

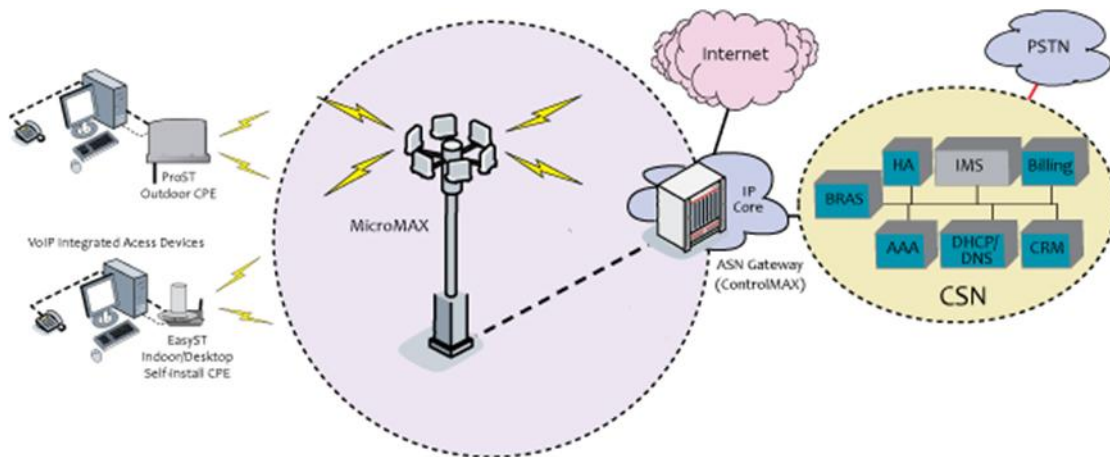


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:ΒΑΡΤΖΙΩΤΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

ΑΡΤΑ,2014

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η θεωρητική μελέτη και στη συνέχεια η ανάπτυξη της τεχνολογίας Wimax εκτελώντας και αντίστοιχες προσομοιώσεις στο Opnet και στο Radio Mobile. Αυτά τα δύο είναι εργαλεία προσομοίωσης δικτύων παρέχοντάς μας σημαντικές πληροφορίες που απαιτούνται στην υλοποίηση των δικτύων.

Το WiMAX μπορεί να λειτουργήσει είτε ως επέκταση, είτε ως βελτίωση του υπάρχοντος, είτε ως ανεξάρτητο δίκτυο ξεπερνώντας τους περιορισμούς και τις ασυμβατότητες των άλλων μέσων. Επίσης έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει ποιοτικές υπηρεσίες (μεταφορά ήχου, video και δεδομένων) με υψηλές ταχύτητες και με πλήρης γεωγραφική και πληθυσμιακή κάλυψη. Ο τελικός προορισμός του WiMAX είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη και ευρέως χρησιμοποιημένη τεχνολογία.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρουμε βασικά χαρακτηριστικά για τις ασύρματες επικοινωνίες και στο δεύτερο κεφάλαιο κάνουμε μία εκτενή αναφορά συγκεκριμένα στα δίκτυα τεχνολογίας Wimax. Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε και στα δύο προγράμματα ενώ στο τέταρτο παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εκτέλεση των προσομοιώσεων και τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο καταλήγουμε στα συμπεράσματα που καταλήξαμε.

Πίνακας Περιεχομένων

1° Κεφάλαιο: Εισαγωγή	9
1.1 Ιστορική εξέλιξη	9
1.2 Συστήματα ενσύρματης τηλεφωνίας	12
1.3 Συστήματα κινητής τηλεφωνίας	16
1.3.1 Κυψελωτά συστήματα 1 ^{ης} γενιάς	16
1.3.2 Μετάβαση στα κυψελωτά ψηφιακά συστήματα	17
1.3.3 Κυψελωτά συστήματα 2 ^{ης} γενιάς	19
1.3.4 Κυψελωτά συστήματα 2.5 ^{ης} γενιάς	21
1.3.5 Κυψελωτά συστήματα 4 ^{ης} γενιάς	23
1.4 Ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών	25
1.4.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα επικοινωνιών (WLANs)	25
1.4.2 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs)	27
1.4.3 Δίκτυα ασύρματης ευρυζωνικής ραδιοπρόσβασης (BWANs, WMANs)	28
1.5 Βασικές έννοιες	30
1.5.1 Τρόποι μετάδοσης	30
1.5.2 Μηχανισμοί διάδοσης	31
1.5.3 Ζώνες Συχνοτήτων	33
1.5.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας	33
1.5.5 Είδη κεραιών	34
1.5.6 Κατευθυντικότητα	36
1.6 Πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων	36
2° Κεφάλαιο: Τεχνολογία Wimax	39
2.1 Εισαγωγή	39
2.2 Τι σημαίνει ο όρος WiMAX	40
2.3 WiMAX FORUM	41
2.4 Λειτουργία ενός WiMAX συστήματος	43
2.5 Ασφάλεια WiMAX	44
2.6 Χαρακτηριστικά του WiMAX	45
2.7 Εξοπλισμός WiMAX	46
2.8 Ζώνες συχνοτήτων	48
2.8.1 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα	48
2.8.2 Αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων	50
2.8.3 Μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων	51
2.9 Ανάλυση του WiMAX	51
2.10 Τύποι συσκευών	53
2.11 Αρχιτεκτονική δικτύων Wimax	56

2.12 Σύγκριση WiMAX με Wi-Fi	60
2.13 Εφαρμογές του WiMAX	61
3° Κεφάλαιο: Μεθοδολογία	63
3.1 Ornet	64
3.2 Radio Mobile	70
3.3 Κοστολόγιο	71
4° Κεφάλαιο: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	73
4.1 Αποτελέσματα Ornet	73
4.2 Αποτελέσματα Radio Mobile	78
5° Κεφάλαιο: Συμπεράσματα	86
Βιβλιογραφία	87

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά των προδιαγραφών IEEE802.11	27
--	----

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 AM - διαμόρφωση πλάτους	10
Εικόνα 2 FM- διαμόρφωση συχνότητας.....	11
Εικόνα 3 Σύγκριση ρυθμών μετάδοσης.....	16
Εικόνα 4 Εξέλιξη προτύπων 802.16.....	30
Εικόνα 5 ζώνες συχνοτήτων	33
Εικόνα 6 Διάγραμμα ακτινοβολίας ιστροπικής κεραίας.....	34
Εικόνα 7 Διάγραμμα ακτινοβολίας κατευθυντικής κεραίας.....	35
Εικόνα 8 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας	35
Εικόνα 9 Στοιβα (υπό) επιπέδων του 802.16	53
Εικόνα 10 Wimax τοπολογία δικτύου	57
Εικόνα 11 Wimax αρχιτεκτονική	58
Εικόνα 12 χάρτης Νίκαια.....	64
Εικόνα 13 αρχικό παράθυρο Ornet	65
Εικόνα 14 Τεχνολογία Wimax.....	67
Εικόνα 15 Παλέτα Wimax.....	67
Εικόνα 16 Επιλογή Νίκαιας με zoom in.....	68
Εικόνα 17 Wimax δίκτυο	69
Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά σταθμού βάσης.....	69
Εικόνα 19 χαρακτηριστικά χρηστών- κινητών σταθμών.....	70
Εικόνα 20 Δημιουργία δικτύου	71
Εικόνα 21 Καθυστέρηση στο δίκτυο	73
Εικόνα 22 Ρυθμαπόδοση και φορτίο δικτύου	74
Εικόνα 23 Χωρητικότητα σταθμού βάσης.....	74
Εικόνα 24 Κίνηση από και προς τον σταθμό βάσης.....	75
Εικόνα 25 FTP server	76
Εικόνα 26 Στατιστικά συνδέσεων.....	76
Εικόνα 27 Χρήστης σε μακρινή απόσταση.....	77
Εικόνα 28 Χρήστης σε κοντινή απόσταση.....	77
Εικόνα 29 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας 2D.....	78
Εικόνα 30 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας 3D.....	78
Εικόνα 31 ζεύξη με χρήστη2.....	79
Εικόνα 32 ζεύξη με χρήστη1.....	80
Εικόνα 33 διαδικασία προσομοίωσης.....	81
Εικόνα 34 Διάγραμμα ακτινοβολίας σταθμού βάσης.....	81
Εικόνα 35 Οπτικός ορίζοντας σταθμού βάσης.....	82
Εικόνα 36 Νέα τοποθεσία σταθμού βάσης.....	83
Εικόνα 37 Νέο διάγραμμα ακτινοβολίας	83
Εικόνα 38 Δεύτερος σταθμός βάσης.....	84
Εικόνα 39 Παρεμβολές μεταξύ των δύο σταθμών βάσης	84
Εικόνα 40 Τομεοποίηση	85

Εικόνα 41 Παρεμβολές τομέων.....	85
Εικόνα 42 Παρεμβολές αναμεταδότη	86

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Ιστορική εξέλιξη

Ο άνθρωπος είναι από τη φύση του κοινωνικό ον, επομένως έχει ανάγκη για επικοινωνία την οποία αρχικά κάλυψε ξεκινώντας με μικρές διαδικασίες ανταλλαγής και εξελίσσοντας τη σε πλήρεις συνομιλίες και μαζική επικοινωνία. Σημαντικός κλάδος της επικοινωνίας, είναι οι τηλεπικοινωνίες. Με τον όρο τηλεπικοινωνία εννοούμε την μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δύο χρηστών που βρίσκονται σε μια απόσταση. Αυτή η επικοινωνία μπορεί να είναι ενσύρματη, ασύρματη και ανεξάρτητη από την απόσταση των ανθρώπων που επικοινωνούν.

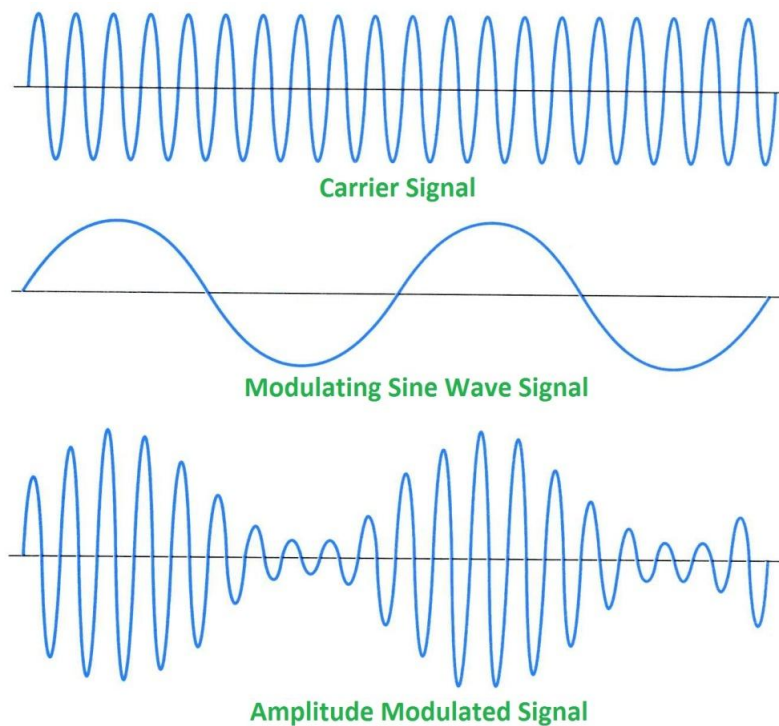
Οι πρώτες μορφές τηλεπικοινωνιών πραγματοποιούνταν με την χρήση φωτιάς και είναι γνωστές με την ονομασία Φρυκτωρίες. Σύμφωνα με τον Όμηρο οι Αχαιοί χρησιμοποίησαν μεγάλες φωτιές στις κορυφές των βουνών για να αναγγείλουν την πτώση της Τροίας στις Μυκήνες. Η φωτιά χρησιμοποιούνταν ως μέσο τηλεπικοινωνίας μέχρι και τον 19^ο αιώνα. Κατά τη μετάβαση στον 20^ο αιώνα και αφότου είχαν ξεκινήσει οι πρακτικές εφαρμογές του ηλεκτρισμού, ήταν δυνατόν να γίνεται η επικοινωνία γρηγορότερα και να καλύπτονται μεγαλύτερες αποστάσεις.

Αρχικά αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση τεχνολογιών ενσύρματης πρόσβασης, όμως η εποχή μας χαρακτηρίζεται ως «εποχή της πληροφορίας», επομένως δημιουργήθηκε η ανάγκη και άλλων τρόπων μετάδοσης των δεδομένων. Ένας ασύλληπτα μεγάλος αριθμός πληροφοριών μεταφέρονται από τον πομπό στο δέκτη, μέσα από καλώδια χαλκού ή από οπτικές ίνες, ενσύρματη τηλεπικοινωνία, ή μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ασύρματη τηλεπικοινωνία.

Σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας, η προς μετάδοση πληροφορία - ήχος, εικόνα, video ή δεδομένα - μετατρέπεται με το κατάλληλο μέσο - μικρόφωνο ή βιντεοκάμερα - σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Με τον όρο σήμα εννοούμε μία σημαντική διαδικασία με την οποία η μετάδοση κάποιου κύματος μετατρέπεται σε ηλεκτρικό μέγεθος. Επομένως, σήμα είναι ένα ηλεκτρικό κύμα ή μια ηλεκτρική κυματομορφή.

Ένας ήχος μπορεί να μετατραπεί με ένα μικρόφωνο σε ηλεκτρικό σήμα. Έτσι ένας ήχος αρμονικός, σαν αυτόν του διαπασών, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Για να

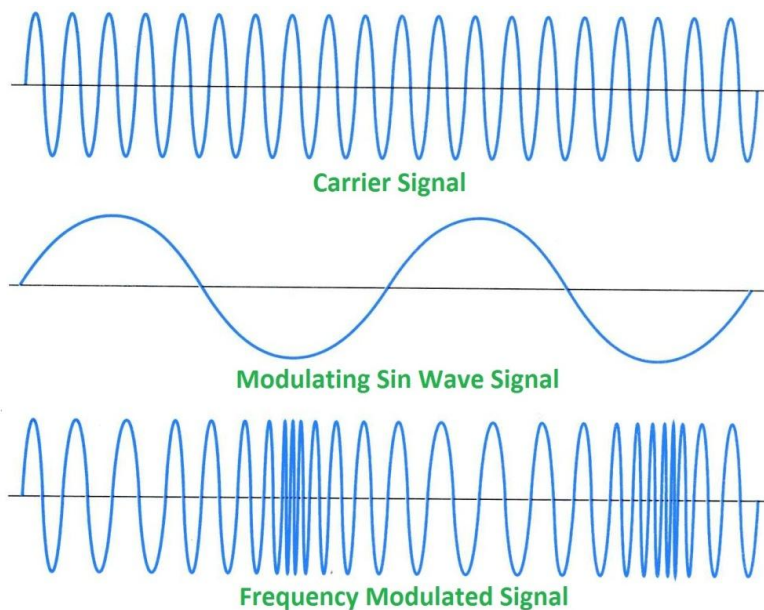
μεταδώσουμε την πληροφορία, το ηλεκτρικό σήμα που παίρνουμε από το μικρόφωνο διαβιβάζεται στην κεραία του πομπού, αφού προηγουμένα το διαμορφώσουμε. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα προστίθεται σε ένα αρμονικό κύμα υψηλής συχνότητας, που παράγεται στον πομπό και ονομάζεται φέρουσα συχνότητα. Έτσι το κύμα που εκπέμπεται από την κεραία έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος. Η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται διαμόρφωση κατά πλάτος ή AM (amplitude modulation).



Εικόνα 1 AM - διαμόρφωση πλάτους

Το σήμα μπορεί να διαμορφωθεί και στη συχνότητά του. Η διαμόρφωση αυτή λέγεται διαμόρφωση κατά συχνότητα ή FM (frequency modulation). Στη διαμόρφωση κατά συχνότητα στο φέρον κύμα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα. Όσο πιο ισχυρό είναι το ηχητικό σήμα τόσο πιο έντονα είναι τα πυκνώματα και αραιώματα που δημιουργούνται στο φέρον κύμα. Το πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι το διαμορφωμένο κύμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από παράσιτα. Τα παράσιτα, κατά τη συμβολή τους με το διαμορφωμένο κύμα, επηρεάζουν κυρίως τα πλάτη και λιγότερο τις συχνότητες. Η διαμόρφωση του κύματος μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους και μάλιστα μπορεί να συνυπάρξουν πολλές διαμορφώσεις ταυτόχρονα σε ένα φέρον σήμα. Το

διαμορφωμένο κύμα διεγείρει την κεραία. Τα φορτία της ταλαντώνονται και εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα αντίστοιχης μορφής.



Εικόνα 2 FM- διαμόρφωση συχνότητας

Η λήψη ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τον δέκτη, γίνεται με έναν αγωγό την κεραία. Ο δέκτης αφού συντονιστεί με κάποιο πομπό διαχωρίζει το φέρον κύμα από την ταλάντωση που το διαμόρφωσε και το μετατρέπει σε ρεύμα όμοιας μορφής. Το ρεύμα αυτό αφού ενισχυθεί οδηγείται στο μεγάφωνο το οποίο αναπαράγει τον αρχικό ήχο.

Η θεωρητική θεμελίωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας έγινε από τον Maxwell, ο οποίος ενοποίησε τη θεωρία του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού μέσω των ομώνυμων εξισώσεων, προβλέποντας την ηλεκτρομαγνητική φύση του φωτός καθώς και το ότι φως και ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με κυματικές διαταραχές της ίδιας ταχύτητας. (Μπακούλη_Κατσινά, 2007)

Ο Marconi υλοποίησε για πρώτη φορά το 1897 ένα σύστημα ασύρματης μετάδοσης, τον τηλεγράφο, βασιζόμενος στη θεωρία του Maxwell. Οι πρώτες μεταδόσεις τηλεγραφικών μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις πραγματοποιήθηκαν από το Marconi στις αρχές του εικοστού αιώνα, ενώ η ασύρματη μετάδοση φωνής σε μεγάλες αποστάσεις συνδυάστηκε

με την εφεύρεση των λυχνίων ενίσχυσης και των ταλαντωτών κατά τη δεκαετία 1905-1915. (Μπακούλη_Κατσινά, 2007)

Από την εποχή του Marconi μέχρι το 1940 η τεχνολογία των κεραιών επικεντρώθηκε στην κατηγορία των κεραιών σύρματος και σε συχνότητες μέχρι UHF. Από το 1940 άρχισαν να χρησιμοποιούνται και άλλοι τύποι κεραιών, όπως ανοικτών κυματοδηγών, χοανοκεραιών, κεραιών με ανακλαστήρα κ.λπ. . Η γρήγορη ανάπτυξη της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής σε συνδυασμό με την αντίστοιχη αύξηση του όγκου της πληροφορίας που διακινείται παγκοσμίως έχουν επιφέρει και αναμένεται να δώσουν ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στο αντικείμενο των κεραιών και των ασύρματων ζεύξεων τόσο στην εισαγωγή νέων μεθόδων ανάλυσης σύνθετων κεραιών όσο και στην ανάπτυξη συστημάτων έξυπνων κεραιών. (Μπακούλη_Κατσινά, 2007)

1.2 Συστήματα ενσύρματης τηλεφωνίας

Ο Αμερικάνος Γκράχαμ Μπελ πέτυχε το 1876 να παρουσιάσει την πρώτη τηλεφωνική συσκευή με την οποία μετέφερε την φωνή σε μεγάλη απόσταση. Το 1890 κατασκευάστηκε από τον Στρούγκερ ο αυτόματος δίσκος επιλογής και έτσι δημιουργήθηκε το πρώτο αυτόματο τηλέφωνο. Το 1915 έγιναν τα εγκαίνια της πρώτης τηλεφωνικής γραμμής μεταξύ Ν. Υόρκης και Άγιου Φραγκίσκου. Το τηλέφωνο αποτελεί μία συσκευή συνδιάλεξης η οποία μεταφέρει τον ήχο μέσω ηλεκτρικών σημάτων και μετασχηματίζει τις ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε ηχητικές. Η συσκευή αποτελείται από πομπό και δέκτη και συνδέεται με το τηλεφωνικό κέντρο με καλώδιο.

Όμως η επικράτηση της ψηφιακής τεχνολογίας στις επικοινωνίες οδηγεί στην ολοκλήρωση των δικτύων με σκοπό αυτά να αντιμετωπίζουν με ενιαίο τρόπο όλες τις εφαρμογές όπως φωνή, εικόνα, video. Η τηλεφωνία μετατράπηκε από αναλογική σε ψηφιακή σε όλα τα επίπεδα, δηλαδή στη μετάδοση, στη μεταγωγή και στη σήμανση. (Αλεξόπουλος, 2003)

Το τηλεφωνικό δίκτυο ανήκει στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος, διατηρώντας σταθερά ανοικτό ένα κύκλωμα επικοινωνίας μεταξύ των ακραίων συνδρομητών για όσο διάστημα διαρκεί η τηλεφωνική σύνδεση. Όμως η εξέλιξη στο χώρο των τηλεπικοινωνιών, έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται συνεχώς οι ανάγκες των χρηστών για υψηλότερους ρυθμούς

μετάδοσης. Επομένως δημιουργείται η ανάγκη για δίκτυα πρόσβασης που θα επιτρέπουν τη σύνδεση κάθε χρήστη με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης με τα δίκτυα πρόσβασης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Με τον όρο δίκτυο πρόσβασης εννοούμε τη διαπαφή μεταξύ χρήστη και συνδρομητικού κέντρου του τηλεπικοινωνιακού οργανισμού. Τα μέσα που έχουμε στη διάθεσή μας είναι χάλκινα καλώδια, οπτικές ίνες και ομοαξονικά καλώδια για την καλωδιακή τηλεόραση. (Αλεξόπουλος, 2003)

Οι συνδρομητές των τηλεφωνικών δικτύων συνδέονται με τα τηλεφωνικά κέντρα των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών μέσω του τοπικού βρόχου, που είναι ένα ζευγάρι χάλκινων συνεστραμμένων καλωδίων. Για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης έχουν αναπτυχθεί κάποιες τεχνολογίες οι οποίες συνεχώς εξελίσσονται και αναβαθμίζονται. Αυτές οι τεχνολογίες ονομάζονται DSL (digital subscriber line) και έχουν στόχο τη χρήση του τοπικού βρόχου για μετάδοση δεδομένων με υψηλές ταχύτητες. Στις αστικές περιοχές τα τηλεφωνικά κέντρα έχουν τους περισσότερους συνδρομητές τους σε αποστάσεις μικρότερες από 3 με 4 km. Σε τέτοιες αποστάσεις η τεχνολογία DSL επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων στα υπάρχοντα εγκατεστημένα χάλκινα καλώδια με υψηλές ταχύτητες για τη μετάδοση δεδομένων, τα οποία πλέον έχουν αρχίσει και αντικαθίστανται με οπτικές ίνες, τόσο στα μεγάλα αστικά κέντρα όσο και σε μικρότερες πόλεις.

DSL

Το DSL, ή ψηφιακή συνδρομητική γραμμή, χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης στην τηλεφωνική μας γραμμή για να μεταφέρει τα πρόσθετα σήματα. Ένα τυπικό ζευγάρι χάλκινων καλωδίων είναι ικανό να μεταδώσει πληροφορία σε πολλές διαφορετικές συχνότητες. Η τηλεφωνική γραμμή έχει ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων ώστε να χρησιμοποιηθούν σήματα DSL, εξασφαλίζοντας όμως ότι τα σήματα DSL και οι τηλεφωνικές συνομιλίες δεν αλληλεπιδρούν. Πολλά κανάλια χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για σήματα φωνής και τα εναπομείναντα κανάλια χρησιμοποιούνται για σήματα DSL. Σε μερικές περιπτώσεις, ένα κομμάτι συχνοτήτων παραμένει σκόπιμα αχρησιμοποίητο μεταξύ των συχνοτήτων φωνής και DSL. Για να αποτραπεί η αλληλεπίδραση των συνομιλιών φωνής, χρησιμοποιούνται τα χαμηλοπερατά φίλτρα ή διαιρέτες σε όλα τα βύσματα φωνής και μόντεμ. Αυτές οι συσκευές μπλοκάρουν όλα τα

σήματα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα έτσι ώστε οι διαμεταγωγή φωνής και δεδομένων να μην χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες. (howstuffworks.com)

Τα σήματα DSL μπορεί να είναι "ασύγχρονα" (ADSL), το οποίο σημαίνει ότι οι ικανότητες λήψης και αποστολής είναι διαφορετικές. Οι εταιρίες που παρέχουν το σήμα υποθέτουν ότι θα υπάρχει μεγαλύτερη κυκλοφορία λήψης από αποστολής και διαμοιράζουν αντίστοιχα το εύρος ζώνης. Το σύγχρονο DSL (SDSL) παρέχει τις ίδιες ταχύτητες για λήψη και αποστολή δεδομένων. Αντίθετα από την καλωδιακή σύνδεση στο διαδίκτυο, μια γραμμή DSL είναι ένα αποκλειστικό μέσο, δηλαδή αν όλοι στο δρόμο έχουν DSL και το χρησιμοποιούν όλοι ταυτόχρονα, κανείς δεν θα έχει απώλεια σε εύρος ζώνης. Στην Ευρώπη, οι ταχύτητες DSL ποικίλουν από 256 Kbps έως 2 Mbps. (howstuffworks.com)

ADSL

Το ADSL είναι μία μορφή DSL δηλαδή μια τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων που λειτουργεί πάνω σε παραδοσιακή τηλεφωνική γραμμή αλλά πετυχαίνει υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς από τα παραδοσιακά μόντεμ. Το απλό χάλκινο καλώδιο που συνδέει σχεδόν κάθε σπίτι με το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο, έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες από την υποστήριξη της απλής τηλεφωνίας. Έτσι με χρήση ανώτερου τμήματος του εύρους ζώνης του βρόχου, εκείνο το οποίο μένει αναξιοποίητο από την κλασική τηλεφωνία, επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Το γεγονός αυτό προσφέρει ένα ακόμη πλεονέκτημα: η παραδοσιακή τηλεφωνία και η μετάδοση δεδομένων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη, εφόσον χρησιμοποιούν διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων στην τηλεφωνική γραμμή. Ωστόσο οι συχνότητες που χρησιμοποιεί το ADSL εξασθενούν συντομότερα από αυτές της τηλεφωνίας, με αποτέλεσμα να μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις έως 5 Χλμ. από το τηλεφωνικό κέντρο. Επιπλέον, όσο μεγαλώνει η απόσταση από το τηλεφωνικό κέντρο τόσο μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί από το ADSL. (Wikipedia/ADSL)

Χαρακτηριστικό του ADSL είναι το ότι οι ταχύτητες λήψης και αποστολής δεδομένων διαφέρουν και γι' αυτό υπάρχει η λέξη «ασύμμετρη» στο όνομά του. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτύχει είναι τα 24 Mbps. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό είναι ότι η

σύνδεση ADSL είναι μόνιμη και διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή. Δηλαδή δεν απαιτείται σύνδεση και αποσύνδεση από το δίκτυο όπως συμβαίνει με τις τηλεφωνικές κλήσεις. (Wikipedia/ADSL)

VDSL

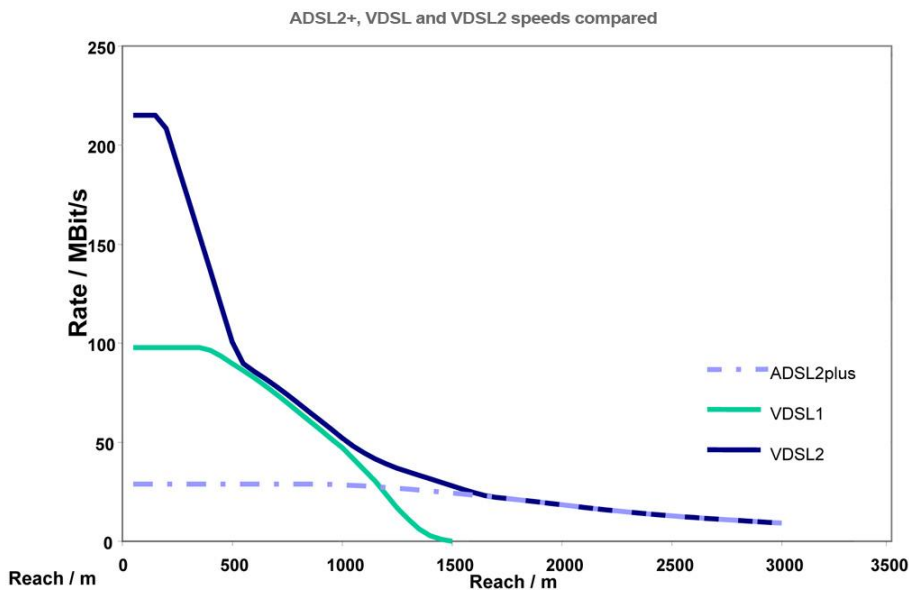
Το VDSL αποτελεί την επόμενη γενιά των τεχνολογιών της μορφής xDSL. Με σκοπό την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων σε ρυθμούς μετάδοσης, η ITU-T ενέκρινε και θεσμοθέτησε τον Μάιο του 2006 την τεχνολογία VDSL2 (Very High bit rate Digital Subscriber Line Generation 2) υπό το πρότυπο G.993.2. Αυτό το πρότυπο χρησιμοποιείται από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για την παροχή υπερ-υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης στο Internet. (Cyta)

Οι νέες υπερ-υψηλές ταχύτητες, μέσω τεχνολογίας VDSL2, απευθύνονται σε χρήστες οι οποίοι επιθυμούν αυξημένες ταχύτητες στο Internet τόσο για ψυχαγωγία και ανταλλαγή μεγάλων αρχείων όσο και για εργασία. Οι νέες υπηρεσίες που αναπτύσσονται στην παγκόσμια αγορά (Web TV, HD video) και η συνεχώς αυξανόμενη παράλληλη χρήση πολλαπλών ψηφιακών συσκευών (PC, tablet, smart phones, smart TVs) καθιστούν αναγκαία την αύξηση των DSL ταχυτήτων, ώστε ο χρήστης να απολαμβάνει την ποιότητα του περιεχομένου χωρίς να αλλάξει η εμπειρία χρήσης (user experience) που έχει για τις υφιστάμενες Web υπηρεσίες. Οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης οφείλονται στο γεγονός ότι η τεχνολογία VDSL χρησιμοποιεί αρκετά μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το ADSL2+, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά ο ρυθμός μετάδοσης. Επομένως, το κέρδος σε ρυθμούς μετάδοσης οφείλεται στη διαφορετική τεχνολογία και όχι σε αλλαγές στο δίκτυο μετάδοσης (χάλκινοι αγωγοί). (Cyta)

Όπως και στην περίπτωση της τεχνολογίας ADSL, η πραγματική ταχύτητα (ρυθμός μετάδοσης) συγχρονισμού δεν είναι απόλυτα εγγυημένη, καθώς εξαρτάται από την απόσταση του χρήστη από το αστικό κέντρο εξυπηρέτησης, την ποιότητα του δικτύου διανομής (χάλκινων αγωγών) της περιοχής, τις παρεμβολές από άλλα δίκτυα και την ποιότητα της εσωτερικής καλωδίωσης του χρήστη.

