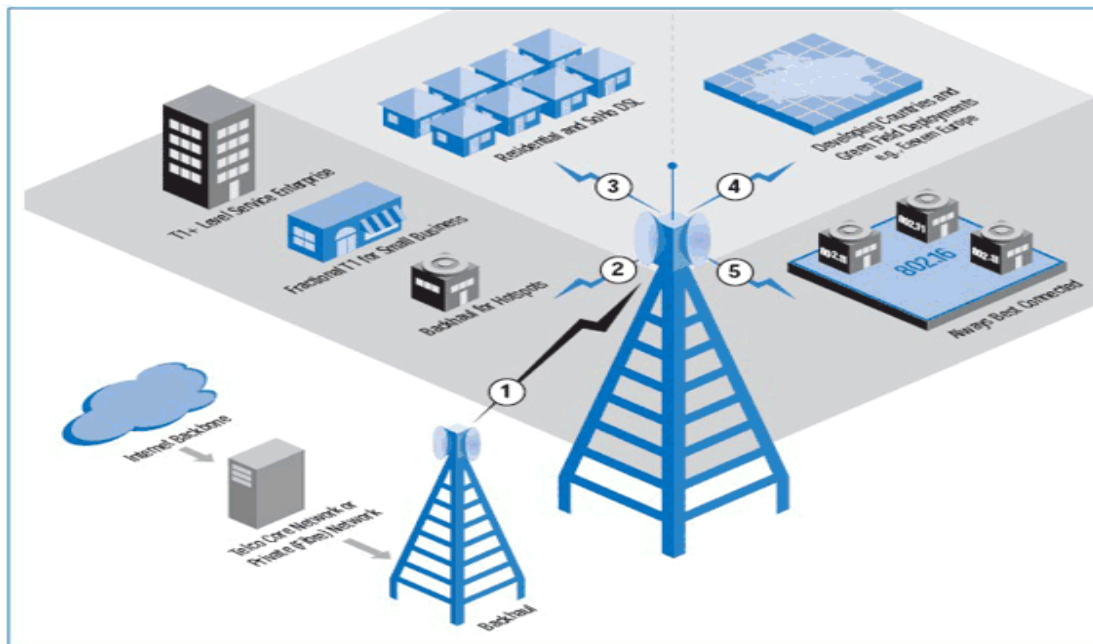




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ ΜΕ
ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ WIMAX*



ΠΟΥΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	5
1. Κεφάλαιο 1 ^ο : Χρήση WIMAX και βασικά χαρακτηριστικά του	
1.1 Χαρακτηριστικά WIMAX.....	6
1.2 Πως προσφέρονται οι υπηρεσίες Broadcasting με χρήση WIMAX.....	12
1.3 Σημεία τα οποία θα πρέπει να προσέχονται λεπτομερώς	
1.3.1 Ανάλυση επιπέδου λειτουργίας WIMAX για χρήση σε Broadcasting.....	15
1.4 Τεχνολογικές εξελίξεις στις υπηρεσίες Broadcasting με χρήση WIMAX.....	22
2. Κεφάλαιο 2 ^ο : Συστήματα WIMAX και ασύρματα δίκτυα –Χαρακτηριστικά λειτουργίας και ιδιότητες για την σωστή εφαρμογή και λειτουργία του OFDMA	
2.1 Ποια η λειτουργία ενός συστήματος WIMAX.....	25
2.2 Πρωτόκολλο IEE 802.16e-2005 -WIMAX και σύστημα (s) OFDMA...	27
2.3 Παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και WIMAX.....	29
2.3.1 802.16 Ασφάλεια WIMAX.....	30
2.3.2 Χαρακτηρισμός καναλιού WIMAX.....	31
2.4 Κατηγορίες συστήματος OFDMA	33
2.5 Ασύρματα δίκτυα για χρήση OFDMA σε WIMAX.....	35
2.6 Σύστημα OFDMA- Orthogonal Frequency Division Multiplex Access.....	36
2.6.1 Τεχνολογία Πολυπλεξίας Συχνότητας Ορθογωνικών Σημάτων.....	39
2.6.2 Μέθοδος OFDMA και FDM στο WiMAX.....	42
2.6.3 Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας OFDMA του WiMAX.....	43
2.6.4 Απεικόνιση στο Πεδίο του Χρόνου για το OFDMA στο WiMAX....	44
2.6.5 Απεικόνιση στο Πεδίο της Συχνότητας για τα OFDMA στο WiMAX.....	46
2.7 Περιγραφή OFDM Συμβόλου στη Συχνότητα του WiMAX.....	47
2.8 Βασικές Παράμετροι του OFDMA Συμβόλου.....	48
2.9 Περιγραφή Καναλιού και Λειτουργία Χρήσης στο OFDMA.....	48
3. Κεφάλαιο 3 ^ο : Επίλογος.....	57
Βιβλιογραφία.....	60

Πρόλογος

Σκοπός του φοιτητή στη παρούσα πτυχιακή εργασία, είναι να αναλύσει τη λειτουργία τους συστήματος WiMAX καθώς και των χαρακτηριστικών του προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ποιότητας προς τους χρήστες του με σκοπό την άρτια και ολοκληρωμένη εφαρμογή ενός συστήματος OFDMA. Για το σχετικό λόγο λοιπόν, ο φοιτητής αναφέρεται στην πλήρης και αναλυτική λειτουργία των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του συστήματος WiMAX στο Πρώτο κεφάλαιο της παρούσης πτυχιακής εργασίας και στο Δεύτερο κεφάλαιο αυτής, αναφέρεται στα ειδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται αλλά και σε τελική ανάλυση πως συντελεί το κάθε χαρακτηριστικό στην καλύτερη παροχή υπηρεσιών από μέρους του WiMAX σε συνδυασμό με την εφαρμογή του OFDAM προς τους χρήστες των ασύρματων συνδέσεων στις μέρες μας.

Ευχαριστίες

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή μας και επιβλέποντα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας Κο.Νίκο Παπαδάκη για την πολύ μεγάλη βοήθεια του κατά την διάρκεια της έρευνας μας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλους τους ειδικούς αλλά και εκείνους που ασχολούνται με τις κατηγορίες και μορφές εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων και ιδιαίτερα του WiMAX σε συνάρτηση με το σύστημα OFDMA στην Ελλάδα και οι οποίοι μας βοήθησαν σε υπέρτατο βαθμό στην καταγραφή των απόψεων τους σχετικά με το τρόπο που λειτουργούν τα δίκτυα αυτά, τις κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται αλλά και στις περιπτώσεις όπου το κάθε ασύρματο δίκτυο μπορεί να προσφέρει σημαντικά αποτελέσματα στο τομέα του Broadcasting με χρήση Wimax.

Τέλος, θα επιθυμούσαμε να αποστείλουμε τις ευχαριστίες μας στα μέλη της οικογενείας μας αλλά και τους φίλους μας, οι οποίοι όλο αυτόν τον καιρό της προετοιμασίας της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και έρευνας μας στήριξαν σε υπέρτατο βαθμό.

Εισαγωγή

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Το WiMax είναι μια νέα τεχνολογία, ένα βήμα μπροστά από το Wi-Fi, που παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι σαφώς καλύτερο από το Wi-Fi και μπορεί να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις μετάδοσης¹.

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του WiMax είναι η εμβέλεια (coverage). Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως mesh τοπολογίες και έξυπνες κεραίες. Αξίζει να σημειώσουμε ότι mesh τοπολογίες είναι αυτές οι τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν η ράδιο-τεχνολογίες βελτιώνονται και το κόστος μειώνεται, μεγαλώνει και η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και του throughput με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί. Τέλος, σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του WiMAX, αποτελεί και το OFDM ή OFDMA και τα οποία αναλύονται εντός της παρούσης πτυχιακής εργασίας με τα βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητές τους.

¹ <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

1. Κεφάλαιο 1ο : Χρήση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά του

1.1 Χαρακτηριστικά του WiMAX

Πλέον ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού: θα πιάνει «παντού» και θα εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη. Τα αρχικά της λέξης WiMax προκύπτουν από τις λέξεις World Interoperability for Microwave Access και είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος ταυτοποιεί συγκεκριμένο εξοπλισμό υποστηριζόμενος από εταιρίες (Intel...) προσπαθώντας να προωθήσει το πρότυπο 802.16 σε κάθε ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης σύστημα².

