ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Πτυχιακή εργασία

με θέμα

Το Σταθερο WiMAX και η Χρηση Του Σαν Οπισθοδευκτικο

από τον **Βραμπάκη Σταύρο** Α.Μ. 2847

Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επιστημονικού Συνεργάτη ***Ζαούτη Ευάγγελου***

Χανιά, Μάιος 2010

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι η τελευταία μου πράξη σαν φοιτητής στο τμήμα Ηλεκτρονικής του ΤΕΙ Κρήτης και αποτελεί την επιτομή των γνώσεων που απέκτησα στη σχολή. Σε αυτή μου την πορεία είχα σαν συνοδοιπόρους και υποστηριχτές τους γονείς μου. Χωρίς αυτούς δεν θα ήμουν αυτό που είμαι σήμερα. Για αυτόν τον λόγο τους αξίζει ένα μεγάλο ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου. Επίσης θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους καθηγητές του ιδρύματος για τη βοήθεια του και την παροχή των γνώσεων που έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερη μνεία αξίζουν οι κύριοι Ι. Βαρδιάμπασης και Μ. Μαυρεδάκης για την βοήθεια τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ε. Ζαούτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Αυτή η πτυχιακή εργασία αφιερώνεται στην γυναίκα μου που με στήριξε και στο παιδί μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σαν θέμα το σταθερό WiMAX και την χρήση του σαν οπισθοζευκτικό. Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες του WIMAX και αναλύεται ο τρόπος συμπεριφοράς του όταν είναι σταθερό. Παρουσιάζονται όλες οι παραλλαγές που διαθέτει και τονίζονται οι διαφορές τους.

Τεχνικά αναφέρονται το φυσικό επίπεδο, το MAC επίπεδο, όλες οι διαμορφώσεις και οι παραλλαγές τους. Αναλύονται όλα τα πρωτόκολλα και ο τρόπος λειτουργίας του. Επίσης παρουσιάζονται όλες οι κωδικοποιήσεις που χρησιμοποιούνται καθώς και πώς χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές καταστάσεις.

Όσο αναφορά στον εξοπλισμό παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι των συσκευών που χρησιμοποιούνται και οι τύποι των κεραιών. Περιγράφονται επιγραμματικά οι συσκευές και δίνεται η συνιστώμενη λειτουργία τους.

Τέλος παρουσιάζεται η χρήση του WiMAX σαν οπισθοζευκτικό και πώς αυτό χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα, την κινητή τηλεφωνία και την σταθερή τηλεφωνία και παρουσιάζονται σχετικά σχήματα.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to present the fixed versio of the WiMAX and its use as a backhaul. In the first chapter tha basic functions of WiMAX are presented and the fixed version's behavior is analyzed. All fixed WiMAX variations are presented presenting similarities and diofferences.

In the technical part of the thesis the physical and the MAC layers are presented as well as all modulations and multiplexes mentioning their different variations. All the protocols are analyzed and thoroughly explained. All coding schemes that are used are presented and the way their used in various conditions is explained.

Regarding the equipment there is a brief presentation of the equipment and the antennas that are used. There is a brief explanation of the devices as well as their use.

Finally the use of the WiMAX as a backhaul is explained. WiMAX use in cellular, telephony and wireless networks is explained presenting all the significant advantages and disadvantages of its use.

Περιεχόμενα

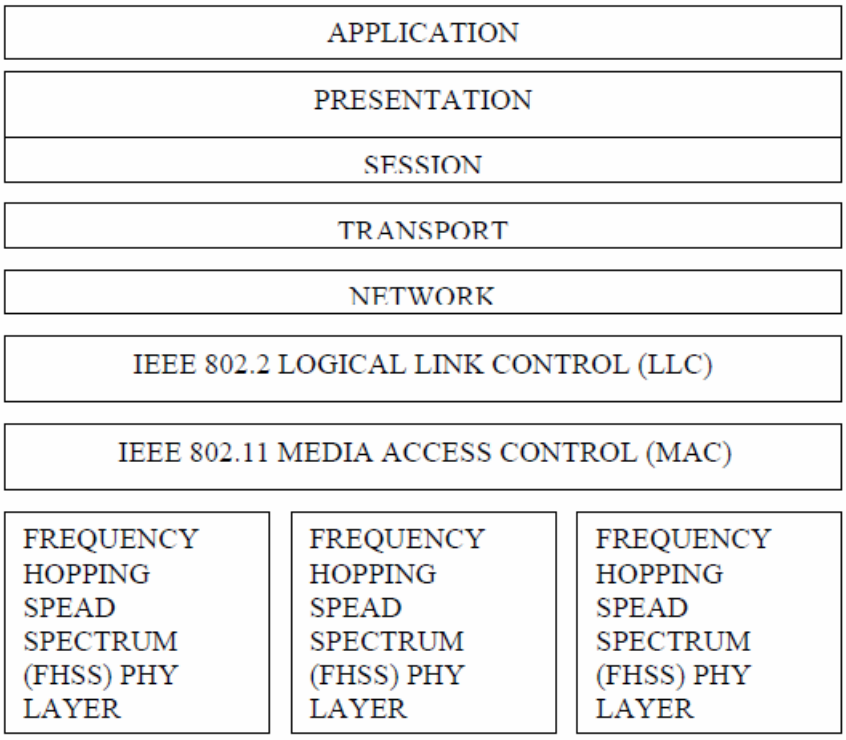
ΠΡΟΛΟΓΟΣ 1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 3
ABSTRACT 4
ΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟ WIMAX ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΑΝ ΟΠΙΣΘΟΖΕΥΤΙΚΟ 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟ WIMAX 7
1.1 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (PHY) ΤΟΥ WIMAX 8
1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 9
1.3 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ WIMAX 10
1.4 ΤΟ OFDMA ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΙΚΤΥΑ 13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΕΠΙΕΔΟ MAC 19
2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MAC ΚΑΙ WIMAX 19
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QoS) 21
2.3 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 23
2.4 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ 25
2.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ PDU ΚΑΙ ΑΙΤΗΣΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ 26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ 28
3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ WIMAX 28
3.2 ΕΠΙΚΤΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ 28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΗΣ 32
4.1 Η ΠΑΝΩ ΖΕΥΞΗ 33
4.2 ΡΟΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ 34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ WIMAX 36
5.1 Χαρακτηριστικά φάσματος 38
5.2 Διακρίσεις ζωνών 38
5.3 Τρέχων Ρυθμιστικό περιβάλλον 40
5.4 Άδειες και φάσμα WiMAX 42
5.5 Χώρες που επιτρέπουν κινητικότητα για WiMAX στα 3.5 GHz 44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ WIMAX 45
6.1 Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών στο WiMAX 47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ 50
7.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ 52
7.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΟΜΟΚΑΝΑΛΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ 54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ WIMAX ΣΑΝ ΟΠΙΣΘΟΖΕΥΚΤΙΚΟ 57
8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ WIFI *57*
8.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΜΙΑΣ *58*
8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ *59*
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ WIMAX 61
9.1 ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΑΣΗΣ *61*
9.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΡΗΣΤΗ *61*
9.3 ΚΕΡΑΙΕΣ *62*
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΕΠΙΛΟΓΟΣ 64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 65

ΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟ WIMAX ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΑΝ ΟΠΙΣΘΟΖΕΥΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟ WIMAX

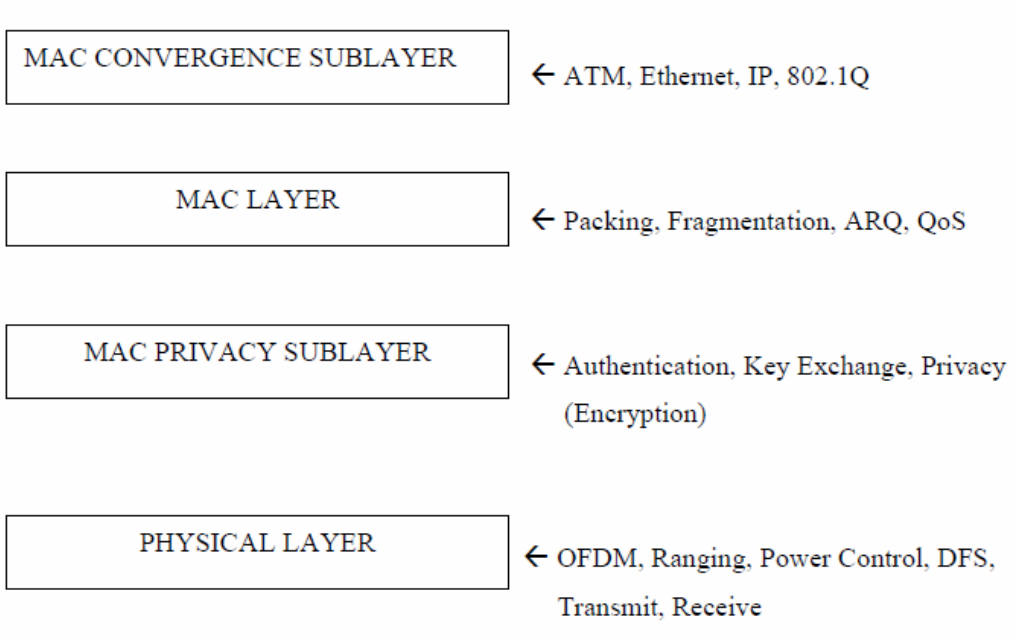
Μετά από χρόνια σταδιακής ανάπτυξης και μελετών και μέσα από ένα πλήθος προτεινόμενων λύσεων ασύρματης ευρυζωνικής δικτύωσης δημιουργήθηκε ένα πρότυπο για να σταθεροποιήσει το μέχρι τώρα αβέβαιο τοπίο. Η IEEE με το πρότυπο της 802.16 έδωσε στην αγορά ότι χρειαζόταν για την ανάπτυξη μιας αξιόπιστης λύσης, το WiMAX. Μία ευρεία διεθνής εταιρική συνεργασία, το Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) forum, έχει αναλάβει πλέον τον έλεγχο συμβατότητας των προϊόντων. Βασιζόμενο σε ένα πλήθος αξιόπιστων και λειτουργικών τεχνολογιών της IEEE για το φυσικό επίπεδο όπως ορθογωνική πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM), αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου (TDD), αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση συχνότητας (FDD), ορθογωνική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (QPSK) και ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM) το WiMAX αποτελεί στην ουσία μια νέα βελτιωμένη εκδοχή των προηγούμενων λύσεων. Στόχος της IEEE με την δημιουργία του WiMax ήταν να προσφέρει αξιοπιστία της τάξης του 90% στην μέγιστη δυνατή απόσταση. Ένας στόχος ο οποίος επιτεύχθηκε εξελίσσοντας τα προηγούμενα πρότυπα.



Εικόνα 1 Το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC του IEEE 802.11

1.1 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (PHY) ΤΟΥ WIMAX

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην ορθογωνική πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM). Η OFDM είναι η μόνη επιλογή για εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας, κινούμενης εικόνας και πολυμέσων, και χρησιμοποιείται ήδη στις παρακάτω εφαρμογές: DSL, Wi-Fi, Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H), και MediaFLO. Παρακάτω θα αναλύσουμε τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και θα δούμε τις βασικές λειτουργίες του φυσικού επιπέδου του WiMAX. Επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι το WiMax σαν προϊόν μιας εξελικτικής διαδικασίας προηγούμενων πρωτόκολλων είναι απόλυτα συμβατό με όλα τα προηγούμενα ξεκινώντας από το προτόκολο 802 το οποίο χρησιμοποιεί καλώδια UTP κατηγορίας 5 και χρησιμοποιείται για δίκτυα Ethernet.



Εικόνα 2 Φυσικό και MAC επίπεδα του WiMAX

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η κύρια λειτουργία του φυσικού επιπέδου είναι η μεταφορά των δεδομένων. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται όπως η ορθογωνική πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM), η αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση συχνότητας (FDD), η αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου (TDD), η ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM) και τα συστήματα προσαρμοστικών στοιχειοκεραιών (AAS) βοηθούν στη επίτευξη της μέγιστης δυνατής απόδοσης στο φυσικό επίπεδο.

1.2.1 Η OFDM ΣΤΟ WIMAX

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ένα από τα βασικότερα στοιχεία του WiMAX είναι η OFDM. Στην OFDM χρησιμοποιείται μία μαθηματική διαδικασία γνωστή ως ταχεία ανάλυση φουριέ (Fast Fourier Transform – FFT) η οποία και επιτρέπει 52 κανάλια επικοινωνίας να καλύπτουν το ένα το άλλο και να παραμένουν διακριτά χωρίς να χάνουν τα χαρακτηριστικά τους. Έτσι η επεξεργασία των καναλιών στον δέκτη είναι αποδοτικότερη. Η OFDM είναι γνωστή για την ανθεκτικότητα της σε διάφορες μορφές παρεμβολών και υποβάθμισης σήματος και χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές ασύρματων επικοινωνιών.

1.2.2 ΟΙ TDD ΚΑΙ FDD

Στο WiMAX υποστηρίζονται και η αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου (TDD) αλλά και η αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση συχνότητας (FDD). Στην TDD χρησιμοποιούνται χρονικά διαστήματα για την μετάδοση της πληροφορίας και ένα ακόμα ενδιαφέρον σημείο είναι ότι χρησιμοποιούνται οι ίδιες συχνότητες και για την εκπομπή και για την λήψη. Στο ίδιο εύρος ζώνης η TDD απαιτεί την ύπαρξη δύο διαφορετικών συχνοτήτων με διαφορά 50

με 100 MHz και σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί δεν απαιτεί φάσμα στο εύρος ζώνης. Η κατανομή του φάσματος είναι αποδοτική και στην άνω αλλά και στην κάτω ζεύξη με μεταβλητά ή ασύμμετρα διαγράμματα ροής κίνησης.

Οι δομές πλαισίων για την άνω ζεύξη (UL) και την κάτω ζεύξη (DL) στην FDD είναι πανομοιότυπες με μόνη διαφορά το ότι η μετάδοση των δύο ζεύξεων γίνεται σε διαφορετικά κανάλια. Στην περίπτωση που η FDD είναι ημιαμφίδρομη (H-FDD) και σε περίπτωση που έχουμε συνδρομητικούς σταθμούς (SSs), ο σταθμός βάσης θα πρέπει να σιγουρευτεί ότι δεν θα επιτρέπεται ένα χρονοδιάγραμμα στο οποίο ένας συνδρομητικός σταθμός H-FDD (H-FDD SS) να εκπέμπει και να λαμβάνει ταυτόχρονα.

1.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ (ASS)

Τα συστήματα προσαρμοστικών στοιχειοκεραιών χρησιμοποιούν μια τεχνική διαμόρφωσης του λοβού ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας στην περίπτωση του WiMAX μια στοιχειοκεραία στον σταθμό βάσης (BS). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνετε το κέρδος της κεραίας προς τον SS και μειώνονται οι παρεμβολές οι οποίες προκαλούνται από άλλους SSs. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιείται επίσης η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με χωρική διαίρεση (SDMA) έτσι ώστε πολλοί SSs να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα στο ίδιο υποκανάλι εφόσον διαχωρίζονται χωρικά. Ο σταθμός βάσης διαμορφώνει τον λοβό ακτινοβολίας ώστε να τον κατευθύνει κατάλληλα και μπορεί να ξεχωρίσει τους διαφορετικούς SS στην περίπτωση που εκπέμπουν στο ίδιο υποκανάλι.

1.3 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ WIMAX

Υπάρχουν πέντε διαφορετικές παραλλαγές του σταθερού WiMAX οι οποίες χαρακτηρίζονται από το PHY επίπεδο και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μονής φέρουσας (SC)
- OFDM

1.3.1 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ OFDM ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΠΟ 2 ΕΩΣ 11 GHz

Ο σχεδιασμός ενός PHY που να λειτουργεί στην περιοχή από 2 έως 11 GHz κρίθηκε απαραίτητος για να καλύψει την ανάγκη για ένα σύστημα που να λειτουργεί σε συνθήκες έλλειψης οπτικής επαφής (NLOS). Σε ένα περιβάλλον πόλης με την πληθώρα των εμποδίων που αυτό έχει η χρήση ενός BS που να λειτουργεί σε συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) κρίνεται αναποτελεσματική καθώς δημιουργεί διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Λόγω του κόστους του εξοπλισμού και της εγκατάστασης οι κεραίες εξωτερικών χώρων είναι πολύ ακριβές.

1.3.2 ΤΟ OFDM ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΙΚΤΥΑ

Στα OFDM μητροπολιτικής περιοχής ασύρματα δίκτυα (Wireless MAN-OFDM) υιοθετείτε η TDMA και χρησιμοποιείται η ευρυζωνική OFDM(W-OFDM) γνωστή και σαν 256-FFT OFDM επειδή ακριβώς χρησιμοποιεί 256 υποκανάλια (με 16 κανάλια να χρησιμοποιούνται για την άνω ζεύξη). Η χρήση της OFDM διαμόρφωσης είναι υποχρεωτική για τις ελεύθερες ζώνες.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**	**ΟΕ/ΜΟΕ**	**ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (GHz)**	**ΑΜΦΙΔΡΟΜΙΑ**
WMAN-SC	Σημείο προς Σημείο	Οπτική Επαφή	10-66	TDD, FDD
WMAN-SCa	Σημείο προς Σημείο	Μη Οπτική Επαφή	2-11	TDD, FDD
WMAN-OFDM	Σημείο προς σημεία	Μη Οπτική Επαφή	2-11	TDD, FDD
WMAN-OFDMA	Σημείο προς σημεία	Μη Οπτική Επαφή	2-11	TDD, FDD
WHUMAN	Σημείο προς σημεία	Μη Οπτική Επαφή	2-11	TDD, FDD

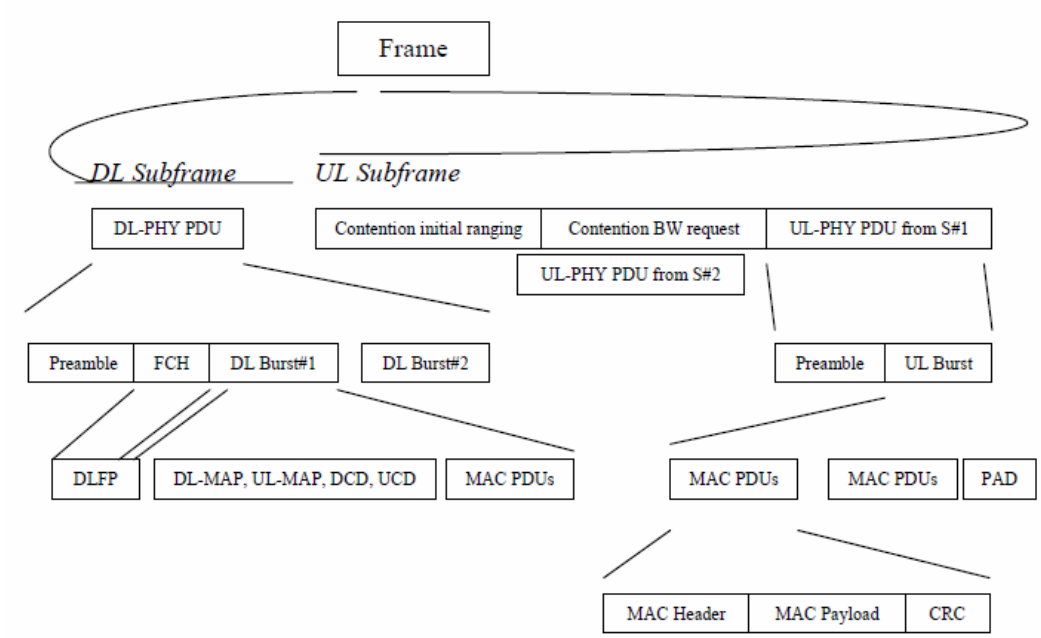
Πίνακας 1 Παραλλαγές του φυσικού επιπέδου του WiMAX

Το επίπεδο PHY στα ασύρματα MAN δίκτυα γενικά βασίζεται στην OFDM. Στο σταθερό WiMAX χρησιμοποιείται για να συνδέσει σταθερούς SSs είτε πρόκειται για οικιακούς χρήστες ή για επιχειρήσεις. Υποστηρίζονται και οι TDD αλλά και οι FDD (συμπεριλαμβανομένου και τους H-FDD) SSs. Χρησιμοποιεί πολλές διαμορφώσεις συμπεριλαμβάνοντας την δυαδική ψηφιακή διαμόρφωση με μετατόπιση φάσης (BPSK), την ορθογωνική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσης (QPSK) και την ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους με 16 ή 32 στάθμες (16-QAM και 32-QAM). Τέλος το PHY υποστηρίζει στην κάτω ζεύξη κωδικοποίηση χώρου-χρόνου (Space Time Coding – STC) και χρήση AAS με πολλαπλή πρόσβαση χωρικής διαίρεσης (Spatial Division Multiple Access).

Από τους BS χρησιμοποιούνται δύο κεραίες έτσι ώστε να εκμεταλλευόμαστε τον διαφορισμό εκπομπής κατά την εκπομπή STC σημάτων και να χρησιμοποιούμε το κέρδος το οποίο προκύπτει από τον δευτέρας τάξης διαφορισμό. Διαφορετικά σύμβολα μεταδίδονται στον χρόνο ενός συμβόλου από τις δύο κεραίες άρα ο προκύπτον ρυθμός μετάδοσης είναι ίδιος όπως και σε περιπτώσεις χωρίς την ποικιλότητα μετάδοσης.

Μπορούμε να δούμε την δομή πλαισίου ενός TDD συστήματος στην εικόνα 3. Το πλαίσιο χωρίζεται σε δύο μέρη το υποπλαίσιο της άνω ζεύξης και το υποπλαίσιο της κάτω ζεύξης. Το

υποπλαίσιο της κάτω ζεύξης αποτελείται από την κεφαλίδα ελέγχου του πλαισίου (Frame Control Header - FCH), το προπορευόμενο σήμα συγχρονισμού (Preamble) και κάποιες σειρές δεδομένων. Η FCH καθορίζει το μέγεθος και το προφίλ των σειρών δεδομένων που την ακολουθούν.



Εικόνα 3 Δομή πλαισίου ενός TDD συστήματος

Οι σειρές δεδομένων αποτελούνται από ένα μέρος ασύρματης εφαρμογής της άνω ζεύξης (UL-MAP), ένα μέρος ασύρματης εφαρμογής της κάτω ζεύξης (DL-MAP), την περιγραφή του καναλιού της κάτω ζεύξης (DCD), την περιγραφή του καναλιού της άνω ζεύξης (UCD) και από άλλα μηνύματα του συστήματος εκπομπής τα οποία αποστέλλονται όλα κατά την διάρκεια των πρώτων σειρών δεδομένων. Στις υπόλοιπες σειρές που ακολουθούν εμπεριέχονται δεδομένα για τους SSs.

Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης ορίζεται από την σειρά δεδομένων η οποία έχει ακέραιο αριθμό συμβόλων, συγκεκριμένο προφίλ ροής δεδομένων, ρυθμό μετάδοσης και επίπεδο διαμόρφωσης για τα δεδομένα της. Δύο ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα για την αποφυγή των εμπλοκών περιέχονται στο υποπλαίσιο UL για τον υπολογισμό της απόστασης και τον καθορισμό της ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων. Μετά από αυτά ακολουθούν τα οι μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου (Protocol Data Units - PDUs) του επιπέδου PHY του UL προερχόμενα από τους διάφορους SS. Τα περιεχόμενα των UL και DL υποπλαισίων περιγράφονται στα UL-MAP και DL-MAP αντίστοιχα. Περιγράφουν τους SSs οι οποίοι λαμβάνουν ή/και στέλνουν δεδομένα σε κάθε σειρά δεδομένων, το υποκανάλι το οποίο χρησιμοποιεί ο καθένας και την κωδικοποίηση και την διαμόρφωση που χρησιμοποιούνται σε κάθε κανάλι και σειρά δεδομένων.