Ωστόσο, κατά κανόνα, οι χρήστες που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 1000μ από το οικείο αστικό κέντρο, απολαμβάνουν αρκετά υψηλότερες ταχύτητες με την τεχνολογία

VDSL, ειδικά κατά την ανερχόμενη ζεύξη (upstream), όπου το όφελος είναι πολύ σημαντικό. (Cyta)



Εικόνα 3 Σύγκριση ρυθμών μετάδοσης

1.3 Συστήματα κινητής τηλεφωνίας

1.3.1 Κυβελωτά συστήματα 1^{ης} γενιάς

Αρχικά, τα πρώτα συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιήθηκαν από αστυνομικά τμήματα σε πόλεις των ΗΠΑ για λόγους δημόσιας ασφάλειας. Το 1934 εγκαταστάθηκαν σε 252 αστυνομικά τμήματα τα πρώτα αναλογικά συστήματα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούσαν αναλογική διαμόρφωση πλάτους (AM). Περίπου 500 συσκευές είχαν εγκατασταθεί σε αυτοκίνητα της αστυνομίας για την επικοινωνία με τα τμήματα. Μα την εισαγωγή από τον Edwin Armstrong το 1935 της διαμόρφωσης συχνότητας (FM), όλα τα συστήματα κινητών επικοινωνιών υιοθετούν την FM διαμόρφωση. Το 1946 εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά συστήματα κινητών επικοινωνιών σε 25 πόλεις των ΗΠΑ. Κάθε σύστημα χρησιμοποιούσε ένα πομπό σε υψηλό πύργο για να καλύπτει αποστάσεις μέχρι 50Km. Το εύρος ζώνης για την φωνή ήταν 120 KHz, σε half-duplex επικοινωνία. Στη δεκαετία του 1950 η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την μείωση του εύρους στα 60KHz και στην δεκαετία του 1960 στα 30KHz. (Κανάτας, 2008)

Με την πάροδο των χρόνων η ανάγκη για εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών έγινε ιδιαίτερα μεγάλη. Στη δεκαετία του 1960 η AT&T Bell Labs καθώς και άλλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών ανέπτυξαν τις βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων. Η βασική ιδέα ήταν ο χωρισμός μίας περιοχής κάλυψης σε μικρές κυψέλες, κάθε μία από τις οποίες επαναχρησιμοποιεί διαύλους, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα των συστημάτων. Παρόλο που η AT&T πρότεινε τα κυψελωτά συστήματα στην FCC το 1968 η τεχνολογία δεν ήταν ακόμη έτοιμη να τα υποστηρίξει μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Το 1976 το WARC (World Administrative Radio Conference) ενέκρινε την απόδοση συχνοτήτων για κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών στην περιοχή των 800/900MHz θέτοντας τη βάση για την ανάπτυξη εμπορικών συστημάτων. (Κανάτας, 2008)

Το πρώτο παγκοσμίως κυψελωτό σύστημα που λειτούργησε ήταν στην Ιαπωνία το 1979 από τη Nippon Telephone and Telegraph (NTT). Το σύστημα χρησιμοποιούσε 600 FM duplex διαύλους με εύρος 25KHz στα 325-340/870-885MHz. Το 1981 η Ericsson ανέπτυξε το πρώτο ευρωπαϊκό κυψελωτό σύστημα, το NMT450 (Nordic Mobile Telephone), στην ζώνη 450-470MHz, το οποίο μετεξελίχθηκε στο NMT900, στην ζώνη 890-915/917-950MHz, το 1986. Το 1983 αναπτύχθηκε το πρώτο δοκιμαστικό κυψελωτό σύστημα στην Αμερική το amps (American Mobile Phone System) από την AT&T στο Σικάγο, στην ζώνη 824-849/869-894MHz, με εύρος διαύλου τα 30KHz. Τα NTT, NMT450, NMT900, AMPS, NAMPS, ETACS, JTACS, C-450 αποτελούν κυψελωτά συστήματα 1^{ης} γενιάς, με βασικά χαρακτηριστικά την αναλογικά διαμόρφωση FM, την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA και την τεχνική FDD. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του διαμορφωμένου σήματος στα συστήματα FDD πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά, ώστε η παρασιτικά ακτινοβολούμενη ισχύς σε γειτονικούς διαύλους να είναι 60-80dB χαμηλότερα από την επιθυμητή. Τα περισσότερα από τα προϊόντα προαναφερθέντα συστήματα χρησιμοποιούν μία απόσταση 45MHz μεταξύ συχνοτήτων εκπομπής και λήψης, τέτοια ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση του διπλέκτη με εταιρική απομόνωση των δύο συχνοτήτων. Ο πίνακας απεικονίζει βασικά χαρακτηριστικά των κυψελωτών συστημάτων 1^{ης} γενιάς. (Κανάτας, 2008)

1.3.2 Μετάβαση στα κυψελωτά ψηφιακά συστήματα

Ενώ οι ψηφιακές τεχνικές υιοθετήθηκαν γρήγορα στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών, έπρεπε να προηγηθεί η ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία της μικροηλεκτρονικής μέχρι να βρουν εφαρμογή στα ασύρματα συστήματα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων έναντι των αναλογικών:

- έχουν αυξημένη ανοσία στον θόρυβο
- δίνουν την δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος προσφέροντας περισσότερο αποδοτικές τεχνικές μετάδοσης και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, κάνοντας χρήση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων, φασματικά αποδοτικών τεχνικών διαμόρφωσης, αποδοτική κωδικοποίηση πληροφορίας και κωδικοποίηση διαύλου.
- έχουν την δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης.
- δίνουν ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων.
- έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.
- επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορετικών επίπεδων ποιότητας υπηρεσίας, παρέχοντας ταυτόχρονα υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
- είναι εύκολα υλοποιήσιμα σε VLSI χαμηλού κόστους.
- παρέχουν τη δυνατότητα για επιπλέον τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (TDMA/CDMA/SDMA) και duplexing (TDD).
- επιτρέπουν την υλοποίηση των επαναπροσδιοριζόμενων δεκτών λογισμικού (Software Defined Radio-SDR) και των λεγόμενων cognitive radios. (Κανάτας, 2008)

Υπάρχουν βέβαια και κάποια μειονεκτήματα έναντι των αναλογικών συστημάτων όπως

- ανάγκη για ισοστάθμιση ώστε να αποφεύγονται διασυμβολικές παρεμβολές.
- κόστος αντικατάστασης υπαρχόντων αναλογικών συστημάτων, όπου αυτά υπάρχουν, π.χ. ΗΠΑ.
- ποιότητα φωνής συχνά υποβαθμισμένη.
- ανάγκη για συγχρονισμό.
- Αυξημένη πολυπλοκότητα αλγορίθμων, διαδικασιών ελέγχου και πρωτοκόλλων. (Κανάτας, 2008)

Στις αρχές του 1980 υπάρχει αδυναμία των αναλογικών κυψελωτών συστημάτων να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις των επερχόμενων χρόνων, λόγω πέντε βασικών περιορισμών που τα χαρακτηρίζαν:

1. Εξαιρετικά περιορισμένο φάσμα προς απόδοση, και συνεπώς χαμηλή χωρητικότητα συστημάτων.
2. Η αντίληψη των χρηστών ότι ήταν περιορισμένης χρησιμότητας λόγω της χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών . αλλά και του αριθμού των προσφερόμενων υπηρεσιών.
3. Απουσία ασφάλειας επικοινωνιών.
4. Αδυναμία να μειώσουν το κόστος των τερματικών και της υποδομής των δικτύων.
5. Ασυμβατότητα μεταξύ των διαφόρων αναλογικών συστημάτων. (Κανάτας, 2008)

1.3.3 Κυψελωτά συστήματα 2^{ης} γενιάς

Ήταν συνεπώς αναμενόμενη η στροφή της βιομηχανίας στις ψηφιακές τεχνικές που αποδείχτηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικές και στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών. Τα 2^{ης} γενιάς κυψελωτά δίκτυα βασίζονται εξ' ολοκλήρου σε ψηφιακές τεχνικές, εκμεταλλεζόμενα τα εμφανή και πολλαπλά τους πλεονεκτήματα. (Κανάτας, 2008)

IS-54 IS-136 ΚΑΙ IS-95

Στις ΗΠΑ αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα 2^{ης} γενιάς, το IS-54 με τεχνική TDMA, και το IS-95 με τεχνική CDMA. Και τα δύο συστήματα σχεδιάστηκαν να είναι συμβατά με το σύστημα AMPS. Η IS-54 προδιαγραφή, που πολλές φορές καλείται και USDC (US Digital Cellular) ή Digital AMPS, καθορίζει τερματικά διπλού τρόπου λειτουργίας, συμβατά με το AMPS αλλά και τα ικανά για ψηφιακά σηματοδοσία βασισμένη στο TDMA (3 χρονοσχισμές ανά φέρον), με απόσταση φερόντων τα 30KHz, διαμόρφωση $\pi/4$ -DQPSK, με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 48.6Kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι ίδιες με εκείνες του AMPS (824-294MHz). Το σύστημα υποστηρίζει δύο τύπους διαύλων σηματοδοσίας ελέγχου, ένα για το ψηφιακό με ρυθμό 48.6Kbps και ένα για τους διαύλους του AMPS με ρυθμό 10Kbps. Εξέλιξη του IS-54 είναι το IS-136, που παρέχει δυνατότητα αποστολής μικρών μηνυμάτων, και υποστηρίζει κλειστές ομάδες

χρηστών. Τα τεματικά του IS-136 δεν είναι συμβατά με εκείνα του IS-54 γιατί το IS-136 έχει διαύλους σηματοδοσίας ελέγχου μόνο στα 48.6Kbps. (Κανάτας, 2008)

Το Μάρτιο του 1992 υιοθετήθηκε ένα επιπλέον σύστημα το IS-95, που βασίζεται στην τεχνική CDMA και προτάθηκε από την Qualcomm. Χρησιμοποιεί διασπορά φάσματος απευθείας ακολουθίας (Spread Spectrum Direct Sequence) και παρουσιάζει ασυμμετρία ζεύξης, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές για την ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη. Σε κάθε Κινητό σταθμό σε μία κυψέλη, αποδίδεται ένας διαφορετικός κώδικας, παρέχοντας έτσι ορθογωνιότητα μεταξύ των χρηστών. Το σύστημα είναι συμβατό με AMPS, και η Qualcomm παρείχε κινητά διπλού τρόπου λειτουργίας. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι ίδιες με το AMPS και το IS-54, αλλά έχουν αποδοθεί και επιπλέον συχνότητες στην περιοχή 1.8-2GHz. Το εύρος ζώνης είναι συνάρτηση του χρόνου που η φωνή είναι ενεργή αλλά και της συνολικής κίνησης του δικτύου. Η επιτυχία του IS-54, αλλά και η πολλά υποσχόμενη τεχνική της διασποράς φάσματος που χρησιμοποιεί, το κατέστησαν οδηγό και βάση εκκίνησης για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς. (Κανάτας, 2008)

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS (GSM)

Το σύστημα GSM σχεδιάστηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Προτυποποίησης (ETSI) που ιδρύθηκε το 1988 για το σκοπό αυτό, υλοποιήθηκε εξολοκλήρου στην Ευρώπη και είναι το πλέον πετυχημένο κυψελωτό σύστημα παγκοσμίως. Η σχεδίαση του ξεκίνησε το 1982 ως πανευρωπαϊκή προδιαγραφή και λειτούργησε το 1992 ως το πρώτο ψηφιακό κυψελωτό σύστημα. Στηρίζεται σε FDMA τεχνική, με 20KHz απόσταση φερόντων, αλλά συνδυάζει και την TDMA τεχνική με FDD. Κάθε φέρον έχει οχτώ (8) διαύλους-χρονοσχιμές με διάρκεια χρονοσχιμής τα 0.577msec, ενώ χρησιμοποιεί την τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης GMSK με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 2.708 Kbps. Υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής (13 Kbps) και δεδομένων μέχρι 9.6 Kbps. Τα υπάρχοντα δίκτυα GSM είναι περισσότερα από 690, παρέχοντας ασύρματες ψηφιακές υπηρεσίες σε περισσότερους από 2.4 εκατομμύρια συνδρομητές (Ιούνιος του 2007) σε 213 χώρες. Οι συνδέσεις GSM αντιστοιχούν στο 82.4% της συνολικής παγκόσμιας αγοράς κινητών επικοινωνιών. Το σύστημα έχει βελτιστοποιηθεί για τεματικές συσκευές χειρός με μέγιστη ισχύ εκπομπής το 1Watt ή τα 250mWatt και υποστηρίζει την επικάλυψη κυψελών διαφορετικού μεγέθους (μικροκυψέλες, μακροκυψέλες). (Κανάτας, 2008)

1.3.4 Κυψελωτά συστήματα 2.5^{ης} γενιάς

Η μετάβαση από τα κυψελωτά συστήματα 1^{ης} γενιάς σε εκείνα της 2^{ης} γενιάς σημαδεύτηκε από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών, που έδωσαν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών φωνής σε μεγάλους πληθυσμούς και μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, λόγω της πολύ καλής ποιότητας της φωνητικής υπηρεσίας. Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα 2^{ης} γενιάς συστήματα και η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου, ή να παρέχεται στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, οδήγησε στη σχεδίαση των συστημάτων 2.5G. Τα συστήματα 2.5G στηρίζονται σε συστήματα 2^{ης} γενιάς, π.χ. το GSM ή το IS-95 και προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας υποστηρίζοντας τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Ουσιαστικά πρόκειται για υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στα ήδη λειτουργούντα συστήματα, εξασφαλίζοντας μία πιο ομαλή μετάβαση στα συστήματα 3^{ης} γενιάς. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι η παροχή κινητικότητας IP, φέρνοντας τους χρήστες κινητών επικοινωνιών πιο κοντά στο Internet. (Κανάτας, 2008)

GENERAL PACKET RADIO SERVICE (GPRS)

Το GSM αρχικά παρείχε δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με ρυθμούς 9,6Kbps με συμμετρία στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη, χρησιμοποιώντας τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος. Στη συνέχεια και λόγω της μεγάλης απαίτησης για μεταφορά δεδομένων, έγιναν μερικές τροποποιήσεις ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης. Πράγματι, με μία μικρή βελτίωση της κωδικοποίησης, ήταν δυνατή η αύξηση του ρυθμού στα 14Kbps. Κατόπιν, έγινε δυνατή η χρησιμοποίηση πολλών ταυτόχρονα διαύλων για την μεταφορά δεδομένων, γεγονός που οδήγησε στο High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) και σε ρυθμούς θεωρητικά ως 40-50Kbps. Η Συμμετρία όμως της κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη είναι ένα δεδομένο που δεν αντιμετωπίζεται από το HSCSD με αποτέλεσμα να μην είναι καθόλου φασματικά αποδοτική τεχνική. (Κανάτας, 2008)

Η “αναβάθμιση” του GSM, με την υποστήριξη υπηρεσιών δεδομένων με τεχνολογία μεταγωγής πακέτων, οδήγησε στο GPRS. Το βασικό πλεονέκτημα του GPRS είναι η

δυνατότητα μεγαλύτερης εκμετάλλευσης των υπάρχοντων ραδιοπόρων ενός λειτουργούντος συστήματος GSM. Θεωρητικά μπορούν να υποστηριχθούν ρυθμοί μέχρι και 112Kbps. Έχουν προβλεφθεί τέσσερις διαφορετικοί τύποι κωδικοποίησης προσφέροντος από καλή έως καθόλου αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων, οι οποίοι υποστηρίζουν ρυθμούς για το χρήστη μέχρι και 21.4Kbps για μία χονοσχισμή. Αν και η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) υπάρχει στο GPRS, εντούτοις στην πράξη δεν υποστηρίζεται. Ο λόγος είναι ότι η τηλεπικοινωνιακή κίνηση του GPRS έχει πάντα μικρότερη προτεραιότητα από εκείνη των υπηρεσιών του GSM και χρησιμοποιεί του ραδιοπόρους που δεν χρησιμοποιούνται από το GSM. Κατά συνέπεια, επειδή δεν μπορεί να είναι εκ των προτέρων γνωστή η ακριβής διαθεσιμότητα των πόρων, δεν μπορεί κανείς να εγγυηθεί συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης. Προκειμένου το GPRS να λειτουργήσει σε συνεργασία με υπάρχοντα GSM δίκτυα, απαιτούνται τροποποιήσεις στη δομή του δικτύου, με κυριότερη εκείνη της πρόσθεσης δύο επιπλέον κόμβων, οι οποίοι καλούνται GGSN (Gateway GPRS Support Node), και SGSN (Serving GPRS Support Node). (Κανάτας, 2008)

IS-95b

Το IS-95b είναι μία εξέλιξη του CDMA δικτύου IS-95 που αναπτύχθηκε στην Αμερική και βρήκε εφαρμογή και σε χώρες της Ανατολικής Ασίας. Υποστηρίζει υπηρεσίες δεδομένων με τεχνολογία μεταγωγής πακέτου, με ρυθμούς πρακτικά μέχρι 64Kbps. Λόγω της σχετικά καθυστερημένης ανάπτυξης και εμπορικά διαθέσιμης τεχνολογίας, έχει εγκατασταθεί σε μικρό αριθμό δικτύων. (Κανάτας, 2008)

ENHANCED DATA FOR GLOBAL EVOLUTION (EDGE)

Η τεχνολογία EDGE θεωρείται ως η μετεξέλιξη του GPRS ή του HSCSD και για το λόγο αυτό αποκαλείται και Enhanced-GPRS (EGPRS) ή Enhanced-HSCSD. Είναι μία προσπάθεια να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης πάνω από τη ραδιοεπαφή του GSM. Η βασική διαφορά από το GPRS είναι ότι χρησιμοποιεί διαφορετικό τρόπο διαμόρφωσης (8-PSK) και διαφορετικούς τύπους κωδικοποίησης διαύλου. Αποτέλεσμα είναι να μπορεί να υποστηρίζει ρυθμούς θεωρητικά μέχρι και 384Kbps. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για μία χονοσχισμή έχει αυξηθεί στα 59.2Kbps. Το EDGE είναι μία προσθήκη στο GPRS και δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα. Με το EDGE κάθε χονοσχισμή μπορεί να

χρησιμοποιηθεί από πολλούς χρήστες, αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα του δικτύου. Όλες οι απαραίτητες τροποποιήσεις αφορούν κυρίως την πλευρά του ραδιοδικτύου και συνεπώς η επέκταση είναι σχετικά απλή. (Κανατάς, 2008)

1.3.5 Κυβελωτά συστήματα 4^{ης} γενιάς

Το βασικό χαρακτηριστικό συστημάτων 3^{ης} γενιάς είναι η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες από δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα, με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Οι βασικές απαιτήσεις που τίθενται από τα 3^{ης} γενιάς συστήματα είναι οι εξής:

- Ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 2Mbps.
- Μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης για δυνατότητα προσφοράς εύρους ζώνης κατά απαίτηση.
- Πολυπλεξία υπηρεσιών, με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα (π.χ. φωνή, video, πακέτο δεδομένων), στην ίδια σύνδεση.
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την υπηρεσία, από 10% FER (Frame Error Rate) ως 10^{-6} BER.
- Συνύπαρξη 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς συστημάτων και υποστήριξη μεταπομπής μεταξύ των συστημάτων για βελτίωση της κάλυψης και εξισορρόπηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου.
- Υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη (π.χ. όπως στο web browsing όπου η κίνηση στην ευθεία ζεύξη είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστροφη).
- Μεγάλη φασματική απόδοση.
- Συνύπαρξη FDD και TDD συστημάτων. (Κανατάς, 2008)

Οι ραδιοεπαφές που έχουν αναπτυχθεί για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς, που από την ITU καλούνται IMT-2000, είναι το WCDMA ή UTRA, και το cdma2000 ή multicarrier-CDMA. Υπάρχει και Τρίτη προδιαγραφή που καλείται TD-SCDMA και η οποία αναπτύσσεται κυρίως στην Κίνα. Το μεν WCDMA σχεδιάστηκε ώστε να εκμεταλλευτεί τη δομή του δικτύου κορμού του GSM, το δε cdma2000, ώστε να παρέχει συμβατότητα με το

δίκτυο IS-95. Οι συχνότητες που αποδόθηκαν από το WARC'92 για τα 3^{ης} γενιάς συστήματα είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή. Ο λόγος είναι οι ζώνες συχνοτήτων που είχαν καταλάβει τα συστήματα 2^{ης} γενιάς σε κάθε γεωγραφική περιοχή. Οι συχνότητες που αποδόθηκαν στα 3^{ης} γενιάς δίκτυα στην Ευρώπη είναι 2*60MHz (1920-1980 MHz uplink, 2110-2170 MHz downlink) για WCDMA FDD συστήματα, 25MHz (1900-1920 MHz & 2020-2025 MHz) για TDD συστήματα με υποχρέωση έκδοσης άδειας, και 10MHz (2010-2020 MHz) για TDD συστήματα χωρίς αδειοδότηση (Self Provided Application-SPA). (Κανάτας, 2008)

Για το WCDMA υπάρχουν δύο εκδοχές, η FDD και η TDD. Το εύρος του διαύλου είναι 5MHz με ακολουθία διασποράς σε ρυθμό 3.84Mcps. Κάθε φέρον διαιρείται σε χρόνο-πλαίσια των 10msec και κάθε χρόνο-πλαίσιο διαθέτει 15χρονοσχισμές. Παρόμοια με την WCDMA-TDD είναι και η TD-SCDMA, με τη διαφορά ότι το εύρος του διαύλου είναι 1,6MHz, και η ακολουθία διασποράς έχει ρυθμό 1.28Mcps. Για το cdma2000 υπάρχουν διάφορα στάδια υλοποίησης και αρκετές διαφορετικές τεχνικές. Αρχικά υλοποιήθηκε η τεχνολογία cdma200-1xRTT η οποία έχει θεωρηθεί από πολλούς ως μία 2.5G ή 2.75G λύση. Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 144Kbps, ενώ το εύρος διαύλου είναι το ίδιο με του IS-95, δηλαδή 1.25MHz. Στα τέλη του πρώτου εξαμήνου του 2007 υπήρχαν παγκοσμίως 290 εκατομμύρια συνδρομητές. Στη συνέχεια προέκυψε μία νέα προδιαγραφή, η cdma200-1xEV-DO (1xEvolution Data Only), η οποία λειτουργεί ως επικάλυψη του IS-95 και υποστηρίζει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, ως και 3.1Mbps για την ευθεία ζεύξη και μέχρι 1.5Mbps για την αντίστροφη ζεύξη, σε ξεχωριστό αποκλειστικό δίαυλο. Στηρίζεται στην τεχνολογία High Data Rate (HDR) που είχε αναπτύξει η Qualcomm. Στα τέλη του πρώτου εξαμήνου του 2007 υπήρχαν παγκοσμίως 65 εκατομμύρια συνδρομητές. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η τεχνολογία cdma2000-1xEV-DV (1xEvolution Data and Voice), η οποία και υποστηρίζει ταυτόχρονα στο ίδιο υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, με ρυθμούς μέχρι 3.1Mbps για την ευθεία ζεύξη και μέχρι 1.8Mbps για την αντίστροφη. Τέλος, σε ανάπτυξη βρίσκεται η προδιαγραφή Multicarrier CDMA ή cdma2000-3x, σύμφωνα με την οποία, χρησιμοποιούνται πολλαπλά φέροντα, των 1.25MHz το καθένα, για την μετάδοση δεδομένων και φωνής. Εναλλακτικά έχει προταθεί και η απευθείας διασπορά φάσματος με ακολουθία της οποίας ο ρυθμός είναι

$3 \times 1.2288 \text{ Mcps} = 3.6864 \text{ Mcps}$, παραπλήσιος δηλαδή του ρυθμού WCDMA. (Κανάτας, 2008)

1.4 Ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών

Οι ανάγκες της αγοράς για εύρεση ανταγωνιστικής εναλλακτικής λύσης οδήγησε στο ασύρματο δίκτυο (Wireless Network) και πλέον στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (Broadband Wireless Access-BWA). Το ασύρματο δίκτυο είναι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου (Ethernet) και επιτρέπει στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν μικροκύματα και ακολουθούν τις αρχές σχεδίασης των δικτύων υπολογιστών. Επίσης, ακολουθούν τις αρχές σχεδίασης των τοπικών δικτύων υπολογιστών. Η υλοποίηση των τοπικών δικτύων υπολογιστών βασίζεται σε πρότυπα τα οποία θεσπίζει το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE). Έτσι και τα πρότυπα για την ασύρματη δικτύωση που έχουν επικρατήσει στη σημερινή αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της μορφής IEEE 802.X (όπου X ένας αριθμός). Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν κυρίως με τη διαμόρφωση που χρησιμοποιούν και την μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης που υποστηρίζουν. (Μπακούλη_Κατσινά, 2007)

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για τη μεταφορά της πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιο τύπο καλωδίου.. (πηγή: wikipedia)

1.4.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα επικοινωνιών (WLANs)

Τα ασύρματα LANs παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε μία μικρή περιοχή, με κινητικότητα των χρηστών. Τα συστήματα τοπικής ασύρματης δικτύωσης λειτουργούν στις ζώνες ISM στα 2.4GHz και στα 5.8GHz, καθώς και στην ζώνη 5.2GHz, με κάποιες παραλλαγές ανά γεωγραφική περιοχή. Η λειτουργία στις ISM

ζώνες δεν προϋποθέτει αδειοδότηση, αλλά στην ίδια ζώνη συχνοτήτων μπορεί να λειτουργούν παρόμοια συστήματα, αυξάνοντας την πιθανότητα παρεμβολών. Για το λόγο αυτό το WLAN συστήματα στις ISM ζώνες πρέπει να εκπέμπουν με περιορισμένη ισχύ ανά μονάδα εύρους ζώνης και για να το επιτύχουν χρησιμοποιούν τεχνικές διασποράς φάσματος. Αντίθετα, η ζώνη 5.2GHz είναι αδειοδοτημένη για χρήση WLAN στις περισσότερες χώρες, με αποτέλεσμα τα προβλήματα παρεμβολών σχεδόν να εκλείπουν. Οι προδιαγραφές που υφίστανται για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, προέρχονται από δύο οργανισμούς: το IEE και το ETSI. (Κανάτας, 2008)

Η πρώτη οικογένεια προδιαγραφών προέρχεται από το Working Group 802.11 του IEEE και την αντίστοιχη συμμαχία εταιριών WiFi. Οι προδιαγραφές στηρίζονται στο πρωτόκολλο Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA). Η πρώτη προδιαγραφή ευρείας αποδοχής ήταν η IEEE 802.11, η οποία προβλέπει την εφαρμογή δύο εναλλακτικών τεχνολογιών, τη Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) και την Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Για τη DSSS τεχνολογία το εύρος του διαύλου είναι 20MHz και ο ρυθμός μετάδοσης 1-2Mbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι την περιοχή 2.4GHz και η προδιαγραφή είναι προσανατολισμένη σε δίκτυα Ethernet (IEEE 802.3). Το Νοέμβριο του 1999 έγινε δεκτή μία τροποποίηση-βελτίωση φυσικού στρώματος της προδιαγραφής IEEE 802.11b, το οποίο υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης θεωρητικά μέχρι 11Mbps και λειτουργεί στην περιοχή των 2.4GHz (2400MHz-2483.5MHz). Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μία τρίτη προδιαγραφή από το IEEE, η IEEE 802.11a, με ρυθμούς μετάδοσης θεωρητικά μέχρι 54Mbps, αλλά στη περιοχή των 5.2GHz. Υπάρχει μία πληθώρα πλέον προδιαγραφών, άλλων εγκεκριμένων και άλλων υπό ανάπτυξη, της ομάδας προτύπων IEEE 802.11 που κάθε μία στοχεύει και στη παροχή διαφορετικών πλεονεκτημάτων. Για παράδειγμα, η IEEE 802.11f ορίζει το Inter-Access Point Protocol, ένα πρωτόκολλο που διαχειρίζεται την εγγραφή των Access Points (APs) σε ένα δίκτυο, ή τη συνεργασία των APs από διαφορετικούς κατασκευαστές, όταν ένα τερματικό περιάγεται σε διαφορετικά δίκτυα. Η IEEE 802.11g είναι μία προδιαγραφή με διαφορετικό φυσικό στρώμα για την υποστήριξη ρυθμών μεγαλύτερων των 20Mbps στα 2.4GHz, ενώ η IEE 802.11a που παρέχει μεγαλύτερες δυνατότητες διαχείρισης φάσματος και ισχύος. Μία ενδεικτική καταγραφή των διάφορων προδιαγραφών παρουσιάζει ο παρακάτω πίνακας. (Κανάτας, 2008)

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά των προδιαγραφών IEEE802.11

Τύπος	Περιγραφή
IEEE 802.11	Αρχική προδιαγραφή στα 2.4GHz
IEEE 802.11a	Επέκταση φυσικού στρώματος για τα 5.2GHz (ρυθμοί μέχρι 54Mbps)
IEEE 802.11b	Επέκταση φυσικού στρώματος για τα 2.4GHz (ρυθμοί μέχρι 11Mbps)
IEEE 802.11c	Επέκταση για υποστήριξη ασύρματης γεφύρωσης στο MAC
IEEE 802.11d	Προσθήκη διαδικασίας ελέγχου λειτουργίας σε διαφορετικές χώρες
IEEE 802.11e	Προσοχή βελτιωμένου QoS με τροποποίηση στο MAC
IEEE 802.11f	Δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων δικτύων με τροποποίηση του MAC
IEEE 802.11g	Τροποποίηση φυσικού στρώματος για μεγαλύτερους ρυθμούς (2.4GHz)
IEEE 802.11h	Βελτιώσεις του IEEE 802.11a με διαχείριση φάσματος και ισχύος
IEEE 802.11i	Βελτιώσεις στην ασφάλεια
IEEE 802.11j	Τροποποίηση του 802.11a για 4.9-5.0GHz για τη Ιαπωνία
IEEE 802.11k	Διαχείριση ραδιοπόρων συστήματος
IEEE 802.11m	Τεχνικές διορθώσεις και διευκρινίσεις
IEEE 802.11n	Τροποποιήσεις για υψηλούς ρυθμούς.