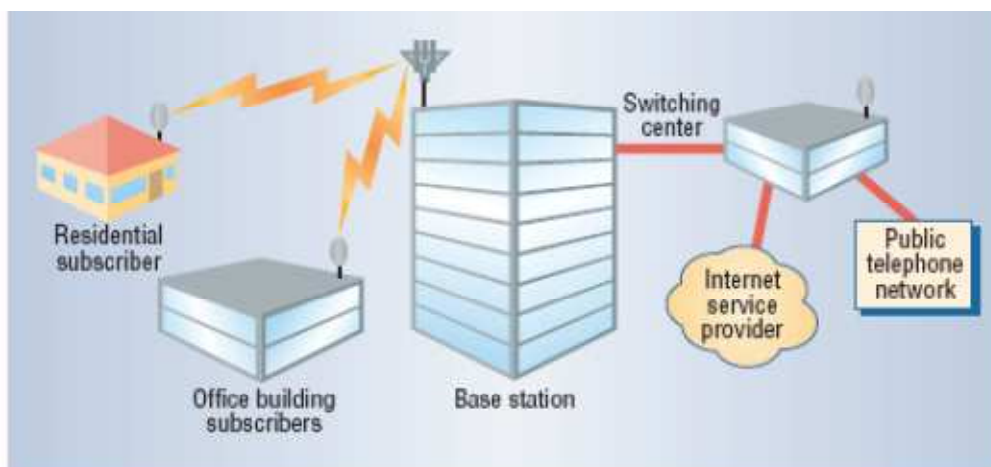
Για να γίνουμε λίγο πιο σαφής το WiMAX δεν είναι ένα πρότυπο αλλά ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16. Το να ταυτοποιείται λοιπόν ένα προϊόν με το όνομα WiMAX σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 και έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) στον BWA εξοπλισμό³.

Αρχικά, το όραμα των υπερασπιστών του WiMAX, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ήταν ότι οι μεταφορείς θα εγκαταστήσουν πομποδέκτες στεγών ως σταθμούς βάσεων συνδεδεμένους με το Διαδίκτυο. Κάθε ένας σταθμός βάσεων θα

² Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

³ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

μπορούσε να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία WiMax για να στείλει και να λάβει δεδομένα από και προς τις σταθερές κεραίες συνδρομητών, που είναι τοποθετημένες στις στέγες ή στους εξωτερικούς τοίχους⁴.



Αντίθετα με άλλα ασύρματα δίκτυα, τα οποία επιτρέπουν μεταδόσεις μόνο με ένα φάσμα συχνότητας, το WiMax επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με πολλαπλά, ευρέα φάσματα συχνότητας. Αυτό βοηθάει πάρα πολύ, γιατί το να υπάρχουν πολλά φάσματα, μεγιστοποιεί τη δυνατότητα της τεχνολογίας να μεταδώσει πέρα από τις συχνότητες άλλων ασύρματων εφαρμογών.

Το WiMax αναμένεται να επιτρέψει αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες πέρα από τα ασύρματα δίκτυα με κόστος που θα καταστήσει ενεργή την υιοθέτηση μαζικής αγοράς. Το WiMax είναι το μόνο ασύρματο πρότυπο που σήμερα έχει τη δυνατότητα να παραδώσει τις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες και βοηθάει στο να γίνει το όραμα της κυρίαρχης συνδετικότητας μια πραγματικότητα. Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στο πρότυπο 802.16 είναι τα εξής⁵:

⁴ <http://www.tkne.net/vb/>, WiMAX Operation, 2010

⁵ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

- *Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη.*
- *Αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης.*
- *Η ικανότητα υπέρβασης των φυσικών περιορισμών που υπάρχουν στην ενσύρματη δικτύωση.*

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσε να αναφερθεί ότι το 802.16 συνιστά ένα πολύ ευέλικτο και οικονομικό πρότυπο το οποίο μπορεί να καλύψει τις αδυναμίες της ενσύρματης δικτύωσης και επιπλέον να παρέχει νέες υπηρεσίες και προϊόντα. Αρχικά βασικό χαρακτηριστικό του προτύπου είναι η διεκπαιρωτική ικανότητα (throughput). Το πρότυπο IEEE 802.16 επιτυγχάνει πολύ μεγάλη διεκπαιρωτική ικανότητα, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις αφού έχει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αντανακλάσεις του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του.

Επίσης πολύ σημαντικό για τη διάδοση του είναι η κλιμακοσιμότητα (scalability) ή καλύτερα επεκτασιμότητα. Για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος σχεδιασμός κυψελών (cells) επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη συχνοτικές μπάντες, το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει ευέλικτα από την άποψη εύρους ζώνης κανάλια επικοινωνίας. Για παράδειγμα αν σε κάποιο χειριστή ανατεθεί συχνοτικό φάσμα των 20 MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10 MHz ή ακόμα σε τέσσερα κομμάτια των 5 MHz⁶.

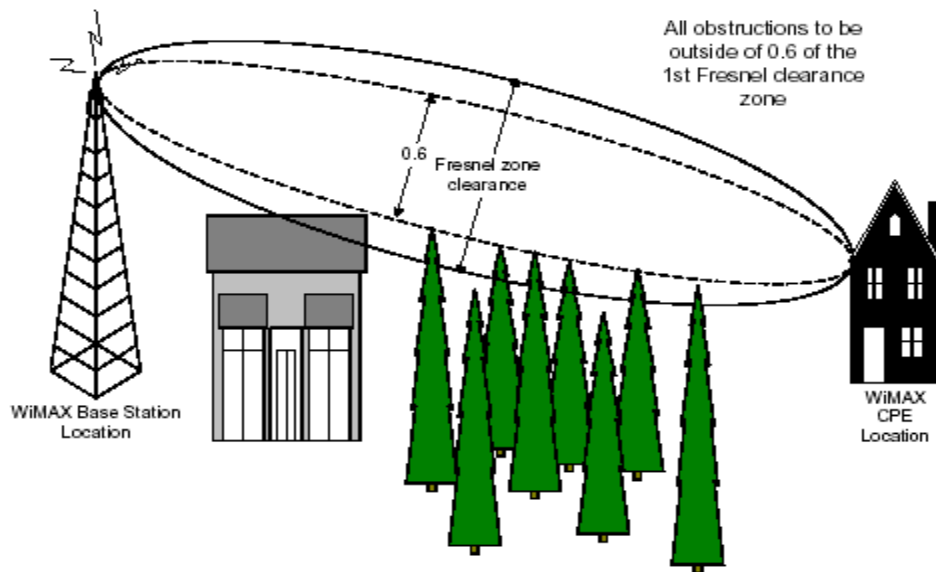
⁶ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

Συγκεντρώνοντας έτσι όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλο βεληνεκές και throughput. Για να κλιμακώσει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος, ο χειριστής μπορεί να χωρίσει ακόμα περισσότερο το φάσμα συχνοτήτων δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης.

Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS ή Quality of service) όπως είναι η μεταφορά φωνής, είναι εξαιρετικά σημαντική για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Για αυτό ακριβώς το λόγο το υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής και βίντεο αφού για να είναι εφικτή αυτή η μεταφορά χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο.

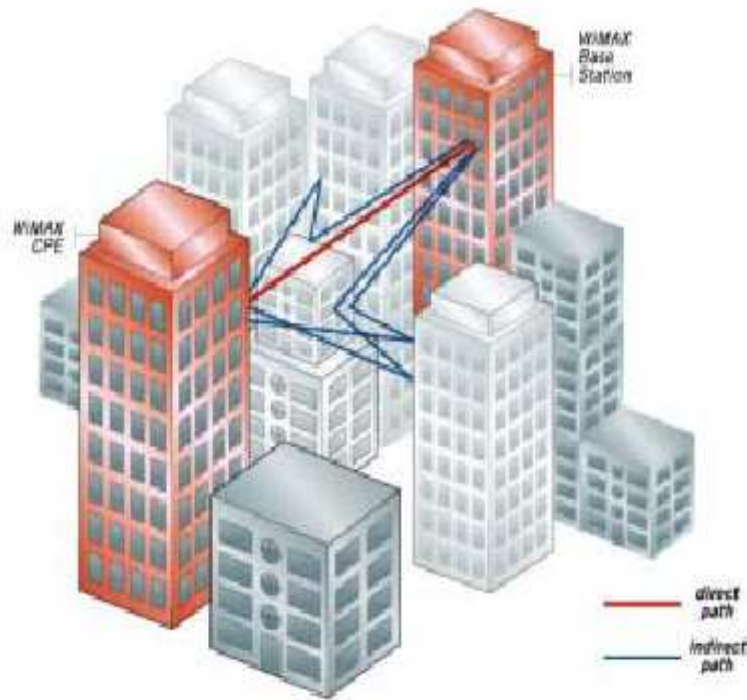
Επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει το πρότυπο IEEE 802.16 είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι συχνότητες. Αυτά διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS (Non line of sight). Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτός ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη⁷.