Ένα τμήμα του DL υποπλαισίου το οποίο καλείται ζώνη δίδεται προς χρήση για διαφοροποίηση σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αυτή η λειτουργία. Σε περιπτώσεις που έχουμε προσαρμοστικές κεραίες (AAs) ένα τμήμα του DL υποπλαισίου χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των SSs οι οποίοι διαθέτουν αυτήν την δυνατότητα. Το ίδιο συμβαίνει και στο υποπλαίσιο UL.

1.4 ΤΟ OFDMA ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΙΚΤΥΑ

Το ασύρματο μητροπολιτικής περιοχής δίκτυο χρησιμοποιεί ορθογωνική διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) με μετασχηματισμό 2048 σημείων (λειτουργία του OFDM). Σε ένα τέτοιο σύστημα η απόδοση ενός υποσυνόλου πολλαπλών φορέων σε διαφορετικούς δέκτες επιτρέπει την πολλαπλή πρόσβαση. Επίσης υποστηρίζεται η χρήση προσαρμοστικών κεραιών (AAs) λόγω των απαιτήσεων της διάδοσης.

Το φυσικό επίπεδο βασίζεται στην διαμόρφωση OFDM. Επίσης υποστηρίζεται η δημιουργία υποκαναλιών στο UL. Το πρότυπο συγκεκριμένα υποστηρίζει πέντε διαφορετικά συστήματα υποκαναλιών. Στο φυσικό επίπεδο υποστηρίζονται επίσης και η TDD και η FDD.

Υποστηρίζονται επίσης τα επίπεδα διαμόρφωσης, οι AAS με SDMA και η STC για τις πολλαπλές εισόδους – εξόδους (MIMO). Επίσης εφαρμόζεται μια σειρά τεχνικών στους BS και SS για να αυξηθεί η εμβέλεια και η χωρητικότητα του MIMO καναλιού.

Η δομές του OFDMA φυσικού επιπέδου είναι παρόμοιες με αυτές του OFDM φυσικού επιπέδου με μόνη διαφορά τον ορισμό των υποκαναλιών ο οποίος γίνεται στα UL και DL για να επιτρέπεται η αποστολή μηνυμάτων broadcast την ίδια χρονική στιγμή με την μορφή δεδομένων. Το πλαίσιο χωρίζεται σε ζώνες λόγω των συστημάτων υποκαναλιών που υπάρχουν ήδη. Κάθε ζώνη χρησιμοποιεί δικό της σύστημα υποκαναλιών.

Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για τον διαχωρισμό των πλαισίων στις ζώνες και την αποστολή της δομής στους SS στο DL-MAP και στο UL-MAP. Ο διαφορισμός εκπομπής, οι ζώνες στις κεραίες AAS και το MIMO εφαρμόζονται στο φυσικό επίπεδο.

1.4.1 ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΚΤΥΟ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (WIRELESS HUMAN)

Είναι παρόμοιο με τα συστήματα που βασίζονται στο OFDM και επικεντρώνεται στην Μη Αδειοδοτημένη Εθνική Υποδομή Πληροφορίας (Unlicensed National Information Infrastructure – UNII) και σε άλλες ελεύθερες συχνότητες.

1.4.2 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΜΟΝΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ (SC)

Υπάρχουν δύο παραλλαγές μονής φέρουσας στο σταθερό WiMax. Οι παραλλαγές αυτές στηρίζονται στην αμφιδρόμηση με διαχωρισμό συχνότητας και στην αμφιδρόμηση με διαχωρισμό χρόνου.

1.4.3 ΑΣΥΡΜΑΤΟ MAN SC ΑΠΟ 10 ΕΩΣ 66 GHz

Ο σταθμός βάσης εκπέμπει ένα TDM σήμα σε αυτή την συγκεκριμένη από ένα σε πολλά σημεία αρχιτεκτονική με ανεξάρτητες σειριακές χρονοθυρίδες σταθμών εξυπηρέτησης. Χρησιμοποιεί σχεδιασμό ριπής που επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία FDD και TDD όπως επίσης και δύο κανάλια επιτρέποντας την διαχείριση και στο FDD και στο TDD. Τα FDD και TDD σε αυτήν την περίπτωση υποστηρίζουν κατατομές ριπής στις οποίες η επιλογές στην διαμόρφωση και στην κωδικοποίηση μπορούν να διαμορφωθούν δυναμικά σε κάθε ριπή.

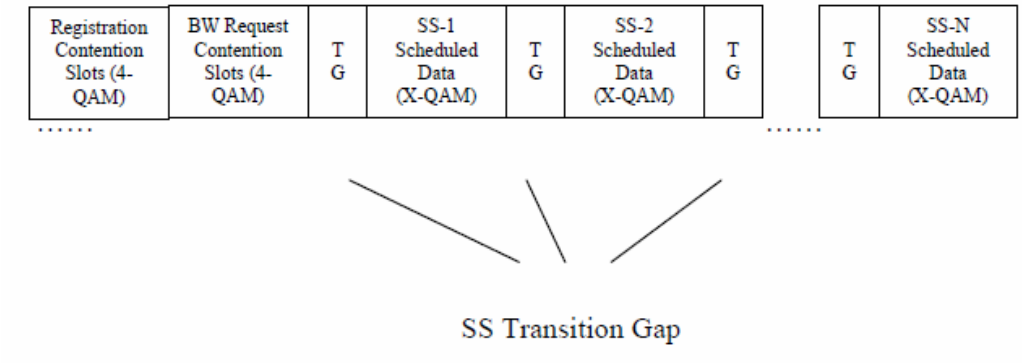
1.4.4 ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ (ULS)

Η ανερχόμενη ζεύξη που περιέχεται στο φυσικό επίπεδο είναι ένας συνδυασμός:

- TDMA
- Πολλαπλή πρόσβαση αιτηματικής εκχώρησης (Demand Assigned Multiple Access – DAMA)

Το κανάλι της ανερχόμενης ζεύξης χωρίζεται σε χρονοθυρίδες. Το επίπεδο MAC στον σταθμό βάσης ορίζει τον αριθμό των θυρίδων που εκχωρούνται για διάφορες χρήσεις. Το κανάλη κατερχόμενης ζεύξης χρησιμοποιεί TDM με τις πληροφορίες για κάθε σταθμό υπηρεσίας να είναι όλες συγκεντρωμένες στον ίδιο τομέα. Για την υποστήριξη σταθμών υπηρεσίας H-FDD προβλέπεται η χρήση ενός τμήματος στο TDMA της κατερχόμενης ζεύξης.

Ένα τυπικό υποπλαίσιο ανερχόμενης ζεύξης 10-66 GHz φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4 Υποπλαίσιο άνω ζεύξης WMAN-SC

Ο UL-MAP κατανέμει εύρος ζώνης στους σταθμούς υπηρεσίας ανεξάρτητα από την κατανομή στην περίπτωση της ανερχόμενης ζεύξης. Οι σταθμοί υπηρεσίας εκπέμπουν χρησιμοποιώντας τις ρυθμίσεις ριπής δεδομένων στο εκχωρημένο εύρος ζώνης τους όπως αυτά ορίζονται στο Κώδικα Χρήσης Διαστημάτων Άνω Ζεύξης (Uplink Interval Usage Code – UIUC) στο UL-MAP. Για τις ανάγκες της αρχικής πρόσβασης και των ευρυεκπομπών ή πολυεκπομπών το υποπλαίσιο UL μπορεί να περιέχει διαμαχοπαγής εκχωρίσεις συχνότητας. Οι αλλαγές στην πρόσβαση για την αρχική πρόσβαση ενός συστήματος χρησιμοποιούνται για να επιτραπεί η χρήση επιπλέον διαστημάτων προστασίας για τους σταθμούς υπηρεσίας που δεν έχουν ακόμα διευκρινήσει τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να φτάσει από αυτούς στους σταθμούς βάσης και να επιστρέψει.

1.4.5 ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ (DLS)

Για να μπορέσουμε να εντοπίσουμε την αρχή του MAC PDU το DL PHY περιλαμβάνει ένα υποεπίπεδο σύγκλισης μετάδοσης το οποίο εισάγει ένα δείκτη μεγέθους ενός Byte στην αρχή των δεδομένων. Τα bit δεδομένων τα οποία προέρχονται από αυτό το υποεπίπεδο κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας τυχαιοποιημένη εμπροσθόδοτη διόρθωση σφάλματος (Forward Error Correction – FEC) και απεικονίζονται σε αστερισμούς σήματος QPSK 16-QAM ή 64-QAM. Στην δομή για ριπές FDD DL πλαισίων κάθε πλαίσιο υποδιαιρείται σε έναν αριθμό φυσικών θυρίδων και κάθε θυρίδα αποτελείται από τέσσερα σύμβολα διαμόρφωσης. Το πλαίσιο ξεκινά με ένα τμήμα για το TDM το οποίο είναι διαχωρισμένα σε διάφορες ομάδες διαμορφώσεων και FEC. Κάθε ομάδα περιέχει δεδομένα που αποστέλλονται σε σταθμούς πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας. Το τελευταίο τμήμα του πλαισίου είναι αυτό του TDMA το οποίο περιέχει δεδομένα τα οποία αποστέλλονται σε σταθμούς ημιαμφίδρομης επικοινωνίας.

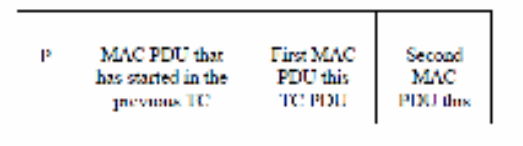
Κάθε ριπή ανερχόμενων δεδομένων περιέχει τριών τύπων θυρίδες:

1. Θυρίδες διαμάχης οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την εγγραφή
2. Θυρίδες διαμάχης οι οποίες χρησιμοποιούνται για αιτήσεις εύρους ζώνης ή καναλιών
3. Θυρίδες δεσμευμένες για διάφορους σταθμούς

Κάθε τύπος θυρίδας περιέχει πληροφορίες για την διαμόρφωση για να μπορέσει το σύστημα να υποστηρίξει σταθμούς που χρησιμοποιούν διαφορετικές διαμορφώσεις. Στις θυρίδες διαμάχης χρησιμοποιείται η 4-QAM.

Υπάρχει ένας αριθμός μικρών θυρίδων σε μια πάνω ροή δεδομένων οι οποίες διαμερίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί ένα συνεχές FDD και ταυτόχρονα να επιτρέπεται σε σταθμούς βάσης να εκπέμπουν MAP μηνύματα στην κάτω ροή στο ίδιο κανάλι. Στο μήνυμα

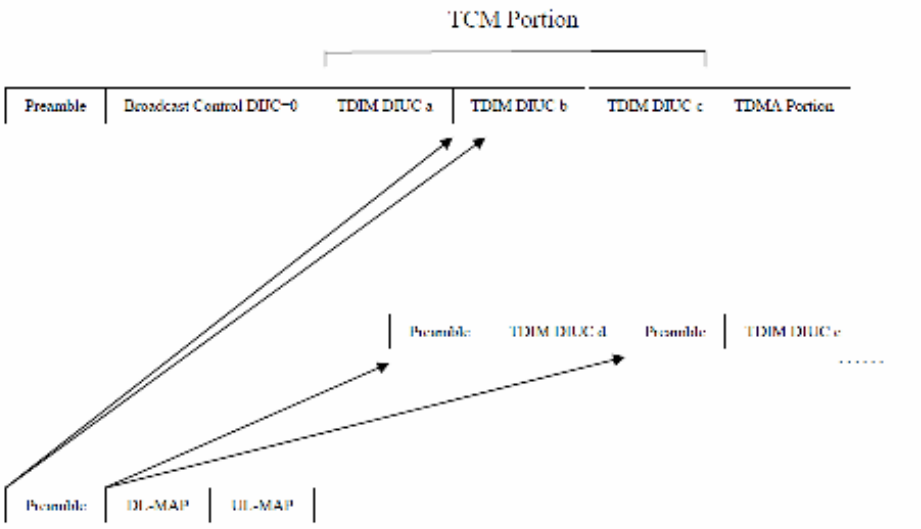
MAP υπάρχουν βασικές οδηγίες για κάθε πάνω ροή δεδομένων. Τα μηνύματα εκπέμπονται με ρυθμό 250 μηνυμάτων το δευτερόλεπτο. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τις προαναφερόμενες θεωρητικές λεπτομέρειες.



Εικόνα 5 Το υποπλαίσιο TC και το MAC PDU

Στο FEC χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Reed Solomon GF (256) που διαθέτει στα χαρακτηριστικά του το μεταβαλλόμενο μέγεθος ομάδας δεδομένων (block) και δυνατότητα διόρθωσης λαθών. Για να μπορέσουμε να εκπέμψουμε δεδομένα όπως για παράδειγμα δεδομένα ελέγχου πλαισίου θα πρέπει να εκτελεστεί μια αρχική αντιστοίχηση πρόσβασης η οποία περιέχει κώδικα συνέλιξης ομάδας δεδομένων. Το FEC χρησιμοποιεί QPSK, 16-QAM και 64-QAM έτσι ώστε να μπορεί να επιτύχει την απαραίτητη συνοχή και αποδοτικότητα. Το FEC θα πρέπει να είναι πλήρες. Ο σταθμός βάσης διαχειρίζεται την μείωση του μεγέθους των UL και DL η οποία μετά αποστέλλεται μέσω των UL-MAP και DL-MAP αντίστοιχα.

Χρησιμοποιείται πλαίσιο της τάξης των 0,5 ή 1 ή 2 ms από το σύστημα το οποίο για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στις αυξημένες ανάγκες μεταφοράς δεδομένων και αναγνώρισης της μετάβασης στο φυσικό επίπεδο χωρίζεται σε φυσικές θυρίδες. Κάθε θυρίδα έχει διαμόρφωση 4 QAM. Έχοντας την ίδια συχνότητα φέροντος το υποπλαίσιο UL ακολουθεί το αντίστοιχο DL χρησιμοποιώντας μία παραλλαγή TDD. Για τις περιπτώσεις που έχουμε FDD αναγκαστικά χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες. Το υποπλαίσιο DL φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6 Υποπλαίσιο FDD DL

1.4.6 ΥΠΟΠΛΑΙΣΙΟ DL

Για κάθε πλαίσιο DL υπάρχει DL-MAP ο οποίος χρησιμοποιείται για να ορίσει τους χρόνους μετάβασης του φυσικού επιπέδου στο υποπλαίσιο DL αποτελούμενος από ένα μέρος του TDM. Χρησιμοποιούνται ρυθμίσεις ριπής για την αποστολή δεδομένων DL σε κάθε σταθμό υπηρεσίας. Για να μπορέσει ο σταθμός υπηρεσίας να λάβει όσα περισσότερα δεδομένα είναι δυνατό η αποστολή τους γίνεται με βάση την συνοχή τους με αυτά που έχουν μεγαλύτερη συνοχή να αποστέλλονται πρώτα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει σοβαρός κίνδυνος να χαθεί ο συγχρονισμός κατά την διάρκεια του DL.

Στην αρχή κάθε νέας ριπής δεδομένων αποστέλλεται μια σειρά εντολών (η ίδια σειρά εντολών αποστέλλεται και στο TDMA τμήμα του FDD) η οποία βοηθά στην καλύτερη υποστήριξη των σταθμών υπηρεσιών αμφίδρομης επικοινωνίας. Σε ένα σύστημα FDD το οποίο υποστηρίζει μεγάλο αριθμό σταθμών υπηρεσιών αμφίδρομης επικοινωνίας υπάρχει πιθανότητα να ζητηθεί από κάποιους από τους σταθμούς υπηρεσιών να αποστείλουν δεδομένα νωρίτερα από την λήψη με αποτέλεσμα να προκληθεί απώλεια συγχρονισμού. Η επαναφορά του συγχρονισμού γίνεται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα συγχρονισμού του TDA.

Για να μπορέσουμε να έχουμε μεταβολές στις υπηρεσίες σε σχέση με το εύρος ζώνης η διάρκεια των ριπών και η ύπαρξη ή όχι του TDMA τμήματος μπορεί να διαφέρουν από πλαίσιο σε πλαίσιο. Εφόσον οι σταθμοί υπηρεσιών αναφέρονται στις κεφαλίδες του MAC οι σταθμοί επιλέγουν το συγκεκριμένο υποπλαίσιο που τους έχει ανατεθεί. Στην περίπτωση της αμφίδρομης επικοινωνίας θα πρέπει να υπάρχει μεγαλύτεση συνοχή δεδομένων στις ριπές.

1.4.7 ΑΣΥΡΜΑΤΟ MAN SC ΑΠΟ 2 ΕΩΣ 11 GHz

Αρχιτεκτονική μονής φέρουσας χρησιμοποιείται στην περίπτωση του WIrelessMAN-SCa. Ο σκοπός αυτού του τύπου εκπομπής είναι η χρήση σε περιπτώσεις που δεν έχουμε οπτική επαφή. Το WirelessMAN-SCa ορίζεται από τέσσερις πτυχές του φυσικού επιπέδου. Αυτές είναι οι παρακάτω:

- TDD
- FDD
- TDMA-UL
- TDM ή TDMA DL
- Διαμόρφωση προσαρμοσμένη στην ομάδα δεδομένων

Το φυσικό επίπεδο περιλαμβάνει κωδικοποίηση FEC και για την άνω ζεύξη αλλά και για την κάτω όπως επίσης και για τις δομές των πλαισίων. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε εξισορρόπηση, πρόβλεψη απόδοση καναλιού στην περίπτωση μη οπτικής επαφής και

διευρυμένο περιβάλλον εξάπλωσης καθυστέρησης, περισσότερες ρυθμιστικές παραμέτρους και μεγαλύτερα φυσικό και MAC επίπεδα.

1.4.8 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟ MAN SCa ΑΠΟ 2 ΕΩΣ 11 GHz

Όρος	**Περιγραφή**
Ωφέλιμο Φορτίο (Payload)	Αναφέρεται στις επιμέρους μονάδες του μεταδιδόμενου περιεχομένου οι οποίες περιέχουν τα χρήσιμα δεδομένα.
Ριπή (Burst)	Μία ριπή περιέχει δεδομένα ωφέλιμου φορτίου και διαμορφώνεται σύμφωνα με τους κανόνες όπως αυτοί ορίζονται στην επικοινωνία. Η ύπαρξη καποιας ριπής δηλώνεται στα DL-MAP και UL-MAP. Για την λανω ζεύξη η ριπή αποτελείται από τα εισαγωγικά δεδομένα, το ωφέλιμο φορτίο και τα δεδομένα τερματισμού.
Ομάδα Ριπών (Burst Set)	Είναι μία αυτάρκης μεταδιδόμενη οντότητα η οποία αποτελείται από εισαγωγικά δεδομένα, μία ή περισσότερες ριπές δεδομένων και τα δεδομένα τερματισμού.
Πλαίσιο Ριπών (Burst Frame)	Πλαίσιο ριπών ονομάζουμε το πλαίσιο που περιέχει όλες τις πληροφορίες μιας εκπομπής. Περιέχει μία ή περισσότερες ομάδες ριπών. Κάθε άνω και κάτω ζεύξη έχει ένα πλαίσιο ριπών.
Πλαίσιο MAC (MAC Frame)	Ονομάζεται το εκχωρημένο εύρος ζώνης για την μεταφορά δεδομένων. Στο TDD αποτελείται από δύο υποπλαίσια, ένα για κάθε ζεύξη, ενώ στο FDD έχουμε τα δύο υποπλαίσια να μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΕΠΙΕΔΟ MAC

Το πρωτόκολλο MAC χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων από ένα σε πολλά σημεία σε ασύρματες εφαρμογές και προσφέρει αυξημένη ταχύτητα ροής δεδομένων για την πάνω ζεύξη και την κάτω ζεύξη. Με την χρήση του WiMAX και με τους αλγόριθμους ανάθεσης εύρους ζώνης έχουμε μια αποτελεσματική λύση για την χρήση του ίδιου καναλιού από πολλούς χρήστες. Κάθε χρήστης χρειάζεται και διαφορετικές υπηρεσίες ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις. Σε κάθε περίπτωση, είτε πρόκειται για συνεχόμενη ροή δεδομένων είτε για ριπές δεδομένων, το MAC του WiMAX βοηθά στην βελτίωση της Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS).

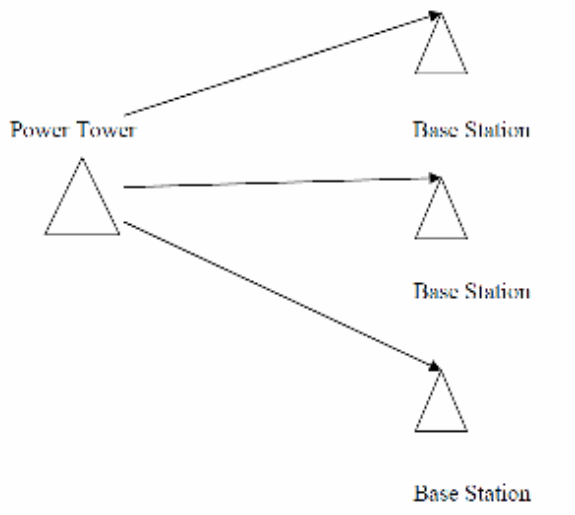
Το WiMAX έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- Έξυπνη διαχείρηση του φυσικού επιπέδου
- Βελτιωμένη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS)

Το WiMAX υποστηρίζει ATM και πρωτόκολλα βασισμένα σε πακέτα δεδομένων. Ο ρόλος του υποπλαισίου σύγκλισης είναι η χαρτογράφηση της κίνησης από το επίπεδο μεταφοράς στο επίπεδο MAC, η οποία βοηθά το MAC να χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους κίνησης δεδομένων. Το υποπλαίσιο της σύγκλισης και ο τύπος της κίνησης συνεργάζονται χρησιμοποιώντας την καταστολή των κεφαλίδων, τον κατακερματισμό και την συσκευασία έτσι ώστε να μπορεί το σύστημα να διαχειριστεί και να δρομολογήσει την κίνηση αποδοτικότερα.

2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ MAC ΚΑΙ WIMAX

Η λειτουργία του MAC για την κάτω ζεύξη του WiMAX βασίζεται στην επικοινωνία από ένα σημείο σε πολλά σημεία για την παροχή υπηρεσιών από τον σταθμό βάσης στους χρήστες.



Εικόνα 7 Αρχιτεκτονική απο σημείο σε σημεία του WiMAX

Η ζεύξη στο WiMAX επιτυγχάνεται συνήθως με την χρήση ενός σταθμού βάσης σαν ένα κεντρικό σημείο με μια κεραία τέτοιου τύπου ώστε να μπορεί να διαχειριστεί πολλούς ανεξάρτητους τομείς παράλληλα. Έχοντας ένα κανάλι συχνότητας και ένα τομέα όλα τα ανοιχτά κανάλια λαμβ΄πανουν την ίδια εκπομπή. Εφόσον ο σταθμός βάσης εκπέμπει πληροφορίες με αυτόν δεν χρειάζεται συγχρονισμός με τους άλλους σταθμούς εφόσον η κάτω ζεύξη είναι στην ουσία μία κοινή εκπομπή. Εάν το DL-MAP δεν αναφέρει ότι ένα κομμάτι του υποπλαισίου DL είναι υπηρεσία τότε όλοι οι στθμοί υπηρεσιών θα λάβουν το κομμάτι εκείνο το κομμάτι.

Το επίπεδο MAC είναι συνδεσιστρεφές από μόνο του. Τα αναγνωριστικά δεδομένα μεγέθους 16 Bit (CIDS) απαιτούν συνεχές ή κατά απαίτηση εύρος ζώνης. Χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των καναλιών των πολλαπλών άνω και κάτω ζεύξεων. Οι σταθμοί υπηρεσιών ελέγχουν αυτά τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται στα PDU και τα PDU τα οποία αναφέρονται στα CIDS αυτά επανεκπέμπονται.