1.4.2 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs)

Τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών (WPANs, Wireless Personal Area Networks) στοχεύουν στην ασύρματη δικτύωση φορητών υπολογιστικών μονάδων, όπως τα PDAs (Personal Digital Assistants), περιφερειακών, κυψελωτών τηλεφώνων, και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα προδιαγραφής είναι το Bluetooth ver. 1.1 ή IEEE802.15.1, που είναι μία ραδιοτεχνολογία που παρέχει ασύρματη σύνδεση μεταξύ ασύρματων συσκευών σε αποστάσεις μέχρι 10 μέτρα περίπου. Το σύστημα λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων (2.4GHz), που χρησιμοποιώντας τεχνική μεταπήδησης συχνότητας για την αποφυγή παρεμβολών, και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης των 700Kbps, για μεταφορά δεδομένων και μέχρι 3 τηλεφωνικές συνδέσεις των 64Kbps. Οι συσκευές, που χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth, αποτελούν ένα ad hoc δίκτυο, που καλείται και piconet, δηλαδή ένα δυναμικά δημιουργούμενο και επαναπροσδιοριζόμενο σύμφωνα με τις τρέχουσες απαιτήσεις στο δίκτυο. Υπάρχει και έκδοση Bluetooth ver. 1.2 ή IEEE802.15.1a, που υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, καθώς και δυναμική μεταπήδηση συχνότητας. (Κανάτας, 2008)

Προκειμένου να υποστηρίζεται η συνύπαρξη των WLANs και των WPANs στον ίδιο χώρο, χωρίς να προκαλούνται παρεμβολές, αναπτύχθηκε μία ακόμη προδιαγραφή, η IEEE802.15.2. Ουσιαστικά προδιαγράφηκαν τεχνικές για την συνεργασία των WLANs και WPANs, όπως π.χ. η ανταλλαγή πληροφοριών με στόχο την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών που προκαλούν μεταξύ τους. Δύο ακόμη προδιαγραφές βρίσκονται υπό εξέλιξη, η IEEE802.15.3 ;h High Rate WPAN με ρυθμούς μέχρι 55Mbps και η IEEE802.15.4 ή Low-Rate WPAN, με στόχο χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος τερματικά. (Κανάτας, 2008)

1.4.3 Δίκτυα ασύρματης ευρυζωνικής ραδιοπρόσβασης (BWANs, WMANs)

Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης (φωνής, video και δεδομένων) σε οικιακούς συνδρομητές ή και επιχειρήσεις, με αρχιτεκτονικές σημείο-προς-σημείο (point-to-point), σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint-PMP), και πολλαπλά σημεία-προς-πολλαπλά σημεία (multipoint-to-multipoint-MP-MP). Στην κατηγορία αυτή των υπηρεσιών ανήκουν οι Local Multipoint Distribution Services (LMDS) και οι Multi-channel Multipoint Distribution Services (MMDS) Τα συστήματα LMDS παρέχουν υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης τυπικά έως 45Mbps για τοπολογίες σημείο-προς-πολλαπλά σημεία και έως 150Mbps για τοπολογίες σημείο-προς-σημείο, κυρίως σε μεσαίες και μεγάλες επιχειρήσεις και συνήθως έχουν μέγιστη ακτίνα κάλυψης της τάξης των 3Km. Χρησιμοποιούν συχνότητες στην ζώνη των 24GHz, των 28GHz και

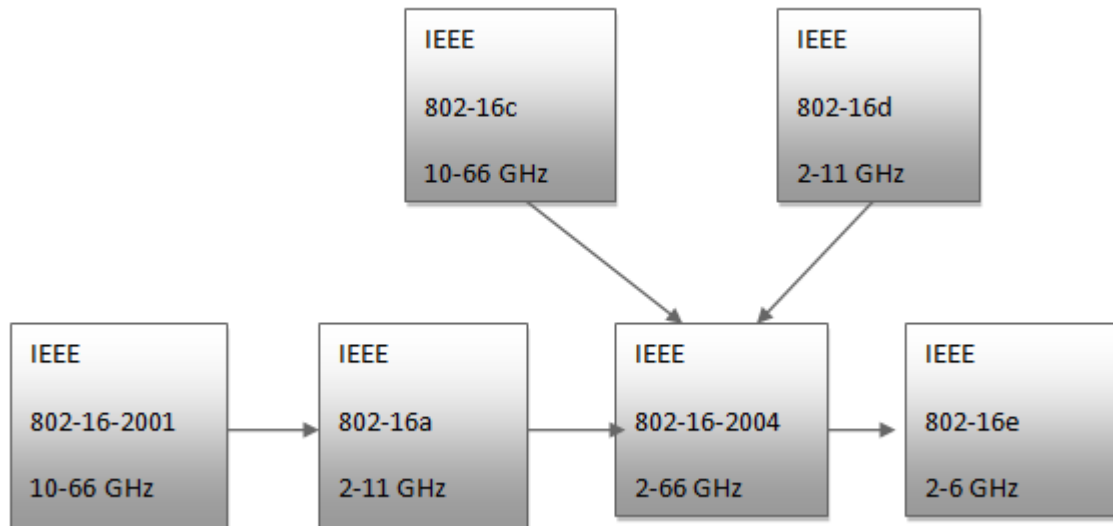
39GHz. Τα συστήματα MMDS παρέχουν υπηρεσίες με ρυθμούς μετάδοσης τυπικά έως και 3Mbps κυρίως με συνδρομητές Small Office Home Office (SOHO), ή σε μερικές επιχειρήσεις όπου ενσύρματες τεχνολογίες όπως το DSL δεν είναι διαθέσιμες. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούν είναι στην ζώνη 2.5-2.7GHz και η μέγιστη ακτίνα κάλυψης μπορεί να φθάσει τα 50Km. (Κανάτας, 2008)

Υπάρχουν δύο βασικές οικογένειες προδιαγραφών, από το ETSI και το IEEE. Στις προδιαγραφές του ETSI ανήκουν το HiperACCESS για υψηλές κυρίως συχνότητες (40,5-43,5GHz) και το HiperMAN για χαμηλές συχνότητες 2-11GHz. Το HiperACCESS παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 100Mbps, αν και η πλέον τυπική τιμή είναι αυτή των 25Mbps. Απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ πομποδεκτών και η μέγιστη ακτίνα κάλυψης είναι τα 5Km. Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης είναι TDMA. Το HiperMAN έχει σχεδιαστεί κυρίως για τοπολογίες σημείο-προς-πολλαπλά σημεία και παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 25Mbps, αν και η πλέον τυπική τιμή είναι αυτή των 10Mbps. Δεν είναι απολύτως αναγκαία η ύπαρξη οπτικής επαφής, ενώ η ακτίνα κάλυψης μπορεί να πλησιάσει τα 15Km. Χρησιμοποιεί τεχνολογία OFDM. (Κανάτας, 2008)

Η οικογένεια προτύπων IEEE 802.16 περιλαμβάνει πρότυπα που καθορίζουν το MAC και τους τύπους φυσικού στρώματος δικτύων ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης, που λειτουργούν σε συχνότητες από 2GHz ως 66GHz και αφορούν σταθερές ζεύξεις ή δίκτυα mesh. Το σύνολο των προτύπων αυτών αναφέρεται με την ονομασία WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) και τον Οκτώβριο του 2007 συμπεριλήφθηκαν από την Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) στις τεχνολογίες των συστημάτων IMT-2000. Έτσι, πάροχοι που διαθέτουν δίκτυα 3^{ης} γενιάς μπορούν να ενσωματώσουν στα δίκτυα τους την τεχνολογία WiMAX επομένως μπορούν να προσφέρουν λύσεις τόσο ως δίκτυα κορμού, όσο και ως εναλλακτικά δίκτυα ευρυζωνικής πρόσβασης τοπικού βρόχου. (Κανάτας, 2008)

Το βασικό πρότυπο της ομάδας 802.16 αναπτύχθηκε για να προσφέρει υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνότητας, στην περιοχή 10-66GHz. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε το 802.16a για τις συχνότητες 2-11GHz. Το πρότυπο αυτό, μαζί με τις επεκτάσεις 802.16c και 802.16d του βασικού προτύπου ολοκληρώθηκαν σε ένα πρότυπο, το 802.16-2004. Το 2006 εκδόθηκε το πρότυπο 802.16e που προσέθεσε

διαχείριση κινητικότητας και υποστήριξη διαδικασιών μεταπομπής ώστε να παρέχει αδιάλειπτα υπηρεσίες και σε κινούμενους χρήστες, σε συχνότητες 2-6GHz. (Κανάτας, 2008)



Εικόνα 4 Εξέλιξη προτύπων 802.16

Με βάση την οικογένεια προτύπων IEEE 802.16 ένας όμιλος εταιρειών με την επωνυμία Wimax Forum, προώθησε την πιστοποίηση προϊόντων και την ανάπτυξη δικτύων με βάση αυτά τα πρότυπα. Στο Wimax forum συμμετέχουν περισσότεροι από 500 φορείς.

1.5 Βασικές έννοιες

Η ζήτηση για ευρέως διαδεδομένες προσωπικές επικοινωνίες οδηγεί στην ανάπτυξη νέων τεχνικών δικτύωσης, που εξυπηρετούν κινητούς χρήστες φωνής και δεδομένων που κινούνται μέσα σε κτίρια, πόλεις ή χώρες. (Καψάλης- Κωττής, 2008)

1.5.1 Τρόποι μετάδοσης

Η μετάδοση των σημάτων στις τηλεπικοινωνίες γίνεται με δύο τρόπους, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Με τα ενσύρματα μέσα όπως είναι οι γραμμές μεταφοράς, οι κυματοηγοί, οι οπτικές ίνες, χρησιμοποιούνται κυρίως για να συνδέονται σημεία που είναι σταθερά. Όμως η ενσύρματη διάδοση έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η εκθετική απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή. Άλλο ένα

μειονέκτημα είναι το μεγάλο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός ενσύρματου δικτύου επικοινωνιών. (broadband.cti.gr)

Η ασύρματη μετάδοση βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χρησιμοποιεί κεραίες για την εκπομπή και τη λήψη των σημάτων. Τα πλεονεκτήματα της ασύρματης μετάδοσης είναι η αλγεβρική απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή, το σχετικά μικρό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των ασύρματων δικτύων και η δυνατότητα κινητών επικοινωνιών. (Καψάλης- Κωττής, 2008)

Στις ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούνται κεραίες διαφόρων τύπων, όπως διπολικές κεραίες, βροχοκεραίες, κεραίες τύπου Yagi, παραβολικά κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται σε συνηθισμένες εφαρμογές, ενώ πιο σύνθετες χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως ραντάρ, συστήματα πλοήγησης διαστημόπλοιων και πιο σύγχρονα κεραίες πολλαπλής εισόδου- πολλαπλής εξόδου (MIMO) για τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. (Καψάλης- Κωττής, 2008)

1.5.2 Μηχανισμοί διάδοσης

Η επίδοση ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από τον τύπο των κεραιών που χρησιμοποιούνται αλλά και από φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στη συνέχεια αναλύονται κάποιοι από τους βασικούς μηχανισμούς που επηρεάζουν τη μετάδοση.

Στην ασύρματη μετάδοση το κανάλι είναι συνήθως η ατμόσφαιρα, ο ελεύθερος χώρος. Κατά την μετάδοση χρησιμοποιούμε ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατάλληλα διαμορφωμένα ώστε να πετύχουμε βέλτιστη διάδοση μέσα στο κανάλι, χρησιμοποιώντας περιοχές συχνοτήτων που παρουσιάζουν την ελάχιστη απορρόφηση από την ατμόσφαιρα της γης. Σε οποιοδήποτε κανάλι μετάδοσης του σήματος, το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι το μεταδιδόμενο σήμα αλλοιώνεται κατά τυχαίο τρόπο από μία ποικιλία μηχανισμών που επενεργούν σ' αυτό. (Θεολόγου, 2007)

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται ευθύγραμμα και για μεγάλες συχνότητες (>GHz) μπορούν να μοντελοποιηθούν σαν ακτίνες (τεχνική ray tracing). Συνεπώς,

αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον, δημιουργούνται φαινόμενα ανάκλασης (reflection), διάθλασης (diffraction), σκέδασης (scattering) και ραδιοσκιάς (shadowing) που δυσκολεύουν την επικοινωνία του πομπού με τον δέκτη. Συχνά στις κινητές επικοινωνίες το εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα δεν φθάνει απευθείας στον δέκτη λόγω εμποδίων τα οποία διακόπτουν την οπτική επαφή (line-of-sight path) πομπού - δέκτη. (Θεολόγου, 2007)

Στην πράξη, το λαμβανόμενο σήμα είναι αποτέλεσμα της υπέρθεσης (superposition) κυμάτων, που προέρχονται από όλες τις κατευθύνσεις, λόγω ανακλάσεων, διαθλάσεων και σκέδασης πάνω σε κτήρια, δέντρα, στοιχεία του γεωγραφικού ανάγλυφου (βουνά, λίμνες κλπ) και άλλα εμπόδια. Κατά συνέπεια, η ισχύς των εκπεμπόμενων σημάτων λαμβάνεται στο δέκτη μέσα από μια πολλαπλότητα διαδρομών διαφορετικής έντασης. Επίσης οι χρόνοι άφιξης των σημάτων από τις διάφορες διαδρομές είναι ανάλογοι προς τα μήκη των διαδρομών που διανύθηκαν. Έτσι εξαιτίας των πολλαπλών διαδρομών τις οποίες ακολουθεί το σήμα μέχρι να φτάσει στον δέκτη, το λαμβανόμενο σήμα απαρτίζεται από πολλαπλά αντίγραφα του αρχικά μεταδιδόμενου σήματος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως πολυόδευση (multipath propagation). (Θεολόγου, 2007)

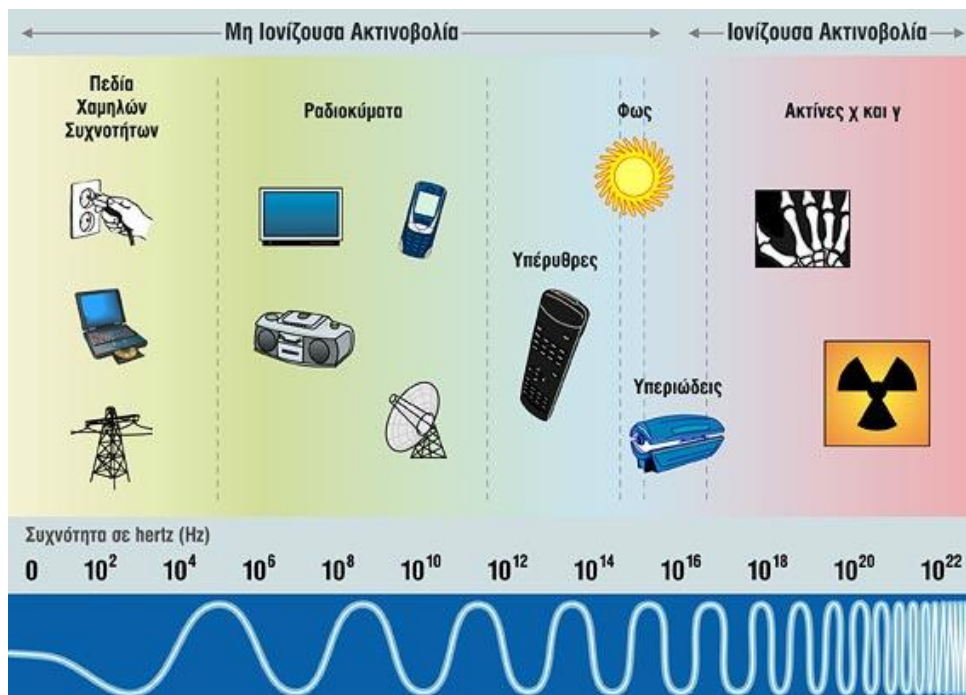
Τα διαφορετικά αυτά σήματα μπορεί να συμβάλλουν αφαιρετικά στον δέκτη προκαλώντας απότομες μεταβολές της ισχύος, γεγονός το οποίο αντιστοιχεί στην παραμόρφωσή του σήματος και κατά συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης. Οι παραμορφώσεις αυτές εκδηλώνονται ως χρονικές διακυμάνσεις της έντασης του σήματος και καλούνται διαλείψεις (fading). Η πολυόδευση σε συνδυασμό με την κίνηση του δέκτη (η ακόμα και του πομπού) οδηγεί σε μεγάλες και τυχαίες διακυμάνσεις της στάθμης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Ένα τυπικό παράδειγμα διαλείψεων φαίνεται στην εικόνα 1. Η πολυόδευση του σήματος (multipath propagation), αποτελεί τη βασική αιτία εμφάνισης διαλείψεων στον δέκτη. (Θεολόγου, 2007)

Τέλος τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα και κυρίως η βροχή για συχνότητες μεγαλύτερες από 10 GHz, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα των ασύρματων ζεύξεων. Οι ατμοσφαιρικές διαταραχές δημιουργούν κέντρα σκέδασης και ακτινοβολίας στην τροπόσφαιρα, ενώ η ιονόσφαιρα σε ευρεία ζώνη συχνοτήτων συμπεριφέρεται ως αγώγιμο σώμα απορροφώντας και ανακλώντας τα

ραδιοκύματα. Επίσης η ηλιακή δραστηριότητα και το γήινο μαγνητικό πεδίο επιδρούν σε ορισμένες περιπτώσεις δραστικά στη διάδοση των ραδιοκυμάτων. (Καψάλης- Κωττής, 2008)

1.5.3 Ζώνες Συχνότητων

Στις τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούνται διάφορες συχνότητες για να εξυπηρετήσουν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που εξυπηρετούν. Παρακάτω στην εικόνα 1 φαίνονται σε ποιες συχνότητες λειτουργεί η κάθε υπηρεσία.



Εικόνα 5 ζώνες συχνότητων

1.5.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας

Διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η γραφική παράσταση που παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο ακτινοβολεί μια κεραία καθώς μεταβάλλεται το σημείο παρατήρησης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το διάγραμμα ακτινοβολίας προσδιορίζεται για την μακρινή περιοχή της κεραίας. Από το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορούμε να δούμε δύο μεγέθη, την ένταση ακτινοβολίας και την ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. (Rappaport, 2006)

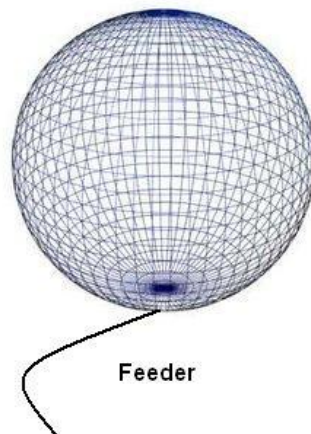
Από το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορούμε να ερμηνεύσουμε την συμπεριφορά της κεραίας από τους λοβούς ακτινοβολίας. Λοβός ακτινοβολίας ονομάζεται το τμήμα του διαγράμματος που οριοθετείται από περιοχές πολύ ασθενούς, συνήθως μηδενικής έντασης ακτινοβολίας. Κύριος λοβός ονομάζεται αυτός που περιέχει τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας. Δευτερεύων λοβός είναι κάθε λοβός ακτινοβολίας που δεν είναι κύριος. Επίσης υπάρχουν και οι πλευρικοί λοβοί οι οποίοι δεν περιέχουν τη διεύθυνση ενδιαφέροντος της κεραίας, ενώ οπίσθιος λοβός είναι αυτός που βρίσκεται στην αντίθετη διεύθυνση από τον κύριο λοβό. (Rappaport, 2006)

1.5.5 Είδη κεραιών

Υπάρχουν τρία βασικά είδη κεραιών σύμφωνα με τα διαγράμματα ακτινοβολίας τους:

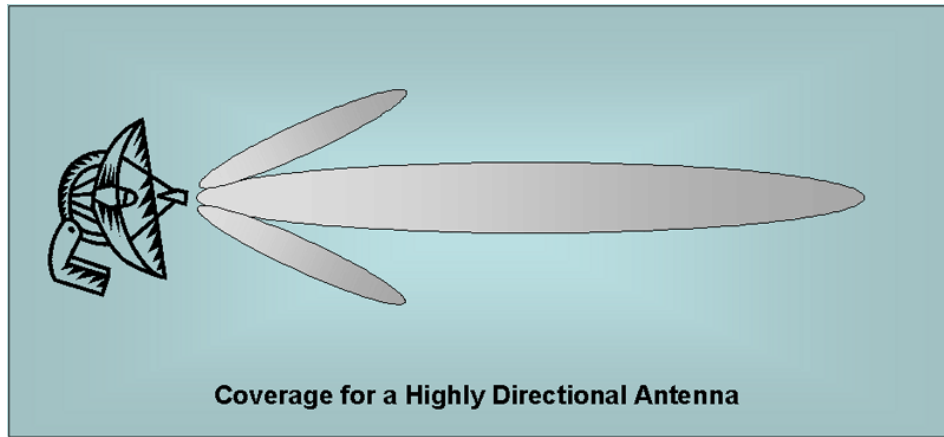
- η ιστροπική κεραία, η οποία θεωρείται ιδανική και εκπέμπει χωρίς απώλειες την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις (στην πραγματικότητα δεν μπορεί να κατασκευαστεί τέτοια κεραία).

Radiation pattern from Isotropic antenna



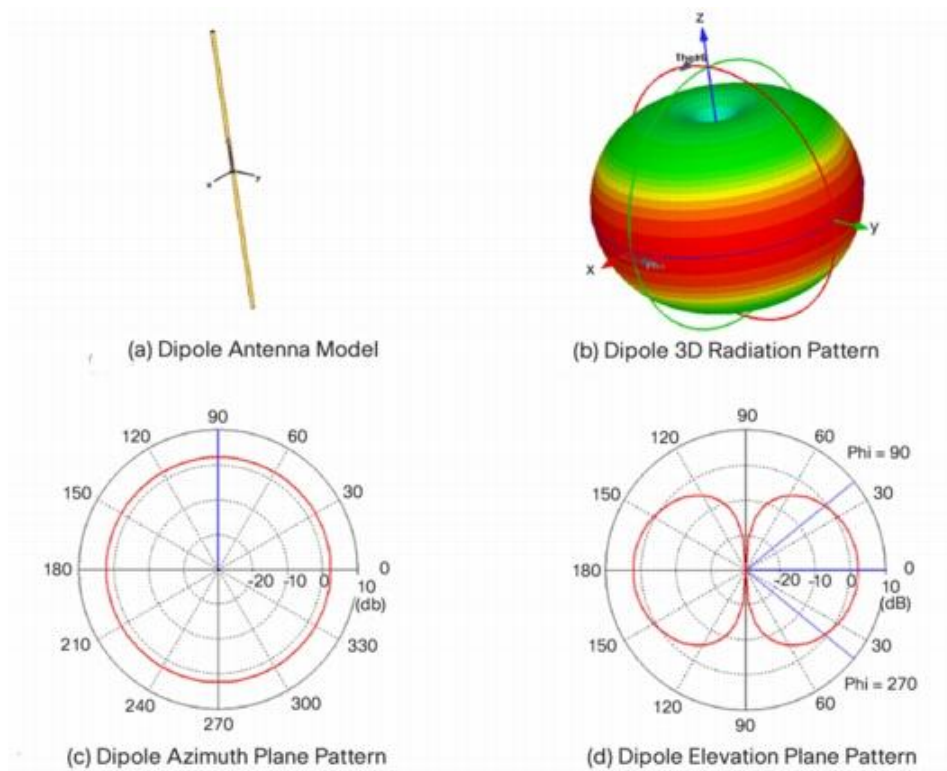
Εικόνα 6 Διάγραμμα ακτινοβολίας ιστροπικής κεραίας

- η κατευθυντική κεραία, η οποία λαμβάνει ή εκπέμπει με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε ορισμένες κατευθύνσεις.



Εικόνα 7 Διάγραμμα ακτινοβολίας κατευθυντικής κεραίας

- η ομοιοκατευθυντική κεραία, η οποία σε ένα επίπεδο είναι κατευθυντική, αλλά δεν εκπέμπει καθόλου σε οποιοδήποτε κάθετο επίπεδο σε αυτό.



Εικόνα 8 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας

1.5.6 Κατευθυντικότητα

Σε μία «πραγματική» κεραία και σε δεδομένη απόσταση από αυτή, η πυκνότητα εκπεμπόμενης ισχύος σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι διαφορετική με τη πυκνότητα εκπεμπόμενης ισχύος σε άλλες κατευθύνσεις. Επομένως τώρα μπορούμε να ορίσουμε την έννοια της κατευθυντικότητας, ως την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας. (Rappaport, 2006)

1.6 Πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων

Παρότι οι λύσεις ενσύρματης δικτύωσης παρείχαν ικανές επιδόσεις, ήταν ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών. Η ευελιξία που παρέχουν οι ασύρματες τεχνολογίες φάνηκε από νωρίς πως θα άνοιγε ένα τεράστιο πεδίο νέων εφαρμογών. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη, έκανε δυνατή την παραγωγή συσκευών με πολύ μικρό κόστος και σε μεγάλες ποσότητες. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι την τελευταία δεκαετία βιώνουμε την όλο και πιο έντονη παρουσία των ασύρματων τεχνολογιών. (πηγή: ebusinessforum)

Η χρήση ασύρματου μέσου μετάδοσης έχει μία σειρά από πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω: (πηγή: ebusinessforum)

1. Κινητικότητα χρήστη

Οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου, δηλαδή σε χώρο που θα έχουν επαρκές σήμα, διατηρώντας την συνδεσιμότητα τους με αυτό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγικότητα - αποτελεσματικότητα στο εργασιακό περιβάλλον και όχι μόνο.

2. Ευκολία, ευελιξία και απλότητα εγκατάστασης

Δεν χρειάζεται να εγκαταστήσουμε καλωδιώσεις μέσα από τοίχους και ταβάνια. Μπορεί να γίνει η δικτύωση σε μέρη όπου η καλωδίωση θα ήταν αδύνατη, ή μη επιθυμητή, όπως η δικτύωση γραφείων τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Η εγκατάσταση στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να γίνει εύκολα αν ακολουθηθούν κάποιοι βασικοί κανόνες εγκατάστασης.

3. Κλιμάκωση, δυνατότητα επέκτασης

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να διαρθρωθούν σε ένα πλήθος από τοπολογίες, ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Οι τοπολογίες αλλάζουν εύκολα και επεκτείνονται από απλά δίκτυα με μικρό αριθμό χρηστών, ως μεγάλες δομές δικτύων με εκατοντάδες χρήστες και δυνατότητα περιαγωγής (roaming).

4. Κόστος

Παρόλο που το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλότερο σε σχέση με λύσεις ενσύρματης δικτύωσης, το κόστος για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης μπορεί να είναι μικρότερο, ιδιαίτερα σε δυναμικό περιβάλλον που απαιτεί συχνές αλλαγές, αναδιαρθρώσεις και μετακινήσεις. Επιπλέον το κόστος υλοποίησης - εγκατάστασης και συντήρησης - διαχείρισης του δικτύου είναι πολύ μικρό. Το σημαντικότερο κομμάτι του κόστους είναι η αγορά του εξοπλισμού.

Επίσης με την εμφάνιση περισσότερων κατασκευαστών και τον έντονο ανταγωνισμό μεταξύ τους το κόστος έχει πέσει αισθητά, ενώ παράλληλα οι συσκευές έχουν αποκτήσει περισσότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ενώ το 1998 ένα σημείο πρόσβασης (Access Point) είχε κόστος 1000-2000\$, τώρα έχει κόστος δέκα φορές μικρότερο. Μάλιστα τα περιθώρια κέρδους έχουν συμπιεστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό για τους κατασκευαστές, προς όφελος βέβαια του καταναλωτή.

5. Ταχύτητες μετάδοσης

Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία γίνεται δυνατή η μετάδοση μεγαλύτερων ρυθμών δεδομένων. Ήδη ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, από τα 2Mbps που μπορούσαν να επιτευχθούν αρχικά, έφτασε σήμερα σε ταχύτητες πάνω από 100Mbps ενώ ήδη έχουν εξαγγελθεί ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες.

6. Αξιοπιστία - ανεξαρτησία

Ένα ασύρματο δίκτυο κατάλληλα διαμορφωμένο μπορεί να έχει μεγάλη αξιοπιστία. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να εργάζεται όταν συμβαίνουν διακοπές ρεύματος και να περιλαμβάνει πολλές εναλλακτικές διαδρομές.