⁷ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008



Σε μια NLOS σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φτάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από το πομπό, σήμα που έφτασε από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης, πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φτάνει άμεσα. Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα μιας NLOS μετάδοσης⁸.

⁸ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009



Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS αφού είναι πιο ευέλικτη, απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασία σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Βέβαια η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάστασης σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη⁹.

⁹ <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

1.2 Πως Προσφέρονται οι Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση Wimax

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του¹⁰:

- Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- Broadband on Demand. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.
- Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

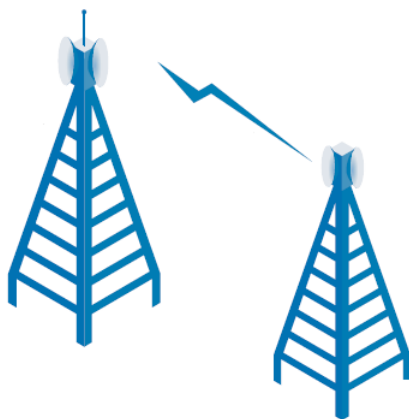
Το WiMAX έχει δύο κύριες εφαρμογές: οι σταθερές εφαρμογές WiMAX είναι **Point-to-Multipoint** επιτρέποντας την ευρυζωνική πρόσβαση στα σπίτια και τις επιχειρήσεις, ενώ κινητό WiMax προσφέρει την πλήρη κινητικότητα των κυψελοειδών δικτύων με τις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PTM)

¹⁰ Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)¹¹.

Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιάθρυσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί. Συγκεκριμένα, αυτή η διαμόρφωση έχει πλεονεκτήματα στη ρυθμοαπόδοση, στη λανθάνουσα κατάσταση, τη φασματική αποδοτικότητα και την προηγμένη υποστήριξη κεραιών κάνοντάς το ικανό να παρέχει την υψηλότερη απόδοση από τις σημερινές ευρείες ασύρματες τεχνολογίες περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά οι point to point και οι Point-to-Multipoint συνδέσεις:

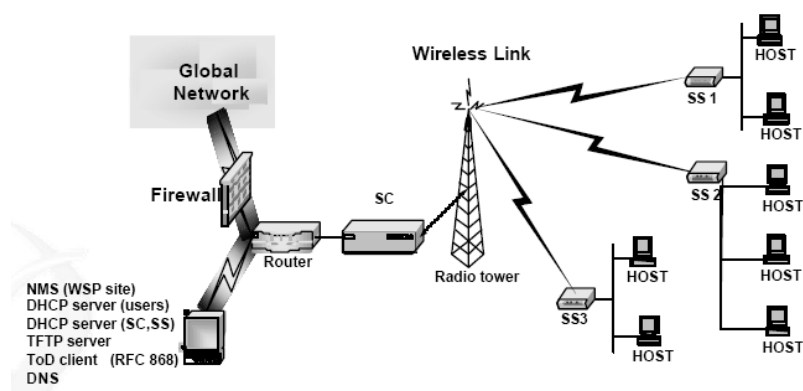
Point-to-Point



οίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX,

Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

Point-to-Multipoint



Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Οι ταχύτητες μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος¹².

¹² <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010

1.3 Σημεία τα Οποία θα Πρέπει να Προσέχονται Λεπτομερώς

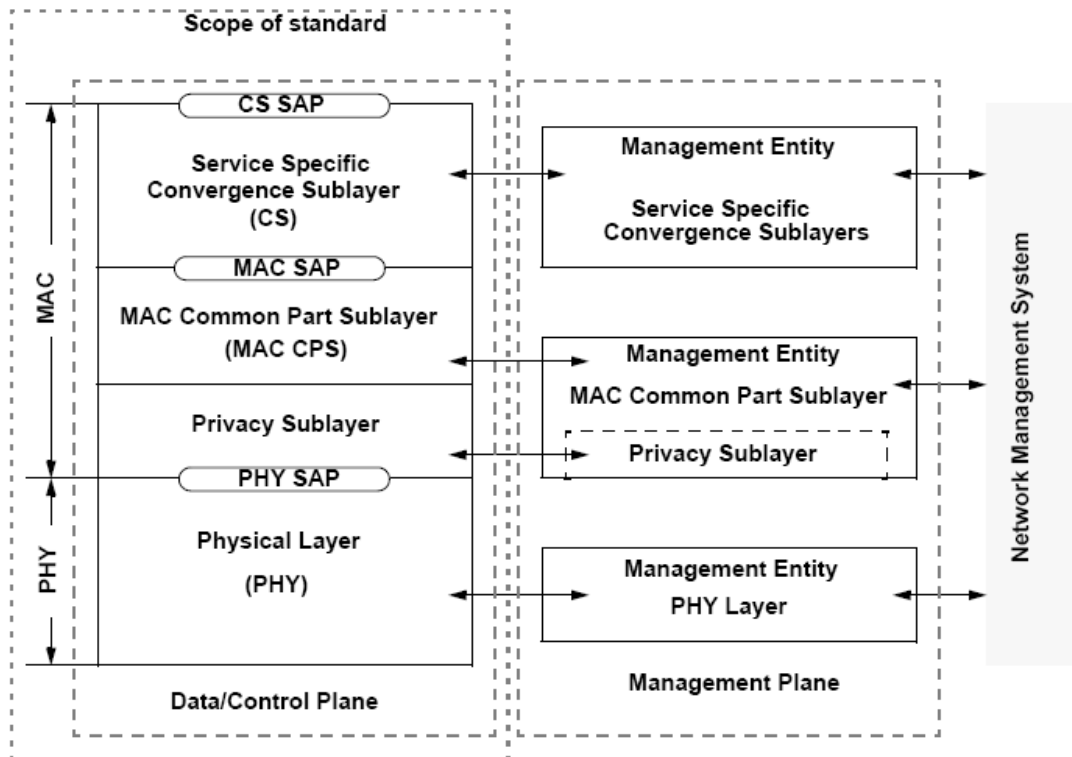
1.3.1 Ανάλυση Επιπέδου Λειτουργίας Wimax για Χρήση σε Broadcasting

Το πρότυπο IEEE 802.16 σε χρήση broadcasting καθορίζει τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI μοντέλου δηλαδή το φυσικό και το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (το οποίο περιλαμβάνει το MAC επίπεδο), point-to-multipoint (από ένα σε πολλά σημεία) συστημάτων ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω, η ανάπτυξη αυτών των επιπέδων είναι τέτοια ώστε τα προϊόντα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που κατασκευάζονται με βάση αυτό το πρότυπο να είναι ευέλικτα και έτσι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά¹³.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως το πρότυπο λειτουργεί στο συχνοτικό φάσμα των 10-66 GHz. Αυτή η συχνοτική μπάντα δημιουργεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος η επίτευξη επικοινωνίας απαιτεί οπτική επαφή (line of sight ή LOS), αλλά όμως η λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι αμελητέα. Τα κανάλια του φυσικού περιβάλλοντος του πρότυπου είναι μεγάλα. Με ιδανικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερο από 120 Mbit/s το περιβάλλον που δημιουργείται είναι κατάλληλο point-to-multipoint εφαρμογές είτε αυτές είναι SOHO είτε είναι μεγαλύτερου εύρους εφαρμογές¹⁴. Η στοίβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16 πρότυπου σε χρήση broadcasting παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Το SAP (service access point) αποτελεί το σημείο επικοινωνίας ενός υποεπιπέδου με το άλλο και είναι ουσιαστικά ότι είναι το port για το TCP/IP.

¹³ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

¹⁴ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008



Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω παρατηρούμε ότι το Medium Access Control αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) ή διαφορετικά «υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία». Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) ή διαφορετικά «κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC»¹⁵.

Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού σε χρήση broadcasting. Το μοντέλο είναι ότι ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των

¹⁵ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή διαφορετικά «υποεπίπεδο ασφάλειας».

Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφησης. Τέλος το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται και με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Στη συνέχεια γίνεται εκτενέστερη ανάλυση για το επίπεδο MAC και το επίπεδο PHY σε χρήση broadcasting.

MAC

Ένα δίκτυο του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε ένα μέσο επικοινωνίας, πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς να διαχειρίζεται αυτό το μέσο και να το μοιράζει στους κόμβους του. Στη περίπτωση του πρωτοκόλλου 802.16 με το έργο της διαχείρισης καναλιού έχει επιφορτιστεί το υποεπίπεδο MAC CPS¹⁶.