Τα PDU του επιπέδου MAC είναι γνωστά και σαν μονάδες δεδομένων οι οποίες ανταλλάσονται μεταξύ των MAC επιπέδων των σταθμών βάσης και των σταθμών υπηρεσιών χρησιμοποιώντας τις μονάδες δεδομένων των χαμηλότερων επιπέδων οι οποίες γεννούνται κατά την κάτω ζεύξη.

Κάθε σταθμός υπηρεσιών διαθέτει ζία MAC διεύθυνση μεγέθους 48 bit με σκοπό την αναγνώριση των διάφορων συσκευών λόγω της χρήσης των κύριων διευθύνσεων κατά την CIDS λειτουργία. Με την είσοδο μιας συσκευής στο δίκτυο της αναθέτονται τρείς συνδέσεις διαχείρισης σε κάθε διεύθυνση από τον σταθμό υπηρεσίας. Αυτές οι συνδέσεις απαιτούνται για την σωστή διαχείριση της ποιότητας της υπηρεσίας και αναφέρονται παρακάτω.

1. Βασική σύνδεση: μεταφορά μικρών, χρονικά κρίσιμων μηνυμάτων του MAC επιπέδου και του ελέγχου ραδιοζεύξης (Radio Link Control).
2. Πρωτεύουσα σύνδεση διαχείρισης: Η πρωτεύουσα σύνδεση διαχείρισης μεταφέρει μακρύτερα και ανθεκτικά στην καθυστέρηση μηνύματα που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση ταυτότητας και την αποκατάσταση της σύνδεσης. Σε αυτή την σύνδεση υπάρχουν ακόμα το δευτερεύων πρότυπο μετάδοσης διαχείρισης συνδέσεων το οποίο βασίζεται στα μηνύματα διαχείρισης και ονομάζεται πρωτόκολλο δυναμικής διάρθρωσης ξενιστή (Dynamic Host Configuration Protocol – DHCP), το τετριμμένο πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (Trivial File Transfer Protocol – TFTP) και το απλό πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου (Simple Network Management Protocol – SNMP) και παράλληλα οι σταθμοί υπηρεσιών χρησιμοποιούν το κανάλι για την ανάθεση συνδέσεων στις συνδρομητικές υπηρεσίες.
3. Συνδέσεις Μεταφοράς: Στην περίπτωση των συνδέσεων μεταφοράς χρησιμοποιούνται για την ποιότητα υπηρεσιών των ζεύξεων και τις παραμέτρους κίνησης. Επειδή κάθε σύνδεση είναι μονόδρομη η ανάθεση τους γίνεται σε ζευγάρια.

Ανάλογα με την ζήτηση οι σταθμοί υπηρεσιών μοιράζονται την πάνω ζεύξη με τον σταθμό βάσης. Ανάλογα με την σημαντικότητα της υπηρεσίας οι σταθμοί υπηρεσιών μπορούν να εκδώσουν εντολές συνεχιζόμενων δικαιωμάτων εκπομπής ή ο σταθμός βάσης μπορεί να τους δώσει τι δικαίωμα να εκπέμψουν μετά από σχετική αίτηση.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QoS)

Οι χρήστες μπορούν να ελέγξουν το πρωτόκολλο ελέγχου το οποίο με την σειρά του ρυθμίζει τις διενέξεις μεταξύ των διάφορων χρηστών σε κάθε τομέα και μπορεί να ενεργοποιήσει την δυνατότητα ρύθμισης της καθυστέρησης και του εύρους ανάλογα με τις απαιτήσεις των υπηρεσιών του χρήστη.

Υπάρχουν συνολικά τέσσερις τύποι μηχανισμών προγραμματισμού κάτω ζεύξεων οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίτευξη εργασιών. Αυτοί οι μηχανισμοί χρησιμοποιούν κατά κόρον αναθέσεις επιπλέον εύρους, διαδικασίες επίλυσης διενέξεων και σταθμοσκοπήσεις. Το WiMAX προσφέρει επίσης τέσσερις τύπους Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Αυτοί είναι:

1. Υπηρεσίες Ανεπίκλητης Χορηγίας (Unsolicited Grant Services – UGS)

Οι UGS χρησιμοποιούνται για την επίτευξη συνεχούς ροής bit (ή CBR όπως αλλιώς ονομάζεται), για υπηρεσίες όπως η εξομοίωση E1/T1 γραμμής ή μια υπηρεσία VoIP χωρίς την καταστολή σιγής.

2. Υπηρεσία Σταθμοσκόπησης Πραγματικού Χρόνου (Real-Time Polling Service – rtPS)

Η υπηρεσία σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου είναι σχεδιασμένη για την υποστήριξη υπηρεσιών οι οποίες παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων όπως για παράδειγμα είναι οι υπηρεσίες μετάδοσης κινούμενης εικόνας MPEG ή οι υπηρεσίες VoIP με καταστολή σιγής.

3. Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης Μη Πραγματικού Χρόνου (Non Real Time Polling Services – nrtPS)

Οι υπηρεσίες σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου είναι σχεδιασμένες για υπηρεσίες που απαιτούν χορηγία μεταβλητού μεγέθους ριπών δεδομένων τακτικά.

Υπηρεσίες Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort Services – BE)

Για την περίπτωση πρόσβασης στο διαδίκτυο οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται από τις υπηρεσίες του διαδικτύου.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σταθμοσκόπηση, βοηθούν οι υπηρεσίες αυτές γιατί απλοποιούν τις διάφορες λειτουργίες και εγγυώνται ότι κάθε υπηρεσία θα λάβει τους πόρους που της αναλογούν. Στην περίπτωση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου όπως η μετάδοση φωνής χρειάζονται υπηρεσίες που εκτελούνται τακτικότερα ώστε να μειώσουμε τον παράγοντα καθυστέρησης όσο το δυνατόν περισσότερο.

Η χαρτογράφηση των διάφορων υπηρεσιών σε ένα σταθμό συνδρομητών επιτρέπει την μεταβολή του QoS σε διάφορα επίπεδα κατά την επίτευξη μιας σύνδεσης. Κατά την σύνδεση ενός σταθμού συνδρομητών παρέχετε μια ροή δεδομένων υπηρεσίας ανάλογα με τις ανάγκες. Όταν οι σταθμοί συνδρομητών συνδέονται αρχικά υπάρχει μόνο αυτή η ροή με μία και μόνη σύνδεση παρέχοντας πληροφορίες για τις αιτήσεις για εύρος και προσφέροντας νέες συνδέσεις όταν ο χρήστης ζητήσει αλλαγές στις υπηρεσίες του. Η σύνδεση αυτή αποτελείται από δύο τμήματα.

- Ροή Υπηρεσίας
- MAC

Ο ρόλος της ροής υπηρεσίας είναι ο ορισμός της Ποιότητας Υπηρεσιών όταν επιτευχθεί μια σύνδεση.

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ρύθμιση της Ποιότητας Υπηρεσιών είναι μέσω των ρυθμίσεων των ζεύξεων. Μέσω των ρυθμίσεων των ζεύξεων χορηγείται εύρος ανάλογα με τις

απαιτήσεις. Οι σταθμοί βάσης δίνουν επίσης εύρος ζώνης στους σταθμούς συνδρομητών με κάθε νέα σύνδεση.

Με κάθε ριπή δεδομένων ενός σταθμού συνδρομητών παρέχεται μια νέα διαμόρφωση μέσω των ρυθμίσεων ριπής. Το MAC επίσης θα κάνει τις ανάλογες ρυθμίσεις για να προσφέρει όσο το δυνατόν αποδοτικότερη διαχείριση εύρους.

Μία σχεδίαση η οποία είναι αποδοτική με αυτόματη προσαρμογή για διορθώσεις ονομάζεται αλλιώς μηχανισμός ζήτησης-χορηγίας. Με αυτόν τον τρόπο το WiMAX διατηρεί την απόδοση του ακόμα και όταν υπάρχουν περισσότερες από μία συνδέσεις και ποιότητες υπηρεσιών.

Στο επίπεδο MAC υπάρχει ένα υποπλαίσιο που χρησιμοποιείται για το απόρρητο και προσφέρει δυνατότητες ταυτοποίησης για την πρόσβαση στο δίκτυο αλλά και για την δημιουργία ταυτοποιημένων συνδέσεων όπως επίσης και για την ανταλλαγή κλειδιών και κωδικοποιημένων δεδομένων για το απόρρητο δεδομένων.

2.3 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Υπάρχουν δύο πρότυπα τα οποία ορίζονται στις προδιαγραφές του WiMAX με μόνο σκοπό την χαρτογράφηση υπηρεσιών από και προς τις MAC συνδέσεις του WiMAX ανάλογα.

- Το υποπλαίσιο σύγκλισης ATM το οποίο είναι για τις υπηρεσίες ATM
- Το υποπλαίσιο σύγκλισης πακέτων το οποίο είναι για την χαρτογράφηση των υπηρεσιών πακέτων δεδομένων όπως τα διαδικτυακά πρωτόκολλα (Internet Protocols – IP) έκδοσης 4 (IPv4) και έκδοσης 6 (IPv6), το Ethernet και τα εικονικά τοπικά δίκτυα (Virtual Local Network – VLAN).

Η κύρια λειτουργία του υποπλαισίου είναι ο διαχωρισμός των μονάδων των δεδομένων των υπηρεσιών (SDUs) σε τάξεις και την ανάθεση τους στο επίπεδο MAC για να έχουμε καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και αποδοτικότερη κατανομή φάσματος. Τα SDUs μπορούν να περάσουν από τα επίπεδα δύο διαδοχικών πρωτόκολλων από το ένα στο άλλο ανάλογα με την λειτουργία. Η χαρτογράφηση των δεδομένων εξαρτάται από την υπηρεσία που χρησιμοποιούμε. Άλλες λειτουργίες του υποπλαισίου σύγκλισης είναι η ανταλλαγή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου, η καταστολή και η ανασυγκρότηση για την καλύτερη απόδοση της ζεύξης.

2.3.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΟΙΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Στο MAC υπάρχουν επιπλέον συνδέσεις για διάφορες χρήσεις. Υπάρχουν συνδέσεις που υπόκεινται σε διενέξεις και άλλες που διέπονται από την συνεχή αποστολή δεδομένων στο DL σε όλους τους αποδέκτες (broadcast) όπως επίσης και για την σηματοδοσία η οποία

βασίζεται στην διενεκτική σταθμοσκόπηση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των σταθμών συνδρομητών. Υπάρχει και ένας αριθμός συνδέσεων οι οποίες διατηρούνται για χρήση πολυεκπομπών και σε αυτήν την περίπτωση ο σταθμός συνδρομητή συμμετέχει στην ομάδα σταθμοσκόπησης πολυεκπομπής τα μέλη της οποίας συνδέονται με συνδέσεις πολυεκπομπής.

2.3.2 ΜΟΡΦΕΣ MAC PDU

Το PDU του MAC αποτελείται από:

- Την κεφαλίδα του MAC η οποία έχει σταθερό μήκος όπως αυτό ορίζεται στις προδιαγραφές του.
- Ωφέλιμο φορτίο μεταβλητού μήκους.
- Προαιρετικό κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (Cyclic Redundancies Check – CRC)

Ορίζονται δύο διαφορετικές μορφές κεφαλίδας:

- Γενική Κεφαλίδα
- Κεφαλίδα Αίτησης Εύρους

Τα PDU του MAC τα οποία δεν φέρουν ωφέλιμο φορτίο περιέχουν είτε μηνύματα διαχείρισης του MAC είτε δεδομένα του υποεπιπέδου σύγκλισης. Υπάρχουν τριών τύπων υπό-επικεφαλίδες οι οποίες είναι:

1. Υπό-επικεφαλίδα διαχείρισης χορηγιών.

Χρησιμοποιείται από ένα σταθμό συνδρομητή για να ενημερώσει τον σταθμό βάσης για τις ανάγκες του σε εύρος.

2. Υπό-επικεφαλίδα κατάτμησης

Περιέχει πληροφορίες για την ύπαρξη και την θέση στο σύνολο του ωφέλιμου φορτίου των κατατμήσεων των SDU.

3. Υπό-επικεφαλίδα Πακέτων

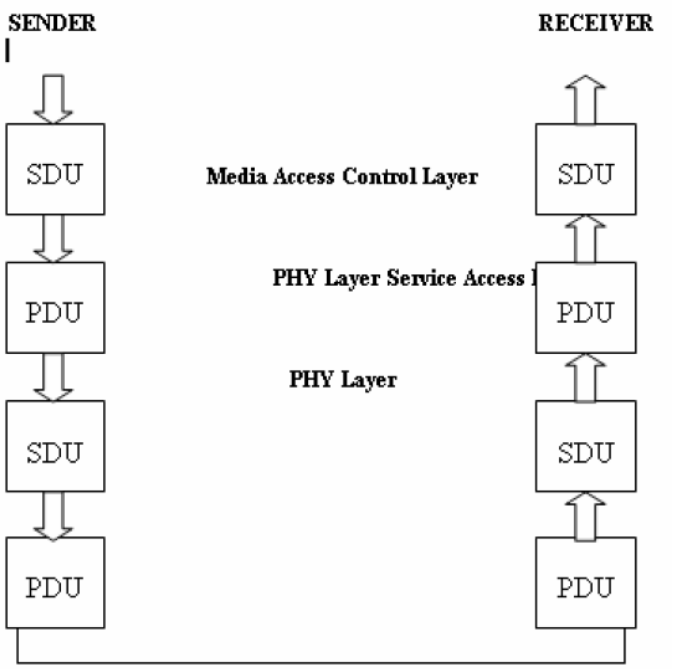
Παρέχει πληροφορίες για την περίπτωση που έχουμε συγκέντρωση SDU σε ένα PDU. Οι προηγούμενες δύο υπό-επικεφαλίδες μπορούν να εισαχθούν αμέσως μετά την γενική επικεφαλίδα μέσα σε PDU. Η υπό-επικεφαλίδα πακέτων θα πρέπει να εισάγεται πριν από κάθε SDU.

P	MAC PDU that has started in the previous TC PDU	First MAC PDU this TC PDU	Second MAC PDU this

Εικόνα 8 MAC PDU

2.3.3 ΜΕΤΑΔΩΣΗ ΤΩΝ MAC PDU ΚΑΙ SDU

Οι εξερχόμενες από το MAC PDU εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του ίδιου του PDU (εάν περιέχει ή όχι κατατμήσεις ή συγκεντρώσεις) όσο και από το MAC πρωτόκολλο και τον αριθμό των συνδέσεων που έχει συνάψει. Το επίπεδο MAC είναι διαυγές στην οντότητα λήψης γιατί το SDU ανασυγκροτείται μετά την λήψη του μέσω της αποκαταστημένης ραδιοσύνδεσης. Το πώς ακριβώς γίνεται αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 9 Κατάτμηση και συσκευασία SDU και PDU

2.4 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ

Η κατάτμηση και η συσκευασία των ομάδων δεδομένων είναι μια διαδικασία η οποία ταιριάζει με το σταθερό WiMAX, εφόσον σε ένα τέτοιο σενάριο η ανάθεση εύρους γίνεται με βάση την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα. Στην περίπτωση χρήσης κατάτμησης ένα MAC PDU χωρίζεται σε ένα ή περισσότερα διαφορετικά SDU.

Σε περιπτώσεις που έχουμε συσκευασία πολλαπλών SDU σε ένα MAC PDU έχουμε διαφορές σε σχέση με τις περιπτώσεις που έχουμε κατάτμηση. Χρειάζεται να γίνουν ρυθμίσεις στην άνω ζεύξη ενός σταθμού βάσης και στην κάτω ζεύξη ενός σταθμού υπηρεσιών. Για να

μπορέσει το WiMAX να προσφέρει αποδοτικότερη διαχείριση του φάσματος επιτρέπεται παράλληλα και η κατάτμηση και η συσκευασία.

2.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ PDU ΚΑΙ ΑΙΤΗΣΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

Οι μονάδες δεδομένων Αίτησης Αυτόματης Επανάληψης (Automatic Repeat Request – ARQ) είναι διαφορετικές και για την εκπομπή τους χρειάζεται μια σύνδεση ARQ. Η βασική τους λειτουργία είναι η αποστολή ομάδων δεδομένων MAC SDU σε περιπτώσεις που δεν έχουν ληφθεί σωστά. Το MAC σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό ολισθαίνοντος παραθύρου για την αποστολή πολλαπλών ομάδων δεδομένων χωρίς να χρειάζεται επιβεβαίωση λήψης. Ο αριθμός των ομάδων δεδομένων που δεν έχουν ληφθεί δίνεται από τον δέκτη και οι χαμένες ομάδες δεδομένων επανεκπέμπονται μέσω του μηχανισμού ολισθαίνοντος παράθυρου.

Σε κάθε σταθμό βάσης και σταθμό συνδρομητή οι οποίοι έχουν επιτύχει σύνδεση δημιουργείται μία κατηγορία υπηρεσίας μεταξύ τους. Τα πακέτα στέλνονται ή λαμβάνονται μέσω μιας σύνδεσης η οποία εξαρτάτε από τον τύπο της ποιότητας υπηρεσιών που απαιτείται από την εκάστοτε εφαρμογή.

Στο σχήμα 13 μπορούμε να δούμε τον μηχανισμό ποιότητας υπηρεσίας του WiMAX ο οποίος υποστηρίζει υπηρεσίες πολυμέσων στις οποίες περιλαμβάνονται TDM φωνή και VoIP, μετάδοση κινούμενης εικόνας, TFTP, Πρωτόκολλου Υπερκειμενικής Μεταφοράς (HTTP) και ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email).

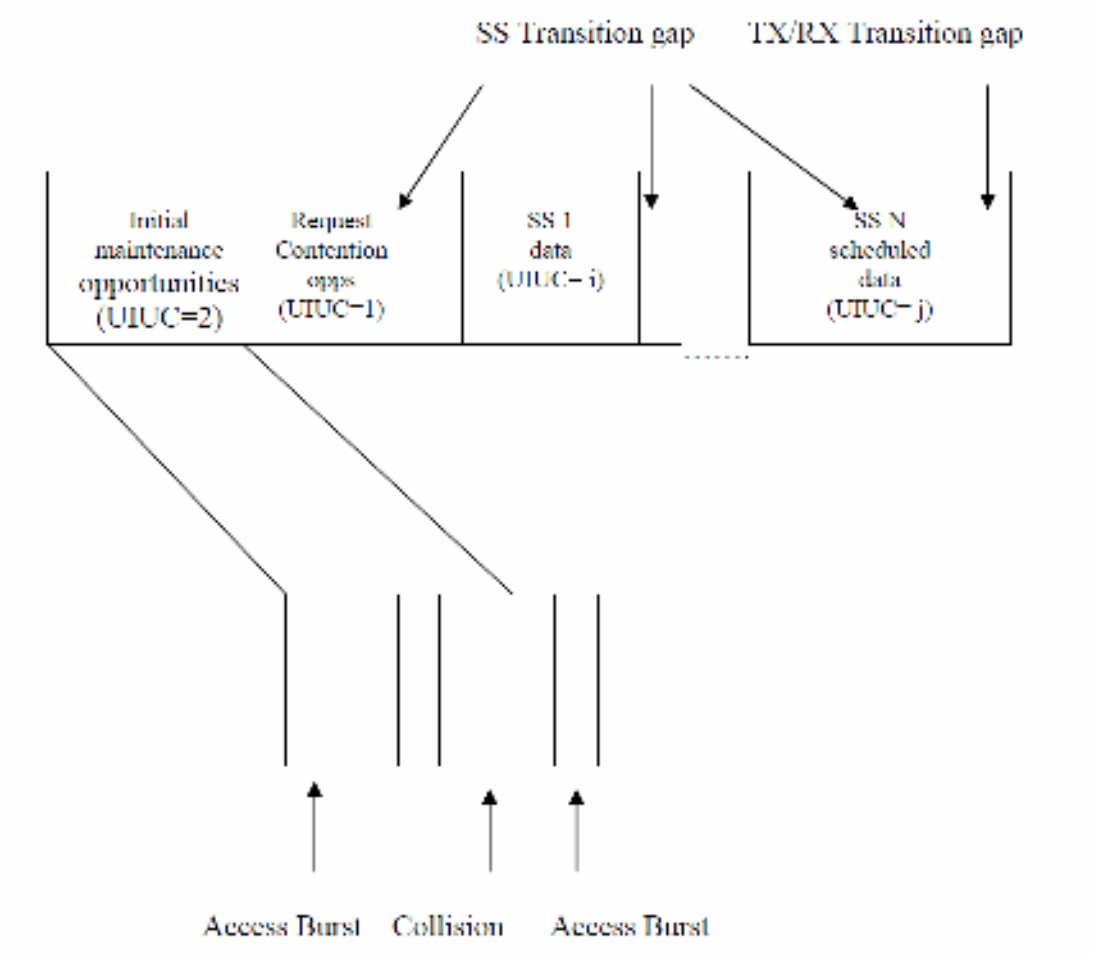
2.5.1 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ PHY ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Το WiMAX παρέχει υποστήριξη και για TDD αλλά και για FDD. Στο FDD υποστηρίζονται και συνεχής ροή δεδομένων αλλά και ριπές δεδομένων στην κάτω ζεύξη. Η συνεχής ροή δεδομένων στην κάτω ζεύξη επιτρέπει την χρήση τεχνικών όπως της διεμπλοκής. Οι ριπές δεδομένων από την άλλη πλευρά επιτρέπουν την εφαρμογή αποδοτικότερων τεχνικών με καλύτερη διαχείριση φάσματος και αυξημένη χωρητικότητα όπως για παράδειγμα τεχνικές ρύθμισης των ριπών στο επίπεδο του συνδρομητή και AASs.

Το επίπεδο MAC χτίζει ένα υποπλαίσιο κάτω ζεύξης η αρχή του οποίου είναι το τμήμα ελέγχου πλαισίου και περιέχει τα μηνύματα DL-MAP και UL-MAP. Τα μηνύματα αυτά περιέχουν πληροφορίες για τις αλλαγές του επιπέδου του σήματος στο φυσικό επίπεδο στην κάτω ζεύξη όπως και πληροφορίες σχετικά με την κατανομή εύρους και τις ρυθμίσεις των ριπών δεδομένων στην πάνω ζεύξη.

Το DL-MAP αποτελείται από δύο FEC. Στην περίπτωση του UL-MAP η ανάθεση γίνεται πριν την λήψη του επόμενου πλαισίου. Το UL-MAP αμέσως ξεκινά την διαδικασία

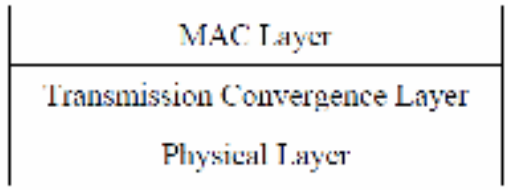
δέσμευσης χώρου για την εξοικονόμηση χρόνου στην επεξεργασία και κατά συνέπεια μικρότερη καθυστέρηση. Σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται ένα κομμάτι για την διατήρηση μιας απευθείας σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και του UL-MAP ειδικά σε συστήματα FDD. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 10 Υποπλαίσιο άνω ζεύξης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Το επίπεδο σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence – TC) βρίσκεται ανάμεσα στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο MAC. Ο κύριος ρόλος του επιπέδου αυτού είναι η μετατροπή των MAC PDU σε ομάδες δεδομένων ίδιου μήκους. Χρησιμοποιεί ένα δείκτη ο οποίος δείχνει την αρχή της κεφαλίδας του επόμενου MAC PDU ο οποίος βρίσκεται μέσα στο ίδιο το FEC. Στην περίπτωση που έχουμε ομάδες δεδομένων με σφάλματα το TC θα επανασυγχρονιστεί για το επόμενο MAC PDU.