7. Εμβέλεια

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές οπότε υφίστανται σημαντική απόσβεση. Σε ανοικτό χώρο όπου υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στις ασύρματες συσκευές, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν είναι μεγαλύτερες.

8. Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα έχουν προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, η προσθήκη ασύρματης δικτύωσης σε υπάρχουσες δομές δικτύων μπορεί να γίνει με τον ευκολότερο τρόπο. Πολλές φορές δε, αποτελούν επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.

2^ο Κεφάλαιο: Τεχνολογία Wimax

2.1 Εισαγωγή

Η ΙΕΕΕ το 2003 υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και ως WiMAX, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Το WiMax είναι μια νέα τεχνολογία, ένα βήμα μπροστά από το Wi-Fi, που παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. (www.tutorialspoint.com)

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών ανέπτυξαν την ιδέα της χρήσης σταθερών ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων δικτύων για πιθανές λύσεις στο πρόβλημα του τελευταίου χιλιομέτρου με σκοπό να παρέχουν ένα εναλλακτικό μέσο για τη μετάδοση σήματος και την σύνδεση στο Internet σε επιχειρήσεις και ιδιώτες. Στόχος τους ήταν η δημιουργία ενός δικτύου με την ταχύτητα, την ικανότητα και την αξιοπιστία ενός ενσύρματου δικτύου, διατηρώντας παράλληλα την ευελιξία, την απλότητα, και το χαμηλό κόστος ενός ασύρματου δικτύου. Η τεχνολογία αυτή θα λειτουργούσε ως ένα ευέλικτο σύστημα για τα εταιρικά ή ακαδημαϊκά δίκτυα διανομής και θα προσπαθούσε να ανταγωνιστεί με τους κορυφαίους παρόχους υπηρεσιών Διαδικτύου. (πηγή: www.tutorialspoint.com)

Τον Ιούλιο του 1999 η ΙΕΕΕ ξεκίνησε την ανάπτυξη του προτύπου ΙΕΕΕ 802.16. Το πρότυπο αυτό, το οποίο τελικά κυκλοφόρησε το 2001, λειτουργεί σε ασύρματη point-to-point σύνδεση με line of sight μεταξύ των σταθμών και έχει μια περιοχή συχνοτήτων από 10 GHz έως 66 GHz. Ωστόσο, δεδομένου ότι το πρότυπο αυτό διαμορφώθηκε στα πρότυπα της τεχνολογίας ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN), μιας τεχνολογίας με περιορισμένες δυνατότητες, η ομάδες ανάπτυξης επικεντρώθηκαν περισσότερο σε πρότυπα που θα λειτουργούσαν στην περιοχή των 2GHz έως 11GHz. Το 2001, ιδρύθηκε το WiMAX Forum με την προοπτική να θέσει στην αγορά και να προωθήσει το πρότυπο 802.16. Εκεί επινοήθηκε και ο όρος WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε μέσω μίας ανοιχτής διαδικασίας, με την συνδρομή εκατοντάδων μηχανικών από τους μεγαλύτερους παγκοσμίως κατασκευαστές και εταιρίες και δημοσιεύτηκε στις 8 Απριλίου του 2002. Το 2003, έγινε η πιο πολλά

υποσχόμενη, ανερχόμενη τεχνολογία, σχετικά με ευρυζωνική δικτύωση υπολογιστών σε ασύρματο περιβάλλον. Αργότερα, τον Ιούνιο του 2004, ολοκληρώθηκε και εγκρίθηκε το πρότυπο IEEE 802.16-2004. (πηγή: www.tutorialspoint.com)

Το σύστημα αυτό επέκτεινε τις υπηρεσίες του ευρυζωνικού WiMAX σε απόσταση έως και 30 μίλια ενώ είχε τη δυνατότητα να μοιράσει τις υπηρεσίες δικτύου μεταξύ εκατοντάδων τερματικών σταθμών. Παρόλα αυτά, η IEEE δεν σταμάτησε εκεί. Το 2005 εκδόθηκαν οι προδιαγραφές για το πρώτο Mobile WiMAX σύστημα, το 802.16e. Αυτή η έκδοση χρησιμοποιούσε Scalable OFDMA (SOFDMA), η οποία μπορούσε να υποστηρίξει πάνω από 2.000 subcarriers, εισάγοντας ταυτόχρονα σημαντικές βελτιώσεις στο handover delay και την απώλεια πακέτων και επιτρέποντας την αύξηση της ασφάλειας του δικτύου. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

Τον Απρίλιο του 2011, δόθηκε η έγκριση του προτύπου 802.16m. Η αναθεώρηση 802.16m είναι το πρότυπο για την επόμενη γενιά WiMAX, η οποία και μπορεί να δώσει ταχύτητες μεταφοράς άνω των 300 Mbps. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

2.2 Τι σημαίνει ο όρος WiMAX

Για την κάλυψη των απαιτήσεων για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 του οποίου το εμπορικό όνομα είναι WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access. Το προϊόν που φέρει την πιστοποίηση αυτή, σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με το πρότυπο 802.16 εξασφαλίζοντας έτσι τη συμβατότητα και τη λειτουργικότητα στον εξοπλισμό BWA (Broadband Wireless Access). (πηγή: www.tutorial-reports.com)

Αρχικά στόχος των οπαδών του WiMAX, ήταν να γίνει, σε στέγες ψηλών κατασκευών, εγκατάσταση πομποδεκτών και να λειτουργούν αυτοί ως σταθμοί βάσης, ενώ είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένοι στο Internet. Η τεχνολογία WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να στείλει και να λάβει δεδομένα κάθε σταθμός βάσης από και προς τις σταθερές κεραίες συνδρομητών, παρέχοντας πρόσβαση σε όλους εφόσον αναπτύσσεται έτσι ένα ασύρματο δίκτυο. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

Προορισμός του WiMAX είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία εφόσον το πρότυπο IEEE 802.16 αναγνωρίζεται ως πρότυπο αναφοράς από το ETSI (European Telecommunication and Standards Institute), από το HIPERMAN (High Performance Radio Metropolitan Area Network) αλλά και από το WiBro (Wireless Broadband). Έτσι μπορεί πλέον ένας φορητός σταθμός εργασίας (Subscriber Station (SS)- Mobile Station (MS)) να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού, δηλαδή να πιάνει «παντού», και να εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

Το WiMAX, σε αντίθεση με άλλα ασύρματα δίκτυα, επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με πολλαπλά, ευρύ φάσματα συχνότητας, ενώ τα άλλα επιτρέπουν μεταδόσεις μόνο με ένα φάσμα. Η ύπαρξη πολλών φασμάτων εξυπηρετεί αρκετά για το γεγονός ότι μεγιστοποιεί τη δυνατότητα μετάδοσης πέρα από τις συχνότητες των άλλων ασύρματων εφαρμογών. Επιπροσθέτως, το WiMAX αναμένεται να επιτρέψει αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες με τέτοιο κόστος που θα καταστήσει ενεργή την υιοθέτηση μαζικής αγοράς ακόμα και σε σημεία όπου πριν δεν υπήρχε προσβασιμότητα. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη, η αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης και η ικανότητα υπέρβασης των φυσικών περιορισμών που υπάρχουν στην ενσύρματη δικτύωση θεωρούνται τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στο πρότυπο 802.16. (πηγή: www.tutorial-reports.com)

2.3 WiMAX FORUM

Οι κατασκευαστές των συστημάτων WiMAX αλλά και οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών δημιούργησαν μία μη κερδοσκοπική οργάνωση, το WiMAX Forum, σκοπός του οποίου είναι να προάγει και να πιστοποιήσει τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των προϊόντων που προσφέρουν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση και λειτουργούν στη βάση που καθορίζουν τα πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN για τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN). Η λειτουργία του Forum άρχισε το 2003 με τις Intel, Alvarion, AT&T, Array Com, Nortel, Motorola, Samsung αλλά και άλλες

να είναι τα ιδρυτικά μέλη και σήμερα να αριθμεί πάνω από 350 εταιρίες μέλη, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται κορυφαία ονόματα όπως Nokia, Vodafone, BellSouth, Cisco Systems, Verizon, China Telecom και πολλοί άλλοι, από το χώρο των κατασκευαστών-τηλεπικοινωνιών-παρόχων δικτύων. Επίσης εταιρίες όπως η British Telecom, η France Telecom, και η Qwest Communications που είναι παγκοσμίως σημαντικές, εξαιτίας της έλξης του WiMAX σε εμπορικές εφαρμογές, έχουν γίνει μέλη του Forum. Το Forum προετοιμάζει προφίλ για συστήματα που πληρούν τις προδιαγραφές WiMAX και φροντίζει για την δημιουργία δοκιμών διαλειτουργικότητας έτσι ώστε να επιβεβαιώνεται ότι οι υλοποιήσεις διαφορετικών προμηθευτών θα μπορούν να λειτουργήσουν από κοινού. (πηγή: www.tutorialspoint.com)

Ο κύριος στόχος του Forum είναι η άμεση εισαγωγή στην αγορά των εφαρμογών για σταθερά, φορητά και κινητά συστήματα. Η επίτευξη αυτού γίνεται με τη διεξαγωγή ελέγχων που πραγματοποιούνται σε ανεξάρτητα εργαστήρια και την πιστοποίηση που προσφέρει το Forum ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν με βάση τα πρότυπα και ότι είναι εγγυημένη η συμβατότητα μεταξύ τους. (πηγή: www.tutorialspoint.com)

Επίσης βασικός στόχος της ομάδας 802.16 της IEEE ήταν τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα να εξυπηρετήσουν ζεύξεις σημείου προς πολλαπλά σημεία και για αυτό το λόγο το ενδιαφέρον εστιάστηκε σε ζεύξεις με οπτική επαφή πομπού και δέκτη (LOS) και σε συχνότητες 10-66GHz. Έπειτα στοχεύοντας σε χρήση σε χαμηλότερες συχνότητες (2-11GHz) και σε λειτουργία χωρίς οπτική επαφή (NLOS), υιοθετήθηκε η εφαρμογή της τεχνολογίας OFDM στο φυσικό στρώμα και της OFDMA στο στρώμα MAC και το πρότυπο δέχθηκε διαδοχικές τροποποιήσεις για να καταλήξει το 2004 στο πρότυπο IEEE 802.16-2004 που αποτελεί το βασικό πρότυπο Wimax. Σε αυτό το πρότυπο ο δέκτης θεωρείται σταθερός το πρότυπο αυτό αναφέρεται και ως fixed Wimax, σε αντίθεση με το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 που αποτελεί επέκταση του βασικού προτύπου και περιλαμβάνει υποστήριξη κινητικότητας των χρηστών και αναφέρεται ως mobile Wimax. (Κανάτας, 2008)

2.4 Λειτουργία ενός WiMAX συστήματος

Η νεώτερη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για ασύρματη πρόσβαση με σταθερούς ρυθμούς μετάδοσης ευρείας ζώνης θεωρείται το WiMAX. Ο σχεδιασμός του έχει στόχο να καλύπτει όχι μόνο Point-to-Point (PtP) συνδέσεις, αλλά και Point-to-Multipoint (PtM) συνδέσεις. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι τα συστήματα WiMAX που βασίζονται στο πρωτόκολλο IEEE 802.16-2004 για σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, μπορούν να χρησιμοποιούν συχνότητες από 2GHz έως και 11 GHz και έτσι επιτυγχάνονται σε σχετικό επίπεδο MAC ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 54 Mbps ή αλλιώς στον αέρα ρυθμοί μετάδοσης 70 Mbps. Ακόμη, σε συνθήκες οπτικής επαφής μπορεί να καλυφθούν αποστάσεις οι οποίες και ξεπερνούν τα 50 χλμ. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία WiMAX είναι εφικτές και οι συνδέσεις χωρίς οπτική επαφή και κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται, είναι η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Επισημαίνεται ότι τον Δεκέμβριο του 2005, το πρότυπο του IEEE 802.16-2004 τροποποιήθηκε από το IEEE 802.16e-2005, το οποίο εκτός των άλλων εισάγει όπως και περιγράφει τη σημασία της κινητικότητας των χρηστών από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλον. Σε αυτό άλλωστε βασίζεται και η επικείμενη υλοποίηση του Mobile WiMAX σήμερα. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι η SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access). (πηγή: www.tutorialspoint.com)

Όταν ήταν νέα τεχνολογία το WiMAX διέθετε σε παγκόσμια κλίμακα, αρκετά χαμηλή συνδρομητική βάση εν συγκρίσει με τις άλλες τεχνολογίες πρόσβασης στο Internet, όπως οι συνδέσεις ADSL, Cable, ISDN ή μισθωμένων κυκλωμάτων. Αυτό ήταν λογικό μέχρι να αναπτυχθούν περισσότερα τα Wimax δίκτυα. Κατά το έτος του 2005 οι συνδρομητές WiMAX δεν ξεπερνούσαν τα 2 εκατομμύρια συνολικά σε Ευρώπη, Αμερική και Ασία, και κατά το 2006 υπήρξε υπερδιπλασιασμός τους, φθάνοντας ή και ξεπερνώντας τα 5 εκατομμύρια. Στις χρονιές που ακολούθησαν μάλιστα η αύξηση συνεχίστηκε με ανάλογους ρυθμούς, φθάνοντας ή και ξεπερνώντας τα 100 εκατομμύρια. Στους υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης του θα συμβάλλει φυσικά η ευκολία εγκατάστασης ενός δικτύου WiMAX, αλλά και η εύκολη εγγραφή και χρήση του από τους συνδρομητές. (πηγή: techteam.gr)

Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι μετά τον τυφώνα που έπληξε τη Νέα Ορλεάνη των Ηνωμένων Πολιτειών και τις καταστροφές που επέφερε στο ενσύρματο δίκτυο τηλεπικοινωνιών, τα σωστικά συνεργεία προχώρησαν στην άμεση δημιουργία δικτύου WiMAX για την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας στην περιοχή. (πηγή: techteam.gr)

Στην Ελλάδα, η ευρυζωνική εισχώρηση ανήλθε στο 6,84% την 1η Ιουλίου του έτους 2007. Συνολικά οι ευρυζωνικές προσβάσεις απαριθμούνται σε 760.698 που σημαίνει ότι αυξάνονται κατά 156,39% εν συγκρίσει με το προηγούμενο έτος και κατά 56% με το προηγούμενο εξάμηνο. Η τεχνολογία ADSL χρησιμοποιείται στις περισσότερες , ενώ οι ονομαστικές ταχύτητες πρόσβασης φτάνουν έως και 8 Mbps. (πηγή: techteam.gr)

2.5 Ασφάλεια WiMAX

Σε όλα τα συστήματα και ιδιαίτερα στα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας, η ασφάλεια είναι ένα σημαντικά μεγάλο ζήτημα. Ανάλογα με τον τρόπο που μπορεί να γίνει μία σύνδεση, υπάρχει πιθανότητα ο εκάστοτε εισβολέας να εισχωρήσει στο σύστημα εύκολα χωρίς καν να μπορεί να ανιχνευθεί, πράγμα το οποίο γίνεται στην ασύρματη πρόσβαση. Επίσης να αναφέρουμε ότι εξαιτίας της μειωμένης ασφάλειας, το ασύρματο σε σχέση με το ενσύρματο κοινόχρηστο μέσο μπορεί πιο εύκολα να αντιληφθεί. Συνεπώς, στα ασύρματα ευρυζωνικά συστήματα επιβάλλεται ένα ισχυρό επίπεδο ασφάλειας. (Jeffrey)

Επομένως, η ασφάλεια απασχολεί τόσο τους χρήστες όσο και τους παρόχους υπηρεσιών. Εκείνο που απασχολεί τον χρήστη είναι η ιδιωτικότητα και η ακεραιότητα των δεδομένων. Οι χρήστες στην όποια επικοινωνία τους θα πρέπει να είναι σίγουροι ότι δεν θα πέσουν θύματα υποκλοπής και ότι κατά την αποστολή τους τα δεδομένα δεν πρόκειται να πλαστογραφηθούν. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση της κρυπτογράφησης προκειμένου να γίνει επίλυση του προβλήματος. Όσον αφορά τον πάροχο υπηρεσιών, εκείνο που τον απασχολεί είναι να αποφεύγεται η μη εξουσιοδοτημένη χρήση των υπηρεσιών δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας μεθόδους αυθεντικοποίησης και ελέγχου πρόσβασης στα εξής επίπεδα α) στο φυσικό επίπεδο β) στο επίπεδο δικτύου και γ) στο επίπεδο υπηρεσιών. (Jeffrey)

Συνεπώς, θα πρέπει να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών ο οποίος επιθυμεί να αποφύγει την απάτη και της δυσκολίας που μπορεί να έχει ο χρήστης λόγω της αυξημένης προστασίας. (Jeffrey)

2.6 Χαρακτηριστικά του WiMAX

Πρωταρχικό χαρακτηριστικό του WiMAX είναι το throughput. Ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις, το πρότυπο IEEE 802.16, επιτυγχάνει πολύ μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα εφόσον έχει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής το οποίο, κατά τη διάρκεια της διαδρομής του σήματος, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αντανακλάσεις αυτού. (WiMAXforum.org)

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό επίσης σε ότι αφορά τη διάδοση είναι η επεκτασιμότητα (scalability). Το πρότυπο IEEE 802.16, για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος σχεδιασμός κυψελών επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη μπάντες συχνοτήτων,

υποστηρίζει από άποψη εύρους ζώνης, ευέλικτα κανάλια επικοινωνίας. Αν για παράδειγμα ανατεθεί σε ένα χειριστή φάσμα συχνοτήτων των 20 MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10 MHz ή και σε τέσσερα κομμάτια των 5 MHz. Επομένως, ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών, συγκεντρώνοντας όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων, και επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα. Επίσης, ο χειριστής για να επεκτείνει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος μπορεί, δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης, να χωρίσει ακόμα περισσότερο το φάσμα συχνοτήτων. (WiMAXforum.org)

Επόμενο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του WiMAX είναι η εμβέλεια (coverage). Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται προκειμένου να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως έξυπνες κεραιές και mesh τοπολογίες. Αναφέρουμε ότι mesh τοπολογίες είναι οι τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν βελτιώνονται οι ραδιο-τεχνολογίες και μειώνεται το κόστος, τόσο δίνεται η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και του throughput με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί. (WiMAXforum.org)

Εξίσου σημαντικό είναι και η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS ή Quality of service), όπως είναι η μεταφορά φωνής, για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Για αυτό το λόγο εξάλλου το υπό-πρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής και βίντεο αφού για να είναι εφικτή αυτή η μεταφορά χρειάζεται ένα δίκτυο χαμηλού φόρτου. Επιπροσθέτως, εκείνο που χαρακτηρίζει το WiMAX είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι συχνότητες, τα οποία διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS (Non line of sight). Σε μια LOS σύνδεση ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί να μην παρεμποδίζεται από κάτι το μεγαλύτερο μέρος της ζώνης Fresnel. Η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά αν δεν ισχύει αυτός ο παράγοντας. Η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη και επισημαίνουμε ότι η Fresnel zone

clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και τη συχνότητα του σήματος. (WiMAXforum.org)

Σε μια σύνδεση NLOS ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φτάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από τον πομπό, από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης, πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φτάνει άμεσα. Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος. (WiMAXforum.org)

Η NLOS μετάδοση έχει περισσότερα πλεονεκτήματα από την LOS, διότι είναι πιο ευέλικτη και απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές, η ύπαρξη των οποίων είναι πολύ μεγάλης σημασίας σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές επειδή με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Τέλος η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάστασης σε πληθυσμιακές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη. (WiMAXforum.org)

2.7 Εξοπλισμός WiMAX

Το WiMAX για την λειτουργία του απαιτεί υποδομή και για τον παροχό (provider) και για τον χρήστη (user). Όσον αφορά για τον παροχό, θα πρέπει αρχικά να καθοριστεί σε ποια ζώνη συχνοτήτων θα λειτουργήσει. Υπάρχουν δύο επιλογές, είτε να αγοράσει μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (Ε.Ε.Τ.Τ.), είτε να χρησιμοποιήσει το αντίστοιχο μη αδειοδοτημένο τμήμα του φάσματος που έχει απελευθερώσει η Ε.Ε.Τ.Τ., γνωρίζοντας όμως πως υπάρχει το ενδεχόμενο παρεμβολών. Έπειτα θα πρέπει να καθοριστεί το μέρος στο οποίο θα εγκατασταθεί ο βασικός εξοπλισμός των εξυπηρετητών - σταθμών βάσης (server - base station). Σε αυτό τον καθορισμό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως α) ύπαρξη απαιτούμενων υποδομών (π.χ. ηλεκτροδότηση, χώρος εγκαθιρωτισμού και προστασίας κλπ) β) δυνατότητα μέγιστης κάλυψης της απαιτούμενης περιοχής γ)

ιδιοκτησιακό καθεστώς δ) δυνατότητα εγκατάστασης τηλεπικοινωνιακής κεραίας ε) πληθυσμιακή κατανομή κ.α. (πηγή: www.eett.gr)

Έχοντας καθοριστεί τα σημεία εγκατάστασης των σταθμών βάσης θα πρέπει να προχωρήσει στη μελέτη κατανομής των ζωνών συχνότητας που θα ανατεθούν σε κάθε σταθμό (frequency planning). Στα WiMAX συστήματα το εύρος ζώνης του κάθε καναλιού (διαύλου) ενός σταθμού βάσης μπορεί να είναι πολλαπλάσιο των 3.5 MHz (βάση του WiMAX forum). Για τη βέλτιστη ανάπτυξη του δικτύου θα πρέπει να χωρίσουμε το δοθέν φάσμα σε ζώνες των 3.5 ή των 7 MHz το πολύ. Γενικά, σκοπός της ταξινόμησης συχνοτήτων είναι η κατανομή των καναλιών στους διάφορους σταθμούς βάσης με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το ενδεχόμενο ομοδιαυλικών παρεμβολών. Επειδή το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να είναι περιορισμένο ακολουθείται η τεχνική της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Εδώ επισημαίνεται ότι η κατανομή των καναλιών επηρεάζεται άμεσα και από την πληθυσμιακή κατανομή με δεδομένο ότι υπάρχει ένα άνω όριο ως προς το πλήθος των συνδρομητών που μπορεί να υποστηριχτεί από κάθε κανάλι. Στη συνέχεια επιλέγεται ο απαραίτητος εξοπλισμός. Συνήθως αυτός ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα κεντρικό υπολογιστή του συστήματος (server), όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα όλων των υποσυστημάτων και ένα κεντρικό υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθεί ως backup server του παραπάνω υπολογιστή. (wimax.com)

Στην αγορά των servers έχουν κυριαρχήσει οι επεξεργαστές της Intel και της AMD. Ακόμη, για ένα δίκτυο WiMax χρειάζεται ένα λειτουργικό σύστημα με κυριότερες επιλογές κάποια έκδοση του Unix, σταθμός βάσης WiMAX επιπέδου φορέα, κεραίες συγκεκριμένης γωνίας κάλυψης για τον σταθμό βάσης, κατευθυντήριες παραβολικές κεραίες για τους τερματικούς σταθμούς μεμονωμένες μονάδες χωρίς εξωτερικά καλώδια ή κυματοδηγούς για αποφυγή απωλειών μεταξύ του ραδιοσυστήματος και κεραίας, προστασία σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, εύκολη εγκατάσταση και μεταφορά, μονά ομοαξονικά καλώδια για διασύνδεση, βραχίονες στήριξης για εύκολη εγκατάσταση των κεραιών, διατήρηση της ευθυγράμμισης για εύκολη αντικατάσταση, Hubs, switches, routers, Μόντεμ και κάρτες μόντεμ, ένα Σύστημα Διαχείρισης Ευρυζωνικών Υπηρεσιών και τέλος ένα Μηχανισμό ελέγχου αποδοχής κλήσης που (Call Admission Control) (Ο μηχανισμός ελέγχου αποδοχής φωνητικής κλήσης (VoIP Call Admission Controller-CAC)

ρυθμίζει τον αριθμό των ταυτόχρονων κλήσεων σε ένα δεδομένο μόντεμ του σταθμού βάσης ώστε οι ροές υπηρεσιών φωνής (voice service flows) να μην υπερκαλύπτονται). Ο χρήστης, αρχικά επιλέγει τον παροχέα και στην συνέχεια εγκαθιστά την απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή η οποία αποτελείται από : (wimax.com)

- 1) βραχίονες στήριξης για εύκολη εγκατάσταση των κεραιών
- 2) κεραία τερματικού σταθμού
- 3) τερματικός σταθμός
- 4) Hubs, switches, routers
- 5) Μόντεμ και κάρτες μόντεμ
- 6) Μονά ομοαξονικά καλώδια για διασύνδεση

2.8 Ζώνες συχνοτήτων

2.8.1 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα τα μέτρα που σχετίζονται με την προστασία του κοινού από μη- ιοντίζουσα ακτινοβολία ορίζονται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθ 53571/3839, ΦΕΚ Αρ. Ν 05, Τεύχος Δεύτερο, 6 9.2000 "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά", και στο Άρθρο 31 του Νόμου 3431, "Περί ηλεκτρονικών επικοινωνιών". (ΦΕΚ 13/Α/3.2.2006)

Σύμφωνα με το Ν.3431-Άρθρο 31, παρ 9 & 10: "απαγορεύεται η εγκατάσταση κατασκευής κεραίας, για την οποία δεν έχει υποβληθεί και εγκριθεί από την Ε Ε Α Ε μελέτη, που αποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια έκθεσης υπερβαίνουν το 70% των τιμών, που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ 53571/3839/6.9.2000 κοινής υπουργικής απόφασης ή στην εκάστοτε ισχύουσα αντίστοιχη κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, Μεταφορών και Επικοινωνιών. (ΕΕΤΤ, 2011)

Σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να

υπερβαίνουν το 60% των τιμών, που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ 53571/3839/6 9.2000 κοινής υπουργικής απόφασης ή στην εκάστοτε ισχύουσα αντίστοιχη κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης και Μεταφορών και Επικοινωνιών.". (EETT, 2011)

Τα επίπεδα αναφοράς που ισχύουν στην Ελλάδα αντιστοιχούν στο 70% (60%) των ορίων της ICNIRP. Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι ο αρμόδιος φορέας για τον έλεγχο της τήρησης των ορίων έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι έλεγχοι για τη μέτρηση της ακτινοβολίας από σταθμούς βάσης πραγματοποιούνται από την ΕΕΑΕ ή από εξουσιοδοτημένους από αυτήν φορείς. Ο έλεγχος της τήρησης των ορίων αποδεκτής έκθεσης γίνεται αυτεπαγγέλτως και κατά τρόπο δειγματοληπτικό, ετησίως σε ποσοστό 20% τουλάχιστον των αδειοδοτημένων από την Ε.Ε.Τ.Τ. κεραιών, που λειτουργούν εντός σχεδίου πόλεως. (EETT, 2011)

Όσον αφορά τις τερματικές συσκευές, η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο για το SAR στο κεφάλι την τιμή 2 Watt/kgf όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10 gr μάζας συνεχούς ιστού για χρονική περίοδο 6 λεπτών. Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση Συγκεκριμένα, η κοινοτική οδηγία 99/5/ΕΚ για ραδιοεξοπλισμό και τηλεπικοινωνιακό τερματικό εξοπλισμό (ΡΤΤΕ) που έχει μεταφερθεί στην Ελληνική νομοθεσία με το ΠΔ 44/2002 αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στην υγεία και την ασφάλεια των χρηστών απαιτώντας συμμόρφωση με τις θεμελιώδεις απαιτήσεις. (EETT, 2011)

Κάθε συσκευή που κυκλοφορεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση συμμορφώνεται με την ανωτέρω οδηγία και τα ευρωπαϊκά πρότυπα διασφαλίζοντας την τήρηση των περιορισμών ως προς την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η συσκευή φέρει τη σήμανση CE ενώ στα συνοδευτικά έγγραφα υπάρχει η δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή και στο εγχειρίδιο χρήσης της αναγράφεται η τιμή SAR που προκαλεί η συγκεκριμένη συσκευή. (EETT, 2011)

2.8.2 Αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων

Η χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος υπερτερεί στο θέμα της προστασίας έναντι παρεμβολών από άλλους ασύρματους παρόχους. Το μοναδικό σημείο στο οποίο ίσως υστερεί, είναι στις διαδικασίες που απαιτούνται για τη χορήγηση των αδειών, αφού κάτι

τέτοιο μπορεί να είναι χρονοβόρο, σύνθετο αλλά και μία εξαιρετικά ακριβή και ασύμφορη λύση, ειδικά όταν υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον. Οι υψηλότερες δαπάνες και τα αποκλειστικά δικαιώματα στο φάσμα επιτρέπουν μια πιο προβλέψιμη και σταθερή λύση για τις μεγάλες μητροπολιτικές εφαρμογές. Οι χαμηλότερες συχνότητες που συνδέονται με τις αδειοδοτημένες ζώνες (2,5 και 3,5 GHz) επιτρέπουν καλύτερη επικοινωνία μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS) και μεγαλύτερη διείσδυση. Εντούτοις, οι ζώνες αυτές έρχονται αντιμέτωπες και με κάποια ελάχιστα - συγκριτικά με τη μη αδειοδοτημένη ζώνη - ζητήματα παρεμβολής. Συνολικά οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ευρείας κάλυψης (Point-to-Multipoint - PMP). (Χαριτούδης, 2013)

