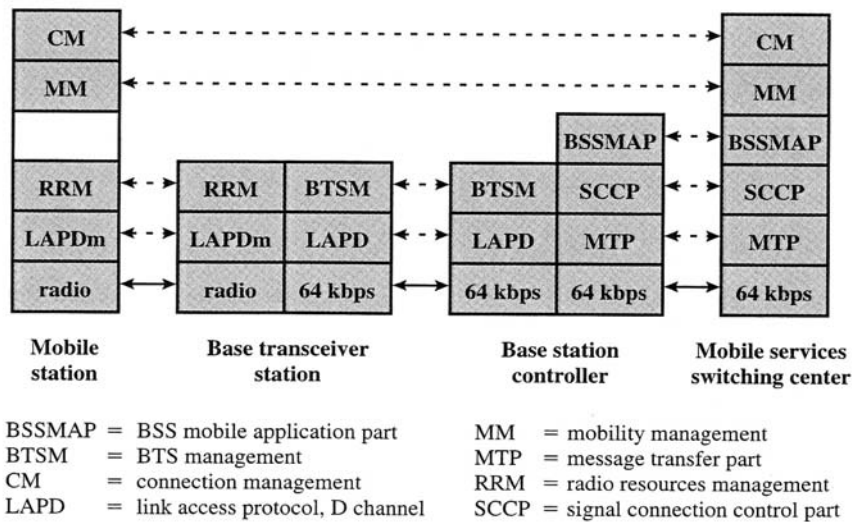
επικυρώνει τους λογαριασμούς τους και παρέχει λειτουργίες για την ενεργοποίηση της διεθνούς διαμεταγωγίσης των χρηστών. Κεντρικό ρόλο στο υποσύστημα δικτύου παίζει το MSC το οποίο ελεγχχει κάποιες βάσεις δεδομένων σχετικά με του χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο και τον εξοπλισμό.

Το φάσμα μετάδοσης του GSM από τη συσκευή στο σταθμό βάσης είναι 25 MHz (935-960 MHz) και στην αντίστροφη κατεύθυνση είναι πάλι 25 MHz (890-915 MHz). Επίσης χρησιμοποιείται και η μπάντα των 1800 MHz. Στην Βόρεια Αμερική και σε κάποιες άλλες περιοχές χρησιμοποιούνται οι μπάντες των 850 και 1900 MHz και όχι οι 900/1800 MHz γιατί αυτές χρησιμοποιούνται από το αμερικάνικο σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς D-AMPS και κάποιες παραλλαγές του. Έτσι υπήρξε η ανάγκη να κατασκευαστούν συσκευές που θα μπορούν να λειτουργούν στις περισσότερες από αυτές τις μπάντες (dual-band, triple-band, quad-band). Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό των FDMA και TDMA. Κάθε ζώνη συχνοτήτων έχει εύρος 200 KHz. Ένα σύστημα GSM έχει 124 ζεύγη μονόδρομων καναλιών. Κάθε μονόδρομο κανάλι έχει εύρος 200 KHz και υποστηρίζει οκτώ χωριστές συνδέσεις χρησιμοποιώντας πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου. Κάθε time-slot από αυτές τις οκτώ έχει διάρκεια 0.577 ms και περιλαμβάνει 114 bits δεδομένων κρυπτογραφημένα. Τα πλαίσια των οκτώ slot οργανώνονται σε πολυπλαίσια των 26 πλαισίων. Το ένα από αυτά χρησιμοποιείται για έλεγχο ενώ άλλο ένα δεν χρησιμοποιείται καθόλου. Έτσι έχουμε 24 πλαίσιο για μετάδοση δεδομένων. Κάθε κανάλι λαμβάνει ένα slot αανά πλαίσιο και 24 πλαίσια για κάθε πολυπλαίσιο που διαρκεί 120 ms. Έτσι έχουμε το εξής αποτέλεσμα όσων αφορά το data rate:

$$\frac{114 \text{ bits/slot} \times 24 \text{ slots/multiframe}}{120 \text{ slots/multiframe}} = 22.8 \text{ kbps}$$

Επίσης επιτρέπονται κανάλια με το μισό ρυθμό μετάδοσης, με το κάθε κανάλι να καταλαμβάνει μισό time slot, διπλασιάζοντας την χωρητικότητα του συστήματος. Για την συμπίεση της φωνής χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος RPE-LPE. Με την κωδικοποίηση αυτή έχουμε 260 bits για κάθε 20 ms, πετυχαίνοντας 13 kbps bitrate που αποφέρει ικανοποιητική ποιότητα ήχου. Τα δεδομένα κωδικοποιούνται με παρόμοιο τρόπο. Το GSM χρησιμοποιεί μια μορφή Spread Spectrum επικοινωνίας, την Slow Frequency Hopping, για την βελτίωση της ποιότητας του σήματος. Η αλλαγή της συχνότητας συμβαίνει κάθε 4,615 ms όση είναι και η διάρκεια μετάδοσης ενός πλαισίου TDMA δηλαδή. Παρακάτω παρατίθεται ένα σχήμα με την αρχιτεκτονική του δικτύου όπου φαίνονται τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται.

Εικόνα 24. Η αρχιτεκτονική του GSM



### 5.2.3 Τα πρότυπα 2,5G/GPRS-EDGE

Η μετάβαση από την δεύτερη γενιά στην τρίτη δεν μπορούσε να γίνει απ'ευθείας για διάφορους λόγους, γι'αυτό επιλέχθηκε μια πιο ομαλή μετάβαση προσθέτοντας τεχνολογίες και υπηρεσίες τρίτης γενιάς σε συστήματα δεύτερης γενιάς. Έτσι καταλήξαμε σε αυτά που αποκαλούνται συστήματα 2,5G. Ένα από αυτά είναι το σύστημα Γενική Υπηρεσία Ασύρματου Πακέτου. Αυτό το σύστημα είναι μια εξέλιξη των συστημάτων τρίτης γενιάς ώστε να επιτρέπεται η μεταφορά δεδομένων μέσω μεταγωγής πακέτων πάνω από το σύστημα GSM ή D\_AMPS χρησιμοποιώντας ένα κορμό IP. Έτσι επιτρέπεται η λήψη/αποστολή πακέτων IP σε μια κυψέλη η οποία χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα φωνής από/προς Δημόσια Επίγεια Κινητά Δίκτυα (PLMN). Έπειτα υπάρχει διασύνδεση με άλλα δημόσια δίκτυα δεδομένων συμπεριλαμβανομένου και του διαδικτύου. Το GPRS προσφέρει ταχύτητες από 14400 – 115000 bps, προσφέροντας άνετη σύνδεση στο διαδίκτυο με τη χρήση ασύρματων συσκευών. Επίσης ο χρήστης έχει την εντύπωση ότι είναι πάντα συνδεδεμένος αφού το GPRS έχει γρήγορη εγκατάσταση σύνδεσης. Όταν υποστηρίζεται το GPRS μερικές χρονικές υποδοχές σε κάποιες συχνότητες δεσμεύονται για κίνηση πακέτων δεδομένων.