Εικόνα 11 Σχέση ,εταξύ MAC, PHY και TC επιπέδων

3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ WIMAX

Υπάρχουν δύο βασικές προϋποθέσεις για να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα WiMAX:

- Αποκατάσταση συνόδου (Session Setup)
- Επαλήθευση Ταυτότητας (Authentication)

Στην περίπτωση που έχουμε συνεχή ροή υπηρεσιών, τον έλεγχο τον αναλαμβάνει το RLC. Στο WiMAX η διαδικασία αυτή αποτελείται από μία σειρά συναλλαγών μετάξύ των SS και BS. Οι ρυθμίσεις των FDD και TDD συστημάτων εξαρτώνται από μία περίπλοκη διαδικασία βασισμένη στην ροή υπηρεσιών. Η κύρια λειτουργία του FEC είναι η ρύθμιση των ριπών δεδομένων, του εύρους και της κωδικοποίησης, Μετά την ρύθμιση και την επιτυχημένη λειτουργία ενός SS στην επόμενη φάση έχουμε την επίκτηση των καναλιών.

3.2 ΕΠΙΚΤΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Τα πρόσφατα ανεπτυγμένα πρωτόκολλα του MAC επιτρέπουν την αυτόματη ρύθμιση του SS για τον χρήστη. Ο αγοραστής ή ο χρήστης θα πρέπει απλά να βγάλουν από την συσκευασία των SS και να τον ενεργοποιήσουν. Ο SS θα αρχίσει να λαμβάνει στοιχεία από το περιβάλλον έτσι ώστε να ρυθμιστεί μόνος του.

Μετά την επιτυχημένη ενεργοποίηση και λειτουργία του ο SS λαμβάνει από το περιβάλλον όλες τις υποψήφιες συχνότητες λειτουργίας εντός της εμβέλειας του. Κατά πάσα πιθανότητα ο SS θα είναι προρυθμισμένος εργοστασιακά και σε περιπτώσεις που υπάρχουν πολλές

υποψήφιες συχνότητες ο SS θα εγγραφή σε ένα μόνο BS για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις και η σύγχηση.

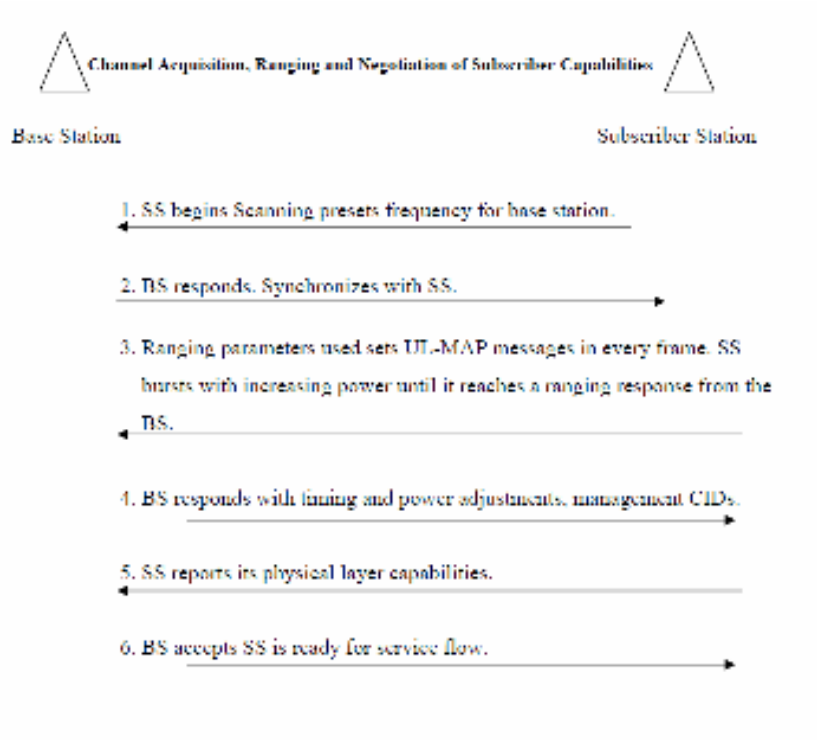
Ο συγχρονισμός γίνεται αμέσως μετά την επιλογή της συχνότητας λειτουργίας από τον SS στην σύνδεση με τον αντίστοιχο BS. Μετά τον συγχρονισμό του φυσικού επιπέδου αρχίζει την αναζήτηση μηνυμάτων DCD και UCD για να μπορέσει ο SS να αναγνωρίσει την χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση και τις ρυθμίσεις FEC οι οποίες χρησιμοποιούνται από τον BS.

3.2.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ

Ο SS θα αρχίσει να ψάχνει για όλα τα μηνύματα UL-MAP στα πλαίσια που λαμβάνει με σκοπό την άντληση πληροφοριών σχετικά με την εμβέλεια. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας όλες οι ρυθμίσεις εμβέλειας έχουν ολοκληρωθεί. Αναλυτικά ο SS θα πρέπει να αναγνωρίσει ένα μήνυμα που αφορά την εμβέλεια το οποίο ονομάζεται RNG-REQ ή αλλιώς όπως είναι γνωστό μήνυμα ερώτησης εμβέλειας (Ranging Request Message) για την αναγνώριση του οποίου χρησιμοποιείται ένας αρκετά σύνθετος αλγόριθμος. Η διαδικασία ξεκινά με εκπομπές χαμηλής ισχύος η οποίες αυξάνουν την ισχύ τους με το χρόνο μέχρι να ληφθεί κάποια απάντηση σχετικά με την εμβέλεια.

Ο BS θα ρυθμιστεί εκ νέου και θα αποστείλει ένα νέο μήνυμα εμβέλειας το οποίο ονομάζεται RNG-RSP ή αλλιώς απάντηση εμβέλειας (Ranging Response) το οποίο χρησιμοποιεί παραμέτρους όπως τον χρόνο άφιξη του RNG-RNQ και την ισχύ που χρησιμοποιήθηκε για την εκπομπή για να επανασυγχρονίσει με τον SS. Μετά τον επιτυχημένο συγχρονισμό μεταξύ των SS και BS ακολουθεί η μικρορύθμιση της εκπομπής ισχύος για την εμβέλεια που χρησιμοποιείται.

Οι ρυθμίσεις που χρησιμοποιούνται για το WiMAX είναι αυτές που έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια. Ο SS θα ρυθμίσει σχετικά το φυσικό επίπεδο που έχει σαν ρόλο την κωδικοποίηση και την διαμόρφωση έτσι ώστε να αποφευχθεί η σπάταλη χρήση εύρους. Υποστηρίζονται τόσο ημιαμφίδρομες όσο και αμφίδρομες συνδέσεις. Η τελική απόφαση των ρυθμίσεων λαμβάνεται από τον BS.



Εικόνα 12 Διαδικασία διαπραγμάτευσης εμβέλειας

3.2.2 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ ΚΑΙ ΕΓΓΡΑΦΗ

Ένας SS ο οποίος είναι εγκεκριμένος διαθέτει ένα ψηφιακό πιστοποιητικό X.509 αποθηκευμένο σε αυτόν εργοστασιακά. Όταν ο SS ζητάει την πιστοποίηση της ταυτότητας του για την σύναψη σύνδεσης αποστέλλει το πιστοποιητικό αυτό και αξιολογείται από τον BS. Αυτό γίνεται με την χρήση μιας διεύθυνσης μεγέθους 48 bit η οποία βρίσκεται μέσα στο MAC και περιέχει και το κλειδί RSA.

Παρακολουθώντας τα πιστοποιητικά όλως των συνδεδεμένων στο δίκτυο SS το ίδιο το δίκτυο επαληθεύει κάθε σταθμό που ζητά επικοινωνία με το αν διαθέτει ή όχι την απαραίτητη άδεια. Η είσοδος ή όχι στο δίκτυο ενός SS εξαρτάτε από την επαλήθευση και την επικύρωση του σταθμού.

Η είσοδος ενός επαληθευμένου και επικυρωμένου σταθμού στο δίκτυο γίνεται με την παροχή ενός κλειδιού το οποίο ονομάζεται AK και χρησιμοποιείται επίσης για την ασφάλεια και το απόρρητο.

Ο σταθμός συνδέεται στο δίκτυο αμέσως μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας και δημιουργεί μια δευτερεύουσα σύνδεση διαχείρισης της επικοινωνίας.

3.2.3 ΣΥΝΔΕΣΗ IP

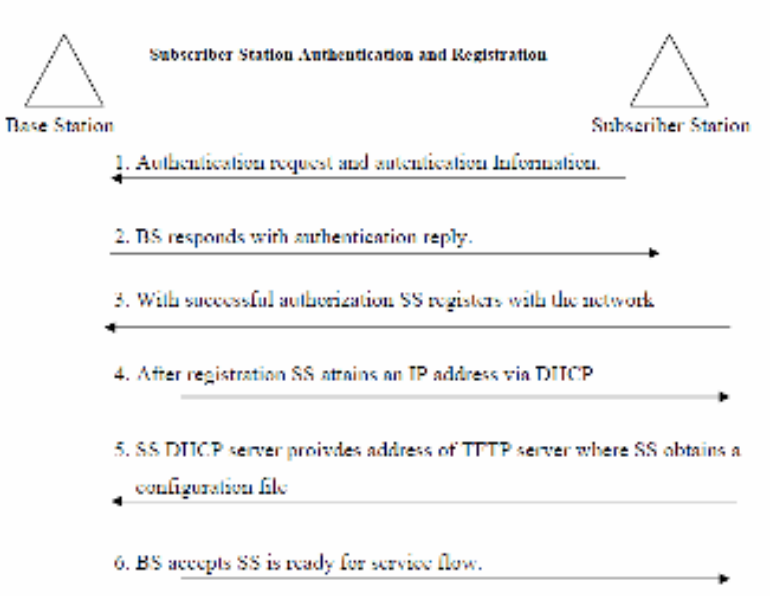
Με την είσοδο ενός SS στο δίκτυο του ανατίθεται μία διεύθυνση IP με την χρήση του DHCP. Η βασική λειτουργία του DHCP είναι η παροχή μιας διεύθυνσης TFTP στον SS για να

μπορέσει ο SS να προμηθευτεί ένα αρχείο που περιέχει όλες τις ρυθμίσεις που είναι απαραίτητες.

3.2.4 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Για την μονόδρομη μεταφορά οπμάδων δεδομένων στην κάτω και στην άνω ζεύξη χρησιμοποιούνται ροές υπηρεσιών. Για την ποιότητα της υπηρεσίας ελέγχονται διάφοροι παράγοντες όπως για παράδειγμα ο τρόμος φάσης (jitter). Για την καλύτερη απόδοση του δικτύου WiMAX εφαρμόζεται μια μέθοδος ενεργοποίησης δύο φάσεων. Σε αυτήν την περίπτωση πρώτα γίνεται η ανάθεση των πόρων σε μια υπηρεσία με την ενεργοποίηση της υπηρεσίας να γίνεται αργότερα και μετά την ολοκλήρωση της ανάθεσης. Κάθε ροή υπηρεσίας διαθέτει ένα CID το οποίο χαρτογραφείται και στο MAC. Οι ροές υπηρεσιών του WiMAX προσχεδιάζονται και ρυθμίζονται κατά την τελική φάση όταν μετά την ενεργοποίηση του SS ενεργοποιείται και η υπηρεσία.

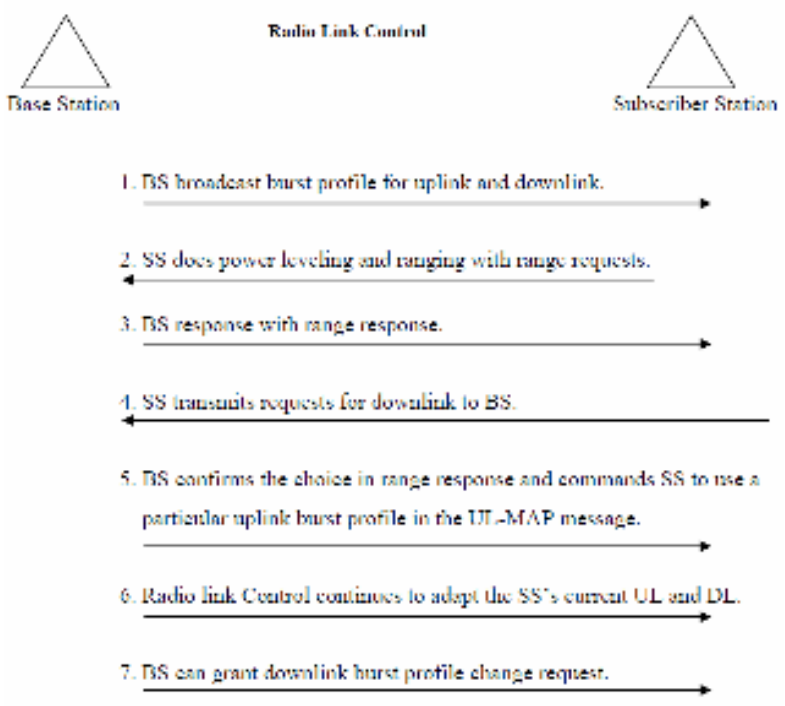
Ανάμεσα στον SS και στον BS δημιουργούνται δυναμικές ροές υπηρεσιών και ο SS θα συνεχίσει την δυναμική σύνδεση στην περίπτωση που υπάρξη μία σύνδεση δυναμικής σηματοδοσίας η οποία ονομάζεται και ιδεατή σύνδεση μεταγωγής (Switched Virtual Connection – SVC). Χρησιμοποιείται μια αποκατάσταση επαφής (handshaking) τριών σημείων για την πλήρη αποκατάσταση των ροών υπηρεσιών. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του WiMAX είναι το ότι επιτρέπει δυναμικές αλλαγές στο δίκτυο. Για την αποκατάσταση επαφής χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο τριών σημείων το οποίο είναι πανομοιότυπο με την δυναμική ροή υπηρεσίας.



Εικόνα 13 Ταυτοποίηση και εγγραφή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΗΣ

Ο κύριος ρόλος του ελέγχου ραδιοζεύξης (Radio Link Control – RLC) είναι η δημιουργία μιας σταθερής ζεύξης και η διατήρηση της ταυτόχρονης εκτέλεσης της ροής υπηρεσιών και της επίκτησης καναλιών. Το RLC επιτρέπει στο WiMAX να ανταλλάσει δεδομένα μεταξύ των ριπών δεδομένων και επίσης μέσα στο RLC περιλαμβάνονται ο έλεγχος της ισχύος και της εμβέλειας.



Εικόνα 14 Έλεγχος Ραδιοζεύξης

Στο RLC περιλαμβάνονται επίσης περιοδικές εκπομπές των ρυθμίσεων των ριπών οι οποίες υπάρχουν στην κάτω και άνω ζεύξη. Οι ρυθμίσεις των ριπών δεδομένων επιλέγονται με βάση παράγοντες του περιβάλλοντος (όπως π.χ. βροχή) και με βάση τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Στην κάτω ζεύξη χρησιμοποιείται ένας κωδικός χρήσης διαστήματος (Downlink Interval Usage Code – DIUC) για κάθε συνδιασμό ρυθμίσεων των ριπών δεδομένων όπως επίσης και στην πάνω ζεύξη ο UIUC.

Στην αρχή ο SS ελέγχει την στάθμη ισχύος και την εμβέλεια. Ο έλεγχος γίνεται με την χρήση των μηνυμάτων RNG-REQ κατά την έναρξη της εκπομπής. Από τον BS αποστέλλονται οι αντίστοιχες απαντήσεις RNG-RSP βάση των οποίων ορίζεται η στάθμη της ισχύος και ο χρονισμό του SS.

Ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει κατά την διαδικασία του ελέγχου εμβέλειας την κάτω ζεύξη χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη ομάδα ρυθμίσεων ριπής η οποία ονομάζεται DIDUC. Ανάλογα με την ποιότητα της κάτω ζεύξης ο SS κάνει και τις ανάλογες ρυθμίσεις. Οι ρυθμίσεις με βάση το RNG-RSP γίνονται από τον SS, ο BS αναλύει απλά την ποιότητα της άνω ζεύξης.

Μετά την αρχικοποίηση των ζεύξεων μεταξύ των BS και SS ο RLC αρχίζει την συνεχή ανάλυση των ρυθμίσεων των ριπών των ζεύξεων έτσι ώστε το σύστημα να προβεί σε αλλαγές. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι και οι άσχημες καιρικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ζεύξη άρα και τις ρυθμίσεις των ριπών.

Ο RLC αλλάζει τις ρυθμίσεις του SS όσο αναφορά τις ζεύξεις συνέχεια. Στόχος της όλης διαδικασίας είναι η καλύτερη απόδοση και η αξιοπιστία του συστήματος για την όσο το δυνατόν ταχύτερη και ορθότερη επικοινωνία. Ο σταθμός βάσης εκτελεί μια διαφορετική λειτουργία. Ελέγχει καθ’ όλη την διάρκεια της επικοινωνίας την ποιότητα της πάνω ζεύξης και με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζονται λιγότερες αλλαγές στις ρυθμίσεις των ριπών. Όποτε υπάρχει ανάγκη για παραχώρηση μεγαλύτερου εύρους από τον BS στον SS χρησιμοποιείται ο UIUC απαλείφοντας την ανάγκη για επαναπρόκλησης χειραψίας εφόσον ο SS λαμβάνει όλες τις αλλαγές μέσω του UIUC και εξασφαλίζοντας ότι δεν θα υπάρξει ανομοιογένεια στις ρυθμίσεις ριπών μεταξύ του BS και του SS.

Για την αλλαγή του προφίλ του ο SS αντλεί όλες τι πληροφορίες από τον BS αναλύοντας την ληφθήσα κάτω ζεύξη. Οι αλλαγές όλες εξαρτώνται από τον BS. Μία κάτω ζεύξη έχει δύο τρόπους λειτουργίας οι οποίοι είναι:

Τρόποι λειτουργίας DL.

- Χορηγία ανά σύνδεση (Grand per Connection – GPC)
- Χορηγία ανά σταθμό συνδρομητή (Grand per SS – GPSS)
  Η πρώτη μέθοδος απαιτεί την αποστολή μηνυμάτων RNG-REQ για τις αλλαγές στην κάτω ζεύξη ενώ η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί τα μηνύματα DBPC-REQ.

4.1 Η ΠΑΝΩ ΖΕΥΞΗ

Για κάθε σύνδεση στην άνω ζεύξη χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού. Ο BS αναγκάζεται να κάνει συγκεκριμένες ενέργειες ανάθεσης στην άνω ζεύξη από κάποιους αλγόριθμους οι οποίοι διαθέτουν τους δικούς τους κανόνες. Κατά την διάρκεια της αποκατάστασης της σύνδεσης οι συνδέσεις της πάνω ζεύξης είναι για μικρό χρονικό διάστημα διαπραγματεύσιμες.

4.2 ΡΟΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Για την αυτόματη εγκατάσταση και την δυναμική ρύθμιση των ροών υπηρεσιών χρησιμοποιούνται ο πίνακας παρεχομένων υπηρεσιών, ο πίνακας κατηγορίας υπηρεσιών και οι ταξινομημένοι κανόνες. Είναι αποκλειστική ευθύνη του πελάτη η παροχή πληροφοριών στον πάροχο υπηρεσιών σχετικά με τον τύπο των εφαρμογών που θα χρησιμοποιήσει. Με τις πληροφορίες αυτές δημιουργείται μια βάση δεδομένων για την ταξινόμηση τους.

Στα σχήματα 19.Α, 19.Β και 19.Γ βλέπουμε δύο σταθμούς συνδρομητή οι οποίοι έχουν αναγνωριστεί μέσω της MAC διεύθυνσης. Κάθε SS διαθέτει από δύο ροές υπηρεσιών οι οποίες έχουν αναγνωριστεί από τον sfIndex μαζί με τις ρυθμίσεις ποιότητας υπηρεσίας οι οποίες έχουν ληφθεί από τους πίνακες qosIndex 1 και 2. Η ποιότητα υπηρεσίας έχει 3 επίπεδα ρυθμίσεων, το χρυσό, το αργυρό και το χάλκινο.

Ο sfIndex δείχνει τον wmanBsClassifierRuleIndex επιλέγοντας τους κανόνες που θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση των ομάδων δεδομένων στην ροή υπηρεσίας.

Με την εγγραφή του SS σε κάποιον BS, ο BS καταχωρεί αυτόματα την MAC διεύθυνση του στον πίνακα wmanIfBaseRegisteredTable έτσι ώστε να είναι εύκολο για τον BS να βρει τις πληροφορίες των ροών υπηρεσιών για τις οποίες του έχει γίνει παροχή. Ο BS χρησιμοποιεί μια δυναμική υπηρεσία η οποία ονομάζεται μήνυμα DSA για να μπορέσει να δημιουργήσει μια ροή υπηρεσιών για τον sfIndex χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες ροών υπηρεσιών. Στο σχήμα 19 βλέπουμε την δημιουργία δύο εισαγωγών στο πίνακα wmanIfCmmCpsServiceFlowTable άρα θα είναι ευκολότερη η αποστολή δεδομένων εφόσον η ροή υπηρεσίας θα είναι διαθέσιμη.

D. wmanIfBsRegisteredSsTable

ssindex	id index	SSMACAddr

B. wmanIfBsServiceClassTable

OOSindex	ServiceClass	MaxData	MaxLATency

A. wmanIfBsProvisionedSfTable

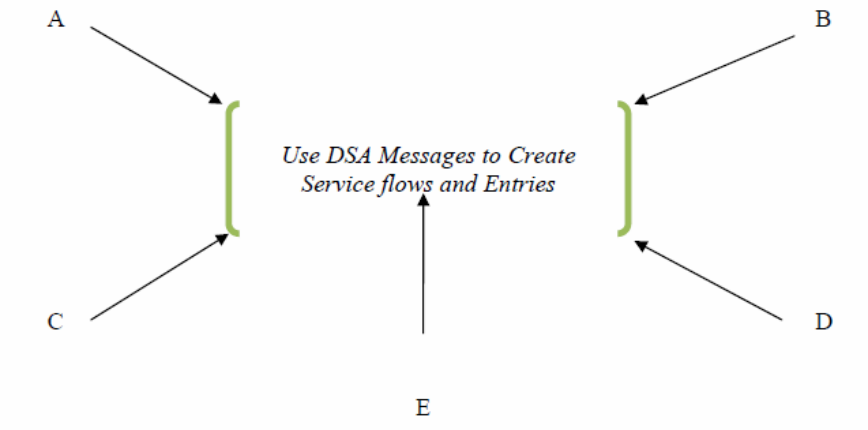
sf index	SS MAC Addr	OOS index	Direction

E. wmanIfCmnCpsSerivceFlowTable

sf index	sf Cid	OOS index

C. wmanIfBsClassifierRule

sf index	Src IP Addder	Dest IP Addr	TOS



Εικόνα 15 Ροές δεδομένων

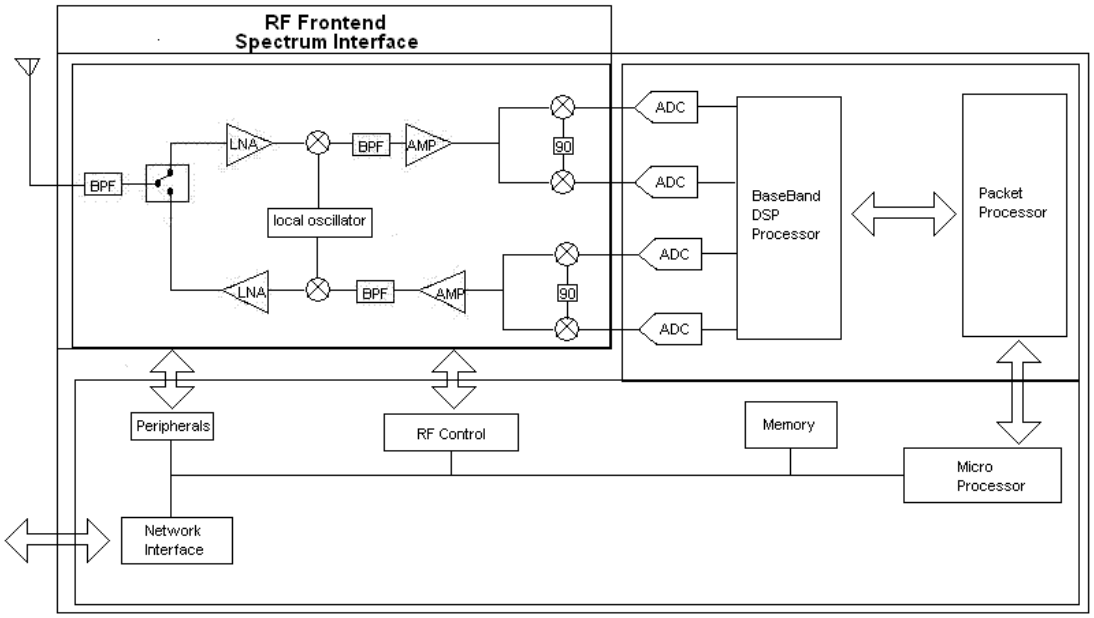
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ WIMAX

Όπως και στην ασύρματη τεχνολογία Wi-Fi η οποία είναι επίσης γνωστή ως Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο η οποία αυξήθηκε ραγδαία σύμφωνα με το πρότυπο 802.11 της IEEE, ομοίως ένα πρωτοεμφανιζόμενο Δίκτυο Μητροπολιτικής Περιοχής (MAN) υιοθέτησε τα πρότυπα του Ασύρματου Μητροπολιτικού Δικτύου τα οποία βασίζονται στο IEEE 802.16. Στον τομέα της επικοινωνίας παγκοσμίως το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων ποικίλει ανά περιοχή. Πολλές από τις ρυθμιστικές αρχές που ασχολούνται με τον τομέα του φάσματος π.χ. η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των ΗΠΑ παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στον καθορισμό και στη διαχείριση του προς χρησιμοποίηση φάσματος για ποικίλους συνδρομητές του διαδικτύου και ανταγωνιστικές υπηρεσίες. Η διάθεση των τμημάτων του φάσματος προς χρήση, που μπορεί ή όχι να είναι ανάλογη με τον υπόλοιπο κόσμο, γίνεται από την κυβέρνηση. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση του WiMAX. Κατά συνέπεια υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή και τη ρύθμιση του φάσματος.