Το κατέβασμα δεδομένων από το σταθμό βάσης (BS ή base station) στο χρήστη γίνεται με μία point to multipoint λογική. Έτσι το πρότυπο 802.16 σε χρήση broadcasting λειτουργεί με ένα κεντρικό σταθμό βάσης και μία κεραία πολλαπλών τομέων η οποία έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται αυτούς τους πολλαπλούς τομείς παράλληλα. Για μία συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και ένα συγκεκριμένο τομέα, όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα. Για αυτό ακριβώς το λόγο ένα σταθμός βάσης εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο τομέα (με συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού) και στα μηνύματα απάντησης συγκρατεί τις διευθύνσεις των χρηστών του τομέα για

¹⁶ Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

μελλοντική επικοινωνία. Στην αντίθετη κατεύθυνση οι σταθμοί χρηστών, μοιράζονται το κανάλι επικοινωνίας με το σταθμό βάσης, με βάση τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Βασικός παράγοντας βέβαια είναι και οι υπηρεσίες που ζητούν.

Σε κάθε τομέα οι χρήστες «υπακούουν» ένα πρωτόκολλο μετάβασης, έτσι ώστε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού να μπορεί να επιτευχθεί οι εξυπηρέτηση όλων των χρηστών. Για να γίνει αυτό υπάρχουν πέντε διαφορετικού τύπου uplink (ανέβασμα δεδομένων στο σταθμό βάσης) μηχανισμοί χρονοπρογραμματισμού. Οι μηχανισμοί είναι σαφώς ορισμένοι από το πρωτόκολλο έτσι ώστε να μπορούν οι κατασκευάστριες εταιρίες προϊόντων 802.16 να βελτιώνουν όλο και περισσότερο τα προϊόντα τους διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνικών που ορίζουν οι παραπάνω μηχανισμοί.

Το MAC CPS δημιουργεί συνδέσεις για να διαχειριστεί το κανάλι. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία και εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Κάθε φορά που ένα SS (Subscriber station) εγκαθίσταται στο δίκτυο, τότε αμέσως δημιουργείται μια σύνδεση με αυτόν, για να είναι δυνατή η ροή υπηρεσιών. Θυμίζουμε εδώ ότι η έννοια SS αναφέρεται στον εξοπλισμό εδραίωσης μια σύνδεσης μεταξύ σταθμού βάσης και σταθμού χρήστη. Σύνδεση βέβαια μπορεί να γίνει και αν κάποια υπηρεσία κάποιου πελάτη χρειάζεται αλλαγή. Να πούμε εδώ ότι η έννοια σύνδεση καθορίζει και την αντιστοίχιση μεταξύ ομότιμων διεργασιών που χρησιμοποιούν MAC και τη ροή υπηρεσιών. Για να γίνουμε λίγο πιο κατανοητοί, η ροή υπηρεσιών αναφέρεται σε

όλες τις QoS παραμέτρους εκείνες των PDU's που ανταλλάζονται κατά τη σύνδεση σε χρήση broadcasting¹⁷.

Σε ένα πρωτόκολλο δομημένο σε πολλά επίπεδα , η ροή της πληροφορία μεταξύ των των επιπέδων μπορεί να οριστεί με τα primitives που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά είδη πληροφορίας και έτσι κάνουν πιο ξεκάθαρες τις σχέσεις μεταξύ επιπέδων του πρωτοκόλλου. Τα primitives μπορούμε να τα φανταστούμε σαν όρους επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων. Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC σε χρήση broadcasting είναι αυτά που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα¹⁸:

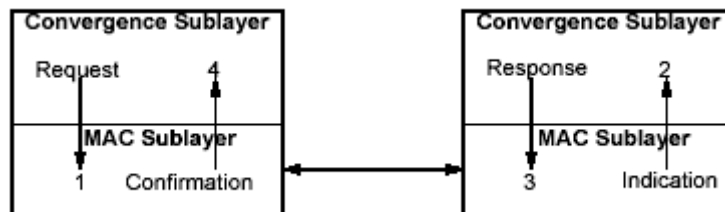
- *MAC_CREATE_CONNECTION.request*
- *MAC_CREATE_CONNECTION.indication*
- *MAC_CREATE_CONNECTION.response*
- *MAC_CREATE_CONNECTION.confirmation*
- *MAC_CHANGE_CONNECTION.request*
- *MAC_CHANGE_CONNECTION.indication*
- *MAC_CHANGE_CONNECTION.response*
- *MAC_CHANGE_CONNECTION.confirmation*
- *MAC_TERMINATE_CONNECTION.request*
- *MAC_TERMINATE_CONNECTION.indication*
- *MAC_TERMINATE_CONNECTION.response*
- *MAC_TERMINATE_CONNECTION.confirmation*

¹⁷ Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

¹⁸ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

- *MAC_DATA.request*
- *MAC_DATA.indication*

Για να γίνει τώρα κατανοητό πως επικοινωνούν τα επίπεδα CS και MAC καθώς και το πως λειτουργούν τα primitives ακολουθεί το παρακάτω σχήμα.



Αρχικά γίνεται αίτηση για κάποια υπηρεσία σε ένα κατώτερο επίπεδο του πρωτοκόλλου όπως φαίνεται και στο σχήμα, με τη χρήση ενός request primitive. Όταν αποσταλεί η αίτηση μέσω αέρα στο ομότιμο MAC υποεπίπεδο, παράγεται ένα “indicate primitive” το οποίο πληροφορεί το ομότιμο CS υποεπίπεδο για την αίτηση αυτή. Τότε το CS υποεπίπεδο με τη σειρά του απαντάει με ένα “response primitive”¹⁹. Τέλος αυτή η απάντηση στέλνεται ξανά στο MAC υποεπίπεδο από το οποίο προήλθε η αίτηση, το οποίο με τη σειρά του στέλνει ένα “confirm primitive” στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητο να στείλουμε πληροφορίες στον ομότιμο σταθμό και έτσι το “confirm primitive” στέλνεται αμέσως από το MAC υποεπίπεδο στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αυτό συμβαίνει όταν η αίτηση απορρίπτεται από το MAC υποεπίπεδο στη πλευρά που έγινε η αίτηση.

Για να επιτευχθεί η σύνδεση κάθε SS έχει μια 48-bit καθολική διεύθυνση όπως ορίζεται από την IEEE για το πρότυπο 802.16. Αυτή η διεύθυνση ορίζει

¹⁹ Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

μονοσήμαντα το SS από ένα σύνολο προϊόντων διαφορετικών εταιριών. Επίσης η εγγραφή αυτής της διεύθυνσης γίνεται κατά τη εγκατάσταση μιας σύνδεσης και χρησιμοποιείται στη διαδικασία επικύρωσης μεταξύ BS και SS.

Η σύνδεση μεταξύ ενός BS και ενός SS ταυτοποιείται με τη βοήθεια ενός CID 16 bit, ο οποίος είναι ο κωδικός κάθε σύνδεσης. Κατά την εγκατάσταση του SS τρεις συνδέσεις μεταξύ του SS και του BS αρχικοποιούνται για κάθε κατεύθυνση (uplink ή SS → BS, downlink ή BS→ SS). Η βασική σύνδεση χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μικρών σε μέγεθος, επειγόντων, MAC μηνυμάτων διαχείρισης. Από τις δύο άλλες συνδέσεις η μία χαρακτηρίζεται ως πρωτεύουσα και η άλλη ως δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μεγάλων μηνυμάτων. Ενώ η δευτερεύουσα σύνδεση αναφέρεται σε μηνύματα ακόμα πιο ανθεκτικά στο χρόνο²⁰.