Όσον αφορά την Ελλάδα, άδειες για περιφερειακή κάλυψη στη ζώνη συχνοτήτων των 3,5 GHz διαθέτουν οι εταιρίες ΟΤΕ και Wind, ενώ ο ΟΤΕ έχει ήδη δημιουργήσει τρία πιλοτικά δίκτυα WiMAX, ένα στην περιοχή του Αγίου Όρους και δύο ακόμη στην περιοχή της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Μία τρίτη άδεια είχε δοθεί στην εταιρία Cosmoline έναντι του ποσού των 20 εκατ. ευρώ, η οποία όμως ανακαλέστηκε από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων Ελλάδος (ΕΕΤΤΕ). Στην Ευρώπη έχουν χορηγηθεί συνολικά 145 άδειες στην περιοχή των 3,5 GHz, το 78% των οποίων είναι περιφερειακές και όχι εθνικές. Μάλιστα, σε χώρες ανεπτυγμένες ως προς τη διείσδυση του Internet (όπως η Φινλανδία, η Σουηδία και η Αυστρία) δόθηκαν και εθνικές και περιφερειακές άδειες, και μάλιστα για γεωγραφικές περιοχές μικρότερες από την κάθε περιφέρεια της Ελλάδας. Το κόστος της άδειας έχει ανέλθει στα 0,73 ευρώ ανά Hz, όταν στην Ευρώπη (με μέση διείσδυση της ευρυζωνικότητας στο 14% του πληθυσμού) το μέσο κόστος ανά Hz είναι 0,033 ευρώ. Από μια άλλη οπτική, στην Ελλάδα το κόστος ανά Hz είναι 0,069 ευρώ ανά εκατομμύριο κατοίκους, όταν στην Ευρώπη το κόστος ανά Hz είναι 0,005 ευρώ ανά εκατομμύριο κατοίκους. (Χαριτούδης, 2013)

2.8.3 Μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων

Η χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος δίνει στον ασύρματο πάροχο το πλεονέκτημα της άμεσης χρήσης του, με τον κίνδυνο όμως για ισχυρές παρεμβολές από άλλους παρόχους που λειτουργούν στις ίδιες ή κοντινές συχνότητες. Γι' αυτό το λόγο είναι περισσότερο επιθυμητή η χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος σε περιοχές όπως μεγάλα

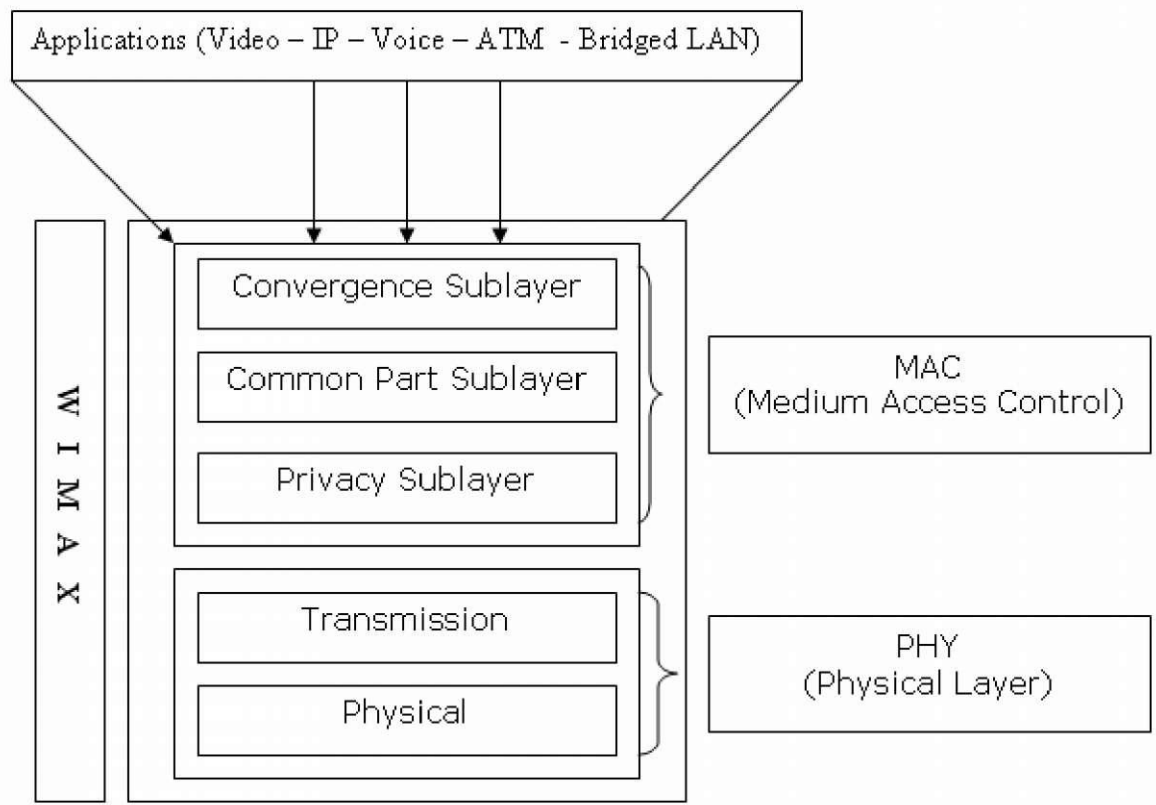
αστικά κέντρα, όπου είναι πιθανή η δραστηριοποίηση πολλών παρόχων. Σε αντίθεση, η χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση για την κάλυψη αγροτικών περιοχών. Επίσης οι μη αδειοδοτημένες λύσεις κρίνονται κατάλληλες για εφαρμογές σημείο προς σημείο (Point-to-Point – P2P) μεγάλης απόστασης. (Χαριτούδης, 2013)

Στα ασύρματα δίκτυα που κάνουν χρήση της τεχνολογίας WiMAX δίνεται η επιλογή αδειοδοτημένης ζώνης συχνοτήτων ή μη. Η αδειοδοτημένη ζώνη περιλαμβάνει συχνότητες των 2.5GHz (Multipoint Distribution Service - MDS ζώνη) και των 3,5 GHz. Η μη αδειοδοτημένη περιλαμβάνει τη ζώνη συχνοτήτων των 5,8 GHz (Universal National Information Infrastructure - UNII). (Χαριτούδης, 2013)

2.9 Ανάλυση του WiMAX

Σε αυτή την ενότητα θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του Wimax, κάνοντας την παραλληλία με το μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI - Open System Interconnection) που αναπτύχθηκε από τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης (ISO - International Standards Organization). (www.howstuffworks.com)

Το WiMAX (πρότυπο 802.16) επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI, δηλαδή στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer - PHY) και στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (MAC - Medium Access Control). Η στοίβα πρωτοκόλλων του WiMAX παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί. Ανάμεσα στα υπό-επίπεδα υπάρχουν τα σημεία διασύνδεσής τους (service access points - SAP) που ορίζονται από το πρότυπο. Οι πληροφορίες μεταφέρονται με την μορφή PDU (Protocol Data Units - Μονάδες Δεδομένων Πρωτοκόλλου). (www.howstuffworks.com)



Εικόνα 9 Στοιβά (υπό) επιπέδων του 802.16

Ξεκινώντας την ανάλυση από κάτω προς τα πάνω παρατηρούμε ότι το χαμηλότερο επίπεδο, που αποτελείται από δύο υπό-επίπεδα, είναι το φυσικό επίπεδο το οποίο ασχολείται με προσαρμογή του σήματος στο φυσικό μέσο (ατμόσφαιρα) και τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Πιο πάνω είναι το MAC επίπεδο. Το οποίο παρατηρούμε ότι αποτελείται από τρία υπό-επίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το υπό-επίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία (Convergence Sublayer - CS) και αποτελεί τη διασύνδεση των εφαρμογών με το WiMAX. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC υπό-επίπεδο κοινού τμήματος (Common Part Sublayer - CPS). Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα (όπως η διαχείριση των καναλιών). Το τελευταίο είναι το υπό-επίπεδο μυστικότητας (Privacy Sublayer - PS), το οποίο προσφέρει αυθεντικοποίηση, ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφηση. (Γκριζαλης-Καμπουράκης, 2006)

2.10 Τύποι συσκευών

Για τα Wimax δίκτυα, ορίζονται από το πρότυπο 802.11 οι εξής τύποι συσκευών: (www.ebusinessforum.gr)

Το σημείο πρόσβασης (Access Point) και ο ασύρματος σταθμός (wireless station):

Αυτά τα δύο μπορεί να είναι ένα PC ή Laptop ή κάποια συσκευή χειρός, εφοδιασμένα με την κατάλληλη κάρτα ή να είναι ξεχωριστή αυτόνομη συσκευή η οποία να επικοινωνεί με το PC με κάποιο τρόπο (Ethernet ή Usb). Όταν αναφέρεται ότι η συσκευή είναι σημείο πρόσβασης (AP) ή ασύρματος σταθμός (πελάτης), σημαίνει ότι έχει υλοποιημένες όλες τις αντίστοιχες λειτουργίες που προβλέπονται από το πρότυπο. Οι λειτουργίες που προβλέπονται για τον ασύρματο σταθμό είναι ένα υποσύνολο των λειτουργιών του AP. Στη αγορά υπάρχουν συσκευές που μπορούν να λειτουργήσουν σαν AP, ή σαν ασύρματοι σταθμοί ή μας δίνουν τη δυνατότητα να επιλέξουμε έναν από τους δύο τρόπους.

Πιο συγκεκριμένα το Σημείο πρόσβασης (AP, Access Point) αναλαμβάνει τη λειτουργία της ραδιοεπικοινωνίας με τους ασύρματος σταθμούς στην κυψέλη. Λειτουργεί σαν σταθμός βάσης κάνοντας συγκέντρωση της κίνησης από τους ασύρματος σταθμούς και κατευθύνοντας την προς το υπόλοιπο δίκτυο και αναλαμβάνει τη μετάδοση πληροφορίας που προορίζεται από ένα ασύρματο σταθμό σε κάποιον άλλο, στην ίδια κυψέλη. Άλλες λειτουργίες που αναλαμβάνει, είναι η αυθεντικοποίηση ενός καινούργιου σταθμού που ζητά πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο και η συσχέτιση μαζί του. Συνήθως AP είναι εξωτερικές συσκευές, αλλά υπάρχει η δυνατότητα με χρήση λογισμικού να είναι και κάποια pci ή pcmcia κάρτα υπολογιστή. Οι λειτουργίες που εκτελούνται σε ένα AP είναι ένα υπερσύνολο των λειτουργιών που εκτελούνται σε έναν ασύρματο σταθμό.

Ο ασύρματος σταθμός αναλαμβάνει τη λειτουργία της ραδιοεπικοινωνίας με το AP της κυψέλης στην οποία βρίσκεται. Μπορεί να είναι pci, pcmcia, isa κάρτες σε ένα υπολογιστή, ή να πρόκειται για άλλου τύπου συσκευές, όπως τηλεφωνικές συσκευές με 802.11 λειτουργικότητα. Είναι απλούστεροι σε λειτουργικότητα από τους σταθμούς βάσης. Εκτός των Ad-Hoc και infrastructure που περιγράφονται από το πρότυπο IEEE 802.11, υπάρχει και ένας αριθμός από τρόπους λειτουργίας εκτός προτύπου. Οι τρόποι αυτοί έχουν υλοποιηθεί από τους κατασκευαστές στα προϊόντα τους, προκειμένου να αυξήσουν την ευελιξία στη σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου και να δώσουν

περισσότερες δυνατότητες. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθούν να κάνουν τα προϊόντα τους πιο ελκυστικά στον καταναλωτή. Από την άλλη πλευρά, αυτοί οι τρόποι λειτουργίας λειτουργούν συνήθως μόνο μεταξύ συσκευών του ίδιου κατασκευαστή, περιορίζοντας έτσι τον καταναλωτή να αγοράσει εξοπλισμό από ένα κατασκευαστή.

Επαναλήπτης (Repeater):

Οι συσκευές που μπορούν να λειτουργήσουν με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την κάλυψη από ένα AP. Ο αναμεταδότης είναι ένας φτηνός και απλός τρόπος να αυξήσουμε την κάλυψη από ένα σημείο πρόσβασης. Ο αναμεταδότης λαμβάνει το σήμα από το AP και το επανεκπέμπει ενισχυμένο. Έτσι, ο ασύρματος σταθμός δέχεται επαρκές σήμα ώστε να λειτουργήσει ικανοποιητικά. Αντίστοιχα, το εκπεμπόμενο σήμα από τον σταθμό λαμβάνεται από τον αναμεταδότη και επανεκπέμπεται ενισχυμένο προς το AP. Το μειονέκτημα των συσκευών αυτών είναι ότι δεν υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα στις διάφορες υλοποιήσεις από διαφορετικούς κατασκευαστές και ότι το εύρος μειώνεται στο μισό αφού ο αναμεταδότης πρέπει να μοιράσει το χρόνο του για λήψη και επανεκπομπή της ίδιας πληροφορίας.

Γέφυρα (Bridge):

Υπάρχουν στην αγορά προϊόντα τα οποία προσφέρουν την λειτουργία της ασύρματης γεφύρωσης. Τα προϊόντα αυτά προσφέρουν ασύρματη σύνδεση σημείου προς σημείο και επιτρέπουν τη γεφύρωση δύο τοπικών δικτύων LAN, τα οποία δεν μπορούν να διασυνδεθούν με άλλο τρόπο. Έτσι στο παρακάτω σχήμα οι υπολογιστές που βρίσκονται στο πρώτο LAN τμήμα θα μπορούν να επικοινωνήσουν με τους υπολογιστές του δεύτερου, ακριβώς σαν να βρίσκονταν στο ίδιο τοπικό δίκτυο. Το είδος αυτό ασύρματης δικτύωσης, δεν είναι μέρος του επίσημου προτύπου 802.11 και ως εκ τούτου δεν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ συσκευών που το υλοποιούν και είναι διαφορετικού κατασκευαστή. Ο χρήστης είναι αναγκασμένος να προμηθευτεί ολόκληρο τον εξοπλισμό του από ένα κατασκευαστή.

Γέφυρα σημείου προς πολλά σημεία (Bridge point to multipoint):

Παρόμοια με την προηγούμενη λειτουργία, μερικοί κατασκευαστές υλοποιούν τη λειτουργία της ασύρματης γεφύρωσης, ανάμεσα σε περισσότερες από δύο συσκευές. Ισχύει πάλι, ότι δεν υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών.

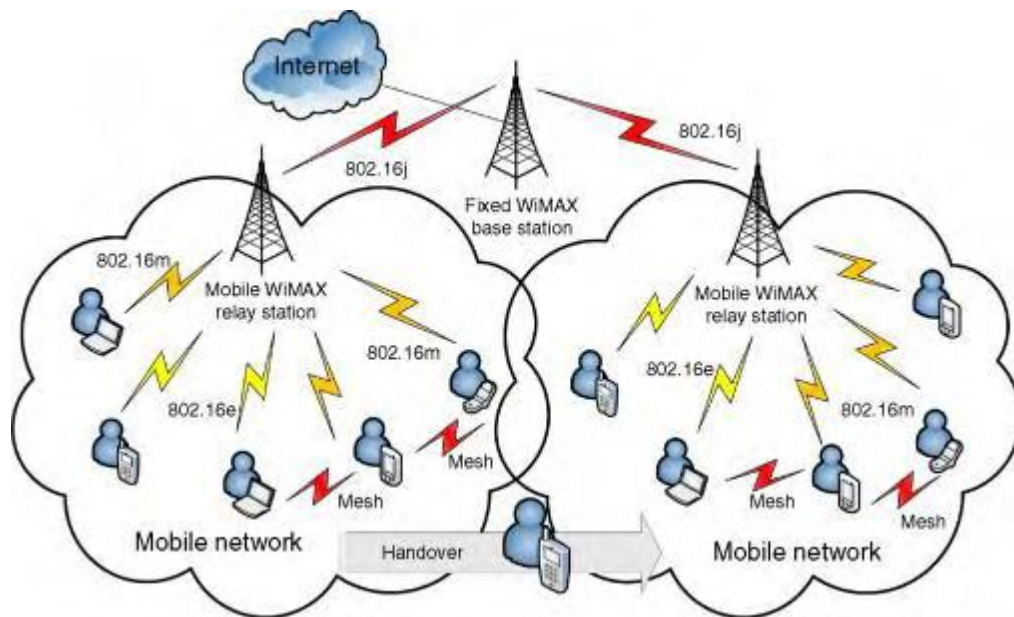
2.11 Αρχιτεκτονική δικτύων Wimax

Η ασύρματη ζεύξη μεταξύ των χρηστών και του δικτύου, αφορά τόσο την κάτω ζεύξη, όσο και την άνω, δηλαδή πρόκειται για αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και χρήστη, σύμφωνα με το πρότυπο πραγματοποιείται με έναν κεντρικό σταθμό βάσης, οποίος χρησιμοποιεί κεραιοσύστημα με τομεακές κεραίες, ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν αποτελεσματικότερα πολλοί χρήστες. Για ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνότητας, όλοι οι τελικοί σταθμοί λαμβάνουν την ίδια εκπομπή ή έστω κομμάτι αυτής. Ο κάθε σταθμός βάσης που είναι εγκατεστημένος, ώστε να εξυπηρετεί το συνδρομητικό φορτίο μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής, λειτουργεί χωρίς τη συνεργασία με άλλους σταθμούς βάσης. (Χαριτούδης, 2013)

Για την κάτω ζεύξη χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης η ευρυεκπομπή (broadcast), κατά την οποία αποστέλλονται δεδομένα προς όλους τους κινητούς και σταθερούς συνδρομητές. Σε κάθε υποπλαίσιο πληροφορίας που αποστέλλεται στην κάτω ζεύξη είναι προσδιορισμένος ένας συγκεκριμένος συνδρομητικός σταθμός, ο οποίος αποτελεί τον παραλήπτη του συγκεκριμένου υποπλαισίου. Από την άλλη πλευρά, οι συνδρομητικοί σταθμοί είναι υποχρεωμένοι να ελέγχουν εάν τα ληφθέντα πακέτα δεδομένων τους αφορούν και τελικά να κρατούν μόνο αυτά που απευθύνονται σε αυτούς. Οι κινητοί σταθμοί για να επικοινωνήσουν με το σταθμό βάσης υποβάλλουν αίτημα και μετά την αποκατάσταση της σύνδεσής τους μοιράζονται το εύρος ζώνης της άνω ζεύξης. Ωστόσο όμως, κατά τη διαδικασία αυτή οι συνδρομητές ανάλογα με την κλάση της υπηρεσίας που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν, τους εκχωρείται διαφορετικό εύρος ζώνης ή ακόμα μπορεί να τους εκχωρηθεί και το δικαίωμα για συνεχή επικοινωνία με το σταθμό βάσης. Σε διαφορετική περίπτωση το δικαίωμα εκπομπής καταχωρείται από το σταθμό βάσης κατόπιν αιτήματος, όπως περιγράφηκε και προηγουμένως. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υπηρεσίας, κατά την οποία ο συνδρομητικός σταθμός αποκτά δικαίωμα συνεχούς εκπομπής προς το σταθμό βάσης, είναι η συνδρομητική υπηρεσία IPTV. (Χαριτούδης, 2013)

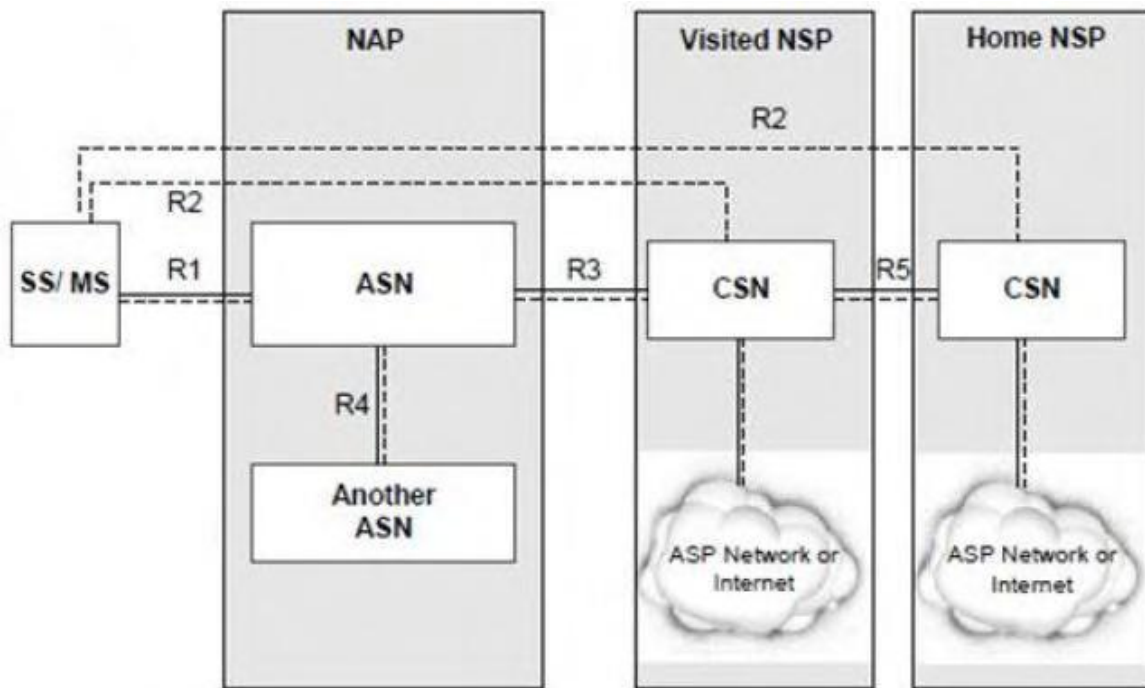
Τέλος, όπως συμβαίνει σε οποιοδήποτε δίκτυο, χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο εκπομπής που ελέγχει τη διένεξη μεταξύ των χρηστών και ενεργοποιεί την αντίστοιχη υπηρεσία που

σχετίζεται με τις απαιτήσεις σε καθυστέρηση και εύρος ζώνης, σύμφωνα με την κάθε εφαρμογή χρήστη.



Εικόνα 10 WiMAX τοπολογία δικτύου

Συνήθως η εσωτερική αρχιτεκτονική ενός δικτύου τεχνολογίας WiMAX μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια ενός δικτυακού μοντέλου αναφοράς (Network Reference Model - NRM). Στο μοντέλο αυτό ορίζονται οι κυριότερες λειτουργικές οντότητες αλλά και οι διεπαφές των οντοτήτων αυτών, οι οποίες προσδιορίζονται με τα σημεία αναφοράς. Γενικά, το δικτυακό μοντέλο αναφοράς ενός δικτύου WiMAX αποτελείται από λογικές οντότητες, όπως είναι ο κινητός σταθμός (Mobile Station - MS), το δίκτυο πρόσβασης υπηρεσιών (Access Service Network - ASN), το δίκτυο σύνδεσης υπηρεσιών (ConnectivityService Network - CSN) και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών μέσω των σημείων αναφοράς R1 έως R5, όπως απεικονίζεται και στην εικόνα που ακολουθεί. (Χαριτούδης, 2013)



Εικόνα 11 WiMAX αρχιτεκτονική

ASN: Access Service Network

SS/MS: Subscriber/Mobile Station

CSM: Connectivity Service Network

NAP: Network Access Providers

NSP: Network Service Providers

Στο υψηλότερο του επίπεδο το δικτυακό μοντέλο αναφοράς του WiMAX διαχωρίζεται στους παρόχους δικτυακής πρόσβασης (Network Access Providers - NAP) και στους παρόχους δικτυακών υπηρεσιών (Network Service Providers - NSP). Ένας πάροχος NAP μπορεί να είναι μια επιχειρηματική οντότητα που παρέχει την απαραίτητη υποδομή για την υλοποίηση της ασύρματη πρόσβασης στο WiMAX και πάνω στο οποίο μπορούν να στηριχθούν ένα οι περισσότερα δίκτυα πρόσβασης υπηρεσιών (Access Service Networks - ASNs). Ένας πάροχος NSP αντίστοιχα, μπορεί να είναι μια διαφορετική επιχείρηση, που να είναι υπεύθυνη για τη συνδεσιμότητα σε επίπεδο IP και να φροντίζει να παρέχονται υπηρεσίες στους συνδρομητές, σύμφωνα με το επίπεδο υπηρεσιών που έχει προκαθοριστεί για τον κάθε χρήστη, από πριν μέσω συμβολών. (Χαριτούδης, 2013)

Οι οντότητες MS, ASN και CSN αντιπροσωπεύουν την ομαδοποίηση όλων των λογικών λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του δικτύου και των συνδρομητών. Πιο αναλυτικά: (Χαριτούδης, 2013)

Κινητός Σταθμός (Mobile Station - MS)

Περιγράφει κυρίως τον κινητό εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για τη σύνδεση και την εξυπηρέτηση ενός συνδρομητή από ένα δίκτυο WiMAX.

Δίκτυο Πρόσβασης Υπηρεσιών (Access Service Network - ASN)

- Το δίκτυο ASN περιγράφει το σημείο σύνδεσης της οντότητας MS με το δίκτυο WiMAX και επομένως, θα πρέπει να είναι σε θέση να διεκπεραιώσει ένα ευρύ σύνολο λειτουργιών, τα οποία ζητούνται από τον συνδρομητή. Οι λειτουργίες που ακολουθούν είναι απαραίτητο να υποστηρίζονται απ' όλα τα ASNs ανεξάρτητα από τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν. 802.16 Layer-2 συνδεσιμότητα για τους WiMAX MS.
- Μεταφορά AAA μηνυμάτων σε οικιακό δίκτυο WiMAX συνδρομητή για πιστοποίηση, εξουσιοδότηση και καταμέτρηση (Authentication-Authorization-Accounting - AAA).
- Ανίχνευση και επιλογή του παρόχου NSR που επιθυμεί ο συνδρομητής.
- Λειτουργικότητα Relay για την εγκατάσταση συνδεσιμότητας Layer-3 (L3).
- Διαχείριση ασύρματων πόρων (Radio Resource Management - RRM).
- QoS και διαχείρισή της.
- Διοχέτευση ASN-CSN και ASN-ASN(tunneling).

Επιπλέον, για τις ανάγκες υποστήριξης της κινητικότητας το ASN διαθέτει και τις παρακάτω λειτουργίες:

- Κινητικότητα ASN πρόσδεσης (anchored).
- Κινητικότητα CSN πρόσδεσης (anchored).
- Αναζήτησης (paging) και διαχείρισης εντοπισμού.

Δίκτυο συνδεσιμότητας υπηρεσίας (Connectivity Service Network - CSN) Η οντότητα CSN περιγράφει το σύνολο των διαδικασιών, ώστε να παρέχονται υπηρεσίες προς τους συνδρομητές σε επίπεδο IP δομής πληροφοριών. Το CSN δίκτυο περιέχει συνήθως διάφορα υλικοτεχνικά αλλά και λογισμικά στοιχεία του δικτύου, όπως δρομολογητές, proxy

servers και βάσεις δεδομένων των χρηστών. Μία οντότητα CSN περιλαμβάνει λειτουργίες όπως:

- MS IP address και παραμέτρους τερματικών συσκευών.
- Πρόσβαση στο internet.
- Υπηρεσίες AAA.
- Έλεγχο εισόδου που βασίζεται σε προφίλ εγγεγραμμένων χρηστών.
- Υποστήριξη ASN-CSN tunneling.
- Διευθέτηση του λογαριασμού των συνδρομητών.
- Inter-CSN tunneling για περιαγωγή.
- Συνδεσιμότητα σε υπηρεσίες WiMAX, όπως IP multimedia υπηρεσίες (IMS), υπηρεσίες θέσης (Location Based Services - LBS), υπηρεσίες peer-to-peer κ.ά.

Για την διεκπεραίωση μιας διαδικασίας μπορεί να απαιτείται η συνεργασία δύο ή περισσότερων λειτουργικών οντοτήτων. Επιπλέον, οι λειτουργίες που αναφέραμε προηγουμένως και περιλαμβάνονται μέσα σε μια οντότητα, μπορούν να εκτελεστούν από την ίδια φυσική μονάδα.

2.12 Σύγκριση WiMAX με Wi-Fi

Το Wi-Fi (διαφορετικά WLAN) είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.11. Το Wi-Fi έχει εύρος καναλιού στα 20 MHz και εμβέλεια μέχρι 100 μέτρα (σχετικά μικρή). Η διαφορά του με το WiMAX είναι ότι, παρόλο που λειτουργούν παρόμοια, το WiMAX έχει μεγαλύτερη εμβέλεια (έως και 50 χλμ) εφόσον υπάρχει άμεση οπτική επαφή με το σταθμό βάσης. Ας μη ξεχνάμε όμως ότι το WiMAX μπορεί και χρησιμοποιείται και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής, σαφώς με χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης καθώς και με μικρότερη εμβέλεια (1-7 χλμ). Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία μπορεί να είναι 70 - 240 Mbps. (Jeffrey)

Σχετικά με την ποιότητα σύνδεσης, όταν γίνεται σύνδεση πολλών χρηστών με ένα σημείο πρόσβασης Wi-Fi, οι χρήστες ανταγωνίζονται συνεχώς προκειμένου να συνδεθούν και έχοντας στη διάθεσή τους κάθε φορά εύρος ζώνης το οποίο δεν είναι σταθερό. Αντιθέτως χρησιμοποιώντας την τεχνολογία WiMAX, ο κάθε χρήστης εξασφαλίζει ένα σταθερό εύρος ζώνης, λόγω της ύπαρξης

ενός αλγορίθμου ο οποίος καθιερώνει, ανά σημείο πρόσβασης WiMAX, ένα άνω όριο στον αριθμό χρηστών. Σε περίπτωση ύπαρξης επιπλέον χρηστών, ένας πύργος WiMAX τους κατευθύνει σε ένα άλλο σημείο πρόσβασης WiMAX, όταν πλησιάζει τη μέγιστη ευρυζωνική χωρητικότητά του.

Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Wi-Fi και το WiMAX είναι δύο συμπληρωματικές τεχνολογίες καθώς το τελευταίο δίνει τη δυνατότητα παροχής χαμηλού κόστους backhaul σύνδεσης με τα διάφορα Wi-Fi hotspots και WLANs σημεία σε επιχειρήσεις και σπίτια προσφέροντας ένα ασύρματο τελευταίο μίλι σαν επέκταση στις καλωδιακές και DSL δομές. (Jeffrey)

2.13 Εφαρμογές του WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX λύνει σοβαρά προβλήματα που απασχολούσαν τους τεχνικούς δικτύων σήμερα, λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που μπορεί να παρέχει. Οι βασικότερες χρήσεις του είναι:

- Το δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Το πρότυπο αυτό προβλέπει τη μείωση του κόστους εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, μιας και αποτελεί πρόταση με χαμηλό κόστος, αν συγκριθεί με τα υλικά μέσα μετάδοσης, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Ταυτόχρονα προσφέρει αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα συστήματα αυτά.
- Broadband on Demand. Εξασφαλίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις.
- Καλύπτει περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με άλλα μέσα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν συμπλήρωμα είτε σαν επέκταση του ήδη εγκατεστημένου δικτύου. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του WiMAX το καταστούν κατάλληλο και για σταθερές και για κινητές εφαρμογές. Οι σταθερές εφαρμογές WiMAX είναι κυρίως Point - to - Multipoint (PTM) επιτρέποντας την ευρυζωνική πρόσβαση στα σπίτια και στις επιχειρήσεις. Ενώ οι κινητές εφαρμογές προσφέρουν την πλήρη κινητικότητα των κυψελοειδών δικτύων με αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point to - Multipoint

(PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point (PTP) συνδέσεις. (πηγή: mm.aueb.gr/technicalreports)

Το πρότυπο 802.16, δίνει πολλές λύσεις σε προβλήματα, με τις εφαρμογές που έχει στην βιομηχανία. Μερικές από αυτές είναι οι εξής: (Jeffrey)

- **Επέκταση της ασύρματης ευρυζωνικότητας:** Το WiMAX έχει τη δυνατότητα να επεκτείνεται ενώ ταυτόχρονα είναι συμβατό με τα υπόλοιπα υπάρχοντα δίκτυα. Αυτή η δυνατότητα επέκτασης δίνει στο WiMAX την ικανότητα να συνδέονται μετακινούμενοι χρήστες εύκολα από παντού. Μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να δώσει πρόσβαση σε όλους μέσα σε μια μεγάλη βιομηχανία ή σε μια εταιρεία που μετακινείται συνεχώς.
- **Δημιουργία δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές:** Η δημιουργία δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές είναι συνήθως ακριβή και τεχνικά αδύνατες. Το WiMAX είναι οικονομικό και έχει την απαραίτητη υποδομή ώστε να καταστεί δυνατή μια τέτοια ανάπτυξη.
μισθώνουν ενσύρματες γραμμές για τη μείωση του κόστους επέκτασης και λειτουργίας του διαδικτύου, αλλά μπορούν με τη χρήση των ασύρματων κυψελών να παρέχουν φτηνή πρόσβαση στους χρήστες.
- **Άρση των περιορισμών:** Πολλοί πελάτες δεν μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο λόγω του ότι υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί στα υλικά μέσα μετάδοσης (χαλκός και οπτική ίνα). Επιπλέον πολλές αστικές και προαστιακές περιοχές δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν επειδή η DSL σύνδεση μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου τρία μίλια μακριά από τον κεντρικό δρομολογητή. Επίσης υπάρχουν πολλά παλιά ενσύρματα δίκτυα που δεν είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής, με συνέπεια ο εκσυγχρονισμός αυτών να είναι οικονομικά ασύμφορος. Τέλος η επέκταση της καλωδιακής εγκατάστασης, είτε είναι ανέφικτη, είτε είναι αρκετά δύσκολη και ακριβή ειδικά σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη «πυκνότητα» χρηστών. Το 802.16 μπορεί να λύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα, παρέχοντας μεγάλο εύρος ζώνης (bandwidth), υψηλές ταχύτητες και ευελιξία με χαμηλό κόστος.

3^ο Κεφάλαιο: Μεθοδολογία

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές ανάπτυξης ενός κινητού, WiMAX δικτύου, σε μια αστική περιοχή. Η αξιολόγηση των στρατηγικών γίνεται μέσω εκτεταμένων προσομοιώσεων, της κατηγορίας «Monte Carlo», τόσο στο επίπεδο της τοπολογίας του δικτύου, όσο και του σχεδιασμού του φάσματος συχνοτήτων. Συνήθως εξετάζεται το ερώτημα εάν ένα δίκτυο WiMAX είναι κατάλληλο για συνεχή, εσωτερικού χώρου κάλυψη και αν θα συμφέρει η τμηματική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

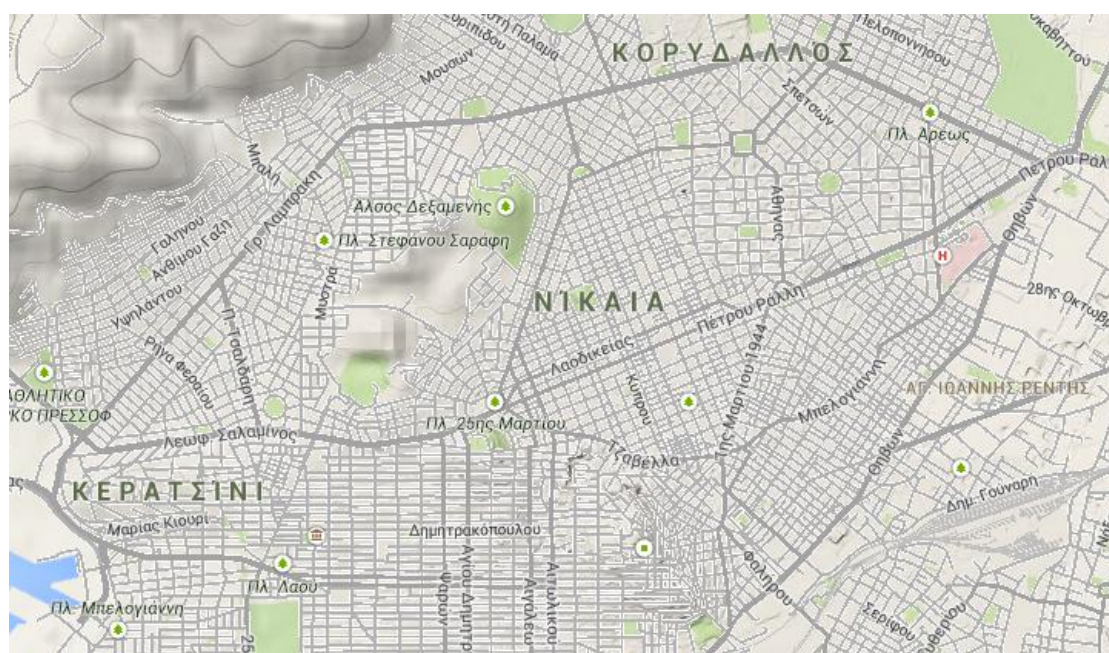
Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα πρέπει να υλοποιήσουμε ένα WiMAX δίκτυο στη Νίκαια, Αττικής, μία πόλη με περίπου 108000 κατοίκους και έκταση 12 km². Ο κάθε πάροχος ασύρματου δικτύου, πριν προχωρήσει στην ανάπτυξη του δικτύου, πρέπει να εξετάσει αρκετά θέματα. Αρχικά πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των τοποθεσιών που θα εγκατασταθούν οι σταθμοί βάσης. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η μορφολογία του εδάφους που άλλοτε διευκολύνει και άλλοτε δυσκολεύει τη μετάδοση και λήψη του σήματος. Ακόμα θα πρέπει να επιλέξει την συχνότητα λειτουργίας του δικτύου και να είναι νόμιμος, σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ε.Ε.Τ.Τ..

Ο λόγος που επιλέξαμε Wimax τεχνολογία για να στήσουμε το δίκτυό μας είναι γιατί με φθηνότερο απαιτούμενο εξοπλισμό μπορεί να εξυπηρετήσει χρήστες σε μεγάλες αποστάσεις έως, θεωρητικά, 80 km και να φτάσει ταχύτητες 30-40 Mbps. Η υπηρεσία που θα προσφέρουμε με το δικό μας δίκτυο είναι η ασύρματη πρόσβαση στο internet, καθώς ολοένα και πιο πολλοί χρήστες επιθυμούν να είναι διαρκώς συνδεδεμένοι είτε με τον λογαριασμό τους στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, είτε για ενημέρωση με ειδήσεις σε σχετικά site, είτε με τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Έχοντας επιλέξει τα σημεία εγκατάστασης των σταθμών βάσης θα πρέπει να προχωρήσουμε στη μελέτη κατανομής των ζωνών συχνότητας που θα ανατεθούν σε κάθε σταθμό (frequency planning). Στα WiMAX συστήματα το εύρος ζώνης του κάθε καναλιού (διαύλου) ενός σταθμού βάσης μπορεί να είναι πολλαπλάσιο των 3.5 MHz (βάση του WiMAX forum). Για τη βέλτιστη ανάπτυξη του δικτύου θα πρέπει να χωρίσουμε το δοθέν φάσμα σε ζώνες των 3.5 ή των 7 MHz το πολύ. Γενικά, σκοπός του frequency planning είναι η κατανομή των καναλιών, συχνοτήτων, στους διάφορους σταθμούς βάσης με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το ενδεχόμενο ομοδιαυλικών παρεμβολών. Επειδή το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να είναι

περιορισμένο για την εξασφάλιση της απαιτούμενης πληθυσμιακής κάλυψης, ακολουθείται η τεχνική της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Η κατανομή των καναλιών επηρεάζεται άμεσα και από την πληθυσμιακή κατανομή με δεδομένο ότι υπάρχει ένα άνω όριο ως προς το πλήθος των συνδρομητών που μπορεί να υποστηριχθεί από κάθε κανάλι.

Το σταθμό βάσης θα τον τοποθετήσουμε σε ένα ψηλό κτίριο στο κέντρο της Νίκαιας και θα χρησιμοποιήσουμε ομοιοκατευθυντική κεραία εκπομπής ώστε να εξυπηρετεί χρήστες προς όλες τις κατευθύνσεις. Θα χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα σταθμό βάσης αφού η Wimax τεχνολογία καλύπτει χιλιομετρικά την επιθυμητή περιοχή.



Εικόνα 12 χάρτης Νίκαια

3.1 Opnet

Αρχικά η προσομοίωση του δικτύου έγινε στο πρόγραμμα Opnet. Το OPNET είναι μια ευρέως γνωστή εμπορική εφαρμογή, με κύρια χρήση της τη προσομοίωση δικτύων. Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής θα χρησιμοποιήσουμε την έκδοση IT GURU Academic Edition. Η συγκεκριμένη έκδοση του OPNET αποτελεί ένα εξειδικευμένο ακαδημαϊκό εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος να μοντελοποιηθούν και να προσομοιωθούν διάφορα είδη δικτύων.

Το OPNET παρέχει δυνατότητες για δημιουργία πληρέστατων και μεγάλων δικτύων σχεδιασμένων μέχρι τη παραμικρή λεπτομέρεια, τα οποία μπορούμε να τα «στήσουμε» σχετικά εύκολα, να τα δοκιμάσουμε με χρήση πολλών σύγχρονων τεχνολογιών και να τα βελτιστοποιήσουμε γενικότερα.

Ο Project Editor αποτελεί την κύρια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή και προσομοίωση ενός δικτύου. Από εδώ μπορούμε να κτίσουμε ένα μοντέλο δικτύου, χρησιμοποιώντας τα έτοιμα μοντέλα (π.χ. ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN), ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) ή ένα δίκτυο με δύο υπολογιστές κ.τ.λ.) που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του OPNET, να επιλέξουμε στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, να τρέξουμε μια προσομοίωση και να δούμε τα αποτελέσματα. Επίσης μπορούμε να φτιάξουμε τα μοντέλα δικτύου και επεξεργασίας, να κατασκευάσουμε μοντέλα για πακέτα που στέλνονται, να κατασκευάσουμε φίλτρα και παραμέτρους στα οποία μπορούμε να έχουμε πρόσβαση από το μοντέλο επεξεργασίας.

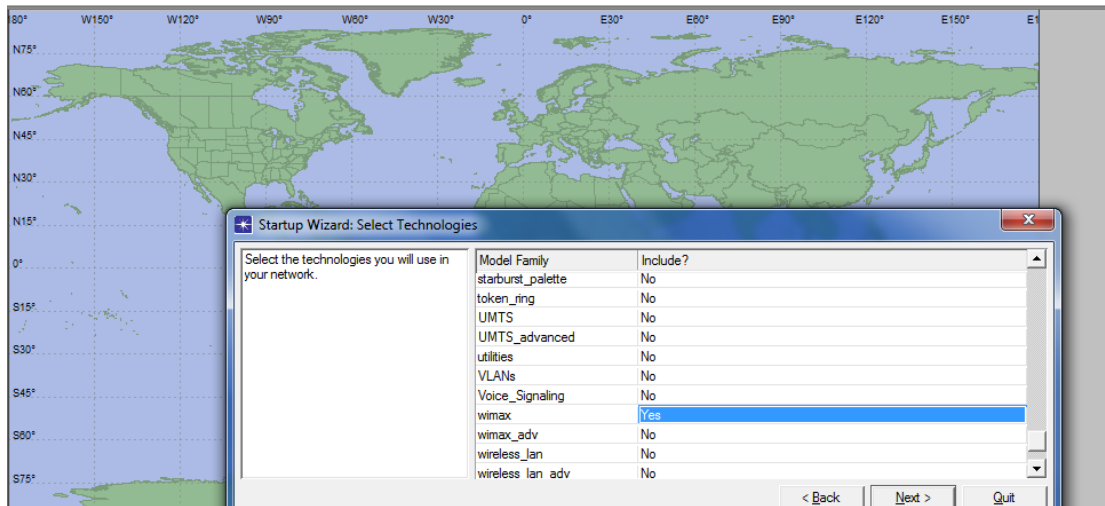
Το περιβάλλον εργασίας του OPNET είναι ένα παραθυρικό περιβάλλον. Το παράθυρο που βλέπουμε παρακάτω είναι και το αρχικό που συναντάμε όταν ξεκινήσουμε το OPNET.



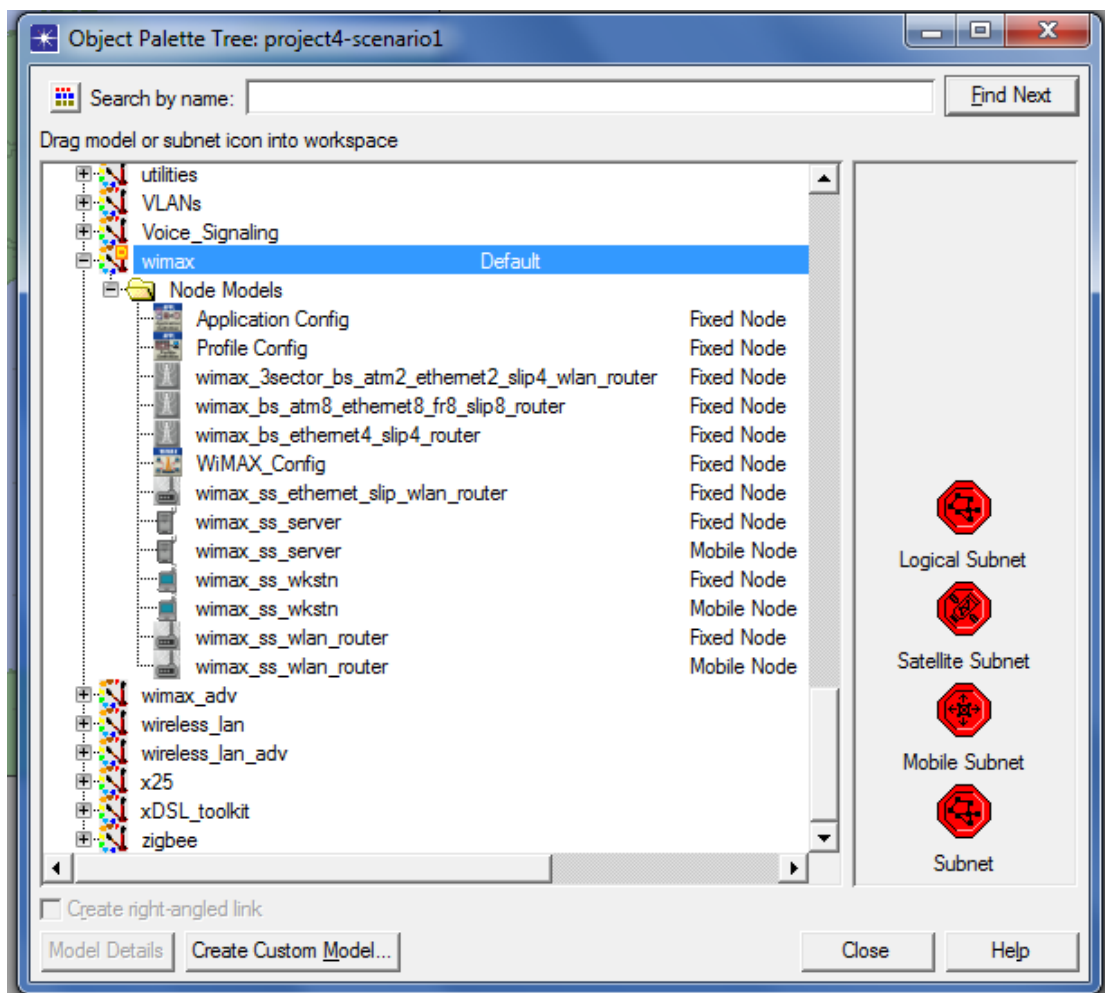
Εικόνα 13 αρχικό παράθυρο Opnet

Επιλέγοντας **File-New-Project** «ερχόμαστε» στο κύριο παράθυρο του OPNET στο οποίο γίνεται και η σχεδίαση του εκάστοτε δικτύου. Θα πρέπει αρχικά να επιλέξουμε **Project Name** και **Scenario Name**. Το scenario είναι ένα ξεχωριστό σενάριο μέσα στο project που περιγράφει/απεικονίζει μια συγκεκριμένη κατάσταση. Ένα project μπορεί να περιέχει πολλά σενάρια. Π.χ. αν ένα Project περιέχει ένα δίκτυο Wimax, το πρώτο σενάριο μπορεί να αφορά το συγκεκριμένο δίκτυο για 10 χρήστες και ένα δεύτερο σενάριο για τους διπλάσιους χρήστες. Έτσι έχουμε 2 περιπτώσεις με διαφορετικές ρυθμίσεις και τιμές. Αφού δώσουμε τις ονομασίες που θέλουμε και πατήσουμε OK, στο επόμενο μενού που συναντάμε επιλέγουμε «**Empty Scenario**» και πατάμε Next.

Το επόμενο μενού έχει να κάνει με τους χάρτες που θέλουμε να έχουμε στο background (βοηθούν όταν για παράδειγμα σχεδιάζουμε ένα δίκτυο σε μια συγκεκριμένη χώρα και θέλουμε να ξέρουμε σε ποιο σημείο(πόλη/περιφέρεια) θα βάλουμε τι, πόση απόσταση μεσολαβεί μέχρι τον επόμενο κόμβο ίσως κ.τ.λ. Αν επιλέξουμε «**world**» και πατήσουμε Next, εμφανίζεται μια λίστα από διάφορες χώρες. Αν θέλουμε να φτιάξουμε το δίκτυο μας με Background μια συγκεκριμένη χώρα στο περιβάλλον εργασίας, την επιλέγουμε και πατάμε Next. Άλλωστε λίγη σημασία έχουν οι χάρτες καθώς στις εργαστηριακές μας ασκήσεις το πιθανότερο είναι ότι δεν θα χρειαστούμε κάποια συγκεκριμένη τοποθεσία/χώρα. Στο μενού που βρισκόμαστε πλέον (**Startup Wizard : Select Technologies**) μπορούμε να επιλέξουμε εκ των προτέρων κάποιες τεχνολογίες που είμαστε βέβαιοι ότι θα χρησιμοποιήσουμε στο project μας. Αυτό σημαίνει και κάποιες αυτόματες ρυθμίσεις σε μερικά μενού του OPNET. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία Wimax, τη βρίσκουμε από τη στήλη **Model Family**, αλλάζουμε το «no» του **Include** (δεύτερη στήλη) σε «yes» και πατάμε Next. Το τελευταίο αυτό παράθυρο απλά μας επιβεβαιώνει το χάρτη και τη τεχνολογία που έχουμε επιλέξει και πλέον πατώντας **OK**, είμαστε στο κύριο menu του OPNET.



Εικόνα 14 Τεχνολογία Wimax

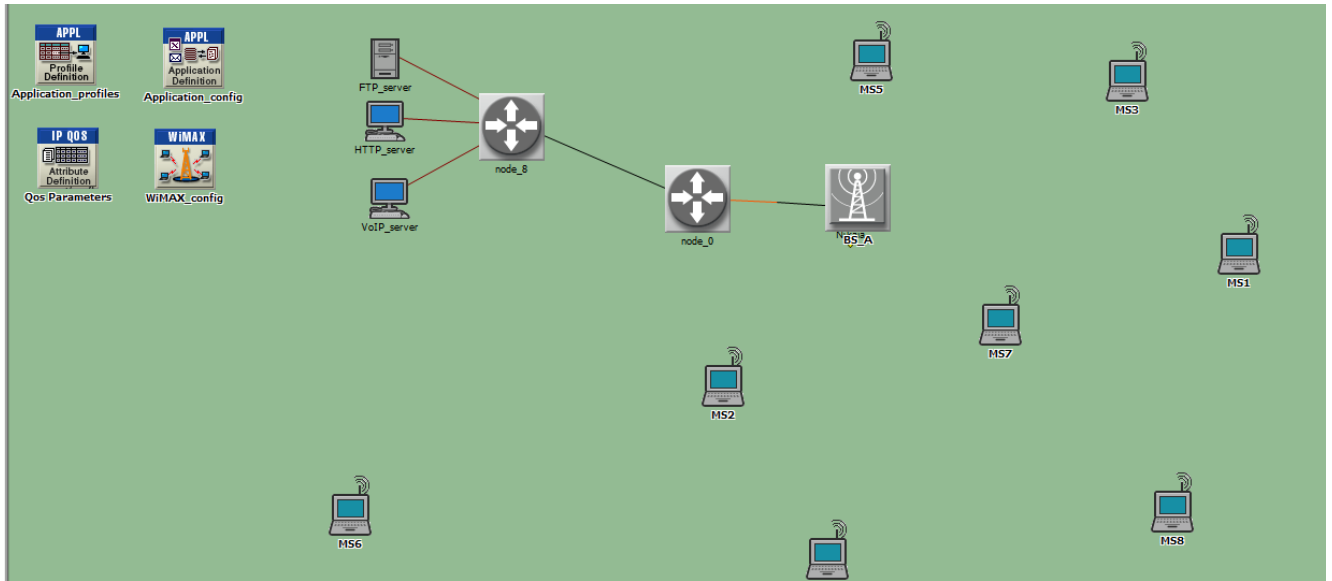


Εικόνα 15 Παλέτα Wimax



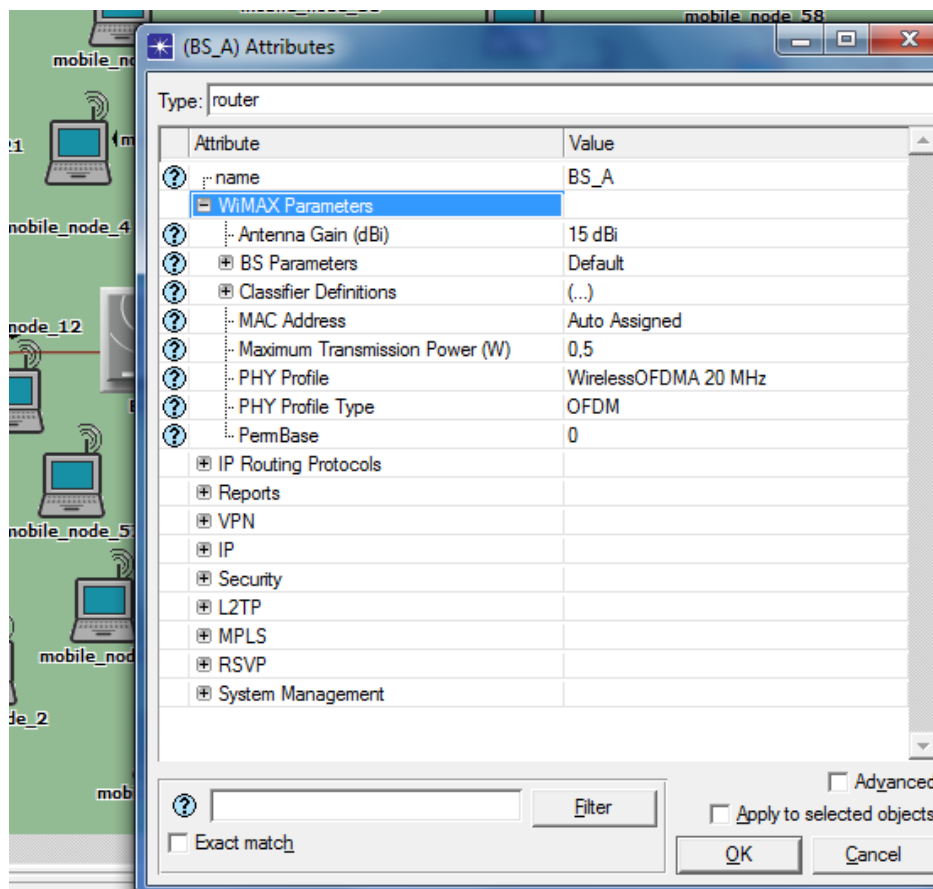
Εικόνα 16 Επιλογή Νίκαιας με zoom in

Στη συνέχεια αρχίσαμε να στήνουμε σταδιακά το δίκτυό μας. Θεωρήσαμε ότι πρέπει να εξυπηρετήσει αρκετούς χρήστες που βρίσκονται περιμετρικά από τον σταθμό βάσης. Για να ολοκληρωθεί το δίκτυο απαιτείται η χρήση δύο δρομολογητών και δύο server, ενός HTTP server και ενός FTP server, αφού θέλουμε να καλύψουμε πρόσβαση στο διαδίκτυο. Επιπλέον θέλουμε οι χρήστες να μπορούν να κάνουν χρήση εφαρμογών VoIP. Στο ορντ για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε το δίκτυο απαιτούνται άλλες τρεις οντότητες, η Application definition όπου ρυθμίζουμε τις λειτουργίες του δικτύου μας και η Profile definition στην οποία ρυθμίζουμε τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει κάθε λειτουργία. Τέλος απαιτείται η βαθμίδα Wimax configuration ούτως ώστε να λειτουργήσει σωστά το Wimax δίκτυο.

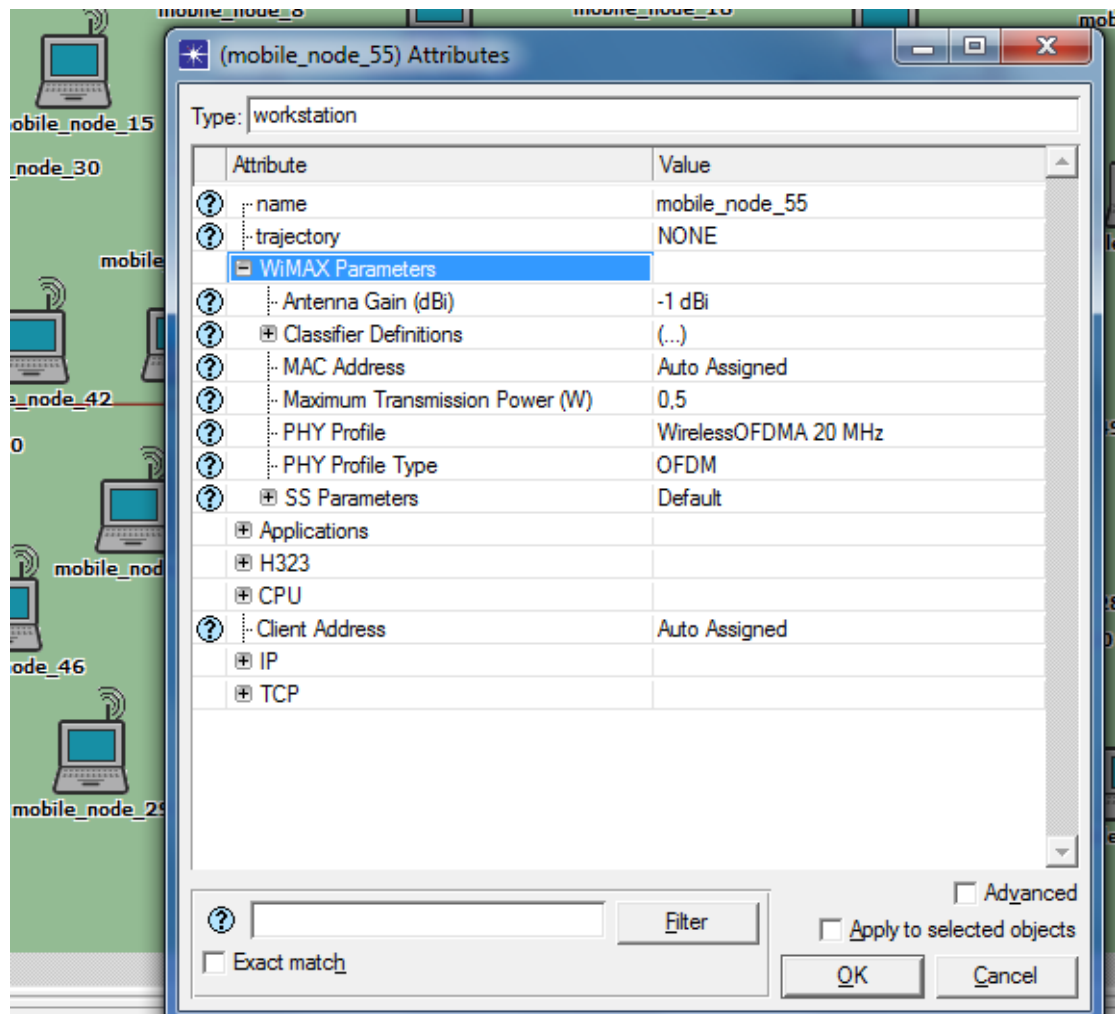


Εικόνα 17 Wimax δίκτυο

Στις επόμενες εικόνες φαίνονται τα χαρακτηριστικά που συμπληρώσαμε στον σταθμό βάσης και στους κινητούς σταθμούς.