Στην κατανομή φάσματος υπάρχουν δύο περιοχές συχνοτήτων από τις οποίες μόνο η μία είναι επίσημα αναγνωρισμένη από τις κυβερνητικές αρχές. Στον τομέα της επικοινωνίας τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν είτε με το αναγνωρισμένο είτε με το μη αναγνωρισμένο φάσμα. Πολλοί παροχείς Υπηρεσιών Ασύρματου Ιντερνέτ πιθανόν να επιλέγουν το μη αναγνωρισμένο φάσμα καθώς είναι δωρεάν και μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά το κόστος. Όσον αφορά στην ποικιλομορφία του φάσματος, για την ανάπτυξη του συστήματος WiMAX θα πρέπει οι Σταθμοί βάσης (BS) και οι Σταθμοί Συνδρομητή (SS) να είναι έτοιμοι να υποστηρίξουν και τις δύο περιοχές ραδιοσυχνοτήτων. Όπως φαίνεται στο σχήμα 20, ένας γενικός Σταθμός Συνδρομητή του συστήματος WiMAX περιλαμβάνει ένα επεξεργαστή ελέγχου, ένα επεξεργαστή βασικής ζώνης, μια μονάδα MAC, και ένα αναλογικό έμπροσθεν άκρο RF που παρέχει υπηρεσία όπως ορίζεται στο πρότυπο 802.16x σε συγκεκριμένες αναγνωρισμένες ή μη αναγνωρισμένες περιοχές.

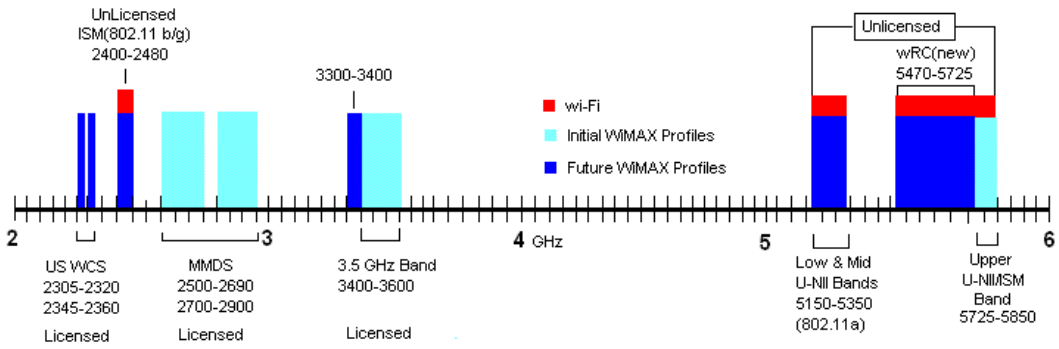
Οι εφαρμογές WiMAX ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης χρησιμοποιούνται ως οπισθοζευκτικά για κυψελοειδή δίκτυα, ως οπισθοζευκτικά για ευρυζωνικά ενσύρματα και ασύρματα Τοπικά Δίκτυα, και για το ασύρματο Μητροπολιτικό δίκτυο που φέρνει τις Ασύρματες Ευρυζωνικές Προσβάσεις στα σπίτια, τις εταιρείες και τις επιχειρήσεις ως εναλλακτική επιλογή στη θέση του DSL ή της ενσύρματης πρόσβασης. Έχουμε εστιάσει κυρίως στο κατανεμημένο εύρος συχνότητας που υπάρχει στη ζώνη συχνοτήτων από 2 ως 6 GHz του φάσματος. Αυτή είναι η κατανομή του φάσματος όπου το εύρος ζώνης είναι στενοζωνικό σε σχέση με το εύρος ζώνης που διατίθεται στο εύρος των 10 με 66 GHz. Κάτω από 10 GHz οι συχνότητες των μικροκυμάτων αναφέρονται ως ζώνες εκατοστού και οι

συχνότητες πάνω από το εύρος των 10 GHz είναι οι ζώνες χιλιοστού. Οι ζώνες χιλιοστού έχουν πολύ πλατύτερη κατανομή εύρους ζώνης καναλιού και έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο για υψηλές ταχύτητες διαβίβασης δεδομένων για τις εφαρμογές οπτικής οπίσθιας ζεύξης αυτές οι ζώνες χιλιοστού είναι γενικά καταλληλότερες, ενώ οι ζώνες εκατοστού ταιριάζουν για πολυσημεία, Συστήματα μη οπτικής επαφής και διανομή στο τελευταίο μίλι.



Εικόνα 16 Μπλοκ διάγραμμα Σταθμού Συνδρομητή

Παγκοσμίως το φάσμα εκατοστού περιέχει ένα σημαντικό και τελευταίο mile market. Το πρότυπο 802.16d της IEEE το οποίο είναι γνωστό ως σταθερό στο οποίο καμιά γραμμή οπτικής επαφής αντικαθιστά το DSL και την ενσύρματη πρόσβαση για τη τελευταία υπηρεσία μιλιού αποτελεί τη βάση για τη πρώτη κυματική ανάπτυξη του WiMAX. Καθώς η τεχνολογία προχωρά το πρότυπο IEEE 802.16e πρόσθεσε κινητικότητα και δυνατότητα μεταφοράς σε εφαρμογές όπως μικρούς φορητούς υπολογιστές, λάπτοπ και PDAs για εύρη φάσματος κάτω των 6GHz. Κατά την αξιοποίηση του φάσματος, χρησιμοποιούνται τόσο τα αναγνωρισμένα και όσο και τα μη αναγνωρισμένα φάσματα.



Εικόνα 17 Η κατανομή συχνοτήτων απο 2 έως 6 GHz στις ΗΠΑ

5.1 Χαρακτηριστικά φάσματος

1. Αναγνωρισμένο και μη αναγνωρισμένο φάσμα

Το σχήμα 21 δείχνει τις διάφορες διαθέσιμες ζώνες συχνοτήτων για ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση στο εύρος συχνοτήτων από 2 ως 6GHz. Σημειώστε ότι αυτές οι ζώνες χαρακτηρίζονται είτε ως αναγνωρισμένες είτε ως μη αναγνωρισμένες. Οι αναγνωρισμένες ζώνες «αποτελούν ιδιοκτησία» φορέων ή εταιρειών οι οποίες έχουν πληρώσει για τη χρήση των υπηρεσιών που προσφέρουν αυτές οι ζώνες. Οι μη αναγνωρισμένες ζώνες είναι δωρεάν διαθέσιμες για οποιεσδήποτε πειραματικές ή επιχειρηματικές εφαρμογές. Το Wi-Fi που βασίζεται στα πρότυπα IEEE 802.11a/b/g που κατανέμονται σε μη αναγνωρισμένες ζώνες αποδείχτηκε πολύ δυνατό κατά τον ανταγωνισμό με τις νέες τεχνολογίες εντός των ίδιων ζωνών. Συγκρινόμενο με τις τιμές δεδομένων καναλιών των ζωνών χιλιοστού περιορίζεται καθώς ο χώρος της ζώνης καναλιού είναι στενοζωνικός.

Πολλοί παροχείς Ασύρματου Δικτύου ενδιαφέρονται να αξιοποιήσουν τις μη αναγνωρισμένες ζώνες γιατί είναι δωρεάν, εξοικονομώντας έτσι χρήματα και χρόνο για την ανάπτυξη του τοπικού δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτές τις μη αναγνωρισμένες ζώνες μειώνονται τα κόστη για τους συνδρομητές ιντερνέτ και παρέχεται μια ανταγωνιστική εναλλακτική απέναντι στο DSL και τις ενσύρματες υπηρεσίες μόντεμ. Από την άλλη πλευρά οι κύριοι φορείς ή εταιρείες που έχουν την αρμοδιότητα να χρησιμοποιούν το αναγνωρισμένο φάσμα μπορούν να το θέσουν στην αγορά ώστε να προσφέρουν υπηρεσίες επιχειρηματικής κλάσης παρέχοντας ταυτόχρονα αξιοπιστία και ευρωστία.

5.2 Διακρίσεις ζωνών

1.**Ζώνη 3.5GHz**: Σε πολλές ευρωπαϊκές και ασιατικές χώρες η ζώνη 3.5GHz αποτελεί αναγνωρισμένο φάσμα που διατίθεται για την Ευρυζωνική Ασύρματη Πρόσβαση, αλλά δεν χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ. Είναι η πιο βαριά κατανεμημένη ζώνη αντιπροσωπεύοντας έτσι τη μεγαλύτερη παγκόσμια αγορά Ευρυζωνικής Ασύρματης Πρόσβασης. Καλύπτει εύρος ζώνης 300MHz του οποίου οι συχνότητες κυμαίνονται από 3.3GHz ως 3.6GHz. Για μεγάλα

οπισθοζευκτικά σωλήνων στις υπηρεσίες Δικτύου Ευρείας Περιοχής αυτή η ζώνη είναι πολύ χρήσιμη και ευέλικτη. Σε αυτό το αναγνωρισμένο φάσμα, οι μεγάλοι φορείς και εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ανταγωνιστικές τιμές συνδρομών ίντερνετ στην αγορά της Ασύρματης τεχνολογία μέσω οικονομικών πακέτων και χαμηλότερων κοστών εξοπλισμού που συνεπάγεται η ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση WiMAX.

2. **Ζώνη 5 GHz U-NII & WRC**: Οι ζώνες U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) έχουν τρεις κύριες ζώνες συχνοτήτων οι οποίες έχουν ως εξής: χαμηλές και μεσαίες ζώνες U –NII με εύρη από 5150 ως 5350, εύρη Παγκοσμίου Συνέδριο Ραδιοεπικοινωνιών από 5470 ως 5725, και ανώτερες ζώνες U-NII με εύρη από 5725 ως 5850. Οι περισσότερες δραστηριότητες WiMAX ανήκουν στις ζώνες U-NII με εύρη από 5725 ως 5850 διότι σ΄αυτό το κατανεμημένο φάσμα υπάρχουν λιγότεροι ανταγωνιστικοί συνδρομητές ίντερνετ και παρεμβολές.

3. **WCS:** Οι δύο ζώνες Ασύρματων Υπηρεσιών Επικοινωνίας είναι ταυτόσημες στα 15MHz και κυμαίνονται από 2305 στα 2320MHz και από 2345 στα 2360MHz αντίστοιχα. Το κενό των 25MHz μεταξύ αυτών των ζωνών έχει ανατεθεί στην Υπηρεσία Ψηφιακού Ραδιοφώνου. Για επιτυχή ανάπτυξη αυτών των ζωνών χρειαζόμαστε εξαιρετική απόδοση φάσματος όπως προσφέρεται από την πολύ διάσημη τεχνική διαμόρφωσης Ορθογωνική Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (OFDM) και την τεχνική διαμόρφωσης RF η οποία χρησιμοποιείται από τα Wi-Fi και WiMAX.

4. **2.4GHz ISM:** Η συχνότητα στα 2.4GHz που χρησιμοποιείται από τους τομείς της βιομηχανίας, της επιστήμης και της ιατρικής η οποία είναι μη αναγνωρισμένη και προσφέρει χοντρικά εύρος ζώνης 70MHz για ανάπτυξη ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης. Η μελλοντική τεχνολογία WiMAX περιέχει περισσότερα προηγμένα χαρακτηριστικά τα οποία ορίζουν τις διαλειτουργικές απαιτήσεις επεξεργαστή βάσης οι οποίες φέρνουν δυο υπηρεσίες μαζί για συμπληρωματική λειτουργία που θα αποδώσει ευρεία κινητικότητα περιοχής στο χρήστη ιντερντετ.

5. **MMDS:** Το φάσμα των Πολυκαναλικών Πολυσημειακών Συστήματων Διανομής περιλαμβάνει 30 κανάλια στα 6MHz σε εύρη συχνοτήτων από 2500 σε 2690MHz και περιλαμβάνει και την Σταθερή Υπηρεσία Εκπαιδευτικής Τηλεόρασης.

Λόγω των δυνατοτήτων της αγοράς για μεγάλη ανάπτυξη και αξιοποίηση της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX γίνεται προσπάθεια να γίνει εστίαση στο αρχικό του φάσμα καθώς και προσπάθειες πιστοποίησης για τα Πολυκαναλικά Πολυσημειακά Συστήματα Διανομής στα 3.5GHz η οποία βασίζεται σε αδειοδοτημένες ζώνες και οι μη αδειοδοτημένες ζώνες όπως η Μη Αδειοδοτημένη Εθνική Υποδομή Πληροφοριών στα 5GHz όπου υπάρχουν

λιγότερες παρεμβολές και απαιτεί ένα λογικό επίπεδο ισχύος και μέσο εύρος ζώνης. Αυτό θα βοηθήσει σίγουρα να αναπτυχθεί γρήγορα η υπηρεσία της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX παγκοσμίως διότι αυτές οι ζώνες αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο δυναμικό των αγορών και επιτρέπουν στους συνδρομητές και στους χρήστες να μειώσουν το κόστος τους.

Επιπλέον ζώνες θεωρούνται σήμερα από διαφορετικές περιοχές στον κόσμο για την ανάπτυξη του WiMAX και άλλες παρόμοιες υπηρεσίες ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης. Στην Ιαπωνία η ζώνη στη συχνότητα των 4.9GHz ως 5 GHz θα χρησιμοποιηθεί μετά το 2007 ενώ η ζώνη των 5.47GHz-5.725GHz προορίζεται για μελλοντική χρήση στον τομέα των επικοινωνιών. Η πρώτη απαιτεί άδεια για ανάπτυξη Στάθμού Βάσης και θα υποστηρίξει εύρη ζωνών στα 5MHz, 10MHz και 20MHz ενώ η δεύτερη δεν θα απαιτεί άδεια και θα υποστηρίξει εύρος ζώνης 20MHz.

5.3 Τρέχων Ρυθμιστικό περιβάλλον

Επί του παρόντος η ανάπτυξη του WiMAX μπορεί να λειτουργήσει σε μη αδειοδοτημένο φάσμα αλλά ο παροχέας υπηρεσιών ή ο συνδρομητής ιντερνέτ πρέπει να γνωρίζει ένα αριθμό πραγμάτων για να αποφύγει μπλεξίματα με το κράτος και τις ομοσπονδιακές αρχές. Τώρα θα συζητήσουμε τις κυρίαρχες προβληματικές περιοχές στην κατανομή φάσματος.

Το φάσμα συνήθως το διαχειρίζεται ένας αριθμός διαφορετικών οργανισμών. Η πιο γνωστή στο ευρή κοινό είναι η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών διαχειρίζεται τη χρήση του ραδιο-φάσματος σε συνεργασία με πολιτικές, κρατικές και τοπικές κυβερνήσεις.

Αυτή τη στιγμή οι εξουσίες της Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών έχουν περιοριστεί καθώς η τάση των τελευταίων δεκαετιών προωθεί την απορρύθμιση και τη μείωση του προσωπικού των γραφείων επιβολής. Επίσης οι Εθνικές Τηλεπικοινωνίες και η Διοίκηση Πληροφοριών συνεργάζονται με τη Διατμηματική Συμβουλευτική Επιτροπή Ραδιοφώνου η οποία διαχειρίζεται την ομοσπονδιακή χρήση του φάσματος.

5.3.1. Όρια ισχύος

Σύμφωνα με έρευνες το WiMAX μπορεί να λειτουργήσει σε 70 Mbps σε 30 μίλια πρέπει όμως να συμμορφώνεται με τους κανόνες σχετικά με τους περιορισμούς ισχύος για αυτή τη ζώνη αν φιλοξενείται σε μη αδειοδοτημένη συχνότητα. Σε μια ιδανική κατάσταση ένας καλός μηχανικός σχεδιάζει ένα μονοπάτι που θα έχει ακριβώς την απαραίτητη ισχύ για να φτάσουμε από το σημείο Α στο σημείο Β χωρίς εξασθένηση και με καλή αξιοπιστία. Ένας περιορισμός συμβαίνει στο σήμα στην περιοχή που έχει μελετηθεί καλά που έχει σαν αποτέλεσμα μειωμένες παρεμβολές και παροχή αποδοτικότερης χρήσης του φάσματος. Χρησιμοποιώντας

πολύ ισχύ θα καλύψουμε περισσότερη περιοχή απ' όση χρειάζεται και θα υπάρχουν παρεμβολές με άλλους χρήστες άλλων ζωνών συχνοτήτων.

5.3.2. Σχέση WiMAX με τμήμα 15 τομέας 247 της FCC

Αν κάποιος παροχέας υπηρεσιών ή κάποιος σταθμός εργασίας θα ήθελε να χρησιμοποιήσει μη αδειοδοτημένο φάσμα για την εφαρμογή της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX μετά από συνεννόηση με την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών θα αποτελούσε καλή ιδέα. Κάποια από τα σημεία που θα πρέπει να προσέξουν είναι τα εξής:

Πολυσημειακή ζεύξη:

Στους παροχείς υπηρεσιών WiMAX που θα ήθελαν να επικοινωνήσουν ή να λειτουργήσουν υπό αυτό το τμήμα, επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν ως 30 dBm ή 1 watt της Ισχύος Εξόδου του Πομπού με κεραία 6 dBi ήr 36 dBm ή αποτελεσματική ακτινοβολούμενη ισχύ 4 watt σε μια ισοτροπική κεραία. Η ισχύς εξόδου του πομπού χρειάζεται να μειωθεί κατά 1dB για κάθε dB κέρδους κεραίας πέρα τα 6 dBi.

Διασημειακή ζεύξη:

Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών προτιμά να χρησιμοποιεί κατευθυντικές κεραίες που ακτινοβολούν ισχύ προς μια κατεύθυνση τη φορά για να μειώσουν την παρεμβολή σε άλλες ζώνες. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών είναι περισσότερο επιεικής με τη διασημειακή ζεύξη απαιτώντας μόνο την ισχύ εξόδου του πομπού να μειωθεί κατά ένα τρίτο ενός dB αντί για ένα ολόκληρο dB σε περίπτωση πολυσημειακής ζεύξης.

Όσον αφορά στην ισχύ για κάθε 3 dB κέρδους κεραίας πέρα από τα 6 dBi ο πάροχος ασύρματης υπηρεσίας ιντερνέτ χρειάζεται να μειώσει την ισχύ εξόδου του πομπού κατά 1 dB κάτω του 1 watt. Για παράδειγμα η ισχύς σε μια κεραία 24 dBi είναι 18 dB πέρα της κεραίας 6 dBi.

5.3.3 Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών Τμήμα 15 Τομέας 407

Τι ακριβώς εφαρμόζεται από το τμήμα 15 στην ανάπτυξη της ζώνης WiMAX στο εύρος των 5 GHz θα συζητηθεί παρακάτω.

Πολυσημειακή ζεύξη:

Όπως φαίνεται στο σχήμα 21 η ζώνη Μη αδειοδοτημένης Εθνικής Υποδομής Πληροφοριών έχει διαιρεθεί σε τρία τμήματα. Η κατώτερη ζώνη η οποία ξεκινά από 5.15 5.15 GHz ως 5.25 GHz και έχει μέγιστο όριο ισχύος τα 50 mW. Αυτή η ζώνη συχνοτήτων είναι υπό κατασκευή και ορίζεται μόνο από τους κανόνες της Ομοσπονδιακής Επιτροπή Επικοινωνιών και το τμήμα κανονισμών 15.407 που αναφέρεται παρακάτω.

- Όποια συσκευή της Μη Αδειοδοτημένης Εθνικής Υποδομής Πληροφοριών που λειτουργεί στο εύρος ζώνης των 5.15GHz ως 5.25GHz θα χρησιμοποιεί κεραία ως πομπό που θα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της συσκευής.
- Ενώ εντός του εύρους ζώνης από 5.15GHz ως 5.25GHz οι συσκευής της Μη Αδειοδοτημένης Εθνικής Υποδομής Πληροφοριών που θα περιορίζονται μόνο για εσωτερική λειτουργία για να μειώσουν τους κινδύνους για επιβλαβή παρεμβολή στις λειτουργίες των Πολυκαναλιών Υπηρεσιών Πολυσημειακής Διανομής.

Διασημειακή ζεύξη

Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών δίνει κάποιο πλάτος για τις διασημειακές ζεύξεις στο τμήμα 15. Για τη συχνότητα στο εύρος ζώνης από 5.725GHz ωε 5.825GHz η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών επιτρέπει έξοδο ισχύος του πομπού 1 watt και ως 23 dBi κέρδος κεραίας χωρίς να μειώνει την έξοδο ισχύος του πομπού κατά 1 dB για κάθε 1 dB κέρδους κεραίας πέρα των 23 dBi.