Οι διαθέσιμες χρονικές υποδοχές διαιρούνται σε πολλά λογικά κανάλια, τα οποία χρησιμοποιούνται για διαφορετικές δουλειές. Ο σταθμός βάσης αποφασίζει ποια λογικά κανάλια θα αντιστοιχίζονται στις χρονικές υποδοχές. Ένα λογικό κανάλι χρησιμοποιείται για το κατέβασμα πακέτων από το σταθμό βάσης προς τους κινητούς σταθμούς, με κάθε πακέτο να δείχνει για ποιον προορίζεται. Για να στείλει ένα πακέτο IP ο κινητός σταθμός ζητά μία ή περισσότερες χρονικές υποδοχές στέλνοντας μία αίτηση στο σταθμό βάσης. Αν η αίτηση φτάσει χωρίς ζημιές, ο σταθμός βάσης ανακοινώνει τη συχνότητα και τη χρονική υποδοχή που έχει εκχωρηθεί στο κινητό για την αποστολή του πακέτου. Μόλις το πακέτο φτάσει στο σταθμό βάσης, μεταφέρεται στο διαδίκτυο μέσω μιας ενσύρματης σύνδεσης.

Εκτός από τις μεγάλες ταχύτητες που επιτυγχάνει, το GPRS μπορεί να προσφέρει όλες τις διαδικτυακές εφαρμογές ακόμα και των real-time. Το GPRS έχει κάποιους περιορισμούς όπως η μειωμένη χωρητικότητα των κυψελών για όλους τους χρήστες, η μη επίτευξη των θεωρητικών ταχυτήτων, η μη βέλτιστη κωδικοποίηση(GMSK), η καθυστέρηση μεταφοράς, η έλλειψη αποθήκευσης και προώθησης. Μια μέθοδος που συμβάλλει στην μεταφορά δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος πολύ γρήγορα για εφαρμογές που απαιτούν κάτι τέτοιο είναι η HSCSD.

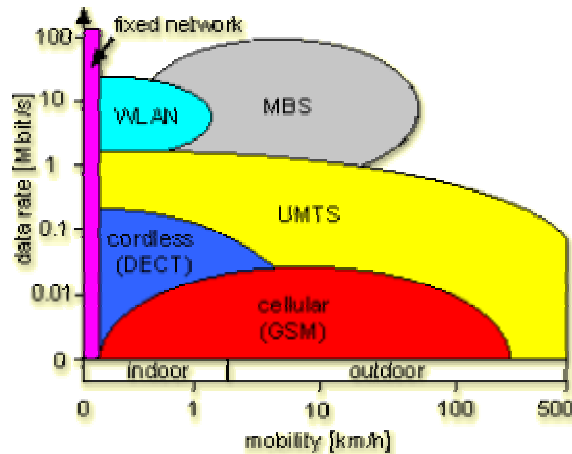
Ένα άλλο σύστημα 2,5G που μας φέρνει πιο κοντά στην τρίτη γεννιά είναι το σύστημα Επαυξημένοι Ρυθμοί Δεδομένων για Εξέλιξη του GSM (EDGE). Αυτό είναι μια εξέλιξη του GSM με περισσότερα bit ανά baud. Προσφέρει ταχύτητες ως 384 kbps. Το EDGE ουσιαστικά αναβαθμίζει το GSM και τα GPRS,HSCSD πάνω στην υπάρχουσα βάση του GSM προσφέροντας ακόμα καλύτερα τις υπηρεσίες τρίτης γεννιάς. Το EDGE χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 8 PSK η οποία επιτρέπει ακόμα υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Το EDGE χρησιμοποιεί υψηλού επιπέδου κωδικοποίηση TDMA 200 KHz. Το EDGE επιτυγχάνει βέλτιστο ρυθμό δεδομένων σε όλα τα κανάλια. Συμπεριλαμβάνει ένα τρόπο λειτουργίας μεταγωγής πακέτου (EGPRS) και ένα τρόπο λειτουργίας μεταγωγής κυκλώματος (ECSD).

#### 5.2.4 Το πρότυπο 3G/UMTS

Ο στόχος των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γεννιάς είναι να προσφέρει ασύρματη επικοινωνία υψηλών ταχυτήτων.ώστε να προσφέρει εφαρμογές πολυμέσων, δεδομένα και video εκτός από φωνή. Η ITU (IMT-2000) καθόρισε τις προδιαγραφές για τα κινητά τρίτης γεννιάς:

- Ποιότητα φωνής συγκρίσιμη με το PSTN
- 144 kbps data rate διαθέσιμη σε χρήστες που κινούνται με μεγάλες ταχύτες σε μεγάλες περιοχές
- 384 kbps data rate διαθέσιμη σε πεζούς που κινούνται με μικρή ταχύτητα σε μικρές περιοχές
- υποστήριξη για 2,048 mbps για σταθερούς χρήστες
- συμμετρικοί και ασυμμετρικοί ρυθμοί δεδομένων εκπομπής
- υποστήριξη για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και πακέτου
- μια προσαρμόσιμη διασύνδεση με το διαδίκτυο
- γενικά πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου εύρους
- υποστήριξη για μεγάλης ποικιλίας εξοπλισμό κινητής τηλεφωνίας
- ελαστικότητα για την εισαγωγή νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών

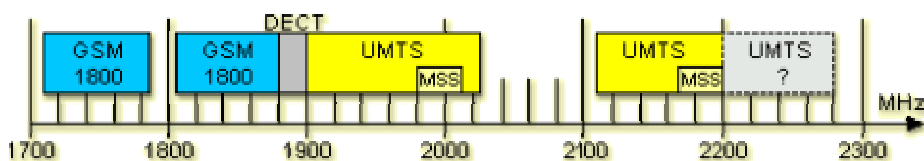
Εικόνα 25. Η επίγραση της ταχύτητας του χρήστη στην ποιότητα της υπηρεσίας του δικτύου