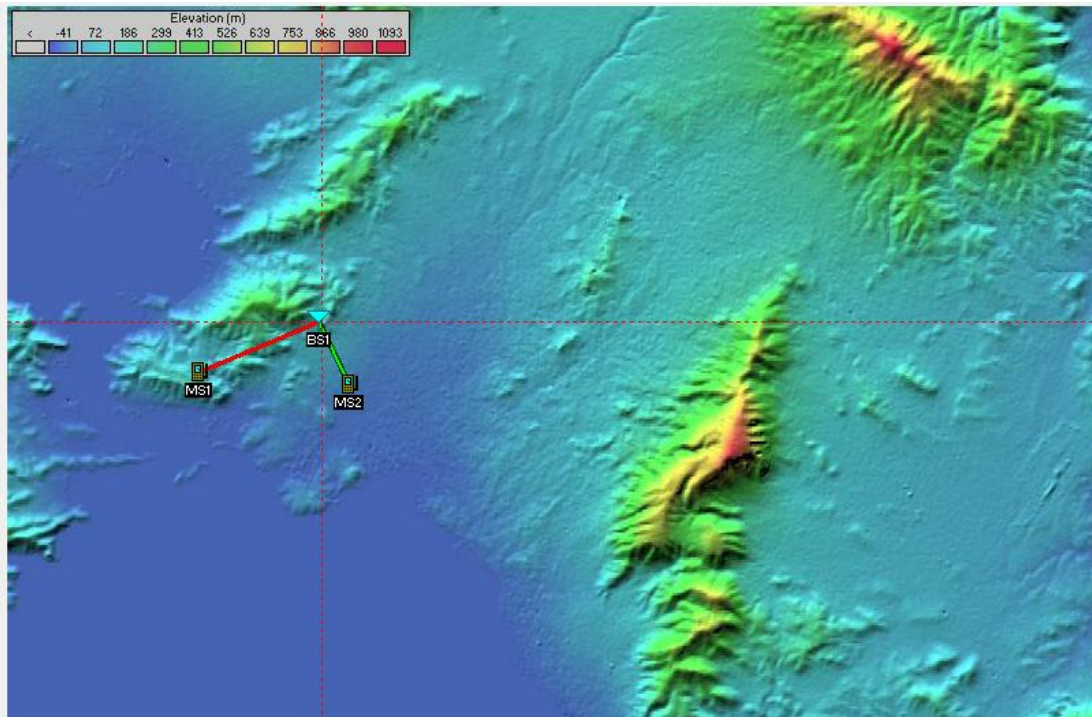
Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά σταθμού βάσης



Εικόνα 19 χαρακτηριστικά χρηστών- κινητών σταθμών

3.2 Radio Mobile

Το δεύτερο εργαλείο προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε ήταν το Radio mobile. Με αυτό το πρόγραμμα έχουμε τη δυνατότητα να τοποθετήσουμε το χάρτη της υπό μελέτη περιοχής και να δούμε τι θα συμβεί κατά τη λειτουργία του δικτύου σύμφωνα με την μορφολογία του εδάφους και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα αυτό διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο. Επίσης στο διαδίκτυο υπάρχει άφθονο υλικό για την κατανόηση της λειτουργίας του Radio Mobile.



Εικόνα 20 Δημιουργία δικτύου

Τοποθετούμε τον χάρτη της Νίκαιας και στη συνέχεια ξεκινάμε τη δημιουργία του δικτύου. Τοποθετούμε τον σταθμό βάσης και τους κινητούς σταθμούς με χρήση της επιλογής Unit properties. Εν συνεχεία θέτουμε τις παραμέτρους του δικτύου με την επιλογή Network properties, όπου δηλώνουμε τη συχνότητα λειτουργίας, τον τύπο των κεραιών που χρησιμοποιούνται καθώς και οι τιμές της ισχύος και της ευαισθησίας του δέκτη. Και με αυτό το εργαλείο θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο αρκετά σημαντικά στοιχεία της συμπεριφοράς του δικτύου.

3.3 Κοστολόγιο

Στη συνέχεια επιλέγεται ο απαραίτητος εξοπλισμός. Συνήθως αυτός ο εξοπλισμός αποτελείται από (σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω):

- ❖ ένα κεντρικό υπολογιστή του συστήματος (server), όπου θα αποθηκεύονται τα δεδομένα όλων των υποσυστημάτων.
- ❖ ένα κεντρικό υπολογιστή που θα χρησιμοποιηθεί ως backup server του παραπάνω υπολογιστή. Στην αγορά των servers έχουν κυριαρχήσει οι επεξεργαστές της Intel και της AMD.
- ❖ λειτουργικό σύστημα με κυριότερες επιλογές κάποια έκδοση του Unix
- ❖ σταθμός βάσης WiMAX επιπέδου φορέα

- ❖ κεραιές συγκεκριμένης γωνίας κάλυψης ή ομοιοκατευθυντικές για τον σταθμό βάσης
- ❖ κατευθυντήριες παραβολικές κεραιές για τους τερματικούς σταθμούς
- ❖ μεμονωμένες μονάδες χωρίς εξωτερικά καλώδια ή κυματοδηγούς για αποφυγή απωλειών μεταξύ του ραδιοσυστήματος και κεραιάς, προστασία σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, εύκολη εγκατάσταση και μεταφορά
- ❖ Μονά ομοαξονικά καλώδια για διασύνδεση
- ❖ Βραχίονες στήριξης για εύκολη εγκατάσταση των κεραιών, διατήρηση της ευθυγράμμισης και εύκολη αντικατάσταση
- ❖ Hubs, switches, routers
- ❖ Μόντεμ και κάρτες μόντεμ
- ❖ Σύστημα Διαχείρισης Ευρυζωνικών Υπηρεσιών
- ❖ Μηχανισμός ελέγχου αποδοχής κλήσης (Call Admission Control)

Το συνολικό κόστος για την υλοποίηση ενός Wimax δικτύου για τον πάροχο σύμφωνα με έρευνα από το διαδίκτυο είναι:

- Σταθμός βάσης 6000 €
- Τομέας σταθμού βάσης 8000€
- Εγκατάσταση σταθμού βάσης 800€
- Μίσθωση χώρου εγκατάστασης σταθμού βάσης 1000€/ μήνα/ σταθμό βάσης
- Εξοπλισμός ζεύξης 300€ / σταθμό βάσης
- Εξοπλισμός Wimax εσωτερικού χώρου 150€
- Εξοπλισμός Wimax εξωτερικού χώρου 350€
- Κόστος εγκατάστασης εσωτερικού χώρου 70€ /ώρα
- Κόστος εγκατάστασης εξωτερικού χώρου 100€ /ώρα
- Συντήρηση 150 €/ μήνα

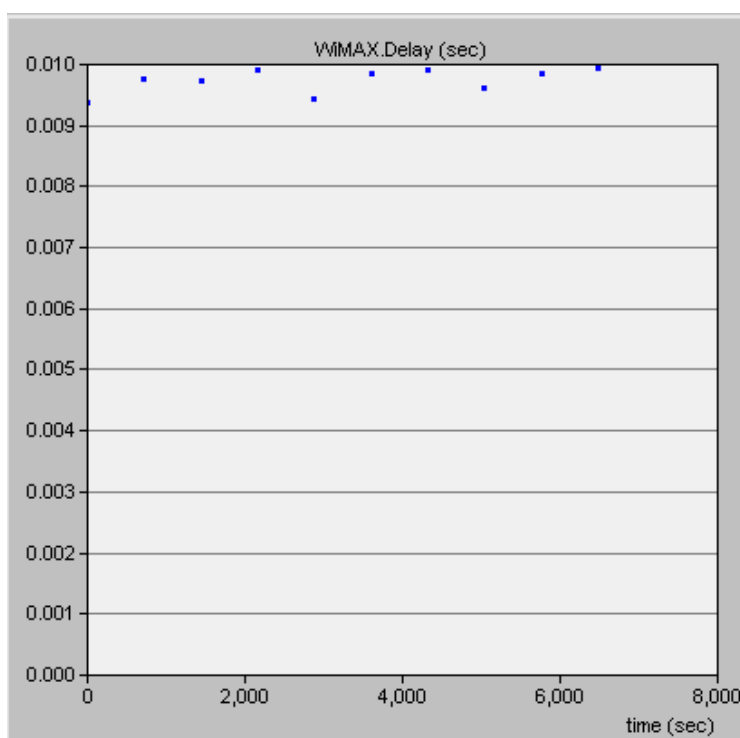
Επομένως σύμφωνα με τα προηγούμενα που αναφέραμε ο πάροχος θα έχει ένα κόστος περίπου στα 17000€, ποσό που σχετικά με άλλα δίκτυα μπορεί να θεωρηθεί χαμηλό. Αντίστοιχα ο πελάτης θα έχει ένα κόστος των 300€ περίπου, ανάλογα με την κεραία που θα έχει.

4^ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

4.1 Αποτελέσματα Ornet

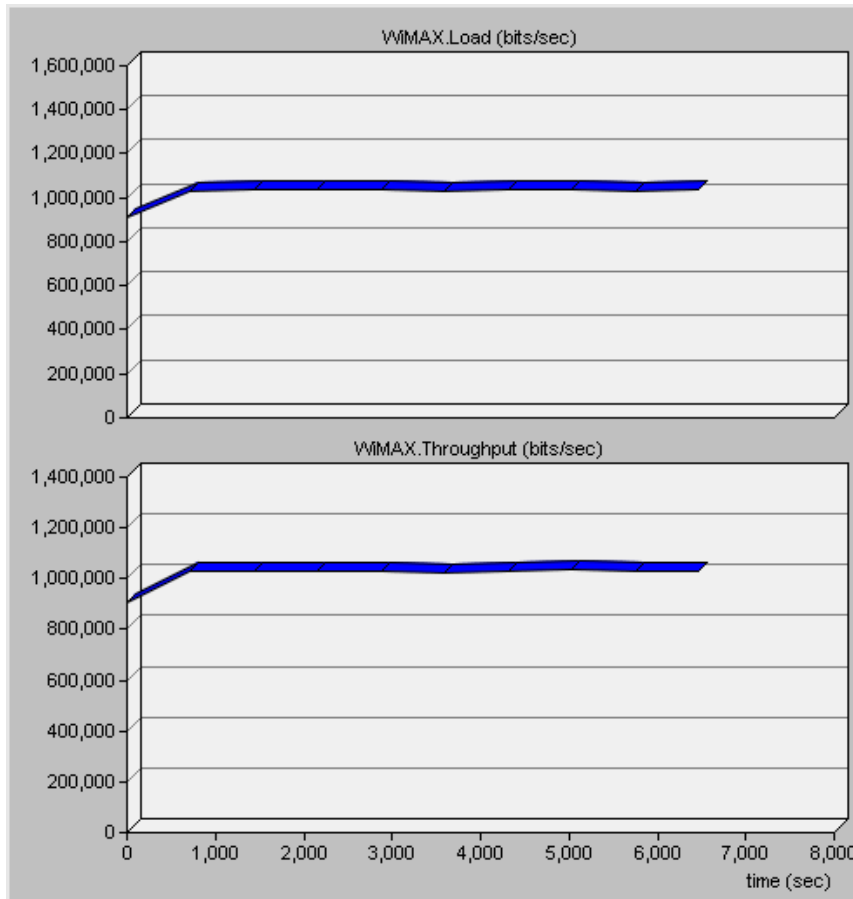
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από την προσομοίωση του δικτύου μας στο περιβάλλον του Ornet.

Οι επόμενες προσομοιώσεις έχουν υλοποιηθεί για διάστημα δύο ωρών και με μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου. Στην εικόνα 21 βλέπουμε την καθυστέρηση του δικτύου, η οποία μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης έχει μία σταθερή τιμή γύρω στα 0,009 sec τόσο ώστε δεν γίνεται αντιληπτή στον χρήστη.



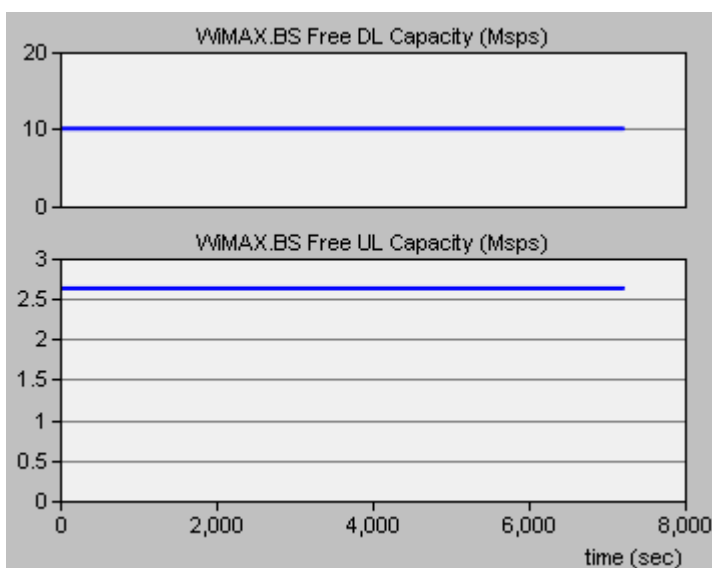
Εικόνα 21 Καθυστέρηση στο δίκτυο

Στη συνέχεια (εικόνα 22) παρατηρούμε τη συμπεριφορά του φορτίου μέσα στο δίκτυο, αρχικά ξεκινάει σε μία τιμή στα 900 kbps όπου με το πέρασμα της ώρας σταθεροποιείται περίπου στο 1Mbps. Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για την ρυθμαπόδοση του δικτύου, η οποία είναι σταθερή στο 1 Mbps.



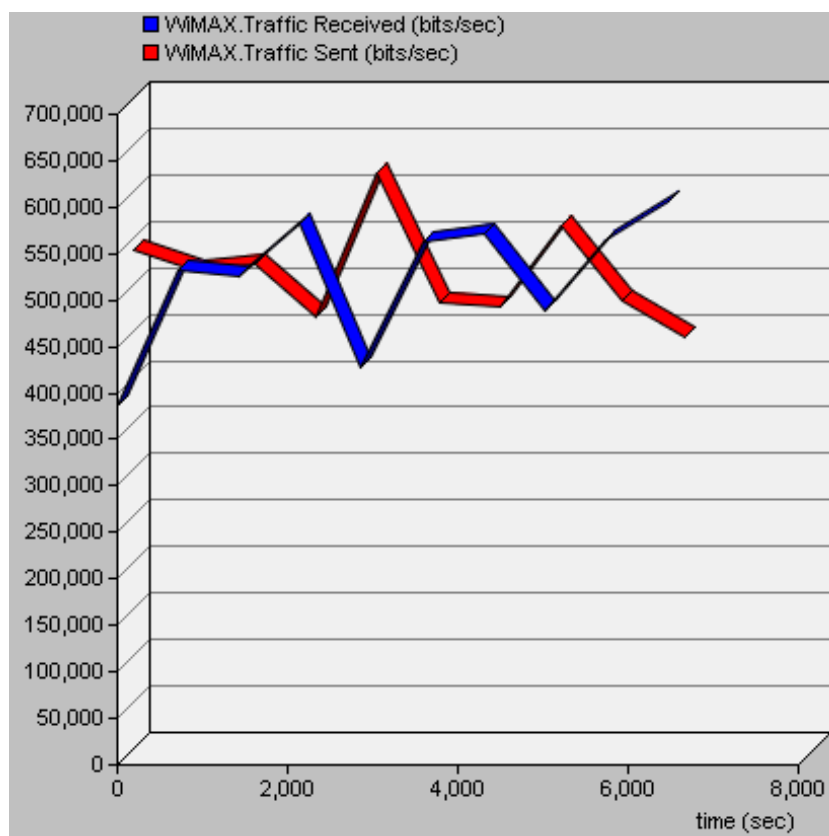
Εικόνα 22 Ρυθμαπόδοση και φορτίο δικτύου

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η χωρητικότητα του σταθμού βάσης στην κάτω ζεύξη η οποία είναι σταθερή στα 10 Msymbols/sec και στην άνω ζεύξη σταθερή στα 2,6 Msymbols/sec.



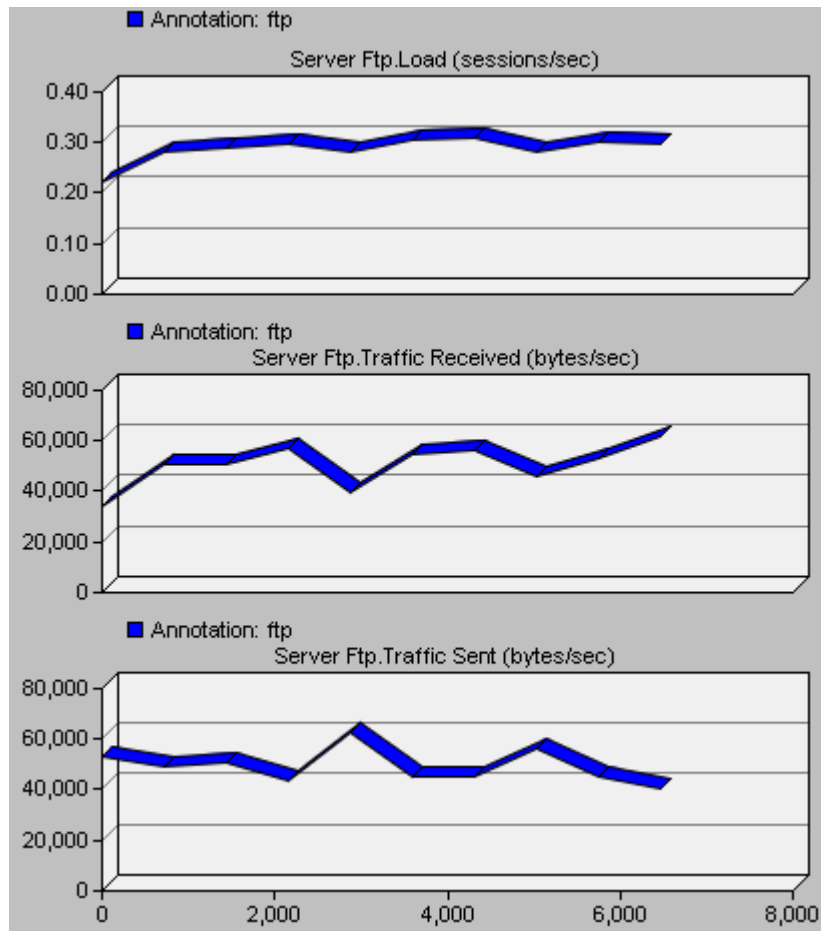
Εικόνα 23 Χωρητικότητα σταθμού βάσης

Στην εικόνα 24, που ακολουθεί μπορούμε να παρατηρήσουμε την λαμβανόμενη και την εκπεμπόμενη, από το σταθμό βάσης, κίνηση σε bits/second. Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι ξεκινάνε με χαμηλές τιμές μέχρι τα 2000 sec και όσο περνάει η ώρα σημειώνονται αυξομειώσεις τόσο της λαμβανόμενης όσο και της εκπεμπόμενης κίνησης, αφού αυτό εξαρτάται ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών του δικτύου.



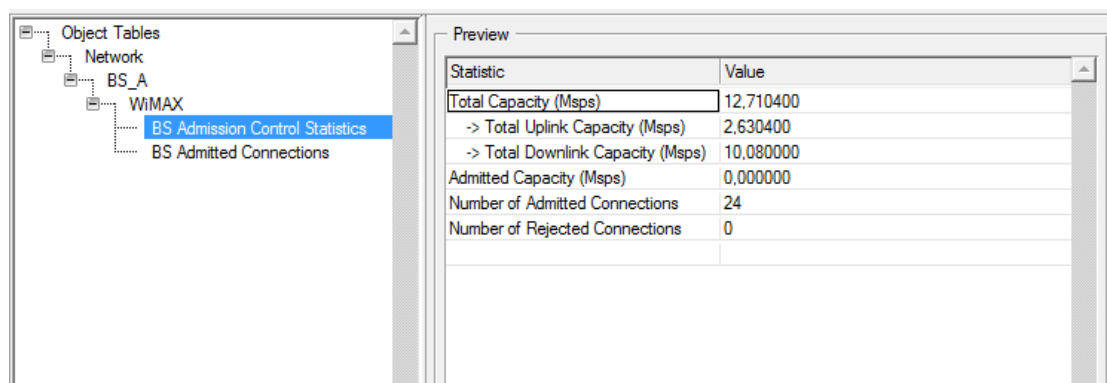
Εικόνα 24 Κίνηση από και προς τον σταθμό βάσης

Στην εικόνα 25 βλέπουμε το φορτίο και την κίνηση από και προς τον FTP server, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η κίνηση από και προς τον FTP server έχει παρόμοια συμπεριφορά με την κίνηση από και προς τον σταθμό βάσης κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο.



Εικόνα 25 FTP server

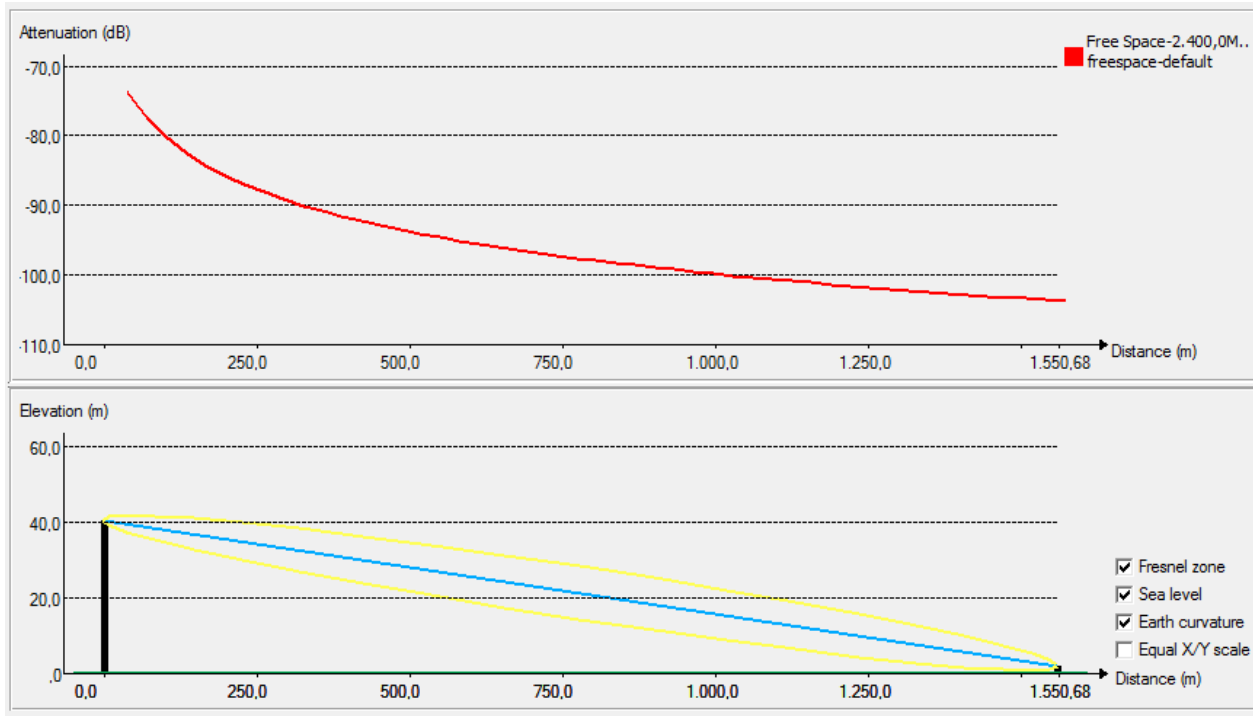
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται κάποια στατιστικά στοιχεία ελέγχου για τον σταθμό βάσης με βασική πληροφορία την πραγματοποίηση και εκπλήρωση 24 συνδέσεων από τις οποίες καμία δεν απορρίφθηκε.



Εικόνα 26 Στατιστικά συνδέσεων

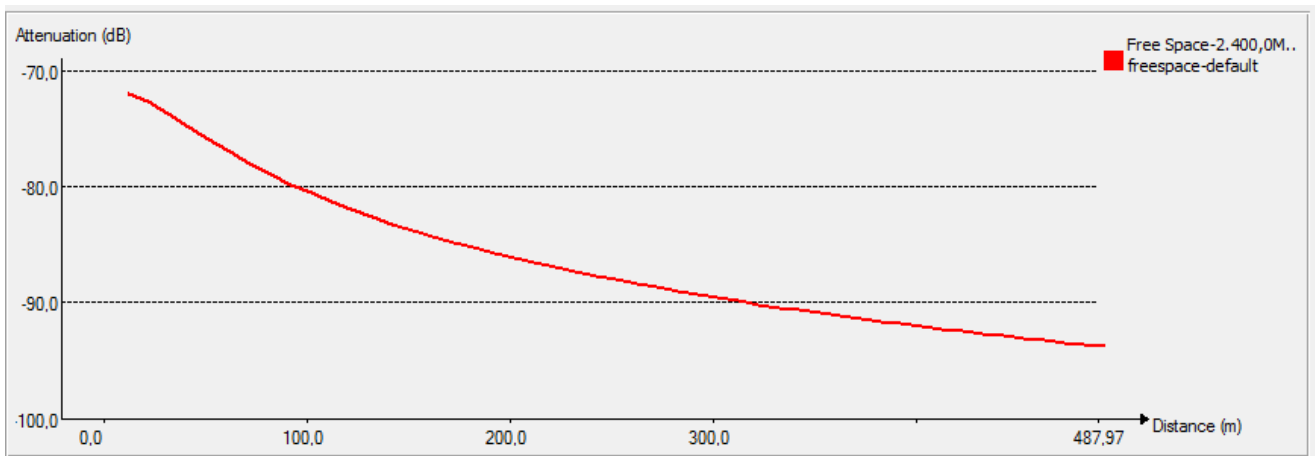
Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε την εξασθένηση του σήματος που εκπέμπει ο σταθμός βάσης συγκριτικά με την απόσταση του χρήστη από το σημείο εκπομπής. Το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για τη διάδοση είναι το μοντέλο ελεύθερου χώρου, όπου όπως παρατηρούμε και στην εικόνα, η ένταση του σήματος εξασθενεί

περισσότερο όσο ο χρήστης απομακρύνεται από τον σταθμό βάσης. Εδώ βλέπουμε τα αποτελέσματα που θα έχουμε για κάποιον χρήστη που απέχει περίπου 1,5 km από το σταθμό βάσης. Στο δεύτερο σκέλος της εικόνας μπορούμε να δούμε αν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ του χρήστη και του σταθμού βάσης.



Εικόνα 27 Χρήστης σε μακρινή απόσταση

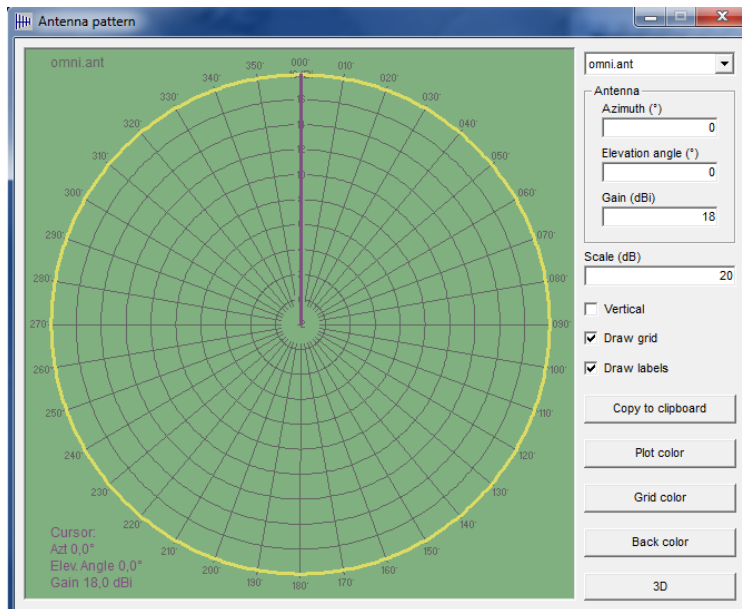
Στην επόμενη εικόνα παραθέτουμε τα αποτελέσματα σχετικά με την εξασθένηση της έντασης του σήματος του σταθμού βάσης για ένα χρήστη που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση, όπως εδώ στα 500 m περίπου.