PHY

Όπως προαναφέραμε, το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στο κομμάτι της μετάδοσης της πληροφορίας για την οποία χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης σε χρήση broadcasting. Οι υπηρεσίες του φυσικού επιπέδου παρέχονται στο MAC υποεπίπεδο μέσω του PHY SAP (service access point). Η λειτουργία του PHY επιπέδου όπως συνέβαινε και με το MAC CPS μπορεί να περιγραφεί μέσω primitives. Αυτά χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής²¹:

²⁰ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

²¹ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

- *Primitives υπηρεσιών που υποστηρίζουν μεταφορά δεδομένων και συμμετέχουν ως ενδιάμεσα σήματα στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ομότιμων επιπέδων MAC. Αυτά είναι τα PHY_MACPDU primitives.*
- *Primitives υπηρεσιών που έχουν τοπική σημασία και αναφέρονται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ υποεπιπέδων κάποιου επιπέδου. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα PHY_TXSTART primitives.*
- *Primitives που υποστηρίζουν συναρτήσεις διαχείρισης. Τέτοια είναι τα PHY_DCD primitives.*

1.4 Τεχνολογικές Εξελίξεις στις Υπηρεσίες Broadcasting με Χρήση WiMAX

Η υπηρεσία Broadcasting έχει ποικίλες εφαρμογές και έχει δώσει λύσεις σε πολλά προβλήματα της βιομηχανίας. Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές παρουσιάζονται στη συνέχεια²² :

Κυψελοειδής Μετάδοση :

Οι παροχείς της κύριας αρτηρίας (backbone) του internet στην Αμερική είναι αναγκασμένοι να μισθώσουν σε τρίτους παροχείς υπηρεσιών (ISP's) γραμμές του δικτύου μια συμφωνία που κάνει την ενσύρματη σύνδεση στο internet για τους χρήστες αρκετά προσιτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το 20% των κυψελών που εξυπηρετούν την ασύρματη επικοινωνία να μένουν αχρησιμοποίητες. Στην Ευρώπη όμως δεν συμβαίνει αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις. Η στιβαρότητα του 802.16a αποτελεί μία εξαιρετική λύση σε εταιρίες παροχής τέτοιων υπηρεσιών που τώρα δε θα είναι αναγκασμένες να μισθώνουν

²² Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008

ενσύρματες γραμμές αλλά μπορούν με τη χρήση των ασύρματων κυβελών να παρέχουν φτηνό internet στους χρήστες.

Επέκταση της ασύρματης ευρυζωνικότητας :

Η υπηρεσία Broadcasting μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μεγαλύτερη αξιοποίηση της. Τα σπίτια ή τα γραφεία τα οποία έχουν μικρά LAN τα οποία χρησιμοποιούν την υπηρεσία Broadcasting μπορεί να γίνουν σταθμοί για ένα 802.16 WAN ειδικότερα σε περιοχές που η χρήση καλωδίων είναι εξαιρετικά δύσκολη. Εδώ μπαίνει ξανά το θέμα σύνδεσης στο internet ειδικότερα για εταιρίες οι οποίες χρειάζεται να μετακινούνται. Ένα άλλο θέμα η δυσκολία εγκατάστασης καλωδιώσεων σε κτίρια τα οποία δεν είχε γίνει κάποια τέτοια εγκατάσταση πριν. Η χρήση της υπηρεσίας Broadcasting μας απαλλάσσει από αυτό το πρόβλημα και με πολύ χαμηλότερο κόστος. Επίσης μας δίνει το πλεονέκτημα ότι γρήγορα μπορούμε να διαμορφώσουμε τη σύνδεση μας σε πιο αργή ή γρηγορότερη χωρίς επιπλέον εγκατάσταση.

Άρση των περιορισμών των καλωδίων :

Υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί στις καλωδιακές και DSL τεχνολογίες οι οποίοι αποτρέπουν πολλούς πελάτες να συνδεθούν με το δίκτυο. Η παραδοσιακή DSL σύνδεση μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου τρία μίλια μακριά από το κεντρικό δρομολογητή πράγμα που σημαίνει ότι πολλές αστικές και προαστιακές περιοχές δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από DSL τεχνολογία. Η χρήση του καλωδίου έχει επίσης και τους περιορισμούς της²³.

²³ Μπακούλη Α., Κασινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009

Πολλά παλιά ενσύρματα δίκτυα δεν είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής και έτσι ο εκσυγχρονισμός αυτών μπορεί να είναι ιδιαίτερα ακριβός. Επίσης η επέκταση της καλωδιακής εγκατάστασης είναι αρκετά δύσκολη και ακριβή ειδικά σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη «πυκνότητα» χρηστών. Η προτυποποίηση της ασύρματης δικτύωσης με τη δημιουργία της υπηρεσίας Broadcasting μπορεί να λύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα. Επίσης μπορεί να παρέχει επιπλέον μεγάλο bandwidth, ευελιξία και χαμηλό κόστος.

Απομακρυσμένες περιοχές :

Η ασύρματη τεχνολογία internet με τη χρήση της υπηρεσίας Broadcasting είναι μία φυσική επιλογή για απομακρυσμένες, αραιοκατοικημένες περιοχές. Σε αυτή τη κατεύθυνση έχουν αρχίσει να δουλεύουν πολλές κυβερνήσεις σε συνεργασία με WISP. Σύμφωνα με πρόσφατα στατιστικά περισσότεροι από 2.500 WISPs που εκμεταλλεύονται το χωρίς άδεια φάσμα (exempt-licensed spectrum) έχουν ανοιχτεί σε περισσότερες από 6.000 αγορές στην ΗΠΑ²⁴. Γενικά όμως σε διεθνές επίπεδο οι περισσότερες επεκτάσεις γίνονται στο νόμιμο φάσμα συχνοτήτων σε πελάτες που απαιτούν καλή ποιότητα μεταφοράς φωνής παρά δεδομένων. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε κάποιες περιοχές που δεν υπάρχει ενσύρματο δίκτυο. Υπάρχει η ορολογία “*Wireless Local Loop*” που χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλες αυτές τις εφαρμογές που αναφέρονται στην αντικατάσταση του ενσύρματου δικτύου από το ασύρματο.

²⁴ Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009

2. Κεφάλαιο 2^ο : Συστήματα WiMAX και Ασύρματα Δίκτυα – Χαρακτηριστικά Λειτουργίας και Ιδιότητες για την Σωστή Εφαρμογή και Λειτουργία του OFDMA

2.1 Ποια η Λειτουργία Ενός Συστήματος WiMAX

Θα πρέπει να σημειωθεί πως το WiMAX το οποίο ορίζεται διεθνώς ως *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, αποτελεί ουσιαστικά τη νεότερη τεχνολογία για μια ασύρματη πρόσβαση με σχετικούς σταθερούς ρυθμούς μετάδοσης αλλά ευρείας ζώνης. Σχεδιάστηκε με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτει κυρίως το σύστημα Point-to-Multipoint (PtM) συνδέσεις και το οποίο αναλύθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για Point-to-Point (PtP) συνδέσεις²⁵.

Είναι αναγκαίο επίσης να σημειωθεί πως τα σχετικά συστήματα WiMAX και τα οποία βασίζονται στο πρωτόκολλο *IEEE 802.16-2004* για μια σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, μπορούν και κάνουν χρήση των συχνοτήτων από τα 2 έως τα 11 GHz και καταφέρνουν με το τρόπο αυτό να πετύχουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 54 Mbps σε σχετικό επίπεδο MAC ή διαφορετικά 70 Mbps over the air. Επίσης, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν βέβαια τα 50 χλμ και σε συνθήκες οπτικής επαφής. Επιπρόσθετα, με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι δυνατές και οι συνδέσεις χωρίς καμία εξασφαλισμένη οπτική επαφή και υπό ορισμένες

²⁵ Μπουανάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

προϋποθέσεις. Η διαμόρφωση βέβαια και η οποία χρησιμοποιείται, είναι ουσιαστικά η OFDM ή διαφορετικά γνωστή ως *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*²⁶.



Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί πως τον Δεκέμβριο του έτους 2005, το πρότυπο του IEEE 802.16-2004 τροποποιήθηκε από το IEEE 802.16e-2005. Το τελευταίο και μεταξύ άλλων, μπορεί και εισάγει καθώς και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλον. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί επίσης και τη βάση για την σχετική υλοποίηση του Mobile WiMAX στις μέρες μας. Η διαμόρφωση, η οποία χρησιμοποιείται, είναι αντίστοιχα εκείνη της SOFDMA ή διαφορετικά ως *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την 5η Αναφορά για την Ευρυζωνικότητα του, η ευρυζωνική διείσδυση ανέρχεται στα επίπεδα του 6,84% την 1η Ιουλίου 2007. Το συνολικό μέγεθος ευρυζωνικών προσβάσεων ανέρχεται σε 760.698 παρουσιάζοντας αύξηση κατά 156,39% σε σχέση με το προηγούμενο έτος και κατά 56% σε σχέση με

²⁶ Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., "Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες", Μελέτη Περίπτωσης, 2009

το προηγούμενο εξάμηνο. Η συντριπτική τους πλειοψηφία είναι τεχνολογίας ADSL, ενώ οι ονομαστικές ταχύτητες πρόσβασης φτάνουν μέχρι και τα 8 Mbps. Παράλληλα, ορισμένοι Πάροχοι έχουν ήδη ξεκινήσει την διάθεση υπηρεσιών ADSL 2+²⁷.