Το UMTS είναι ένα από τα σημαντικότερα πρότυπα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς που ανέπτυξε η ETSI, με βάση τις προδιαγραφές αυτές. Το υποσύστημα δικτύου του UMTS είναι μια επανάσταση σε σχέση με το τωρινό υποσύστημα δικτύου του GSM. Το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης του UMTS (UTRAN) και ειδικά η μέθοδος της εκπομπής είναι εντελώς νέα. Το UTRAN δεν θα είναι μια εξέλιξη του δικτύου πρόσβασης του GSM. Παρ'όλα αυτά το δίκτυο πρόσβασης του GSM θα χρησιμοποιηθεί και θα εξελιχθεί ακόμα και μετά την παρουσίαση του UMTS. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει ένα κοινό υποσύστημα δικτύου αλλά δύο ανεξάρτητα δίκτυα πρόσβασης για το UMTS και το GSM. Το UTRAN θα επιτρέψει εφαρμογές πολυμέσων εξαιτίας του μεγαλύτερου εύρους ζώνης των καναλιών ( 5 MHz αντί για 200 KHz στο GSM) και η καινούργια μέθοδος πρόσβασης CDMA. Αυτό σημαίνει ότι θα είναι δυνατή η ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων, φωνής, κειμένου, video, κλπ με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 2 mbps. Η μεταφορά της φωνής και εφαρμογών χαμηλού ρυθμού δεδομένων θα γίνεται από το GSM.

Το εύρος ζώνης του UMTS κυμαίνεται ανάμεσα στα 1900 – 1025 MHz και 2110 – 2200 MHz. Για τις δορυφορικές υπηρεσίες (MSS) των συστημάτων αυτών έχει δεσμευτεί η ανερχόμενη υπομπάντα 1980 – 2010 MHz και η κατερχόμενη 2170 – 2200 MHz. Το υπόλοιπο εύρος για την επιφανειακή χρήση χωρίζεται ανάμεσα σε δύο τρόπους λειτουργίας. Στην λειτουργία FDD (Frequency Division Duplex) υπάρχουν δυο ισότιμες μπάντες για την ανερχόμενη κατεύθυνση (1920 – 1980 MHz) και για την κατερχόμενη (2110 – 2170 MHz). Στην λειτουργία TDD ( Time Division Duplex) η ανερχόμενη και κατερχόμενη κατεύθυνση επικοινωνίας δεν χωρίζονται με χρήση διαφορετικών επιπέδων συχνότητας αλλά με τη χρήση διαφορετικών time slots στο ίδιο επίπεδο. Οπότε δεν χρειάζεται συμμετρικό φάσμα αλλά το εναπομείνον μονό εύρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Εικόνα 26. Το φάσμα συχνοτήτων του UMTS



### 5.2.5 Το πρότυπο WAP

Το πρωτόκολλο ασύρματων εφαρμογών (WAP) δημιουργήθηκε για την χρησιμοποίηση του κινητού τηλεφώνου και του υπάρχοντος τηλεφωνικού δικτύου δεύτερης γενιάς σαν ένα μέσο σύνδεσης με το διαδίκτυο προσφέροντας κάποιες υποτυπώδεις υπηρεσίες. Οι χρήστες με την συμβατή με το WAP συσκευή τους μπορούν να καλέσουν μια πύλη δικτύου WAP, σαν μία τηλεφωνική λύση, μέσω της ασύρματης σύνδεσης και στην συνέχεια να στέλνουν αιτήσεις για την ζητούμενη σελίδα. Το WAP 1.0 είναι δηλαδή ένα σύστημα μεταγωγής κυκλωμάτων με αρκετά υψηλή χρέωση σύνδεσης ανά λεπτό. Το WAP είναι μία στοίβα πρωτοκόλλων για πρόσβαση στον ιστό βελτιστοποιημένη για τις προδιαγραφές κάθε γενιάς κινητών. Το WAP 1.0 απέτυχε διότι τα δίκτυα των κινητών τηλεφώνων δεν ήταν εξελιγμένα όπως και οι συσκευές και εξαιτίας των υψηλών χρεώσεων. Τα επίπεδα της στοίβας των πρωτοκόλλων φαίνονται παρακάτω.

Περιβάλλον ασύρματων εφαρμογών (WAE)
Πρωτόκολλο ασύρματων συνδιαλέξεων (WSP)
Πρωτόκολλο ασύρματων συναλλαγών (WTP)
Ασφάλεια ασύρματου επιπέδουμεταφοράς (WTLS)
Πρωτόκολλο ασύρματων αυτοδύναμων πακέτων (WDP)
Επίπεδο κομιστή (GSM, CDMA, D-AMPS, GPRS, κλπ)

Στην κορυφή των πρωτοκόλλων υπάρχει ένας μικροφυλλομετρητής που δεν χρησιμοποιεί την γλώσσα HTML αλλά την WML (Γλώσσα Ασύρματης Σήμανσης) και είναι μία παραγωγή της XML. Έτσι μπορούσαν να προσπελαστούν είτε σελίδες γραμμένες ήδη σε WML είτε σελίδες γραμμένες σε HTML μετά από επι τόπου φιλτράρισμα μέσω της εφαρμογής.

Έτσι ήταν επιτακτική η ανάγκη να βελτιωθεί το πρωτόκολλο. Το WAP 2.0 έχει μερικά νέα χαρακτηριστικά όπως υποστήριξη για ενσωμάτωση της τηλεφωνίας στις εφαρμογές, ανταλλαγή μηνυμάτων πολυμέσων, συμπερίληψη 264 ιδεογραμμάτων, διαδυνδευση με συσκευή αποθήκευσης κ.ά. Οι τεχνικές αλλαγές που έγιναν στο WAP 2.0 είναι ότι εκτός από την στοίβα πρωτοκόλλων του WAP 1.0 υποστηρίζει και την τυπική στοίβα του διαδικτύου με το TCP/IP και το HTTP/1.1 με κάποιες αλλαγές στους κόμβους του TCP. Επίσης το WAP 2.0 υποστηρίζει την βασική XHTML ως γλώσσα σήμανσης η οποία προορίζεται για μικρές ασύρματες συσκευές.