Στο τμήμα 15 επιτρέπεται η χρήση οποιουδήποτε κέρδους κεραίας για διασημειακές λειτουργίες χωρίς να χρειάζεται να μειωθεί η έξοδος ισχύος του πομπού από ζώνη 5.725GHz σε 5.825GHz. **[1]**

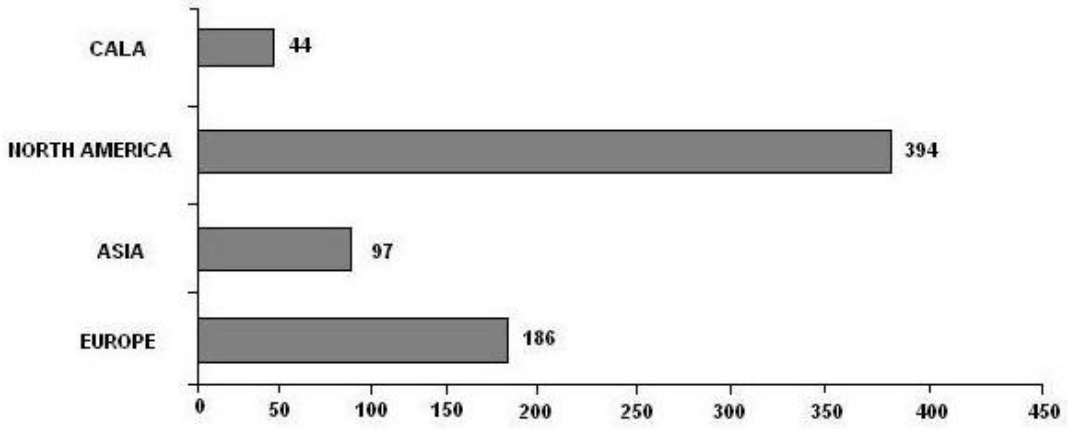
5.4 Άδειες και φάσμα WiMAX

5.4.1 Τοπική ανάλυση

Σήμερα παγκοσμίως υπάρχουν 720 άδειες για το φάσμα της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX. Η Βόρεια Αμερική προηγείται αριθμητικά στις άδεις ευρυζωνικής ασύρματης σύνδεσης WiMAX για το φάσμα και κατέχει 393 άδειες, ενώ η Ευρώπη έχει 184 άδειες φάσματος, 97 οι περιοχές του Ειρηνικού και τέλος η Καραϊβική και η Λατινική Αμερική. Σημειώστε ότι οι άδειες φάσματος των Ευρυζωνικών Εκπαιδευτικών Υπηρεσιών δεν περιλαμβάνονται στη μέτρηση των ΗΠΑ γιατί δεν κατανέμονται για εμπορικές εφαρμογές.

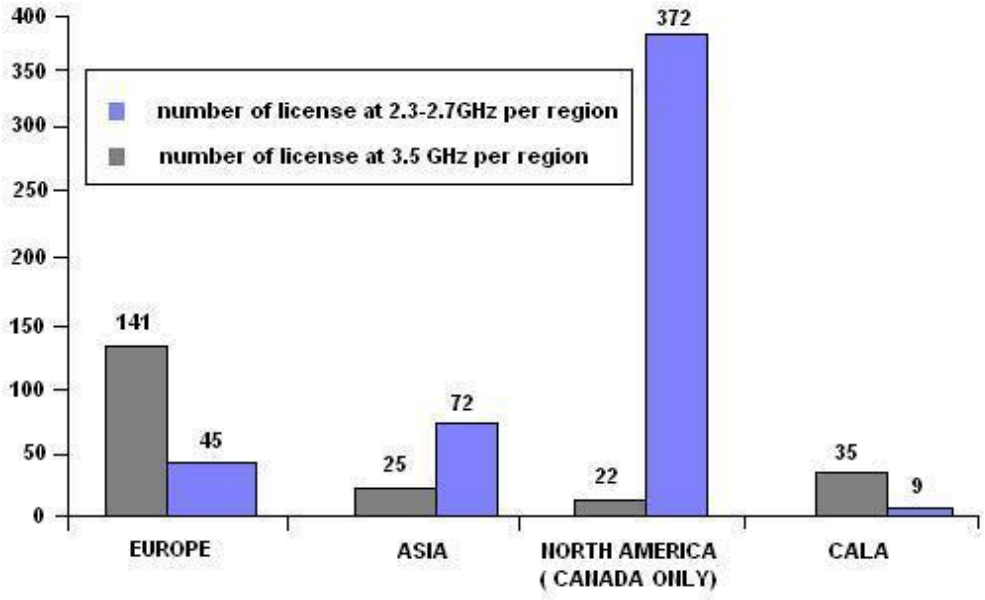
Όπως φαίνεται στο σχήμα 22 υπάρχει μια σαφής διαφορά που μπορεί να διαπιστωθεί μεταξύ Βορείου Αμερικής και Ευρώπης στον τύπο συχνοτήτων WiMAX που κατέχουν. Στο γράφημα της Βορείου Αμερικής 94% των συχνοτήτων έχουν κατανεμηθεί στο εύρος ζώνης από 2.3GHz ως 2.5GHz με τις εναπομείνουσες άδεις να κατανέμονται στο εύρος των 3.5 GHz το οποίο είναι διαθέσιμο μόνο στον Καναδά.

Στην Ευρώπη 76% των συχνοτήτων ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX έχουν κατανεμηθεί στη ζώνη των των 3.5 GHz. Οι περισσότερες από αυτές είναι άδειες 2.5GHz στην Ευρώπη που έχουν κατανεμηθεί στη Ρωσία.



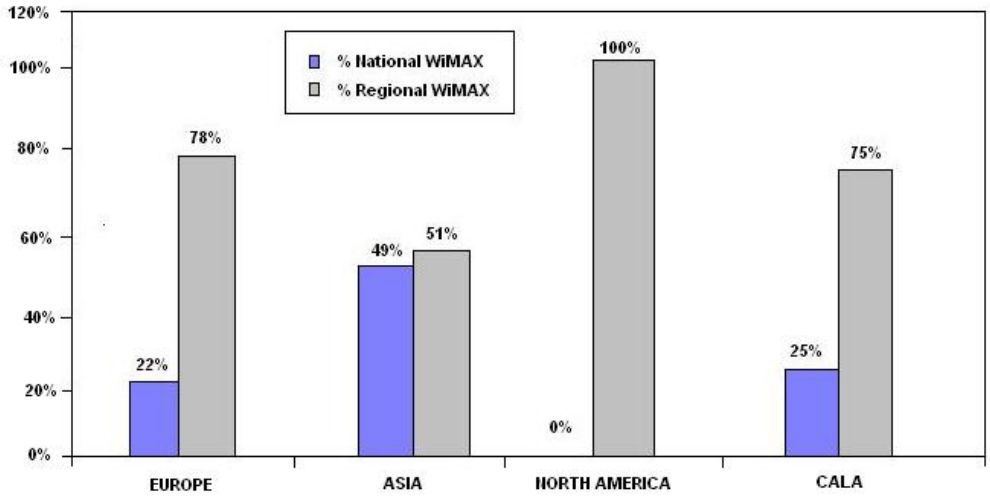
Εικόνα 18 Αδειοδοτήσεις BWA/WiMAX ανά τον κόσμο.

Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης οι συνδρομητές που έχουν άδεια θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη ζώνη των 3.5GHz για να παρέχουν μόνο σταθερές υπηρεσίες. Ενώ στην περιοχή του Ειρηνικού 74% των αδειών ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX έχουν κατανεμηθεί στη ζώνη από 2.3GHz ως 2.5GHz. Τέλος η κατάσταση της Καραϊβικής και της Λατινικής Αμερικής μοιάζει με της Ευρώπης που κατέχει 79% των αδειών που κατανέμονται στη ζώνη των 3.5GHz.



Εικόνα 19 Αριθμός δανειοδοτήσεων ανα περιοχή συχνοτήτων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 24 μπορούμε να πάρουμε τη Βόρεια Αμερική ως τέλειο παράδειγμα λόγω της κατανομής 100% των αδειών ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης WiMAX που ήταν τοπικές έναντι του 78% στην Ευρώπη και 71% στην Καραϊβική και τη Λατινική Αμερική.



Εικόνα 20 Τοπικές ή εθνικές καλύψεις σε ποσοστό αδειών

5.5 Χώρες που επιτρέπουν κινητικότητα για WiMAX στα 3.5 GHz

Εκτός από την Ευρώπη, η Αυστραλία είναι από τις λίγες χώρες στην οποία η Κινητή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση WiMAX επιτρέπει ζώνη συχνοτήτων στα 3.5 GHz. Ενώ στις περιοχές του Ειρηνικού, που καταλαμβάνουν τη δέυτερη θέση στις χώρες που επιτρέπουν την ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση WiMAX με συχνότητα 3.5 GHz, δύο χώρες, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία, αναμένονται να αποτελέσουν μια μεγάλη αγορά για το Κινητό WiMAX. Τέλος η Καραϊβική και η Λατινική Αμερική είναι σχετικά πίσω σε σύγκριση με τη Βενεζουέλα και τη Κολομβία που επιτρέπουν τη συχνότητα 3.5 GHz.

5.5.1 Ποσό φάσματος ανά φορέα και περιοχή BWA/WiMAX

Θα παρατηρήσουμε το συνολικό ποσό του φάσματος WiMAX που έχει αποκτηθεί από εταιρείες που έχουν άδειες ανά περιοχή. Οι φορείς παρουσιάζονται σε τρεις κύριες περιοχές που είναι η Βόρεια Αμερική, η δεύτερη είναι η Ευρώπη και τελευταία είναι η Καραϊβική και η Λατινική Αμερική. Το ποσό φάσματος για τη Βόρεια Αμερική ήταν στα 49MHz, 49MHz για την Καραϊβική και 42MHz για την Ευρώπη. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι από τον Καναδά το μέσο φάσμα είναι πολύ υψηλότερο και αποκτήθηκε από τις εταιρίες που έχουν άδειες. Η πραγματική ζώνη είναι περίπου 77MHz υψηλότερη από τις ΗΠΑ που χρησιμοποιούν 24MHz. Ενώ στην άλλη πλευρά του Ειρηνικού Ωκεανού έχουν κατά μέσο όρο περίπου 28MHz για κάθε φορέα. Λόγω μεγάλων αλλαγών στην κατανομή φάσματος στη συχνότητα από 2.3GHz ως 2.7GHz, γι' αυτό το λόγο λαμβάνουν υπόψη μόνο τη ζώνη 3.5GHz στη Βραζιλία και το Μεξικό. **[3]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ WIMAX

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του WiMAX είναι ότι υποστηρίζει τη διεκπεραιωτικότητα για όλα τα στιβαρά δεδομένα στην επικοινωνία. Θεωρητικά αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να υποστηρίξει το μέγιστο γύρω στα 75Mbps ανά κανάλι. Αλλά στην πραγματική απόδοση συστήματος θα είναι σχετικά μικρότερη γύρω στα 45Mbps ανά κανάλι για σταθερές ασύρματες ευρυζωνικές εφαρμογές. Κατά τη πραγματική μετάδοση θα υπάρξουν αλλαγές που θα εξαρτώνται από τις επιλογές των φορέων ανά πελάτη. Ενώ οι δυνατότητες σε βάση πελατών του WiMAX θα είναι λιγότερες σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου αλλά θα είναι πολύ καλύτερες από τις τεχνολογίες 3G.

Ένα πολύ κοινό σχήμα διαμόρφωσης στην επικοινωνία είναι η τετραδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης QPSK ενώ η διαμόρφωση πλάτους με ορθογωνισμό η οποία κατηγοριοποιείται ως 16 QAM και 64 QAM δείχνει ότι έχουν διαφορετικό ρυθμό δεδομένων που προσφέρει ποικίλο εύρος ζώνης ανάλογα το μέγεθος του καναλιού. Η τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης της ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας η οποία επί του παρόντος υποστηρίζει πολλαπλά σχήματα διαμόρφωσης τη φορά εξαρτάται από το εύρος ζώνης που απαιτεί από τους πελάτες που είναι στην εμβέλεια ενός κελιού να λαμβάνουν καλύτερο σήμα από τα πιο κοντινά υποκανάλια. Για παράδειγμα η διαμόρφωση πλάτους με ορθογωνισμό στην οποία ένας χρήστης τοποθετείται σε μεγαλύτερη κλίμακα θα λάβει σήμα ισχύος μέσω λίγων υπο-καναλιών χρησιμοποιώντας χαμηλότερο εύρος ζώνης τετραδικής διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης.

Η διεκπεραιωτικότητα του WiMAX εξαρτάται από τους παρακάτω επτά παράγοντες που είναι οι ακόλουθοι:

- Διαπόσταση καναλιών,
- Εντός καναλιού αριθμός δειγμάτων ή υπο-φερουσών σε ταχύ μετασχηματισμό Φουριέ,
- Υπό-φέρουσες που χρησιμοποιούνται ως πιλοτικά κανάλια,
- Υπο-φέρουσες που χρησιμοποιούνται ως κανάλια φύλακες,
- Συμβολική διάρκεια η οποία επίσης περιλαμβάνει την εσωτερική συμβολική διάρκεια φύλακα,
- Ρυθμοί διαμόρφωσης,
- Ρυθμοί κωδικοποίησης εμπροσθόδοτης διόρθωσης σφάλματος.

Η διαπόσταση καναλιών εξαρτάται από το φορέα που χρησιμοποιούμε διαπόσταση καναλιών 3.5MHz ως βάση του υπολογισμού μας. Η συχνότητα 3.5MHz και 7MHz περιλαμβάνεται

στη διαπόσταση καναλιών που έχει χρησιμοποιήσει ο φορέας WiMAX για τη ζώνη συχνοτήτων 3.5MHz. Ενώ το σχήμα πρόσβασης της συχνοδιαιρετικής αμφίδρομης επικοινωνίας 3.5MHz χρησιμοποιείται αν το σχήμα που θα χρησιμοποιηθεί είναι χρονοδιαιρετική αμφίδρομη επικοινωνία στα 7MHz.

Ξεκινώντας με το πρότυπο 802.16 της IEEE έχει γίνει επέκταση για να συμπεριληφθούν δείγματα από 128 ως 2048 σε ταχύ μετασχηματισμό Φουριέ εντός ενός καναλιού για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του χαμηλού εύρους ζώνης και να βελτιωθεί η απόδοση των καναλιών που έχουν υψηλό εύρος ζώνης ενώ η διαπόσταση μεταξύ της υπό-φέρουσας θα παραμένει σταθερή. Για παράδειγμα αν πάρουμε 256 δείγματα σε ταχύ μετασχηματισμό Φουριέ, από τη στιγμή που στο αρχικό τσιπ Intel 5110 του WiMAX περιλαμβάνονται 256 υπο-φέρουσες γι' αυτό το λόγο αυτές είναι ο αριθμός των υπό-φερουσών. Αν πάρουμε ένα κανάλι 3.5MHz έπειτα αυτό το κανάλι μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε μικρότερα υπό-κανάλια σε 256 δείγματα. Οι υπο-φέρουσες δρουν το ίδιο όπως οι συχνότητες στην πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας. Στην πραγματικότητα οι πολλαπλές προσβάσεις της ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας αποτελεί τρόπο πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας εκτός του ότι οι συχνότητες είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη και αυτό είναι γνωστό ως ορθογωνισμός για την μεγιστοποίηση της δυνατότητας ενός καναλιού να μεταφέρει δεδομένα. Στη δεξιά πλευρά και στην αριστερη πλευρά των πολλαπλών προσβάσεων ορθογωνικής διαίρεσης συχνοτήτων ένα μόνο κανάλι αποτελεί μηδενική υπο-φέρουσα που δεν μεταφέρει δεδομένα. Αυτά διαφυλάσσουν τη χρήση των καναλιών στα κανάλια επικοινωνίας για να αποφευχθούν οι παρεμβολές με κοντινότερες συχνότητες των καναλιών στα 3.5MHz. Το σύνολο των καναλιών φυλάκων είναι 56 και αναπτύσσονται σε ζώνη 3.5MHz στο WiMAX στο οποίο 17 κανάλια βρίσκονται στα δεξιά και 28 κανάλια στα αριστερά.

Εκτός από το κανάλι φύλακας υπάρχουν κι άλλα κανάλια που είναι γνωστά ως πιλοτικά κανάλια διότι συγχρονίζονται έτσι ώστε ο δέκτης να γνωρίζει επακριβώς τη συχνότητα που χρησιμοποιείται από το δέκτη στον οποίο μπορεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα και αποτελεί σημείο αναφοράς ότι το σήμα μετακινηθεί. Όταν το σήμα ταξιδεύει σε πολλαπλές διαδρομές τότε υπάρχει μετατόπιση στο χρόνο και ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση ότι η συχνότητα αλλάζει σήμα. Ένα σύνολο 8 πιλοτικών καναλιών χρησιμοποιείται βασικά στις πολλαπλές προσβάσεις ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας του Ταχέως Μετασχηματισμού Φουριέ που αναπτύσσεται στο WiMAX. Κατά τη μεταφορά των πραγματικών δεδομένων, τον κύριο ρόλο των αναλαμβάνουν 192 υπο-φέρουσεςστα αριστερά και ο πραγματικός ρυθμός δεδομένων μπορεί να καθοριστεί από τον ρυθμό σε μπώντ του σήματος. Κατά τη ψηφιακή μετάδοση σήματος αναφέρεται ως σύμβολο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφροά των

πληροφοριών σε μορφή bit και κάθε σήμα αποτελεί συνδυασμό τριών τμημάτων δηλαδή του πλάτους, της φάσης και της συχνότητας.

Οι έννοιες του ρυθμού ζώνης και του δυφιορρυθμού δεν διαφέρουν πολύ στην ασύρματη επικοινωνία. Κανονικά η διάρκεια σήματος μετράται ως bit ανά baud το οποίο βασικά περιγράδει το ρυθμό διαμόρφωσης. Αν υποθέσουμε ότι κάποιος έχει ένα σύστημα μετάδοσης που έχει ρυθμό 5 baud και ρυθμό διαμόρφωσης 16 bit ανά baud τότε ο ρυθμός bit είναι 80 bit ανά δευτερόλεπτο. Ο ρυθμός baud εξαρτάται από τη διάρκεια του συμβόλου που υπολογίζει πόσο σήμα έχει σταλεί από τη ραδιο-ζεύξη.

6.1 Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών στο WiMAX

Στην ασύρματη τεχνολογία WiMAX η οποία παρέχει ευρυζωνικά δεδομένα σε ρυθμό 3 bit ανά δευτερόλεπτο να Hz. Για να αυξήσουμε το εύρος και την αξιοπιστία του WiMAX το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει την τεχνολογία που είναι οι τεχνικές πολλαπλών κεραιών κάποιες από τις οποίες είναι ο κώδικας χώρου-χρόνου Alamouti, το προσαρμοστικό σύστημα κεραίας, και το Πολλαπλό ρεύμα εισόδου-εξόδου. Ενώ υπάρχουν πολλές διαμορφώσεις που ορίζονται στα πρότυπα 802.16 της IEEE θα πρέπει σ' αυτή την αναφορά να λάβουμε υπόψη την Ορθογωνική Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας διότι προσφέρει στιβαρότητα στη διάδοση πολλαπλής διαδρομής και είναι εύκολη στη χρήση για την αξιοποίηση της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση των τεχνικών πολλαπλών κεραιών έναντι των τεχνικών μονής κεραίας που είναι τα παρακάτω:

- Κέρδος κεραιοσυστοιχίας: Χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες μπορούμε να κερδίσουμε το σήμα το οποίο θα προστεθεί συνεκτικά.
- Κέρδος διαφορισμού: Χρησιμοποιώντας πολλαπλές διαδρομές μπορούμε να κερδίσουμε έτσι ώστε η πιθανότητα μιας διαδρομής να είναι σε κακή κατάσταση να μην επηρεάζει την ισχύ του σήματος. Το κέρδος διαφορισμού μπορεί να είναι πιο αποδοτικό αξιοποιώντας τεχνικές του πομπού ή του δέκτη για να αποτκήσουμε πολλαπλά αντίγραφα στο κανάλι διαλείψεων. Χρησιμοποιώντας αυτά τα σχήματα στο ασύρματο κανάλι διαλείψεων μπορούμε να βελτιώσουμε την απόδοση αυξάνωντας τη σταθερότητα της ισχύος σήματος στο δέκτη.
- Ομοκαναλική απόρριψη παρεμβολής (CCIR): αυτό το σχήμα χρησιμοποιείται για την απόρριψη των σημάτων αξιοποιώντας διαφορετικές εξόδους καναλιών για τις παρεμβολές.

Ένα σχήμα που συχνά χρησιμοποιείται για την απόκτηση τόσο κέρδους κεραιοσυστοιχίας και διαφορισμού για να μεγιστοποιηθεί ο συνδυασμένος λόγος, αυτός ο συνδυασμένος λόγος των πολλαπλών διαδρομών δίνει το μέγιστο Σημαντοθορυβικό λόγο SNR. Από την άλλη πλευρά η επιλογή διαφορισμού δίνει κέρδος διαφορισμού όπου τα σήματα δεν συνδυάζονται αλλά επιλέγεται από την κεραία εκείνο που θα έχει την καλύτερη απόδοση.

Για το Προσαρμοστικό Σύστημα Κεραίας τα πολλαπλά σήματα που αλληλοκαλύπτονται μπορούν να μεταδοθούν χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα το SDMA το οποίο αποτελεί τεχνική που προωθεί τις τρεις διαστάσεις για τη μετάδοση πολλαπλών κυμάτων που διαχωρίζονται χωρικά. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου χρησιμοποιεί το κέρδος κεραιοσυστοιχίας, το κέρδος διαφορισμού και την ομοκαναλική απόρριψη παρεμβολής.

Για πολλαπλά συστήματα εισόδου και εξόδου ρεύματος αναπτύσσεται η πολυπλεξία των διαστάσεων χώρου. Η χωρική πολυπλεξία στέλνει κωδικοποιημένα τετραδικά δεδομένα τα οποία διοχετεύονται σε διαφορετικές διαστάσεις χώρου. Μερικές από τις τεχνικές όπως η Blast η οποία δεν απαιτεί κανένα είδος ανατροφοδότησης ενώ οι άλλες απαιτούν διανυσματική κωδίκευση στους τρόπους λειτουργίας του καναλιού. Στις ακριβές αδειοδοτημένες ζώνες που χρησιμοποιούν WiMAX προτιμούν πολλαπλά συστήματα εισόδου και εξόδου και Προσαρμοστικά συστήματα κεραίας λόγω του ότι έχουν υψηλότερη απόδοση και ελάχιστη παρεμβολή κι έτσι αυτό το πράγμα τα καθιστά ελκυστικά έναντι των ακριβότερων τεχνικών.

Όσον αφορά στο WiMAX το απλούστερο πολλαπλό σύστημα εισόδου-εξόδου είναι το Πολλαπλό σύστημα εισόδου και μονής εξόδου που ονομάζεται κώδικας Alamouti. Σε αυτό το σύστημα απαιτούνται δύο κεραίες στο σταθμό βάσης. Ο κώδικας Alamouti μεταδίδει το μέγιστο κέρδος διαφορισμού και για τις δύο κεραίες. Η δεύτερη τεχνική μετάδοσης με κέρδος διαφορισμού είναι γνωστή ως κυκλική καθυστέρηση διαφορισμού. Το κύριο πλεονέκτημα της μετάδοσης διαφορισμού μπορεί να αναπτυχθεί στο σταθμό βάσης όπου μπορούν να μειωθούν τα κόστη της χρήσης πολλαπλών κεραιών. Με τις τεχνικές ορθογωνικής πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερη διεκπεραιωτικότητα και εύρος από τη χρήση της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών.

Θα ξεκινήσουμε τη συζήτηση για το διαφορισμό κεραιών. Η γεωμετρία είναι πολύ σημαντική για την ακύρωση των ραδιο-σημάτων. Μπορούμε να λύσουμε αυτό το πρόβλημα δραστικά χρησιμοποιώντας δύο ή περισσότερες κεραίες που έχουν απόσταση στο μισό του μήκους κύματος. Όταν ο δέκτης λαμβάνει το σήμα μπορεί να επιλέξει αυτό με την καλύτερη ποιότητα σε σχέση με κάποιο άλλο ελέγχοντας και τις δύο κεραίες.