2.2 Πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 – WiMAX και Σύστημα (S) OFDMA

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το σχετικό πρωτόκολλο IEEE 802.16e-2005 μπορεί και βελτιώνεται με το πρωτόκολλο 802.16-2004 με τις εξής τροποποιήσεις:

- *Διαβάθμιση του συστήματος FFT (Fast Fourier Transform) στο εύρος ζώνης (bandwidth) των καναλιών, ώστε να διατηρείται σταθερο το επίπεδο μεταφοράς δια μέσου καναλιών διαφορετικού εύρους.(1.25 -20 MHz).*

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί πως τα συνεχή κενά της μεταφοράς μπορούν και οδηγούν σε ακόμη ένα υψηλότερο φάσμα αποδοτικότητας σε ευρεία κανάλια, καθώς και σε μείωση του κόστους στα πιο στενά κανάλια. Είναι γνωστό επίσης σαν Scalable OFDMA ή διαφορετικά ως SOFDMA²⁸. Ως ακολούθως επίσης, παρατείνονται οι σχετικές συνεισφορές του πρωτοκόλου IEEE 802.16e-2005 στη βελτίωση του 802.16-2004 και για χρήση του Scalable OFDMA ως εξής.

- *Βελτίωσε την κάλυψη χρησιμοποιώντας εξελιγμένες κεραίες, τοποθετημένες σε ποικίλους συνδυασμούς.*

²⁷ Μπουανάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

²⁸ Μπούζη Χ., “Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού”, Αθήνα, 2008.

- Βελτίωσε την κάλυψη εισάγοντας συστήματα κεραιών πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (*Multiple Input Multiple Output - MIMO*).
- Βελτίωσε την ικανότητα του να διεισδύει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους.
- Χρησιμοποίησε νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης όπως *Turbo Coding* και *Low-Density Parity Check (LDPC)*, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια.
- Έδωσε τη δυνατότητα στους *administrators* να εναλλάσσουν την κάλυψη για τη δυναμικότητα και το αντίστροφο.
- Ο νέος αλγόριθμος *FFT* επιτρέπει μεγαλύτερες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων κι έτσι είναι περισσότερο ανθεκτικό σε αρεμβολές πολλών διαφορετικών μονοπατιών στη μεταφορά δεδομένων.
- Αύξησε την ποιότητα, εννοώντας έτσι τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μετατρέποντας το έτσι στο πλέον κατάλληλο για εφαρμογές *VoIP*.
- Αύξησε την υποστήριξη για κινητικότητα των συνδρομητών, κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία του πρωτοκόλλου *802.16-2005* και είναι πολύ βασικό για την εξέλιξη του *Mobile WiMax*.

Θα πρέπει αντίστοιχα να σημειωθεί πως οι πωλητές του πρωτοκόλλου *802.16d* τονίζουν λεπτομερώς το γεγονός πως το *802.16-2004* μπορεί και προσφέρει το προνόμιο κάποιων διαθέσιμων προϊόντων για σταθερή πρόσβαση αντίστοιχα. Θεωρείται αρκετά γνωστό μεταξύ των διαφόρων και εναλλακτικών παρόχων αλλά και τελεστών σε τομείς που αναπτύσσονται εξαιτίας του χαμηλού του κόστους ανάπτυξης καθώς και της απόδοσης του σε σταθερό περιβάλλον. Το πρωτόκολλο *802.16-2004* είναι επίσης ένα άκρως δυναμικό πρωτόκολλο για τη διαδικασία του *backhaul* ασύρματων των βασικών σταθμών και όπως συμβαίνει και στην κινητή τηλεφωνία αλλά και στο *WiFi* όπως και στο *mobile WiMAX*.

Αποτελεί τέλος γεγονός πως το SOFDMA και το οποίο χρησιμοποιείται στο 802.16e-2005 αλλά και στο OFDM στο πρωτόκολλο 802.16d, δεν θεωρούνται να είναι συμβατά και έτσι λοιπόν όλος ο εξοπλισμός θα πρέπει να αλλάζει όταν βέβαια ένας χειριστής θελήσει να χρησιμοποιήσει το παλιότερο πρωτόκολλο αντί για το νεότερο. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί πως υπάρχουν κατασκευαστές οι οποίοι σχεδιάζουν να δημιουργήσουν συστήματα τα οποία είναι συμβατά με το SOFDMA αλλά και με παλιότερα πρωτόκολλα. Έτσι λοιπόν θα μπορεί να γίνεται με πιο εύκολο τρόπο η μετάβαση των δικτύων και τα οποία έχουν ήδη επενδύσει στο σύστημα OFDM. Αυτή η δυνατότητα θα επηρεάσει αντίστοιχα ένα μικρό σχετικά αριθμό χρηστών και χειριστών²⁹.

2.3 QoS – Παροχή Υψηλής Ποιότητας Υπηρεσιών και WiMAX

Σκοπός του φοιτητή στη παρούσα πτυχιακή εργασία, είναι να αναλύσει τη λειτουργία τους συστήματος WiMAX καθώς και των χαρακτηριστικών του προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ποιότητας προς τους χρήστες του με σκοπό την άρτια και ολοκληρωμένη εφαρμογή ενός συστήματος OFDMA. Για το σχετικό λόγο λοιπόν, ο φοιτητής αναφέρεται στην πλήρης και αναλυτική λειτουργία των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του συστήματος WiMAX στο Πρώτο κεφάλαιο της παρούσης πτυχιακής εργασίας και στο Δεύτερο κεφάλαιο αυτής, αναφέρεται στα ειδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται αλλά και σε τελική ανάλυση πως συντελεί το

²⁹ Μπούζη Χ., “Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού”, Αθήνα, 2008

κάθε χαρακτηριστικό στην καλύτερη παροχή υπηρεσιών από μέρους του WiMAX σε συνδυασμό με την εφαρμογή του OFDMA προς τους χρήστες των ασύρματων συνδέσεων στις μέρες μας.

Αποτελεί γεγονός πως η παροχή της υψηλής ποιότητας υπηρεσιών όπως για παράδειγμα η μεταφορά της φωνής, θεωρείται εξαιρετικά σημαντική με σκοπό την υιοθέτηση αλλά και την εξάπλωση του προτύπου WiMAX. Για αυτό ακριβώς το λόγο, το σχετικό υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει αντίστοιχα κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής αλλά και βίντεο και με σκοπό να είναι εφικτή αυτή η συγκεκριμένη μεταφορά και η οποία χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο. Θα πρέπει να σημειώσουμε αντίστοιχα ότι τα χαρακτηριστικά του *Medium Access Control (MAC)* του προτύπου WiMAX 802.16a προσφέρουν τη δυνατότητα σε ένα συγκεκριμένο χειριστή και για να παρέχει ταυτόχρονα υπηρεσίες σε αντίστοιχες επιχειρήσεις με υπηρεσίες τύπου τεχνολογίας του T1 και σε σπίτια με υπηρεσίες τύπου καλωδιακής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας τον ίδιο σταθμό βάσης³⁰.

2.3.1 802.16 Ασφάλεια WiMAX

Η ασφάλεια για το πρωτόκολλο WiMAX είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη ενός πρότυπου αντίστοιχα. Η μυστικότητα αλλά και η κρυπτογράφηση είναι από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου στο IEEE

³⁰ Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

802.16 και για ασφαλή μεταφορά πληροφορίας. Η ασφάλεια αντίστοιχα του προτύπου 802.16 βασίζεται στην κρυπτογράφηση δεδομένων αλλά και στην αυθεντικοποίηση. Το θέμα της ασφάλειας δεν είναι κάτι στατικό αλλά μεταβάλλεται συνεχώς με βάση κάθε φορά τα νέα δεδομένα και προβλήματα³¹.