### 5.2.6 Το πρότυπο I-mode

Το I-mode, σε αντίθεση με το WAP και τις τεχνολογικές προσδοκίες που δημιούργησε, ήταν μία διαφορετική προσέγγιση στον ασύρματο ιστό. Το I-mode έχει τρία κύρια

χαρακτηριστικά: ένα νέο σύστημα μετάδοσης, μια νέα τηλεφωνική συσκευή, και μια νέα γλώσσα σχεδίασης ιστοσελίδων. Το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από δύο χωριστά δίκτυα: το υπάρχον δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων της κινητής τηλεφωνίας και ένα νέο δίκτυο μεταγωγής πακέτων που κατασκευάστηκε ειδικά για την υπηρεσία I-mode. Η τελευταία είναι συνεχώς ενεργοποιημένη και έτσι δεν υπάρχει τιμολόγηση με τον χρόνο σύνδεσης. Αντίθετα υπάρχει χρέωση ανά πακέτο που στέλνεται. Στον χρήστη προσφέρεται μία λίστα με τις κατηγορίες των επίσημα εγκεκριμένων υπηρεσιών. Υπάρχουν πάρα πολλές υπηρεσίες που κάθε μία είναι μια τοποθεσία I-mode, οι οποίες χωρίζονται σε κατηγορίες. Πιο δημοφιλής εφαρμογή είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο που επιτρέπει μηνύματα μεγέθους έως και 500 byte. Επίσης υπάρχουν κάποιες δεκάδες χιλιάδες τοποθεσίες ιστού I-mode που πρέπει κάποιος να πηκτρολογήσει την διεύθυνση τους για να τις προσπελάσει αντί να τις επιλέξει από κάποιο μενού. Παρακάτω φαίνονται τα επίπεδα του λογισμικού του I-mode.

Υπομονάδα αλληλεπίδρασης με τον χρήστη		
Συνδεδεμένες Υπομονάδες	Ερμηνευτής cHTML	Java
Απλός διαχειριστής παραθύρων		
Επικοινωνία μέσω δικτύου		
Λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου		

Στο τέταρτο επίπεδο υπάρχει ένας φυλλομετρητής που χρησιμοποιεί την γλώσσα cHTML η οποία είναι ένα υποσύνολο της HTML και ένας ερμηνευτής για μια ελαφρώς τροποποιημένη παραλλαγή της JAVA. Οι χρήστες μπορούν να επιλέγουν υπερσυνδέσμους χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. Επιπλέον ο διακομιστής I-mode υποστηρίζει όλες τις συνηθισμένες γλώσσες προγραμματισμού ιστοσελίδων όπως PHP, GSP, κ.τ.λ.

### 5.3 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (WMAN)

Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα καλύπτου μια ευρεία περιοχή όπως μια πόλη κάποιων χιλιάδων κατοίκων και είναι μια καλή λύση για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των χρηστών. Μια εφαρμογή που πιθανόν θα χρησιμοποιηθεί πολύ είναι η διασύνδεση στο «τελευταίο χιλιόμετρο»

### 5.3.1 Το πρότυπο 802.16/WiMax

Το πρότυπο IEEE 802.16 είναι μία τεχνολογία ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου (Wireless Metropolitan Area Network - WMAN). Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν Wi - Max , ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα LAN, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων πιθανόν να ξεπεράσει τα 100 Mbps και η μέγιστη απόσταση να είναι μέχρι και τα 50 Km. Το πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί να είναι μια πολύ καλή εναλλακτική λύση ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης στις ήδη υπάρχουσες μεθόδους επικοινωνίας του «last mile», όπως οι καλωδιακές και οι ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές (DSL). Με την τοποθέτηση μιας κεραιάς μόνο σε έναν λόφο και δεκτών στις στέγες των σπιτιών μιας πόλης γίνεται πιο εύκολη και οικονομική η πρόσβαση σε οποιοδήποτε δίκτυο, και ιδιαίτερα στο διδίκτυο χωρίς να απαιτούνται αμέτρητου μήκους χάλκινων καλωδίων ή οπτικών ινών. Επίσης σε περιοχές που η δυνατότητα επίγειων δικτύων δεν υπάρχει τότε είναι μια σπουδαία λύση. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να εξυπηρετήσει χιλιάδες χρήστες ταυτόχρονα.

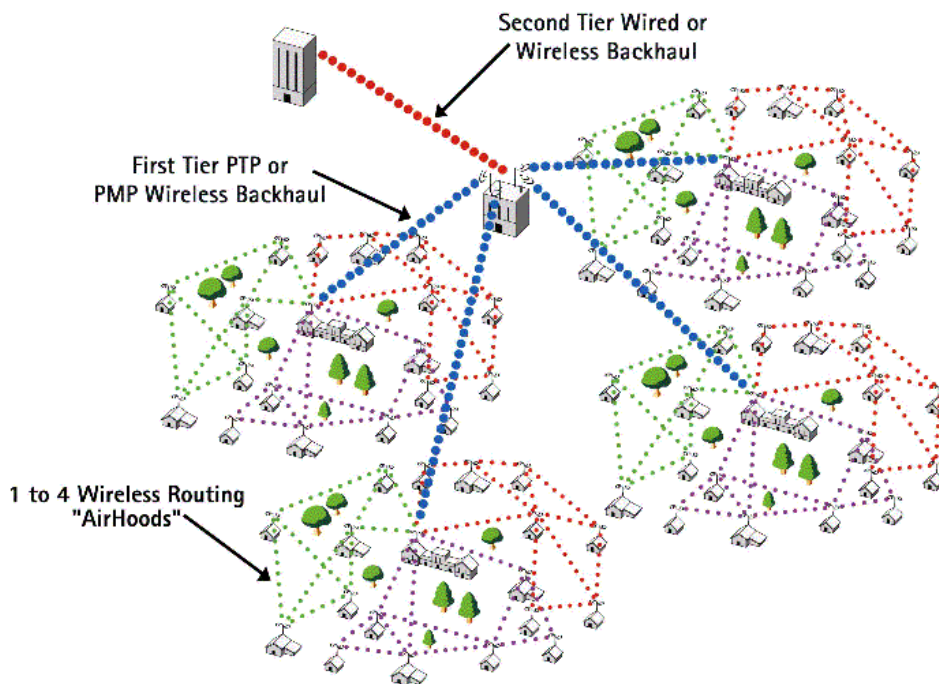
Το αρχικό πρότυπο 802.16 λειτουργεί στις συχνότητες 10 – 66 GHz και απαιτεί οπτική επαφή πομπού και δέκτη. Το υποπρότυπο 802.16a που επικυρώθηκε το 2003 χρησιμοποιεί μικρότερη συχνότητα (2 – 11 GHz) χωρίς όμως να απαιτείται η οπτική επαφή. Αυτό αποτελεί μια μεγάλη επανάσταση στα ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα. Με αυτό το υποπρότυπο θα είναι δυνατό να συνδέονται περισσότεροι χρήστες σε ένα σημείο πρόσβασης και έτσι να μειωθεί το κόστος. Το 802.16a χρησιμοποιεί την τεχνική πολύπλεξης OFDM. Το πιο συνήθες 802.16a δίκτυο περιλαμβάνει έναν σταθμό βάσης τοποθετημένο σε κάποιο ψηλό κτίριο που επικοινωνεί με μια point-to-multipoint σύνδεση με τους χρήστες. Έχει εμβέλεια ως 30 km περίπου με μια τυπική ακτίνα κυψέλης στα 6 – 9 km. Μέσα στην ακτίνα εμβέλειας η χωρίς οπτική επαφή επίδοση είναι βέλτιστη. Με διαμοιραζόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 75 mbps ένας απλός σταθμός βάσης μπορεί να παρέχει επαρκές εύρος ζώνης για να καλύψει 60 επιχειρήσεις και εκατοντάδες σπίτια με ρυθμούς σύνδεσης εφάμιλλους με το DSL, χρησιμοποιώντας 20 MHz εύρους κανάλια.