Το μειονέκτημα της χρήσης αυτής της τεχνικής είναι ότι έχουμε περισσότερες κεραίες και περισσότερο πολύπλοκο σχεδιασμό δεκτών. Κάποιοι που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της διάδοσης σήματος με πολλαπλή διαδρομή, χρησιμοποιούν ένα προσαρμοστικό εξισορροπητή καναλιού. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Προσαρμοστικό εξισορροπητή καναλιού με ή χωρίς διαφορισμό κεραίας. Επί του παρόντος το WiMAX υποστηρίζει ποικίλες πολλαπλές τεχνικές κεραίας στις οποίες περιλαμβάνονται η κωδικεύση χώρου-χρόνου, τα συστήματα πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου ρεύματος κεραιών και το Προσαρμοστικό Σύστημα Κεραίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

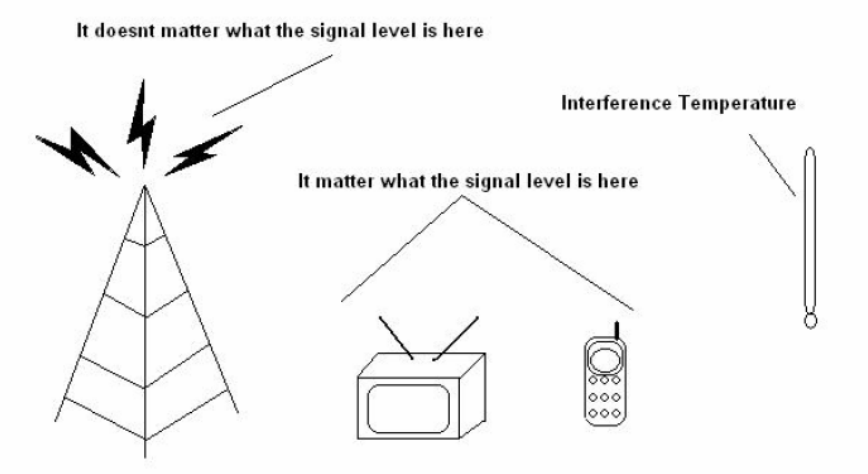
Με την ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών όλο και περισσότεροι χρήστες συνδέονται σε δίκτυα στην ίδια συχνότητα με αποτέλεσμα την δημιουργία παρεμβολών οδηγώντας την υπάρχουσα τεχνολογία στα όρια της.

Μπορεί σωστά να θεωρήσει κανείς ότι το πρόβλημα γιγαντώνεται στις ελεύθερες συχνότητες γιατί πάρα πολλοί πάροχοι υπηρεσιών χρησιμοποιούν τις ελεύθερες συχνότητες καθώς το κόστος είναι σημαντικά μικρότερο. Με την ανάπτυξη του WiMAX όμως το πρόβλημα αντιμετωπίζεται δραστικά. Από το 1927 και μετά το πρόβλημα των παρεμβολών αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της ατζέντας των ομοσπονδιακών ρυθμιστών ραδιοφάσματος των ΗΠΑ. Η νομοθετική ρύθμιση του 1927 που αφορούσε τις ασύρματες επικοινωνίες επιτρέπει πλέον στην Ομοσπονδιακή Επιτροπή Ραδιοεπικοινωνιών να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των παρεμβολών. Η νομοθετική ρύθμιση αυτή εστιάζει σε τρείς παραμέτρους, η πρώτη είναι η τοποθεσία, η δεύτερη είναι η συχνότητα και η τρίτη είναι η ισχύς. [1]

Η ομάδα εργασίας προστασίας παρεμβολών (Interference Protection Working Group) της υποομάδας διαχείρισης φάσματος (Spectrum Task Force) της ομοσπονδιακής επιτροπής επικοινωνιών (Federal Communication Commission – FCC) προτείνει την χρήση μετρήσεων θερμοκρασίας παρεμβολών για την ανάλυση και τον έλεγχο των παρεμβολών. Η μέτρηση της θερμοκρασίας παρεμβολών είναι ένας τρόπος μέτρησης της ισχύος την οποία λαμβάνει μια κεραία και περνάει στον δέκτη. Για την ακρίβεια είναι η ισοδύναμη με την ισχύ θερμοκρασία σε μια κεραία λήψης ανά μονάδα εύρους και μετράτε σε βαθμούς Kelvin.

Η θερμοκρασία παρεμβολών μπορεί να μετρηθεί με την μέτρηση της ισχύος σε Watt στην κεραία και διαιρώντας το αποτέλεσμα αυτό με το εύρος της επικοινωνίας σε hertz και με την σταθερά του Boltzman (1,3807 Watt*sec/Kelvin). Εναλλακτικά μπορεί να υπολογιστεί σαν το γινόμενο της πυκνότητας ροής ισχύος (Watts/m^2) στην κεραία λήψης με την ενεργή επιφάνεια της κεραίας (m^2) διαιρώντας το με το εύρος συχνοτήτων (hertz) και την σταθερά του Boltzman. Η πυκνότητα της θερμοκρασίας παρεμβολή μπορεί να μετρηθεί με μία κεραία αναφοράς η οποία έχει γνωστό κέρδος.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 21 η θερμοκρασία παρεμβολής μπορεί να μετρηθεί ανεξάρτητα με το επίπεδο της ισχύος του σήματος.

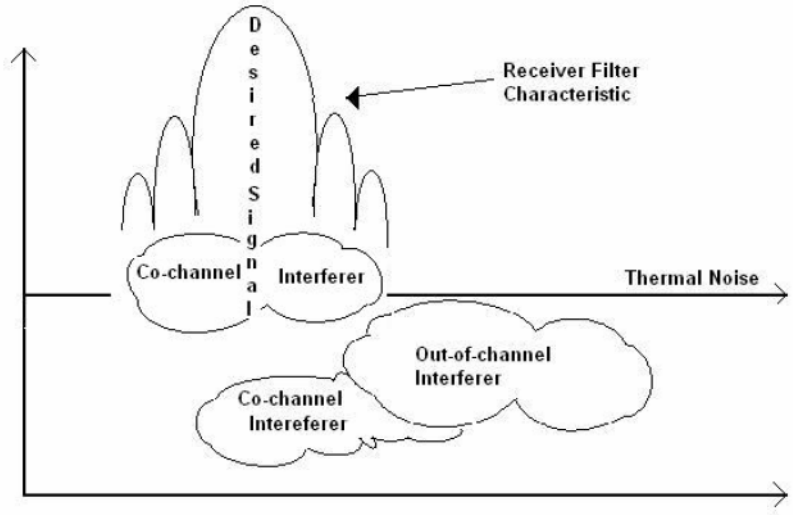


Εικόνα 21 Θερμοκρασία παρεμβολής

Οι παρεμβολές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες

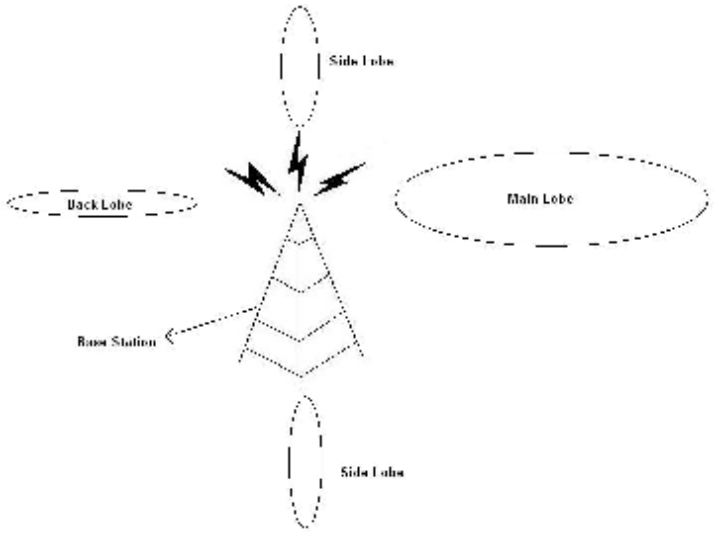
- Ομοκαναλική Παρεμβολή (Co-Channel Interference – CoCh) (εσωτερική παρεμβολή)
- Εξωκαναλική Παρεμβολή (Out-of-Channel Interference) (Εξωτερική Παρεμβολή)

  Αυτοί οι τύποι παρεμβολής φαίνονται στο σχήμα 22. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ένα εύρος ζώνης ενός σήματος του οποίου διακρίνεται η ισχύς και παράλληλα διακρίνουμε τις παρεμβολές που δέχεται. Έχει ενδιαφέρον η παρατήρηση της ομοκαναλικής παρεμβολής με το εύρος της παρεμβολής να μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το εύρος καναλιού χωρίς να είναι απαραίτητα ίσο. Εάν το εύρος της παρεμβολής είναι μεγαλύτερο από το εύρος του καναλιού τότε μόνο ένα τμήμα της ισχύος του θα επηρεάσει την λήψη εφόσον το σήμα περνά από κάποιο φίλτρο. Σε αυτήν την περίπτωση η παρεμβολή μπορεί να μετρηθεί αν μετρήσουμε την ισχύ στην κεραία λήψης και τη πολλαπλασιάσουμε με τον λόγο του εύρους του φίλτρου προς το εύρος της παρεμβολής.



Εικόνα 22 Τύποι παρεμβολών

Στο σχήμα 31 μπορούμε να δούμε επίσης και ένα παράδειγμα εξωκαναλικής παρεμβολής. Η συνολική στάθμη της παρεμβολής υπολογίζεται με την χρήση δύο παραμέτρων. Η πρώτη παράμετρος είναι το τμήμα εκείνο των πλαγίων λοβών του πομπού το οποίο περιέρχεται στην είσοδο του ζωνοπερατού φίλτρου και συμπεριφέρεται σαν ομοκαναλική παρεμβολή. Η ομοκαναλική παρεμβολή δεν μπορεί να αφαιρεθεί από το σήμα που λαμβάνει ο δέκτης και η στάθμη του υπολογίζεται μόνο στον πομπό. Όταν ορίζουμε την πυκνότητα φασματικής ισχύος των πλάγιων λοβών και του εξαγόμενου θορύβου σε σχέση με τον κύριο λοβό ακτινοβολίας τότε η παρεμβολή μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση όπως και με τον υπολογισμό της ομοκαναλικής παρεμβολής με την χρήση ενός επιπλέον παράγοντα εξασθένησης λόγο της εξασθένησης της ενέργειας του φάσματος συναρτήσει με κύριο λοβό του παρεμβαλόμενου σήματος. Περισσότερες λεπτομέρειες για τους λοβούς ακτινοβολίας βλέπουμε στο σχήμα 23.



Εικόνα 23 Είδη λοβών

Το φίλτρο του δέκτη δεν μπορεί να κόψει τελείως το τον κύριο λοβό της παρεμβολής. Δεν υπάρχει απόλυτα ιδανικό φίλτρο και πιθανός κάποιο κομμάτι τις ισχύος ιδιαίτερα από το κομμάτι τέλους του εύρους της παρεμβολής να περάσει και να προστεθεί στην ομοκαναλική παρεμβολή. Η στάθμη της παρεμβολής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα παράγοντα ο οποίος προκύπτει από το σήμα το οποίο απορρίπτεται από το φίλτρο του δέκτη και ονομάζεται απόδοση αποκοπής. Και αυτού του είδους η παρεμβολή υπολογίζεται σχετικά εύκολα με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο υπολογίζεται και η ομοκαναλική παρεμβολή αλλά με την χρήση ενός ακόμα παράγοντα εξασθένησης. Αυτή είναι η δεύτερη παράμετρος.

7.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Υπάρχουν τέσσερις κύριες αιτίες εξωτερικής παρεμβολής οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από τους μηχανικούς κατά την σχεδίαση του συστήματος.

- Παρεμβολή Καναλιού/Ζώνης/Συχνότητας
- Απόσταση προς το απαιτούμενο σήμα (όσο μικρότερη απόσταση τόσο καλύτερα) ή απόσταση προς την παρεμβολή (όσο μεγαλύτερη απόσταση τόσο καλύτερα)
- Στάθμη Ισχύος (όσο μικρότερη τόσο καλύτερα)
- Τεχνολογία της κεραίας

7.1.1 ΑΛΛΑΖΟΝΤΑΣ ΚΑΝΑΛΙΑ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ISM ΚΑΙ UN-NII

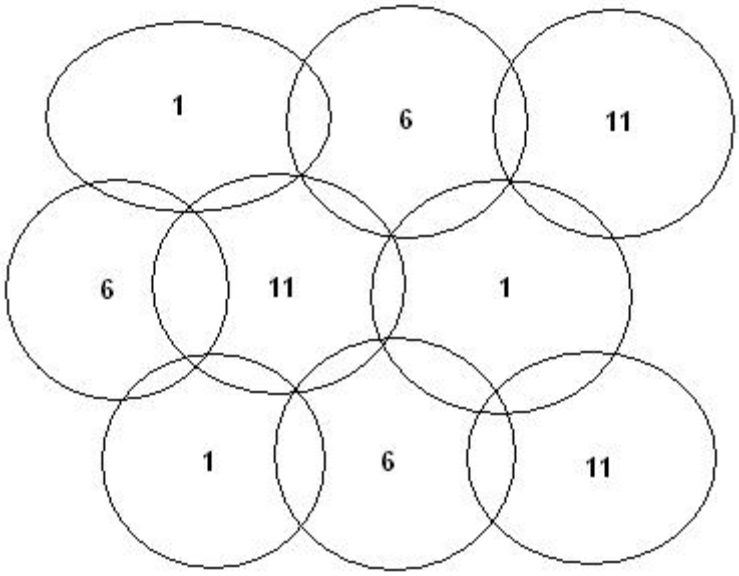
Η συχνότητες στις οποίες λειτουργεί το WiMAX κυμαίνονται από 2GHz έως 66GHz. Οι πάροχοι υπηρεσιών προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν τις χαμηλοτερες και χαμηλού κόστους συχνότητες και προσπαθούν να αποφύγουν με κάθε τρόπο τις παρεμβολές από τους άλλους πάροχους. Ο κύριος λόγος χρήσης αδειοδοτημένου φάσματος είναι η αποφυγή της παρεμβολής μεταξύ δύο εκπομπών.

Η FCC έχει πλέον μια νέα πολιτική η οποία ορίζει ότι οι κάτοχοι φάσματος μπορούν να πουλήσουν αχρησιμοποίητα κομμάτια του σε τρίτους. Οι προδιαγραφές για βιομηχανική, επιστημονική, ιατρική και ελεύθερη χρήση του φάσματος ορίζουν πλήθος καναλιών και συχνοτήτων. Κατά την διάρκεια της εκπομπής αν προκύψει παρεμβολή σε κάποιο κανάλι δίνεται η δυνατότητα μεταπήδησης σε κάποιο άλλο το οποίο δεν επηρεάζεται από παρεμβολές.

7.1.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Ο έξυπνος τρόπος εκπομπής προϋποθέτει την εύρεση της χρυσής τομής μεταξύ της απόστασης και της ισχύος ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη. Στις τηλεπικοινωνίες ο προϋπολογισμός ζεύξης είναι πολύ σημαντικός και περιέχει όλα τα κέρδη και τις απώλειες της τηλεπικοινωνιακής αλυσίδας. Ο προϋπολογισμός ζεύξης υπολογίζει εκείνη ακριβώς την ισχύ εκπομπής που χρειάζεται το σύστημα για να εκπέμψει με ένα συγκεκριμένο λόγο σήματος προς θόρυβο ώστε να επιτευχθεί ο προβλεπόμενος λόγος δυφιακών σφαλμάτων.

Στο WiMAX εάν έχουμε τοπολογία wman και η πηγή σήματος είναι σε μεγάλη απόσταση τότε δεν θα υπάρχει παρεμβολή. Σε αυτήν την περίπτωση το παρεμβαλλόμενο σήμα θα είναι πολύ εξασθενημένο ώστε να προκαλέσει σημαντική παρεμβολή. Από την άλλη πλευρά αν ο πομπός είναι σε πολύ μεγάλη απόσταση από τον δέκτη το λαμβανόμενο σήμα είναι επίσης πολύ εξασθενημένο άρα και δεκτικότερο στην παρεμβολή και σε μερικές περιπτώσει η παρεμβολή είναι ισχυρότερη από το ωφέλιμο σήμα. Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζουμε ένα κυψελοειδές δίκτυο και τον τρόπο με τον οποίο επαναλαμβάνονται τα κανάλια.



Εικόνα 24 Εναλλαγή καναλιών

7.1.3 ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΣΧΥ

Η ισχύς της στάθμης του κύριου και του παρεμβαλόμενου σήματος πρέπει να λαμβάνεται παντα υπόψη. Εάν η στάθμη σήματος της παρεμβολής είναι αρκετά ισχυρή και πλησιάζει την στάθμη του κύριου σήματος τότε θα έχουμε σίγουρα προβλήματα παρεμβολής. Η απλούστερη λύση είναι η αύξηση της ισχύος στον πομπό έτσι ώστε να υπερκαλύπτει την παρεμβολή. Ο μόνος ίσως περιορισμός που υπάρχει είναι ότι οι πάροχοι δεν πρέπει να δημιουργούν παρεμβολές στο ίδιο ή σε άλλα αδειοδοτημένα τμήματα του φάσματος.

7.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΟΜΟΚΑΝΑΛΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Μερικές φορές σε ένα ασύρματο δίκτυο το ίδιο το δίκτυο παράγει παρεμβολές. Η σχεδίαση ενός δικτύου το οποίο δεν θα έχει παρεμβολές είναι επίπονη εργασία. Η κύρια πηγή παρεμβολής σε αυτήν την περίπτωση είναι ο θόρυβος καναλιού και η πολυδιαδρομική παρεμβολή.

7.2.1 ΠΟΛΥΔΙΑΔΡΟΜΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΔΙΑΛΕΙΨΗΣ

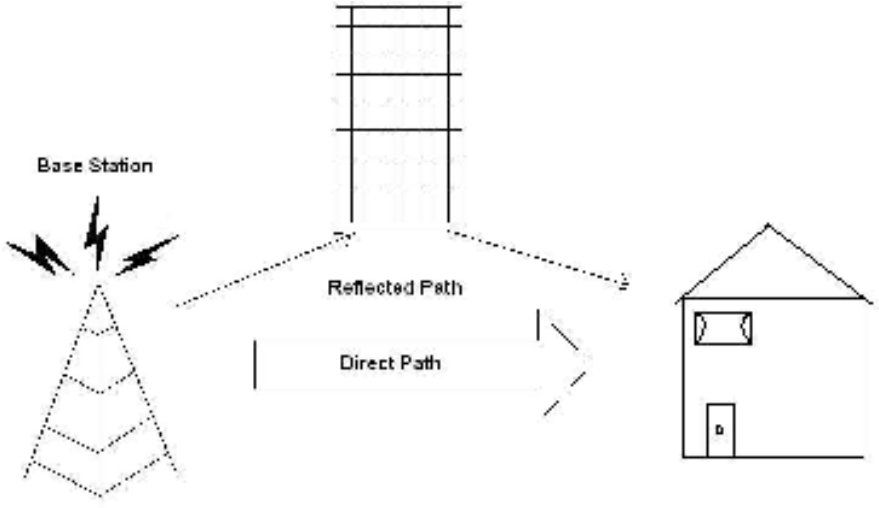
Η πολλαπλή διαδρομή είναι ένα φαινόμενο που προκύπτει όταν το ίδιο σήμα από ένα πομπό φτάνει στον δέκτη ακολουθώντας μια διαφορετική διαδρομή με χρονική καθυστέρηση και επιδρώντας αρνητικά στην λήψη. Το φαινόμενο της εξασθένησης της κύριας λήψης λόγω των πολυδιαδρομικών παρεμβολών ονομάζεται διάλειψη. Αυτό συμβαίνει γιατί τα σήματα ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές άρα δεν είναι στην ίδια φάση όταν φτάνουν στον δέκτη όπου και ακυρώνουν το ένα το άλλο. Για να μπορέσει το σύστημα να ξεπεράσει το πρόβλημα αυτό μπορεί να χρειαστεί η αύξηση της ισχύος εκπομπής. Η ισχυρή διάλειψη λόγω πολλαπλών διαδρομών μπορεί να οδηγήσει την καταστολή του σήματος κατά έως και 30 dB. Η σχεδίαση ενός συστήματος που αντιμετωπίζει τέτοιο πρόβλημα είναι πολύ δύσκολη.

7.2.2. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ OFDM ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ

Η ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας είναι πολύ χρήσιμη στην αντιμετώπιση του προβλήματος των παρεμβολών στο WiMAX ειδικά στην αντιμετώπιση περιπτώσεων πολλαπλών διαδρομών.

Σε WMAN αρχιτεκτονικής με χρήση της OFDM η αντιμετώπιση των παρεμβολών λόγω των πολλαπλών διαδρομών είναι πρόκληση. Όταν η εκπεμπόμενη ενέργεια σήματος ανακλάται σε αντικείμενα κατά την διαδρομή της τότε παρατηρείται παρεμβολή στον δέκτη. Στο σχήμα 34 διακρίνεται μία περίπτωση παρεμβολής από πολλαπλές διαδρομές. Στον δέκτη το ανακλώμενο σήμα από μια άλλη διαδρομή φτάνει με αλλαγμένο όσο αναφορά στην φάση, στο πλάτος και καθυστερημένο χρονικά. Στον δέκτη υπάρχει ένα φίλτρο το οποίο διαμορφώνει το λαμβανόμενο σήμα στο πεδίο συχνότητας του. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι ο δέκτης λαμβάνει σήματα τα οποία είναι εξασθενημένα ή και κάποια τα οποία φαίνονται ενισχυμένα.

Ο δέκτης έχει στην διάθεση του πολλές φορές το ίδιο σήμα στο πεδίο του χρόνου με κάθε σήμα να έχει και διαφορετική χρονική καθυστέρηση. Αν υπάρχει χρονική διαφορά μεταξύ δύο πιθανών διαδρομών τότε τα διαφορετικά σήματα αλληλοκαλύπτονται ή αναμιγνύονται και αναπτύσσουν διασυμβολική παρεμβολή. Άρα η σχεδίαση ασύρματων δικτύων σε αστικές περιοχές ή σε κλειστούς χώρους γίνεται με βάση με τα λάθη ή την παραμόρφωση του σήματος στον αποδιαμορφωτή.

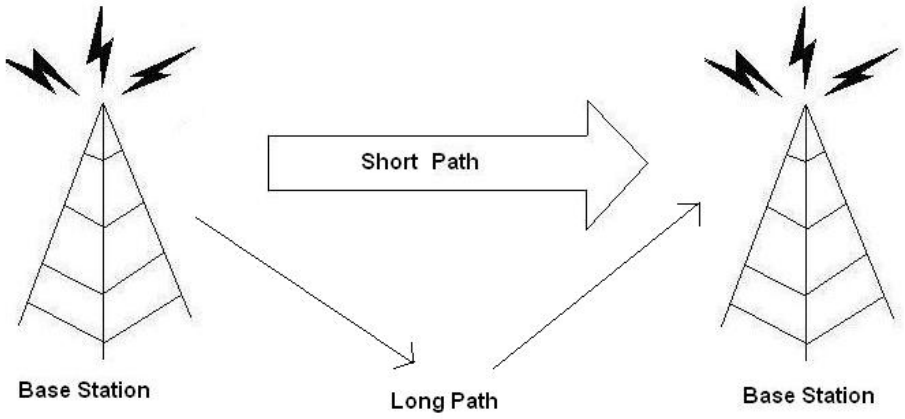


Εικόνα 25 Ανακλάσεις σήματος

Η OFDM βασίζεται στην χρήση υποφορέων στενού εύρους. Οι υποφορείς που βρίσκονται σε περιοχές συχνοτήτων στις οποίες η πολυδιαδρομική παρεμβολή είναι σημαντική θα έχουν σημαντικη εξασθένηση σήματος σε τέτοια περιβάλλοντα. Οι πληροφορίες που εκπέμπονται

σε αυτούς τους υποφορείς έχουν μεγαλύτερο ποσοστό λαθών λόγω της χαμηλής ισχύος που λαμβάνεται.

Επίσης η αξιοπιστία και η στιβαρότητα της OFDM μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας αλγορίθμους όπως οι αλγόριθμοι διόρθωσης λαθών. Στο σχήμα 26 βλέπουμε την διασυμβολική παρεμβολή.