2.3.2 Χαρακτηρισμός Καναλιού WiMAX

θα πρέπει να σημειωθεί πως το πρωτόκολλο WiMAX μπορεί να παρέχει δύο είδη ασύρματων υπηρεσιών και τα οποία σημειώνονται ως εξής:

- Υπάρχει η δυνατότητα της εξυπηρέτησης της συγκεκριμένη περίπτωσης *Line-Of-Sight* - LOS, όπου μία σταθεροποιημένη κεραία μπορεί και δείχνει απευθείας στον πύργο WiMAX από κάποια στέγη ή άλλο υπερυψωμένο σημείο. Η σχετική LOS σύνδεση είναι πιο δυνατή και σταθερή και για αυτό μπορεί να μεταδίδει σημαντικό μέγεθος δεδομένων χωρίς πολλά λάθη.
- Υπάρχει επίσης η περίπτωση *Non-Line-Of-Sight* - NLOS, ένα είδος υπηρεσίας σαν το Wi-Fi, όπου μία μικρή κεραία στον προσωπικό υπολογιστή συνδέεται σε έναν πύργο. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα WiMAX μπορεί και χρησιμοποιεί ένα φάσμα χαμηλότερης συχνότητας της τάξης των 2 GHz με 11 GHz (παρόμοιο με το Wi-Fi). Μεταδόσεις χαμηλότερης κυματομορφής δεν είναι τόσο εύκολο να διακοπούν από φυσικά εμπόδια – μπορούν πολύ πιο εύκολα να διαθλαστούν ή να παρακάμψουν εμπόδια. Όταν βέβαια ζητείται η ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο σημείων είναι βασικό να γνωρίζει κανείς αν τα σημεία αυτά βρίσκονται σε συνθήκες LOS ή NLOS.

³¹ Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

Θα πρέπει όμως αντίστοιχα να σημειωθεί πως σε μια LOS ζεύξη σημείων, εκείνο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο κατευθύνεται απευθείας από την κεραία του πομπού σε εκείνη τη κεραία του δέκτη και χωρίς να υποστεί κάποια ανάκλαση από τα αντίστοιχα γειτονικά εμπόδια. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για να συμβαίνει το σχετικά παραπάνω συμβάν, είναι να είναι ελεύθερη από οποιαδήποτε εμπόδια σε μια περιοχή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των δύο σημείων προς επικοινωνία που ονομάζεται ζώνη του *Fresnel*. Βέβαια όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται μέσα στη πρώτη ζώνη του Fresnel τότε το κανάλι χαρακτηρίζεται σαν *Optical Line of Site* (OLOS). Το σχετικό πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί επίσης να παρέχει και μια επικοινωνία και σε σημεία τα οποία βρίσκονται σε συνθήκες OLOS κάτι που ο προκάτοχος του (Wi-Fi) δύσκολα μπορούσε να πετύχει³².

Τέλος, στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως η σχετική χρήση της διαμόρφωσης του OFDM επιτρέπει στο πρωτόκολλο WiMAX να εξασφαλίζει κάποιες σχετικές σταθερές αλλά και αξιόπιστες συνδέσεις ακόμα και σε συνθήκες του NLOS και όπως ήδη αναλύθηκε παραπάνω. Είναι γεγονός πως η τεχνική του OFDM μπορεί και υποστηρίζει μια συγκεκριμένη μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης. Επιπλέον δε, η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι Forward Error Correction (FEC) και Cyclic Redundancy Checking (CRC) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης³³.

³² Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

³³ Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006

2.4 Κατηγορίες Συστήματος OFDMA

OFDM Φυσικό επίπεδο.

Το OFDM φυσικό επίπεδο βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση σε χρήση broadcasting. Η OFDM διαμόρφωση αναφέρεται σε μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάνας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο αναφέρεται κυρίως στη περίπτωση όπου τα SS είναι πύλες και επεκτείνονται με πολλά κανάλια σε σπίτια και επιχειρήσεις. Είναι δηλαδή η λογική των Modem που επεκτείνονται μέσα στο ενσύρματο δίκτυο³⁴.

Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά το uplink δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS στο σταθμό βάσης. Για το Uplink συγκεκριμένα υπάρχουν 16 υποκανάλια. Επίσης να πούμε ότι το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing (TDD) και Frequency Division Duplexing (FDD) εργασίες, τόσο για FDD όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD subscriber stations (SS). Για να γίνουν τα παραπάνω περισσότερο κατανοητά να πούμε ότι το TDD έχει την έννοια της τοποθέτησης δύο ροών δεδομένων μέσα σε ένα σήμα χωρίζοντας το σήμα σε τμήματα με το καθένα να έχει πολύ μικρή διάρκεια. Τα τμήματα αυτά συγκεντρώνονται ξανά στο δέκτη. Επίσης το

³⁴ Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

FDD αναφέρεται στη μέθοδο εκείνη όπου δύο διαφορετικά σήματα συνδυάζονται όταν είναι να μεταβιβαστούν σε μία γραμμή η κανάλι επικοινωνίας³⁵.

Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό των downlink δεδομένων, δηλαδή των δεδομένων από το σταθμό βάσης στον SS. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου Space Time Coding (STC) και τη χρήση Adaptive Antenna Systems (AAS) με Spatial Division Multiple Access (SDMA). Τέλος, το SDMA είναι ένας τρόπος δορυφορικής επί των πλείστων, επικοινωνίας όπου βελτιστοποιεί τη χρήση του ραδιοφάσματος και ελαχιστοποιεί το κόστος συστημάτων με το να εκμεταλλευθεί τις κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών πιάτων.

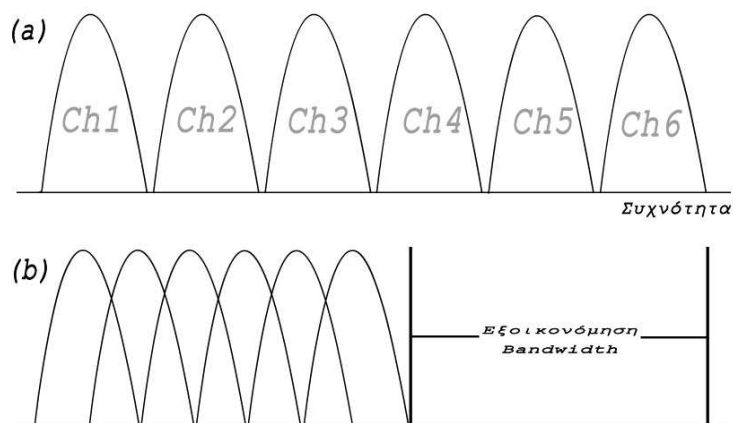
OFDMA Φυσικό επίπεδο

Αρχικά να πούμε ότι το OFDMA το οποίο αναφέρεται και ως «πολλαπλών χρηστών OFDM», θεωρείτε ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι το OFDMA PHY χρησιμοποιείται όχι μόνο στο πρότυπο 802.16 αλλά και σε κάποια υποπρότυπα του 802.11. Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα

³⁵ Barbeau Michel, "WiMax/802.16 Threat Analysis", Q2SWinet'05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005

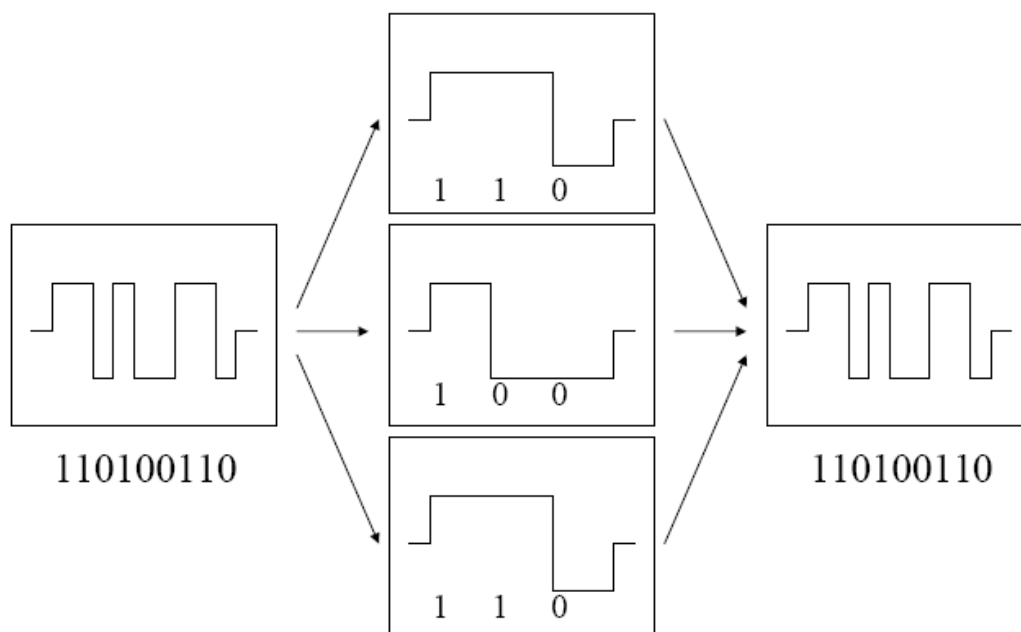
διαχωρισμού σε υπο-κανάλια³⁶. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί πως σε ένα σύστημα OFDM παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- Σε ένα κλασικό FDM σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάντα συχνοτήτων διαιρείται σε έναν αριθμό μη επικαλυπτόμενων υποκαναλιών
- Στο OFDM τα υποκανάλια είναι επικαλυπτόμενα
- Το μέγιστο στο φάσμα του κάθε υποκαναλιού συμπίπτει με τα φασματικά μηδενικά των 2 γειτονικών του υποκαναλιών