Με σκοπό τη βελτίωση και την εξέλιξη του προτύπου δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια των χρόνων, ομάδες εργασίας πάνω στο πρότυπο. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι:

- 802.16b Quality Of Service
- 802.11c Συνύπαρξη με άλλα πρότυπα που χρησιμοποιούν κάποιες ίδιες συχνότητες.
- 802.16d Υλοποιήσεις πάνω στο 802.16c
- 802.16e Φορητότητα ώστε να επιτρέπεται η μετακίνηση των χρηστών μεταξύ διαφορετικών σημείων πρόσβασης (handoff).

Πιθανόν το Wi - Max να αποτελέσει το κατεξοχήν πρότυπο για ασύρματη δικτύωση στο μέλλον. Προς το παρόν το τελικό πρότυπο δεν έχει συμφωνηθεί και δεν έχει υλοποιηθεί κάτι εμπορικό.

Εικόνα 27. Ένα μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο



## 5.4 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (WLAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως για διασύνδεση υπολογιστών και άλλων συσκευών σε ακτίνα δράσης κάποιων δεκάδων μέτρων. Τα WLANs χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν ή να επεκτείνουν ένα κοινό ενσύρματο δίκτυο ( Ethernet ) και επιτρέπουν στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων.

### 5.4.1 Το πρότυπο 802.11

Τα WLANs ακολουθούν το πρότυπο IEEE 802.11, το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτύωση το οποίο αναπτύχθηκε. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα τα οποία είναι συμβατά με το πρότυπο IEEE 802.11 ονομάζονται και δίκτυα Wi - Fi.

Τα βασικά στοιχεία ενός δικτύου IEEE 802.11 είναι:

- Στθμός (Station): Ένας προσωπικός υπολογιστής ή μια συσκευή με ασύρματη σύνδεση.



- Σημείο Πρόσβασης (Access Point - AP): Η γέφυρα μεταξύ του ασύρματου και του ενσύρματου LAN
- Σύστημα Διανομής (Distribution System): Το σύστημα διανομής ενώνει τα διάφορα AP του ίδιου δικτύου επιτρέποντάς τους να ανταλλάσσουν πλαίσια.
- Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium): Έχουν οριστεί διάφορα στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για την μετάδοση των πλαισίων.

Η βασική δομική μονάδα κάθε 802.11 δικτύου ονομάζεται basic service set (BSS) και αποτελείται από μια ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική - τοπολογία τους τα δίκτυα αυτά εμφανίζονται με δύο μορφές. Τη δομημένη ( Infrastructure ) και την ανεξάρτητη( Independent ή Ad - hoc ). Στην λειτουργία υποδομής, όλη η κυκλοφορία του BSS περνά μέσω ενός AP το οποίο συνδέει τις ασύρματες συσκευές μεταξύ τους και με το ενσύρματο δίκτυο και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου και την ανταλλαγή των πλαισίων. Στην ad-hoc λειτουργία οι υπολογιστές μιλούν άμεσα ο ένας στον άλλο και δεν χρειάζονται κάποιο σημείο πρόσβασης. Το ασύρματο δίκτυο 802.11 προσφέρει 9 βασικές υπηρεσίες: διανομή ενός πλαισίου, παράδοση των πλαισίων MAC, διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα, συσχέτιση ενός σταθμού με ένα AP, επανασυσχέτιση ενός σταθμού σε περίπτωση μετακίνησης, τερματισμός της συσχέτισης, πιστοποίηση, τερματισμός της πιστοποίησης, ασφάλεια.

Τα πιο κοινά WLANs λειτουργούν στο φάσμα συχνοτήτων ελεύθερης πρόσβασης (κοινόχρηστη μπάντα, ISM(Industrial, Scientific and Medical) band 2,4-2,484 GHz), τα οποία ακολουθούν τις αρχές σχεδίασης των τοπικών δικτύων υπολογιστών. Τα IEEE 802.11b/g WLANs λειτουργούν στη ζώνη 2,4 - 2.484 GHz. Το πρότυπο IEEE 802.11a χρησιμοποιεί την περιοχή των 5 GHz UNII (Unlicensed National Information Infrastructure). Αυτή η περιοχή έχει εύρος 300 MHz και είναι χωρισμένη σε δύο υποπεριοχές. Η χαμηλότερη υποπεριοχή επεκτείνεται από 5,15 MHz ως 5,35 MHz. Η ανώτερη υποπεριοχή είναι από 5.725 MHz ως 5.825 MHz. (Η EETT δεν έχει δώσει άδεια χρήσης της στην Ελλάδα). Τα 802.11a και 802.11g χρησιμοποιούν την τεχνική πολύπλεξης Orthogonal Frequency Division Multiplexing ( OFDM ). Οι ρυθμοί μετάδοσης με αυτήν την τεχνική μπορούν να αγγίξουν τα 54Mbps. Στο φυσικό επίπεδο προδιαγράφονται τρεις τεχνικές διαμόρφωσης (Απλωμένου Φάσματος):

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- Infrared

Με σκοπό τη βελτίωση και την εξέλιξη του προτύπου δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια των χρόνων, εξελίξεις του προτύπου που διαφορετικά ονομάζονται και υποπρότυπα. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι:

- IEEE 802.11 a: Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 5 GHz και OFDM . Ταχύτητα:<54M bps
- IEEE 802.11 b (Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα): Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2.4 GHz και DSSS . Ταχύτητα:<11M bps

- IEEE 802.11 e: Παρέχει εγγυήσεις για ποιότητα υπηρεσίας
- IEEE 802.11f: Κινητικότητα των σταθμών μέσα σε ένα IP δίκτυο ( Intra - network Handover )
- IEEE 802.11 g(Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα): Επεκτείνει το 802.11 b ώστε να προσεγγίζει υψηλότερες ταχύτητες. Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2.4 GHz και OFDM. Ταχύτητα:<54M bps. Είναι συμβατό με το 802.11b.
- IEEE 802.11 i: Πρότυπο το οποίο μελετά θέματα ασφάλειας στα WLANs
- IEEE 802.11 h: Η ομάδα αυτή θα προσπαθήσει να εισάγει στο 802.11 a την δυνατότητα για καλύτερο έλεγχο συγκρούσεων.