Εικόνα 26 Διασυμβολική παρεμβολή

7.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΔΙΑΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (INTER-SYMBOL INTERFERENCE – ISI)

Η διασυμβολική παρεμβολή προκύπτει όταν ένα σήμα αναμειγνύεται με ένα προηγούμενου χρόνου σήμα ίδιας συχνότητας λόγω των πολλαπλών διαδρομών. Η OFDM αντιμετωπίζει εύκολα τέτοιου είδους παρεμβολές με το να δημιουργήσει ένα χρονικό διάστημα προφύλαξης (Guard Interval) το οποίο είναι περιοδικό ανάμεσα στα σήματα. Το χρονικό διάστημα προφύλαξης είναι ίδιο με το αρχικό σήμα αλλά δεν περιέχει πληροφορίες.

Επειδή ακριβώς το χρονικό διάστημα προφύλαξης σαν σήμα δεν περιέχει πληροφορίες ο δέκτης το αγνοεί και το διαχωρίζει από τα χρήσιμα σήματα που έχει λάβει από τους υποφορείς. Εάν το χρονικό αυτό διάστημα ρυθμιστεί να είναι μεγαλύτερο από οποιαδήποτε χρονική επικάλυψη τότε η ISI μπορεί να εξαληφθεί. Εάν το χρονικό διάστημα προφύλαξης αφαιρεθεί από ένα σύστημα τότε υπάρχει η πιθανότητα ο θόρυβος να καταστείλει το χρήσιμο σήμα στον δέκτη.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το χρονικό αυτό διάστημα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερο για να μην επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Αν το χρονικό διάστημα προφύλαξης είναι μεγάλο τότε επηρεάζεται η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων καθώς κατά την διάρκεια της χρονική προφύλαξης δεν μεταφέρονται δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ WIMAX ΣΑΝ ΟΠΙΣΘΟΖΕΥΚΤΙΚΟ

Επειδή το WiMAX υποστηρίζει πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, έχει χαμηλή καθυστέρησης (latency) και υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσιών (QoS) θα βρεί πολλές εφαρμογές. Μία από τις πολλές εφαρμογές είναι και η χρήση του σαν οπισθοζευκτικό. Το WiMAX .έχει στα πλεονεκτήματα του την μεγάλη εμβέλεια η οποία είναι της τάξης των χιλιομέτρων, την μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και τέλος την αντοχή του στην παρεμβολή η οποία είναι και το σημαντικότερο πλεονέκτημα του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οπισθοζευκτικό και σε αστικά περιβάλλοντα αλλά και σε περιβάλλοντα τα οποία έχουν πολύ αραιή δόμηση αλλά πυκνότερη βλάστηση όπως δέντρα.

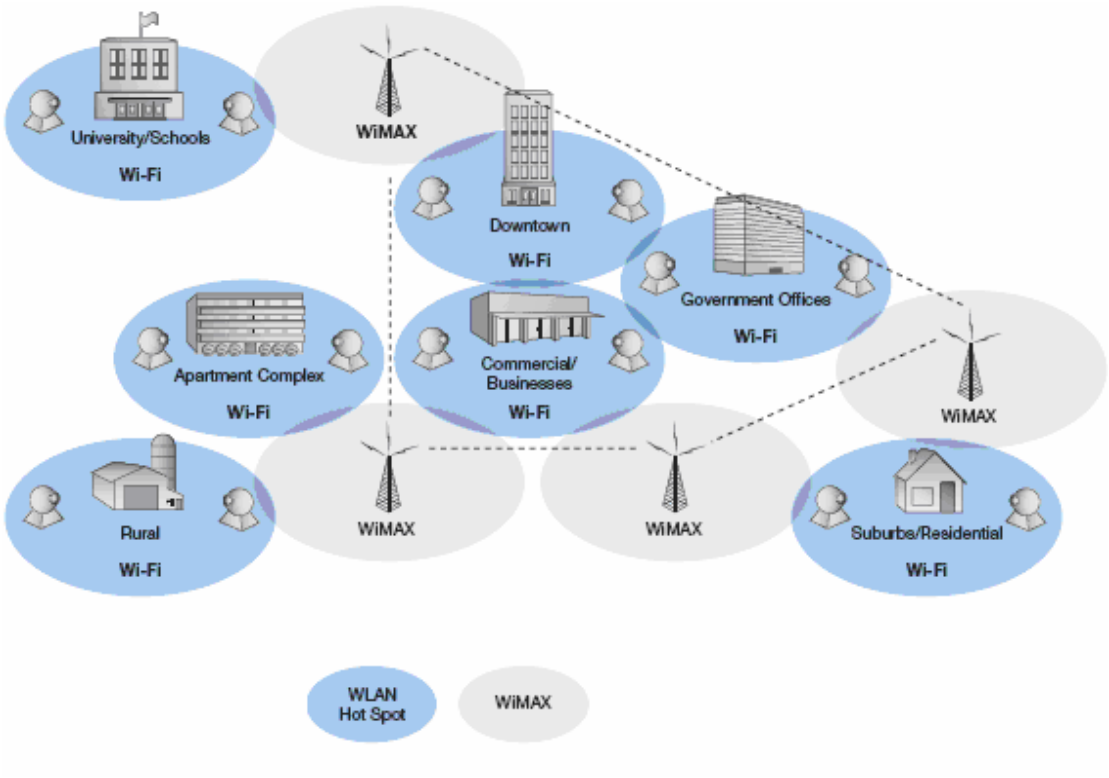
8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ WIFI

Σε πολλές περιοχές ειδικά τουριστικές περιοχές βλέπουμε τους δήμους να προσφέρουν δωρεάν πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα με σκοπό να εξυπηρετήσουν τους τουρίστες. Για τα σημεία αυτά θα πρέπει να γίνουν μόνιμες εγκαταστάσεις που σε πολλές περιπτώσεις επηρεάζουν και το τοπίο. Ειδικά σε αρχαιολογικούς χώρους εκεί που δεν μπορεί κανείς να εγκαθιστά συσκευές ανεξέλεγκτα η ανάπτυξη ενός ασυρμάτου δικτύου δεν ήταν ποτέ εύκολη. Σε κάθε σημείο πρόσβασης πέρα από την τροφοδοσία απαραίτητη είναι η χρήση καλωδίων μεταφοράς δεδομένων ή μικροκομματικών ζεύξεων οι οποίες απαιτούν ρύθμιση.

Με την χρήση του WiMAX σαν οπισθοζευκτικό κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο. Οι εγκαταστάσεις δεν θα χρειαζόταν να είναι μόνιμες άρα επιτρέπεται η εγκατάσταση τους σε αρχαιολογικούς χώρους. Ένα τέτοιο σύστημα θα ήταν δυναμικά αναπτυσόμενο και ρυθμιζόμενο ανάλογα με τις ανάγκες και φυσικά στις περιπτώσεις που χρησιμοποιεί κάποιος τις χαμηλες συχνότητες το κόστος είναι μικρότερο.

Επίσης ένα τέτοιο σύστημα βρίσκει εφαρμογή σε κατασκηνώσεις, σχολεία και πανεπιστήμια που υπάρχουν πολλά διάσπαρτα σημεία πρόσβασης και σε ανοιχτές εκθέσεις εξαλείφοντας την ανάγκη για την δημιουργία δικτύου δομημένης καλωδίωσης.

Η δομή ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο σχήμα όπως μπορεί να εφαρμοστεί σε μία μικρή πόλη.



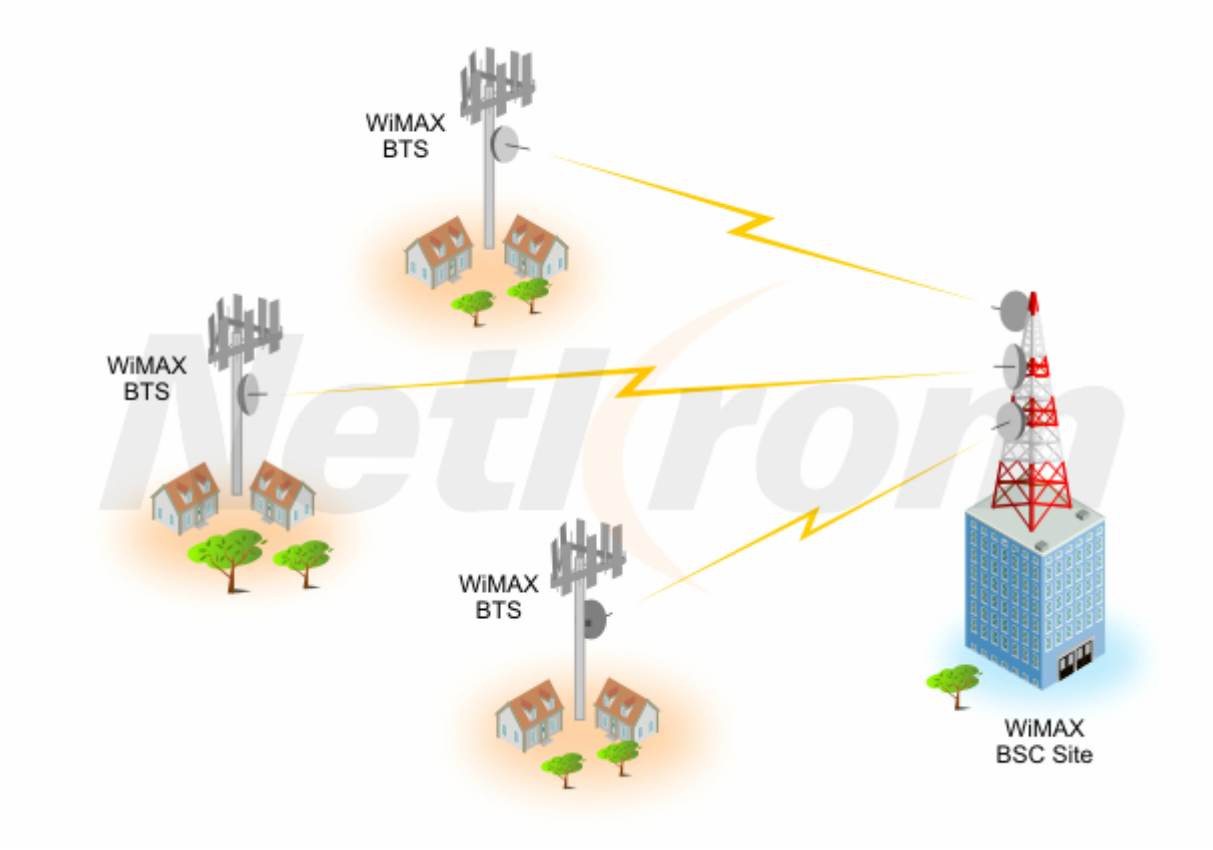
Εικόνα 27 Χρήση του WiMAX σαν οπισθοζευκτικό σε μία πόλη

8.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΜΙΑΣ

Για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας το WiMAX θα μπορούσε να είναι μία συμπληρωματική λύση στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις δίνοντας μεγαλύτερο εύρος με μικρότερο κόστος. Ένα συμπληρωματικό WiMAX δίκτυο που λειτουργεί παράλληλα με τον υπάρχον εξοπλισμό μπορεί να δώσει ως και την διπλάσια χωρητικότητα με μέρος μόνο του κόστους.

Άλλη μία εφαρμογή είναι η ανάπτυξη μικρών σταθμών βάσης σε περιοχές οι οποίες καλύπτονται δύσκολα λόγο μορφολογίας εδάφους ή λόγο αριθμού χρηστών και οι οποίοι θα επικοινωνούν με WiMAX μεταξύ τους. Επειδή οι σταθμοί αυτοί δεν έχουν την ανάγκη μόνιμης εγκατάστασης και εγκαθίστανται πολύ πιο εύκολα από ότι ένα σύστημα βασιζόμενο σε μικροκυματικές ζεύξεις το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι δυναμικό και να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες (προσθήκη σταθμών, αφαίρεση σταθμών και μετακίνηση σταθμών).

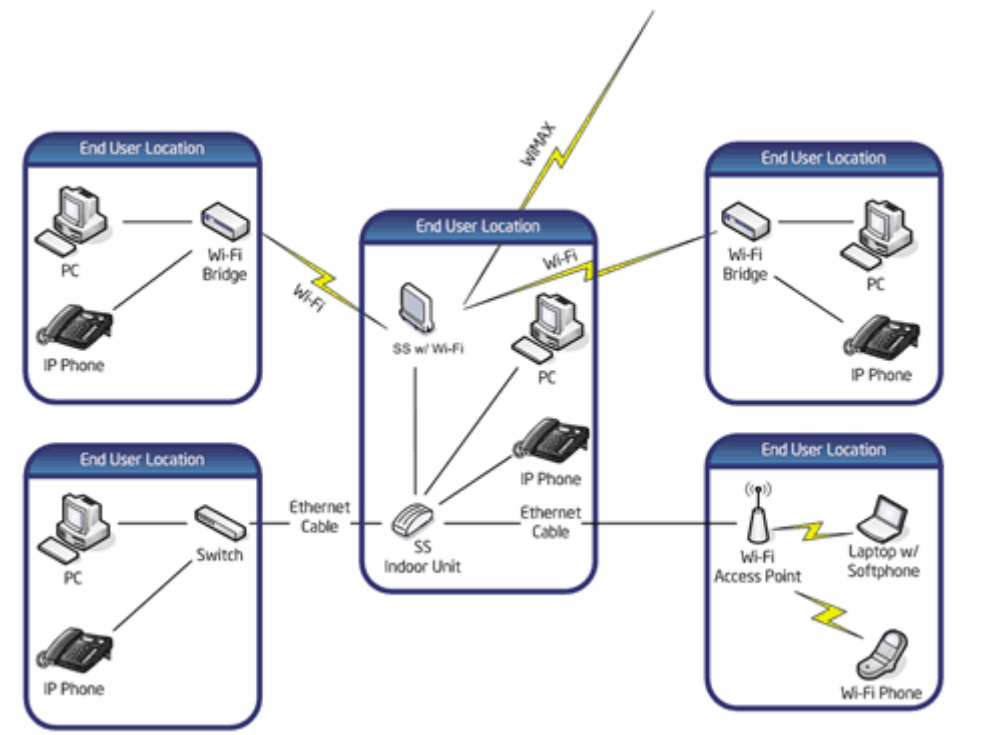
Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης της τεχνολογίας WiMAX είναι το θέμα της ασφάλειας όχι γιατί η ασφάλεια στο WiMAX δεν είναι καλή αλλά γιατί δεν μπορεί να συγκριθεί με μία μικροκυματική ζεύξη δύο σημείων που δεν υποκλέπτεται.



Εικόνα 28 Χρήση του WiMAX στην κινητή τηλεφωνία

8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Στις εφαρμογές σταθερής τηλεφωνίας το WiMAX έρχεται να προσφέρει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα που μέχρι τώρα ήταν αποκλειστικό προνόμιο της κινητής τηλεφωνίας. Το προνόμιο αυτό είναι η ανάπτυξη δικτύων σε απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές περιοχές χωρίς την ανάγκη της εγκατάστασης καλωδίων που σαν επένδυση δεν θα μπορούσε να αποσβεθεί σε εύλογο χρονικό διάστημα. Με την εγκατάσταση ενός WiMAX δικτύου και VoIP ή παρόμοιας τεχνολογίας συσκευών θα μπορούσε να καλυφθεί εύκολα ένας μικρό οικισμός χωρίς να χρειάζεται η δαπάνη ενός υπέρογκου ποσού. Συγκριτικά θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το κόστος θα είναι πολύ χαμηλότερο και φυσικά θα αποφευχθεί και η όχι τόσο καλή πολιτική της μεταφοράς του κόστους εγκατάστασης στον συνδρομητή. Με την χωρητικότητα του δικτύου WiMAX ακόμα και απομακρυσμένες περιοχές ή και απομακρυσμένες οικίες (π.χ. φάρμες, καταφύγια) θα μπορούσαν να αποκτήσουν ακόμα και πρόσβαση στο διαδίκτυο.



Εικόνα 29 Χρήση του WiMAX στην σταθερή τηλεφωνία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ WIMAX

Στον εξοπλισμό WiMAX συγκαταλέγονται σταθμοί βάσης, σταθμοί συνδρομητών, εξοπλισμοί τελικών χρηστών, κεραίες και συνδιαστικές συσκευές όπως για παράδειγμα συσκευές πρόσβασης (AP) μαζί με κάποιο δρομολογητή (router).

9.1 ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΑΣΗΣ

Οι σταθμοί βάσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η μία κατηγορία είναι οι σταθμοί βάσης τύπου macro και η δεύτερη κατηγορία είναι οι σταθμοί βάσης τύπου micro.

Οι σταθμοί βάσης τύπου macro είναι οι μεγάλοι σταθμοί οι οποίοι αποτελούνται από υπομονάδες δικτύου και εκπομπής, τροφοδοτικά και πομπούς. Οι σταθμοί βάσης τύπου macro χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που θέλουμε αυξημένη εμβέλεια και πλήθος χρηστών. Επίσης έχουν αυξημένες απαιτήσεις όσο αναφορά την εγκατάσταση.

Οι σταθμοί βάσης micro είναι μικρότεροι από τους macro και χρησιμοποιούνται συνήθως σε αγροτικές περιοχές ή περιοχές με χαμηλή δόμηση.



Εικόνα 30 Διάφορες συσκευές WiMAX

9.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΡΗΣΤΗ

Οι σταθμοί συνδρομητών είναι σταθμοί ανάμεσα στον τελικό χρήστη και στο σταθμό βάσης. Σε τέτοιου είδους σταθμούς βασίζεται η λειτουργία του WiMAX σαν οπισθοζευκτικό. Οι σταθμοί αυτοί πολλές φορές ενσωματώνουν κάποιου είδους κεραία και συνήθως είναι μονάδες για χρήση σε εξωτερικούς χώρους.



Εικόνα 31 Σταθμός Συνδρομητών

Ο εξοπλισμός τελικού χρήστη είναι συνήθως ένα είδος σημείου πρόσβασης με ενσωματωμένο ίσως κάποιο δρομολογητή. Υπάρχουν ακόμα και μικρότερες συσκευές με δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυα WiMAX όπως κινητά τηλέφωνα και φορητοί υπολογιστές.



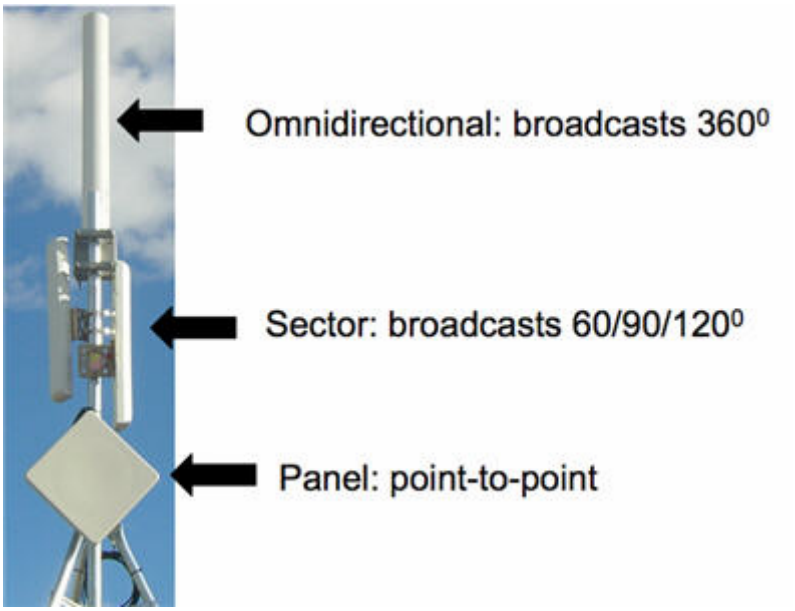
Εικόνα 32 Σημείο πρόσβασης και δρομολογητής

9.3 ΚΕΡΑΙΕΣ

Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται στο WiMAX είναι δύο τύπων, τα προσαρμοστικά συστήματα κεραιών και οι απλές κεραίες. Οι απλές κεραίες που χρησιμοποιούνται από το WiMAX μπορεί να είναι ομοιοκατευθυντικές, κατευθυντικές ευρείας δέσμης ή κατευθυντικές στενής δέσμης. Οι ομοιοκατευθυντικές καλύπτουν μια περιοχή 360 μοιρών γύρω από τον σταθμό βάσης για να εξυπηρετούν μια αρκετά μεγάλη περιοχή αλλά χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές μικρής εμβέλειας. Οι κατευθυντικές ευρείας δέσμης έχουν συνήθως

οριζόντιο άνοιγμα 120 μοιρών ή στενότερο και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη ποεριοχών έχοντας πολύ μαγαλύτερη εμβέλεια από ότι οι ομοιοκατευθυντικές. Τέλος οι κατευθυντικές κεραίες στενής δέσμης χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σημείο προς σημείο.

Τα προσαρμοστικά συστήματα κεραιών χρησιμοποιούν τεχνικές διαμόρφωσης του λοβού ακτινοβολίας για να κατευθύνουν την δέσμη και τη ισχύ της ακτινοβολίας ανάλογα με τις ανάγκες. Η πιο συνηθισμένη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η στοιχείων της κεραίας με διαφορετικά σήματα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διαμόρφωση του λοβού.



Εικόνα 33 Είδη κεραιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Όπως είδαμε στις προηγούμενες σελίδες το WiMAX είναι κάτι περισσότερο από ένα ακόμα πρωτόκολλο ασύρματων δικτύων. Ενώ εξυπηρετεί και αυτήν την λειτουργία είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να προσφέρει λύσεις στην κινητή και σταθερή τηλεφωνία και αλλού. Ακόμα μελετάτε η δημιουργία WiMAX δικτύων για εφαρμογές τηλεόρασης κατά παραγγελία και ραδιοφώνου κατά παραγγελία. Στο μέλλον το WiMAX μπορεί να μην επικρατήσει λόγω της όλο και μεγαλύτερης αποδοχής των δικτύων κινητής τηλεφωνίας $4^{ης}$ γενιάς αλλά σίγουρα θα πάρει ένα μεγάλο κομμάτι της πίτας των τηλεπικοινωνιών ακόμα και σε περιπτώσεις που μέχρι τώρα δεν υπήρχε κάτι διαφορετικό όπως για παράδειγμα στις ασύρματες ζεύξεις.

ΤΟ ότι δεν θα δούμε εύκολα στο μέλλον δίκτυα WiMAX αυτό δεν σημαίνει ότι η τεχνολογία δεν θα χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη των επικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας $3^{ης}$ και $4^{ης}$ γενιάς κάτι το οποίο εξετάζεται και αναμένεται η ένταξη του WiMAX στα συμβατά πρωτόκολλα.

Η ανάπτυξη του WiMAX δεν μπορεί όπως αναφέραμε να συγκριθεί με την ανάπτυξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας αλλά σύμφωνα με τα WiMAX Forum υπάρχουν ανα τον κόσμο εγκατεστημένα 558 δίκτυα (Απρίλιος 2010).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Frank Ohrtman, “WiMAX Handbook: Building 802.16 Wireless Networks”, McGraw-Hill, 2005

[2] Fujitsu Microelectronics America INC, “RF Spectrum Utilization in WiMAX”, white paper, 2004

[3] Maravedis INC, “Spectrum Analysis- The Critical Factor in BWA/WiMAX vs 3G”, January 2006

[4] Michel Barbeau, "WiMAX 802.16 Threat Analysis", 1st ACM Workshop on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks, 2005 p 8-15.

[5] Clint Smith, John Meyer, "3G WIRELESS WITH 802.16 and 802.11", McGraw-HILL 2005

[6] Steven Shepard, "WIMAX Crash course", McGraw-HILL 2006

[7] Deepak Pareek, "The Business Of WiMAX", Wiley 2006

[8] WiMAX Forum. www.wimax.com/home -2007

[9] RF design forum. www.rfdesign.com/home -2007

[10] How Stuff Works www.howstuffworks.com -2007