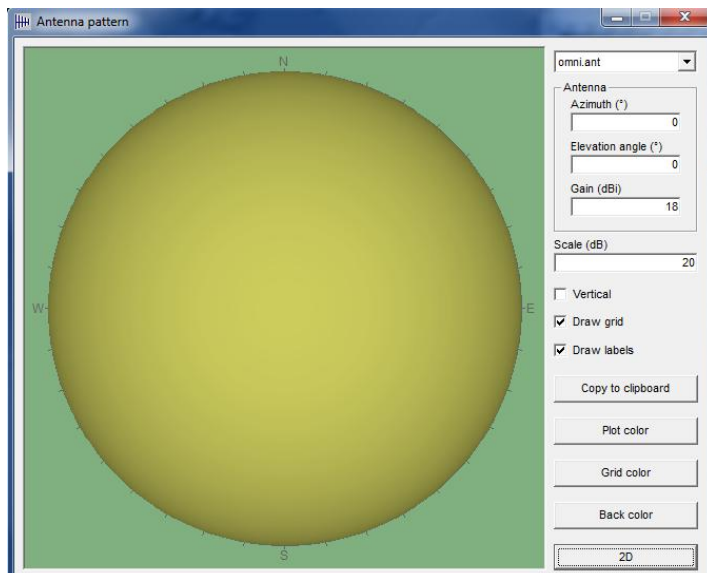
Εικόνα 28 Χρήστης σε κοντινή απόσταση

4.2 Αποτελέσματα Radio Mobile

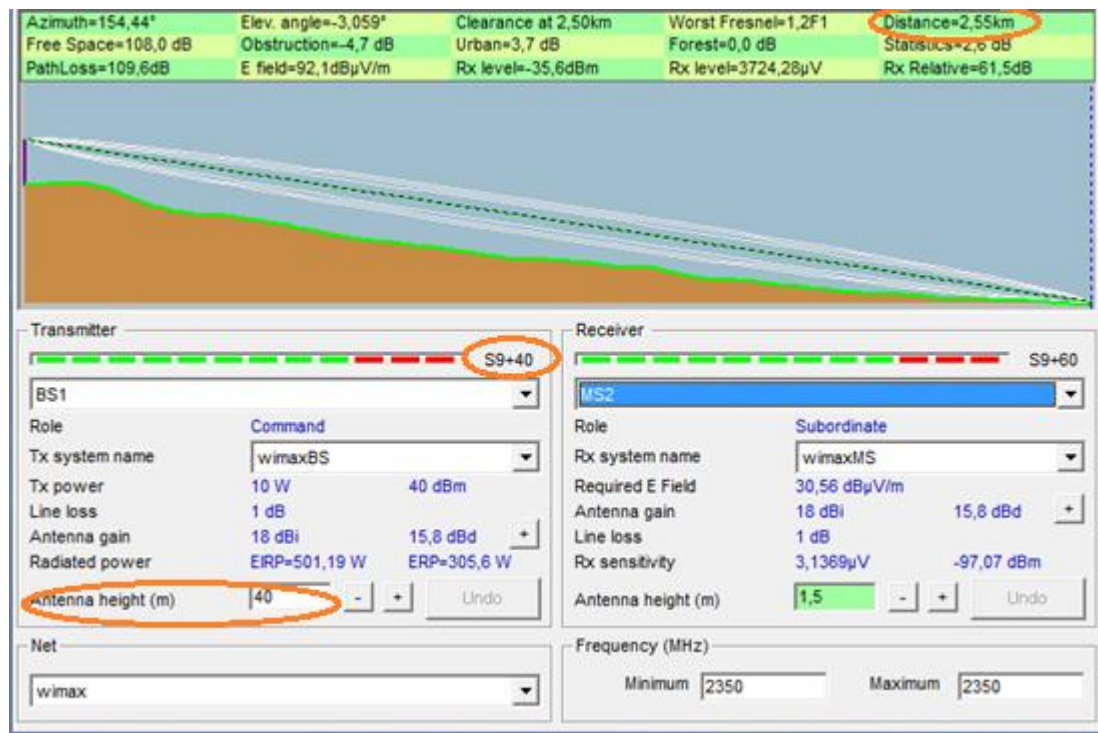
Έπειτα ασχοληθήκαμε με την προσομοίωση στο Radio Mobile. Σε αυτή την περίπτωση τοποθετήσαμε ενδεικτικά δύο χρήστες, έναν στην ακτίνα κάλυψης της κεραίας και έναν εκτός της περιοχής κάλυψης για να δούμε τα σχετικά αποτελέσματα. Η κεραία που χρησιμοποιήσαμε στο σταθμό βάσης ήταν ομοιοκατευθυντική.



Εικόνα 29 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας 2D



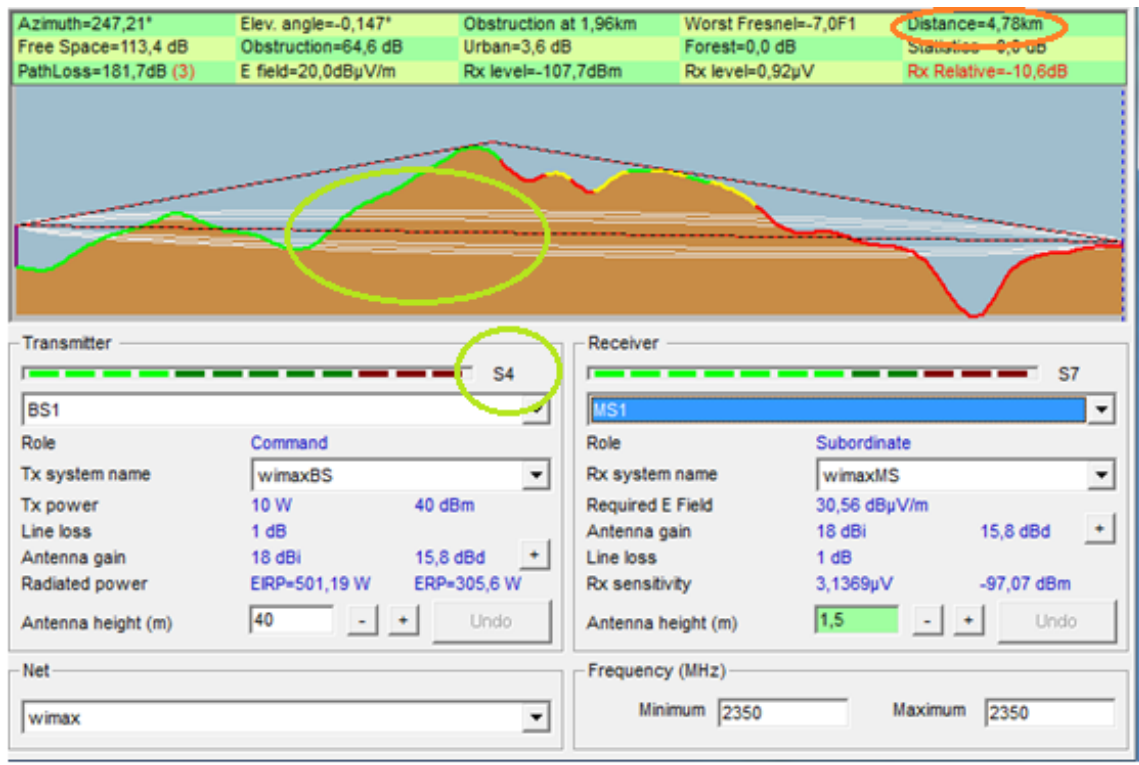
Εικόνα 30 Διάγραμμα ακτινοβολίας ομοιοκατευθυντικής κεραίας 3D



Εικόνα 31 ζεύξη με χρήστη2

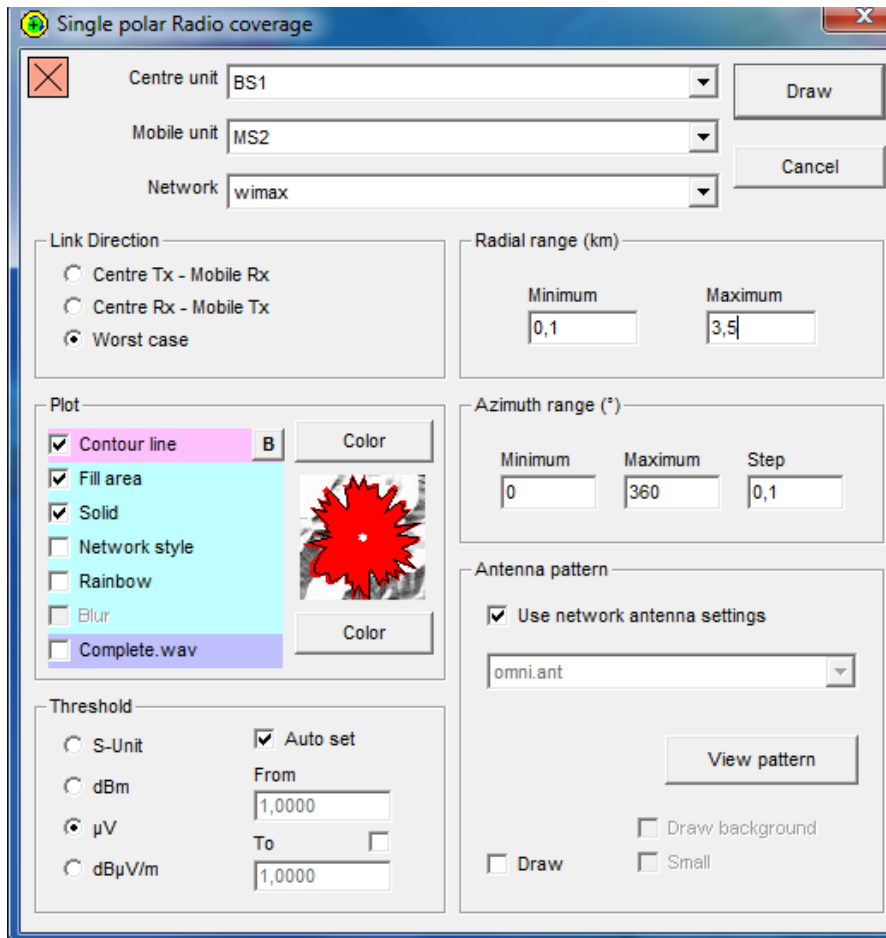
Στην προηγούμενη εικόνα παρατηρούμε τα χαρακτηριστικά της ασύρματης ζεύξης μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη_2. Μπορούμε να δούμε την απόσταση του χρήστη_2 από τον σταθμό βάσης που είναι περίπου 2.5 km, το ύψος της κεραίας και του σταθμού βάσης και του χρήστη το οποίο μπορούμε να μεταβάλλουμε. Με την σήμανση S9+40 φαίνεται ότι το σήμα είναι αρκετά ισχυρό επομένως θα έχουμε μία καλή επικοινωνία που θα πραγματοποιείται με όσο το δυνατό μεγαλύτερες ταχύτητες. Το πιο σημαντικό είναι ότι μπορούμε να δούμε τη μορφολογία του εδάφους μεταξύ σταθμού βάσης και χρήστη_2 και όπως φαίνεται δεν υπάρχουν καθόλου εμπόδια επομένως έχουμε άμεση οπτική επαφή πομπού και δέκτη (LOS Line Of Sight).

Στην επόμενη εικόνα παρατηρούμε τα χαρακτηριστικά της ασύρματης ζεύξης μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη_1. Μπορούμε να δούμε την απόσταση του χρήστη_1 από τον σταθμό βάσης που είναι περίπου 5 km, το ύψος της κεραίας και του σταθμού βάσης και του χρήστη το οποίο μπορούμε να μεταβάλλουμε. Με την σήμανση S4 φαίνεται ότι το σήμα είναι αρκετά ασθενές επομένως δεν θα έχουμε καθόλου επικοινωνία. Παρατηρώντας τη μορφολογία του εδάφους μεταξύ σταθμού βάσης και χρήστη_2 και φαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικά εμπόδια και ότι οι λεπτές ελλειπτικές γραμμές, που αναπαριστούν τις ζώνες Fresnel, συναντάνε σημαντικά εμπόδια.

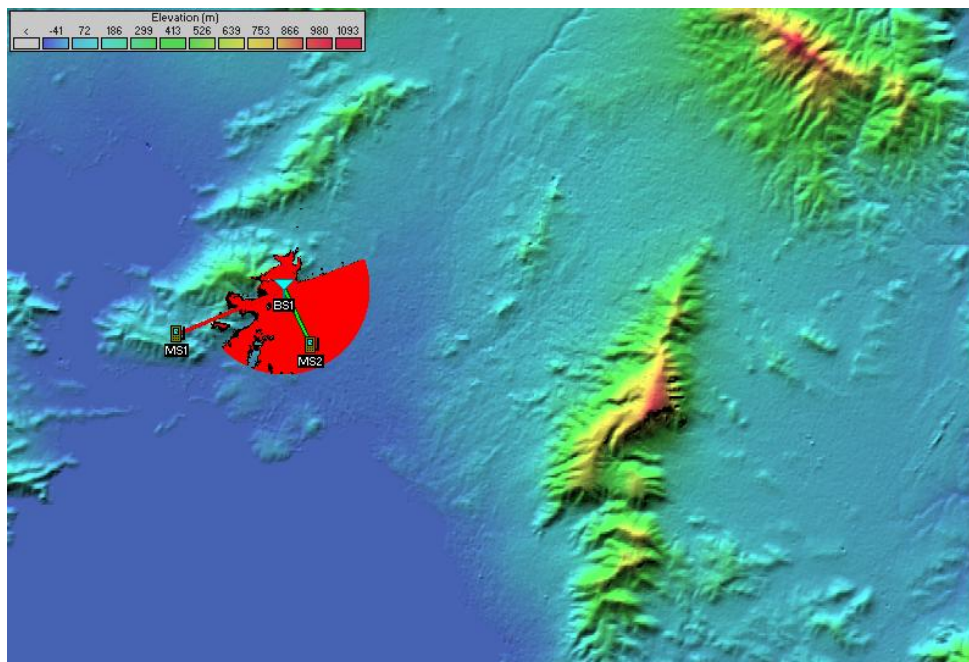


Εικόνα 32 ζεύξη με χρήστη1

Έπειτα δημιουργούμε το διάγραμμα ακτινοβολίας για το υπάρχον δίκτυο. Στην εικόνα 22 βλέπουμε ότι όντως ισχύουν τα συμπεράσματα που εξάγαμε από το radio link, δηλαδή ότι ο χρήστης_1 είναι εκτός της περιοχής εξυπηρέτησης της κεραίας, αντίθετα από τον χρήστη_2.

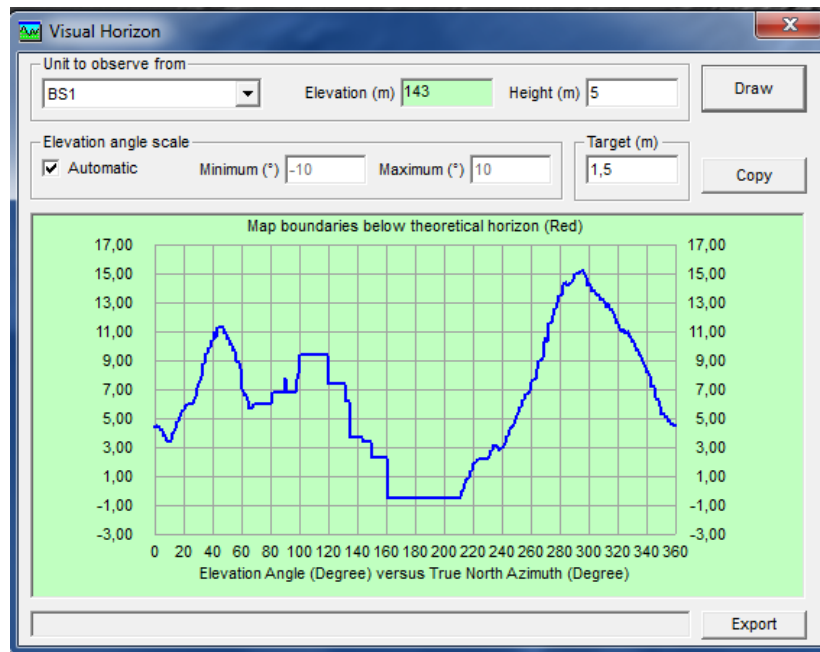


Εικόνα 33 διαδικασία προσομίωσης



Εικόνα 34 Διάγραμμα ακτινοβολίας σταθμού βάσης

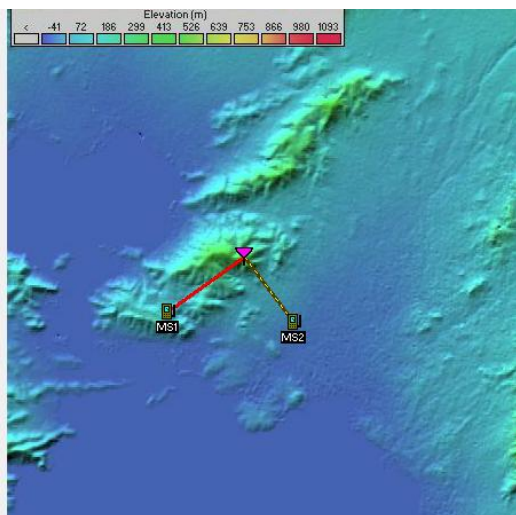
Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι η κεραία δεν είναι σωστά εγκατεστημένη, αφού στη μία πλευρά υπάρχει μεγάλο εμπόδιο επομένως δεν θα εξυπηρετούνται οι χρήστες σε εκείνη την περιοχή. Επομένως θα πρέπει να αλλάξουμε την εγκατάσταση του σταθμού βάσης. Αυτό φαίνεται και στην επόμενη εικόνα όπου παρουσιάζεται ο οπτικός ορίζοντας του σταθμού βάσης.



Εικόνα 35 Οπτικός ορίζοντας σταθμού βάσης

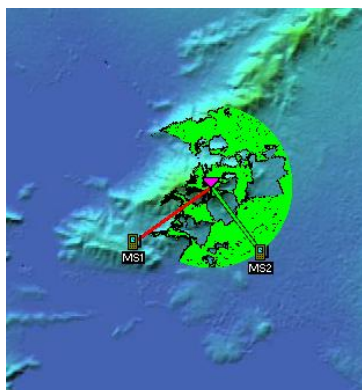
Αλλαγή τοποθεσίας σταθμού βάσης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με την αλλαγή του σταθμού βάσης στο ύψωμα που προηγουμένως δημιουργούσε εμπόδια στην επικοινωνία.



Εικόνα 36 Νέα τοποθεσία σταθμού βάσης

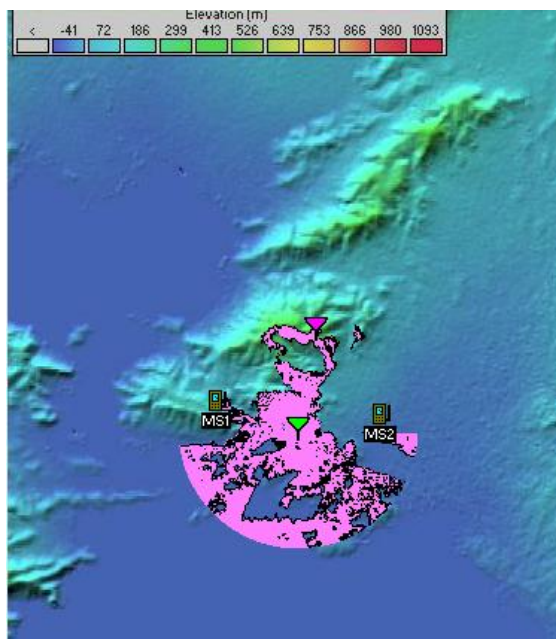
Ωστόσο τώρα βλέπουμε ότι υπάρχει πιθανότητα να μην εξυπηρετηθεί ο χρήστης_2 καθώς έχει αυξηθεί η απόσταση από τον σταθμό βάσης. Αυτό το καταλαβαίνουμε λόγω της κίτρινης διακεκομμένης γραμμής που συνδέει τον χρήστη_2 με τον σταθμό βάσης και ο χρήστης_1 δεν θα μπορέσει να εξυπηρετηθεί αφού η γραμμή είναι κόκκινη. Στην επόμενη εικόνα αναπαριστάμε το διάγραμμα κάλυψης του νέου σταθμού βάσης. Όπως βλέπουμε τώρα εξυπηρετούνται διαφορετικές περιοχές επομένως για να καλύψουμε ολόκληρη την περιοχή της Νίκαιας θα πρέπει να δοκιμάσουμε και άλλες μεθόδους, όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιήσουμε τομεοποίηση στον σταθμό βάσης ή να χρησιμοποιήσουμε δεύτερο σταθμό βάσης ή έναν αναμεταδότη.



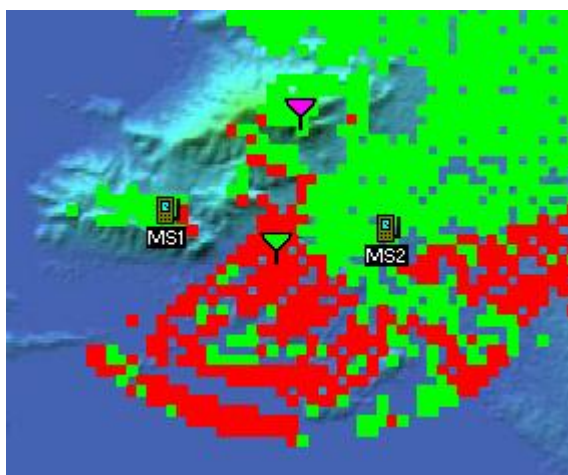
Εικόνα 37 Νέο διάγραμμα ακτινοβολίας

Χρήση δεύτερου σταθμού βάσης

Προσθέσαμε δεύτερο σταθμό βάσης και τα αποτελέσματα αυτής της αλλαγής παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Βέβαια σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται σημαντικά το κόστος του δικτύου. Λόγω μικρών αποστάσεων θα υπάρχουν και πολλές παρεμβολές μεταξύ των δύο σταθμών βάσης κάτι το οποίο γίνεται ξεκάθαρο και μετά την προσομοίωση για τις παρεμβολές στο δίκτυο. Στην εικόνα 33 με κόκκινο χρώμα είναι οι παρεμβολές της μίας κεραίας στην άλλη. Επομένως για τους παραπάνω λόγους αυτή η λύση απορρίπτεται.



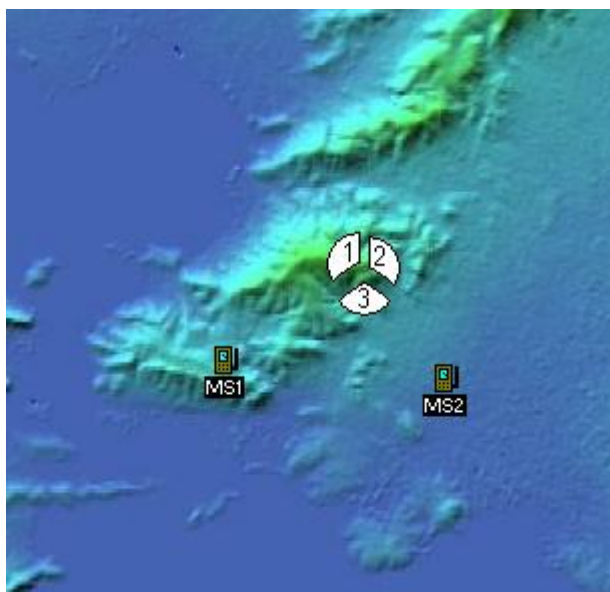
Εικόνα 38 Δεύτερος σταθμός βάσης



Εικόνα 39 Παρεμβολές μεταξύ των δύο σταθμών βάσης

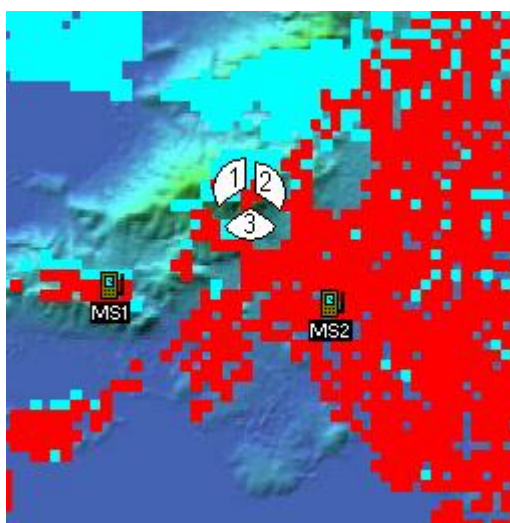
Τομεοποίηση

Στη συνέχεια αντικαθιστούμε την ομοιοκατευθυντική κεραία στον σταθμό βάσης με τρεις επιμέρους κατευθυντικές, εφαρμόζοντας την τεχνική της τομεοποίησης, ούτως ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετηθούν περισσότεροι χρήστες. Οι τομείς επιλέξαμε να έχουν «άνοιγμα» περίπου 120° . Με τη μέθοδο της τομεοποίησης αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται.



Εικόνα 40 Τομεοποίηση

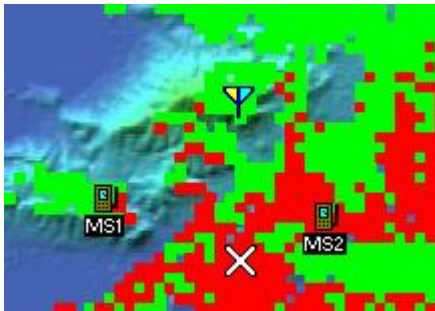
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι παρεμβολές μεταξύ των τομέων με κόκκινο χρώμα, επομένως λόγω των αποτελεσμάτων θα απορριφθεί και αυτή η λύση.



Εικόνα 41 Παρεμβολές τομέων

Αναμεταδότης

Χρησιμοποιώντας αναμεταδότη αναπαράγουμε ξανά το σήμα που εκπέμπει ο σταθμός βάσης και έτσι μπορούμε να εξυπηρετήσουμε και άλλους χρήστες. Παρατηρώντας την επόμενη εικόνα εμφανίζονται λιγότερες παρεμβολές σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Επομένως είναι μία από τις αποδεκτές λύσεις, μαζί με την αρχική δοκιμή που προσομοιώσαμε.



Εικόνα 42 Παρεμβολές αναμεταδότη

5^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

Το WiMAX είναι το εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16 της IEEE. Το πρότυπο υιοθετήθηκε από την IEEE το 2003 για να καλύψει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Όταν ένα προϊόν φέρει αυτή την πιστοποίηση σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 εξασφαλίζοντας έτσι τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα στον εξοπλισμό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις προηγούμενες προσομοιώσεις συμπεραίνουμε ότι η τεχνολογία Wimax είναι αποδοτική αλλά εφόσον έχουμε μικρές αποστάσεις, άλλωστε ένα εναλλακτικό όνομα αυτής της τεχνολογίας ονομάζεται του τελευταίου χιλιομέτρου. Επίσης είδαμε ότι για μικρά αστικά κέντρα δεν μας συμφέρει η τοποθέτηση δεύτερου σταθμού βάσης λόγω υψηλού κόστους αλλά και λόγω παρεμβολών. Επίσης στη συγκεκριμένη περιοχή και εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στην τοποθεσία που θα επιλέξουμε για την εγκατάσταση του σταθμού βάσης, ώστε να εξυπηρετεί όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες. Από τα αποτελέσματα που λάβαμε από την προσομοίωση στο Ornet είδαμε ότι το δίκτυο λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά επιτυγχάνοντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων οι οποίοι πλησιάζουν τις θεωρητικές τιμές και χωρίς να παρουσιάζονται αξιόλογες καθυστερήσεις στο δίκτυο.

Θεωρητικά το Wimax μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και απόσταση 80 km, όμως εμείς στο δίκτυο που δημιουργήσαμε στο Radio Mobile, και σύμφωνα με την μορφολογία του εδάφους της Νίκαιας και με βάση την περιοχή που τοποθετήσαμε τον σταθμό βάσης η εκπεμπόμενη ακτινοβολία δεν μπορεί να φτάσει σε περιοχές μεγαλύτερες των 5km. Θα μπορούσαμε να κάνουμε κάποιες αλλαγές ώστε να βελτιωθεί η κάλυψη, αλλά δεν επιτρέπεται να αυξήσουμε την εκπεμπόμενη ισχύ διότι αυτή καθορίζεται από διεθνή πρότυπα ούτως ώστε να μην έχει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης εάν τοποθετήσουμε την κεραία σε άλλη περιοχή τότε υπάρχει πιθανότητα να προκαλέσει παρεμβολές σε δίκτυα γειτονικών περιοχών. Λόγω σημαντικού οικονομικού κόστους δε μας συμφέρει να τοποθετήσουμε περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης.

Βιβλιογραφία

Βιβλία - Άρθρα

Jeffrey Andrews, Ghosh G, Muhamed Arunabha, Τσουκάτος Κων,νος, “Βασικές αρχές Wimax”

Rappaport, Ασύρματες επικοινωνίες Αρχές και Πρακτική Β’ Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα 2006

Αλεξόπουλος Α. – Λαγογιάννης Γ., «Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών», 6^η έκδοση Αθήνα 2003

Σ. Γκρίτζαλης, Γ. Καμπουράκης (2006) Ασφάλεια στο πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX)

ΕΕΤΤ, Ενημερωτικό δελτίο, Οκτώβριος 2011

Θεολόγου Μ. Ε., Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα 2007

Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου-, Γ. Πάντος, 2008, Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μπακούλη Άννα-Κατσινά Βασιλική, Πτυχιακή εργασία “Wimax IEEE802.16”, 2007

Χ. Καψάλης – Π. Κωττής, Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις, Εκδόσεις Τζιόλα 2008

Χαριτούδης Ι., «Διερεύνηση τεχνικών παραμέτρων για τη βέλτιστη διαχείριση πόρων και τη βέλτιστη ραδιοκάλυψη στα σύγχρονα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα», Διπλωματική Εργασία, 2013

Πηγές στο διαδίκτυο

<http://mm.aueb.gr/technicalreports/2007-MMLAB-TR-002.pdf> προσπέλαση 20/11/2013

<http://computer.howstuffworks.com/dsl.htm> προσπέλαση 3/1/2014

<http://www.cyta.gr/el/ForHome/homeFaqsvdsl> προσπέλαση 3/1/2014

<http://www.ebusinessforum.gr/engine/ind> προσπέλαση 10/12/2013

http://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Radio_Communications/Rigths_Of_Use/FAQ_WirelessNetworks.html προσπέλαση 10/12/2013

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF προσπέλαση 20/11/2013

http://el.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_Digital_Subscriber_Line προσπέλαση 3/1/2014

<http://www.geocomm.com/> προσπέλαση 3/1/2014

<http://www.howstuffworks.com/WiMAX1.htm> προσπέλαση 20/11/2013

<http://www.pestola.gr/wimax-in-plain-greek/> προσπέλαση 10/12/2013

<http://techteam.gr/wiki/WiMAX> προσπέλαση 10/12/2013

<http://tech.in.gr/short-news/?aid=1231046305> προσπέλαση 10/12/2013

http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm προσπέλαση
10/12/2013

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/wimax/protocol.php> προσπέλαση 10/12/2013

www.WiMAXforum.org προσπέλαση 20/11/2013

www.wimax.com προσπέλαση 10/12/2013