#### 5.4.2 Το πρότυπο HIPERLAN

Το HIPERLAN type 1 είναι ένα πρότυπο ασύρματου τοπικού δικτύου σχεδιασμένο από την ETSI για να προσφέρει υψηλής ταχύτητας ροής δεδομένων ασύρματη επικοινωνία. Η ταχύτητα αυτή φτάνει τα 20 Mbrps και λειτουργεί στην μπάντα των 5 GHz. Θα παρέχει όλες τις υπηρεσίες διασύνδεσης που παρέχει το ευρύτατα χρησιμοποιημένο πρότυπο WLAN 802.11.

Η σχεδίαση αυτού του προτύπου ξεκίνησε το 1991, όταν ο σχεδιασμός του 802.11 είχε ήδη προχωρήσει. Το HIPERLAN επιτυγχάνει στον τομέα του υψηλού ρυθμού ροής δεδομένων που φτάνει τα 20 Mbrps μεγαλύτερο από το 802.11. Το πρότυπο εγκρίθηκε το 1996 και μοιάζει πολύ με το 802.11a. Το πρότυπο καλύπτει το φυσικό επίπεδο και το MAC. Υπάρχει ένα νέο υπόστρωμα που ονομάζεται Έλεγχος και Πρόσβαση Καναλιού (Channel Access and Control - CAC). Αυτό το υπόστρωμα έχει να κάνει με τις αιτήσεις για πρόσβαση στα κανάλια. Η επίθεξη της πρόσβασης είναι ανάλογη της χρήσης του καναλιού και της προτεραιότητας της αίτησης. Στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιούνται τα FSK και GMSK. Το HIPERLAN έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- εμβέλεια 50m
- αργή φορητότητα (1.4 m/s)
- υποστηρίζει σύγχρονη και ασύγχρονη κίνηση

Το HIPERLAN/1 δεν συγκρούεται με οικιακές συσκευές, οι οποίες λειτουργούν στα 2,4 GHz σε αντίθεση με τα 802.11b/g.

Η ETSI σχεδίασε (Feb 2000) και το HIPERLAN type 2 που είναι πιο γρήγορο από το type 1 και είναι σχεδιασμένο για πολλών ειδών δίκτυα (και για WLAN). Έχει την ιδιότητα να είναι συμβατό με κινητά 3G – UMTS κάτι που μπορεί να το οδηγήσει στην εμπορική του υλοποίηση. Λειτουργεί και αυτό στην μπάντα 5 GHz και έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ως 54 mbrps. Προσφέρει πολύ καλά μέτρα ασφαλείας χρησιμοποιώντας τους αλγορίθμους DES ή 3DES. Μεγάλη βάση έχει δοθεί στο Quality of Service που είναι ξεχωριστό για κάθε υπηρεσία.

### 5.4.3 Το πρότυπο HOMERF

Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε το 1998 για να καλύψει τις οικιακές κυρίως ανάγκες. Μέλη του οργανισμού HomeRF είναι διάφοροι γνωστοί κατασκευαστές, όπως η Motorola, η Proxim και η Siemens. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών γίνεται με ραδιοκύματα στην μπάντα συχνοτήτων ISM ( Industrial, Scientific and Medical band ) των 2,4 GHz με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 1.6Mbps. Η εν λόγω τεχνολογία χρησιμοποιείται πρωτόκολλο SWAP ( Shared Wireless Application Protocol ) που σχεδιάστηκε με γνώμονα τις ανάγκες που έχει ένα σπίτι για ασύρματη δικτύωση. Άλλωστε, οι λύσεις που προσφέρει στοχεύουν όχι μόνο στους προσωπικούς υπολογιστές αλλά και στις καταναλωτικές συσκευές. Έχει εμφανιστεί μια βελτιωμένη έκδοσή του, το HomeRF 2.0 με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 10Mbps. Το πρότυπο αυτό δεν μπόρεσε να εισέλθει στην βιομηχανία (παρ'ότι υποστηρίχτηκε από μεγάλες εταιρείες) επειδή υπήρχαν ήδη έτοιμα πρότυπα στην αγορά, όπως το 802.11, με εφάμιλλες ή και καλύτερες επιδόσεις και έτσι η ομάδα ανάπτυξής του σταμάτησε να το αναπτύσει το 2003, αφήνοντάς το ανοιχτό για όποιον θέλει να συνεχίσει την ανάπτυξή του.

## 5.5 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (WPAN)

Τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα είναι τα δίκτυα που έχουν εμβέλεια λίγων μέτρων μόνο και αποβλέπουν στον άμεσο περιβάλλοντα χώρο του χρήστη. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως αντικατάστατες καλωδίων σε ποικίλες συσκευές μετέπειτα όμως χρησιμοποιήθηκαν και για ποιο εξελιγμένη διασυνδεση.

### 5.5.1 Το πρότυπο BLUETOOTH/802.15

Το Bluetooth αρχικά αναπτύχθηκε από την Ericsson με την προοπτική να επιτρέπει σε φορητούς υπολογιστές να κάνουν τηλεφωνικές κλήσεις μέσω ενός κινητού τηλεφώνου. Η ανάγκη υπήρχε για ένα σύστημα ασύρματης δικτύωσης με εμβέλεια μόλις λίγων μέτρων που θα είναι φθηνό και ταυτόχρονα αξιόπιστο. Έτσι η SIG (Ericsson, Nokia, Intel, κ.α.) που ανέπτυξε και αναπτύσει ακόμη το σύστημα εξέδωσε τις προδιαγραφές του (1.0). Έπειτα η IEEE συμμετείχε στο όλο έργο πρωτυποποιώντας το σαν 802.15.1 ως το πρώτο Ασύρματο Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής. Και οι δυο ομάδες συνεχίζουν να το εξελίσσουν με κάποιες διαφορές.

Η βασική μονάδα ενός τέτοιου συστήματος είναι το piconet (μικροσκοπικό δίκτυο), το οποίο αποτελείται από ένα κόμβο κυρίου (master) και και μέχρι και επτά ενεργούς κόμβους υπηρέτη (slave) μέσα σε μια απόσταση 10 μέτρων. Πολλαπλά μικροσκοπικά δίκτυα μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα δωμάτιο, ενώ μπορούν να είναι και συνδεδεμένα μέσω ενός κόμβου γέφυρας. Στην τελευταία περίπτωση ένα τέτοιο δίκτυο ονομάζεται διάσπαρτο (scatternet). Εκτός από τους επτά ενεργούς κόμβους ένα piconet μπορεί να έχει μέχρι και 255 σταθμευμένους υπηρέτες τους οποίους την ενεργοποίηση ή μη ελέγχει ο master. Ουσιαστικά το μικροσκοπικό δίκτυο είναι ένα συγκεντρωτικό σύστημα TDM, με

τον κύριο να ελέγχει το ρολόι και να καθορίζει ποια συσκευή θα επικοινωνήσει σε ποια χρονική υποδοχή.

Ο λόγος αυτού του σχεδιασμού (piconet/scatternet) είναι η εύκολη και φθηνή υλοποίηση. Επίσης επιτρέπει πολλές συσκευές να διαμοιράζονται τον ίδιο φυσικό χώρο κάνοντας αποδοτικότερη χρήση του εύρους συχνοτήτων. Το Bluetooth λειτουργεί στην μάντα των 2,4 GHz με εμβέλεια μέχρι 10 μέτρα και μέγιστη ταχύτητα ροής δεδομένων 720 kbps. Επίσης η ισχύς εκπομπής του είναι από 1mW ως 100 mW. Χρησιμοποιεί την τεχνική frequency-hopping με κάθε κανάλι να έχει εύρος 1 MHz. Έτσι τυπικά μέχρι 80 διαφορετικές συχνοτητες χρησιμοποιούνται σε ένα συνολικό εύρος των 80 MHz.

Το Bluetooth μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Μπορεί να μεταφέρει πολύ εύκολα και επιτόπου, ήχο και δεδομένα παρέχοντας ασύρματη σύνδεση σε διαφορετικές συσκευές. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση χωρίς καλώδια, και για την δημιουργία ad-hoc δικτύων.

Οι προδιαγραφές του Bluetooth περιλαμβάνουν δύο κατηγορίες. Τον πυρήνα και τα προφίλ. Οι προδιαγραφές του πυρήνα περιγράφουν τις λεπτομέρειες των διαφόρων επιπέδων της αρχιτεκτονικής του. Οι προδιαγραφές των προφίλ περιγράφουν τη χρήση του Bluetooth ώστε να υποστηρίζει διάφορες εφαρμογές και πως αυτές συνδυάζονται με τα επίπεδα της στοίβας των πρωτοκόλλων που βρίσκονται στον πυρήνα. Κάποια από αυτά τα προφίλ είναι: μεταφορά αρχείων, γέφυρα με το internet, πρόσβαση σε τοπικό δίκτυο, ακουστικά, κ.α . Τα προφίλ είναι συνολικά 13.

Το Bluetooth για την ασφάλειά του χρησιμοποιεί authentication, κρυπτογράφηση και διαχείριση κλειδιού.

### 5.5.2 Το πρότυπο UWB/WiMedia

Ένα άλλο σύστημα που δεν έχει προτυποποιηθεί και «απ'ότι φαίνεται» ανήκει στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα είναι τα συστήματα Ultra Wideband (UWB). Αυτά τα συστήματα μεταδίδουν τα σήματα μέσα σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα και συνήθως είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτούν. Το ποσοστό του φάσματος που καταλαμβάνεται από ένα σύστημα UWB δηλαδή το εύρος ζώνης του συστήματος είναι τουλάχιστον το 25% της κεντρικής συχνότητας. Έτσι αν ένα τέτοιο σήμα λειτουργεί στην μάντα των 2 GHz θα έχει μίνιμουμ εύρος ζώνης 500 MHz. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με μία τεχνική δημιουργίας ενός σήματος UWB μεταδίδοντας παλμούς με διάρκεια μικρότερη από 1 ns.

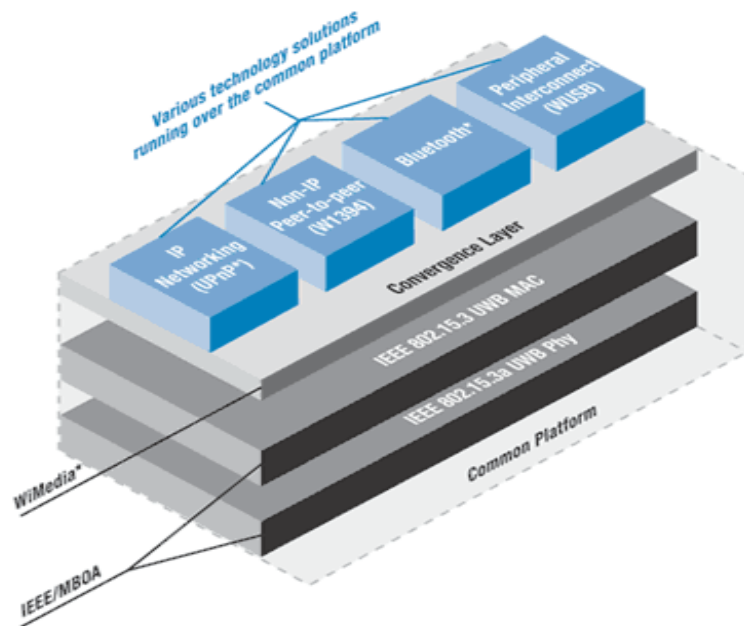
Η UWB είναι μία ασύρματη ράδιο-τεχνολογία που δημιουργήθηκε με σκοπό τη μετάδοση δεδομένων ανάμεσα σε καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές, σε περιφερειακούς προσωπικούς υπολογιστές και φορητές συσκευές σε μικρή εμβέλεια και σε πολύ υψηλές ταχύτητες, καταναλώνοντας παράλληλα, μικρή ενέργεια. Είναι ιδανική για την ασύρματη διακίνηση περιεχομένου πολυμέσων υψηλής ποιότητας.

Υπάρχουν δύο ομάδες ανάπτυξης του προτύπου για το φυσικό επίπεδο του UWB οι οποίες, ως συνήθως, διαφωνούν για το τη μορφή του τελικού προτύπου και δύσκολα θα φτάσουν σε συμφωνία παρά τις προσπάθειες της IEEE και της ομάδας εργασίας της, 802.15.3a. Το πρότυπο θα ονομαστεί 802.15.3 ή αλλιώς WiMedia. Η πρώτη ομάδα,

Multiband OFDM Alliance Special Interest Group (MBOA) έχει καταφέρει ήδη να πιάσει μέγιστη ταχύτητα ροής δεδομένων 480 mbps σε απόσταση 10 μέτρων που είναι 1000 φορές γρηγορότερη από αυτή του Bluetooth με διαφορετικό όμως MAC επίπεδο από το κλασικό IEEE MAC. Αυτή η ταχύτητα είναι μέσα στις προδιαγραφές που έχει βάλει η IEEE που είναι 400 mbps , αλλά το νέο MAC επίπεδο δεν είναι. Από την άλλη η δεύτερη ομάδα (Motorola, κλπ) υπόσχεται ταχύτητες μεγαλύτερες από 1 Gigabit per second (που προς το παρόν αγγίζει μόνο το Gigabit Ethernet που είναι ενσύρματο και με την ταχύτητα του 802.11 να περιορίζεται στα 54 mbps). Βέβαια αυτή η ταχύτητα υφίσταται σε πολύ μικρή απόσταση, γύρω στα 2-3 μέτρα. Πιθανόν αυτές οι δύο τεχνολογίες είτε να συγκλίνουν είτε να συνυπάρξουν στο μέλλον. Υπάρχει και η περίπτωση τα συστήματα UWB να ανταγωνιστούν και ασύρματα δίκτυα πιο ευρείας περιοχής όπως τα WLAN.

Σύμφωνα με την MBOA η πλατφόρμα του UWB θα αποτελείται από δύο βασικά επίπεδα (layers): Το UWB radio layer καθώς και το layer σύγκλισης, χρησιμοποιούνται ως ο θεμελιώδης μηχανισμός μετάδοσης, για διαφορετικές εφαρμογές που θα ήταν δυνατό να λειτουργούν επιπρόσθετα στο μοναδικό ραδιοπομπό, όπως τα USB, IEEE 1394, η επόμενη γενιά του Bluetooth και του Universal Plug and Play. Το UWB radio layer είναι υπό κατασκευή από την MBOA. Η MBOA αναπτύσσει ολοκληρωμένες προδιαγραφές για μία λύση που βασίζεται στην πολύπλοκη τεχνολογία της πολυζωνικής ορθογώνιας συχνότητας (OFDM), για το φυσικό layer (PHY), το layer πρόσβασης ελέγχου μέσω και το ενδιάμεσο interface για την τεχνολογία UWB. Η πολυζωνική OFDM προσέγγιση επιτρέπει τη συνύπαρξη με ελαστική φασματική κάλυψη, μελλοντική αναβαθμισιμότητα καθώς και αμφίδρομη συμβατότητα ενώ χρησιμοποιεί την πρότυπη CMOS τεχνολογία για να αξιοποιήσει τις αρχές του Νόμου του Moore. Επίσης δημιουργείται ένα κοινό "abstraction layer" για την πλατφόρμα UWB, το οποίο θα καταστήσει δυνατές πολλαπλές εφαρμογές, όπως τα Wireless USB, 1394 ή Bluetooth να «τρέχουν» σε ένα κοινό ραδιοπομπό. Αυτό το layer λογισμικού θα προστεθεί στο ραδιοπομπό UWB και θα επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε εφαρμογές.

Εικόνα 28. Η διαστρωμάτωση της πλατφόρμας του UWB.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

- [1] Tanenbaum, Andrew S. «Δίκτυα Υπολογιστών (Τέταρτη Αμερικάνικη Έκδοση)», Κλειδάριθμος, 2003
- [2] Stallings, W. «Wireless Communications and Networks, Second Edition», Prentice Hall, 2004
- [3] Stallings, W. «Επικοινωνίες Υπολογιστών & Δεδομένων, Έκτη Έκδοση», Εκδόσεις Τζιόλα, 2000
- [4] Proakis - Masoud «Συστήματα Τηλεπικοινωνιών», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2002
- [5] Rappaport, T. «Wireless Communications, Second Edition», Prentice Hall
- [6] Βαρβαρίγος - Μπερμπερίδης «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2004
- [7] Μπούρας, Χ. «Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2004

### Δικτυακοί Τόποι

- [8] <http://www.nwfusion.com>
- [9] <http://wireless.ittoolbox.com>
- [10] <http://www.bitpipe.com>
- [11] <http://www.palowireless.com>
- [12] <http://www.computer.org>
- [13] <http://www.sss-mag.com>
- [14] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com>
- [15] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [16] <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/>
- [17] <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- [18] <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html>
- [19] <http://portal.etsi.org/bran/kta/Hiperlan/hiperlan2.asp>
- [20] <http://www.patraswireless.net>

**ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΟ**

**ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

**Ακρόνυμο    Επεξήγηση**

EETT        Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων

**ΑΓΓΛΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

**Ακρόνυμο    Επεξήγηση**

ANSI        American National Standards Institute

AM            Amplitude Modulation

ARP            Address Resolution Protocol

ASK            Amplitude Shift Keying

AWGN        Additive White Gaussian Noise

BER            Bit Error Rate

BFSK            Binary Frequency Shift Keying

CCITT        Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique  
(Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony)

CDMA        Code Division Multiple Access

CNR            Carrier to Noise Ratio

CRC            Cyclic Redundancy Check

CSMA        Carrier Sense Multiple Access

CSMA/CD    Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

CTS            Clear To Send

DSP            Digital Signal Processor



<b>Ακρόνυμο</b>	<b>Επεξήγηση</b>
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
GEO	Geostationary Earth Orbit
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HIPELAN	HIgh PErformance Radio LAN
HR-DSSS	High-Rate Direct Sequence Spread Spectrum
IAB	Internet Architecture Board
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IPsec	Internet Protocol Security
IrDA	Infrared Data Association
IRTF	Internet Research Task Force
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISI	Inter-Symbol Interference
ISM	Industrial Scientific & Medical

<b>Ακρόνυμο</b>	<b>Επεξήγηση</b>
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LEO	Low Earth Orbit
LL	Local Loop
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LOS	Line Of Sight
MAC	Medium Access Control
MACAW	Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless
MANET	Mobile Ad Hoc NETWORK
MAN	Metropolitan Area Network
MEO	Medium Earth Orbit
MMDS	Multi-channel Multipoint Distribution System
MMS	Multimedia Messaging Service
MSC	Mobile Switching Center
MSK	Minimum Shift Keying
NLOS	Near Line Of Sight
OQPSK	Orthogonal (Offset) Quadrature Phase-Shift Keying
PAN	Personal Area Network
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service

<b>Ακρόνυμο</b>	<b>Επεξήγηση</b>
RFC	Request For Comment
RTS	Request To Send
SIG	Special Interest Group
SMS	Short Message Service
SOHO	Small Office/Home Office
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VLSI	Very Large Scale Integration
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network