- Μικρό κομμάτι πληροφορίας μεταδίδεται σε διαφορετικά υποκανάλια, αντί όλος ο όγκος της πληροφορίας να μεταδίδεται στο βασικό κανάλι

³⁶ Barbeau Michel, "WiMax/802.16 Threat Analysis", Q2SWinet'05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005



2.5 Ασύρματα Δίκτυα για Χρήση OFDMA σε WiMAX

Τα ασύρματα δίκτυα ή διαφορετικά Wi-Fi Networks - εμφανίζονται πλέον ολοένα και περισσότερο στη ζωή μας. Θεωρούνται η εξέλιξη των ενσύρματων δικτύων και αποτελούν ίσως κατά το κοινώς λεγόμενο, το μέλλον στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Μιλώντας κανείς για ασύρματα δίκτυα αναφέρεται στη σύνδεση μεταξύ 2 ή περισσότερων ηλεκτρονικών υπολογιστών με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων χωρίς όμως να παρεμβάλλονται καλώδια ή κάποιο είδος οργανικής σύνδεσης ανάμεσά τους³⁷.

Ο συγκεκριμένος όρος δεν είναι ιδιαίτερα σαφής σε έναν χρήστη ο οποίος δεν είναι επαρκώς εξοικειωμένος με τις νέες τεχνολογίες για το λόγο ότι αποδίδει μόνο ένα μικρό μέρος της ευρείας χρήσης που μπορούν αυτά τα συστήματα να έχουν. Για παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί πως τα στοιχεία ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή

³⁷ Pflieger, C., P., 1997, "Security in Computing", Prentice Hall

περιέχονται πια σε κινητά τηλέφωνα, φορητές συσκευές ήχου και εικόνας, υπολογιστές παλάμης, εκτυπωτές και γενικά συσκευές γραφείου, κάτι που σημαίνει πως όλα αυτά έχουν πλέον τη δυνατότητα να συνδεθούν σε ένα ασύρματο δίκτυο.

Όπως όμως κάθε μέθοδος σύνδεσης συστημάτων, έτσι και τα ασύρματα δίκτυα ακολουθούν πιστά κάποια πρωτόκολλα και πρότυπα μοντέλα τα οποία τις περισσότερες φορές ορίζονται απο διεθνείς οργανισμούς όπως το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών - IEEE - μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος ασχολείται και με την προτυποποίηση τεχνικών μέσων και τεχνολογιών) το οποίο όρισε τα πρωτόκολλα 802.11a, 802.11b, 208.11g και άλλα ενώ ταυτόχρονα ανέπτυξε και το γνωστό Bluetooth - πρωτόκολλο 802.15 και το οποίο ανήκει στην κατηγορία των PAN ή γνωστό ως Personal Area Networks³⁸. Για την επικοινωνία αυτή χρησιμοποιούνται κάποιες υψηλές συχνότητες της τάξης των 2.4 Gigahertz ή ελεύθερη ζώνη.

Οι λόγοι για τους οποίους τα ασύρματα δίκτυα πιθανώς διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο στη σύνδεση μεταξύ υπολογιστών στο μέλλον είναι πολλοί και αναφέρονται ως ακολούθως :

- *Παρέχουν κάποιες πραγματικά μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από κάποιες εκατοντάδες Kbps (kilo bits per second), έως και πολλές δεκάδες Mbps, αναφορικά στα 54 Mbps για το 802.11a και g, με τη διαφορά όμως ότι το a λειτουργεί στα 5 GHz ενώ το g στα 2.4 GHz και 11Mbps για το 802.11b το μέγιστο, γύρω στα 5 στην πράξη.*
- *Η υλοποίησή τους στις μέρες μας έχει πολύ χαμηλό κόστος, υπολογίζεται περίπου στα 150 ευρώ και είναι προσιτό στον καθένα που επιθυμεί να*

³⁸ McCarthy, L., 1997, "Intranet Security", Prentice Hall

εγκαταστήσει ένα τέτοιο δίκτυο, ενώ η τεχνογνωσία για αυτό παρέχεται εν αφθονία στο διαδίκτυο

- Η εμβέλεια τους είναι επαρκής και κυμαίνεται ανάλογα με τη χρήση που απαιτεί ο κάθε χρήστης. Έτσι για σύνδεση μεταξύ οικιακών συσκευών χρησιμοποιείται κυρίως το Bluetooth που έχει εμβέλεια έως τα 10 μέτρα και μπορεί να φτάσει τα 100 μέτρα αλλά με συσκευές υψηλότερης ενέργειας. Για τη δημιουργία ενός τοπικού, οικιακού δικτύου το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για ανταλλαγή ψηφιακών αρχείων ή για παιχνίδια πολλαπλών παικτών, χρησιμοποιούνται τα 802.11a, 802.11b και 802.11g, με εμβέλεια από 40 μέτρα για κλειστους χώρους ως 100 μετρα και πολύ περισσότερο έως και 300 μέτρα για ανοικτούς χώρους.
- Για σύνδεση μεταξύ κτιριακών εγκαταστάσεων επιχειρήσεων τα τελευταία χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες οι οποίες φτάνουν σε εμβέλεια τα 4 χιλιόμετρα. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για τις παραπάνω κατηγορίες έτσι ώστε αυτές να αποδώσουν τα μέγιστα θεωρείται η οπτική επαφή, και αν αυτή δεν είναι δυνατή, η αποφυγή μεσολάβησης μεταλλικών αντικειμένων ή αντικειμένων που περιέχουν νερό.
- Τα ασύρματα δίκτυα παρέχουν μια μεγάλη διευκόλυνση καθώς σημαίνουν το τέρμα με τα πολλά καλώδια που όλους λίγο πολύ τους έχουν κουράσει στην δικτύωση τους στο Ίντερνετ

2.6 Σύστημα OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiplex Access

2.6.1 Τεχνολογία Πολυπλεξίας Συχνότητας Ορθογωνικών Σημάτων

θα πρέπει αντίστοιχα να σημειωθεί πως η τεχνολογία πολυπλεξίας συχνότητας ορθογωνικών σημάτων στηρίζεται στην τεχνική μετάδοσης πολλαπλών φερουσών συχνοτήτων και πρόσφατα αναγνωρίστηκε σαν μια τέλεια μέθοδος για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας ασύρματης επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων για δεδομένα. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή από τη δεκαετία του 1960, αλλά μόλις πρόσφατα έγινε δημοφιλής λόγω των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που είναι πλέον διαθέσιμα και ικανά να εκτελέσουν αποδοτικά και με την αναγκαία ταχύτητα τις ψηφιακές λειτουργίες που απαιτούνται για την τεχνική αυτή³⁹.

Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη διαίρεση του διαθέσιμου φάσματος σε πολλαπλές φέρουσες συχνότητες και την αποδοτική συμπίεση των φερουσών αυτών μεταξύ τους. Για να μην υπάρχουν παρεμβολές όμως μεταξύ των φερουσών, τα διαμορφωμένα σήματα είναι ορθογωνικά. Με τον τρόπο αυτό έχουμε σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του απαιτούμενου φάσματος. Επειδή τα OFDM συστήματα προσαρμόζονται ακόμα πιο εύκολα σε ένα υπαίθριο περιβάλλον και τις παρεμβολές που αυτό εισάγει στην επικοινωνία, χρησιμοποιούνται συνήθως για metro-access εφαρμογές. Η τεχνολογία OFDM καταφέρνει να βελτιστοποιήσει τις υπο-φέρουσες, ορίζοντας το μέγεθος που θα έχουν ανάλογα με την κατάσταση

³⁹ Ζαβιτσάνος Σ., Παναγιωτόπουλος Φ, “Σχεδίαση και ανάπτυξη παιχνιδιού πολλαπλών χρηστών σε κινητές συσκευές, πάνω από προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007

(ιδιαιτερότητες χρήστη και μέσου μετάδοσης) και τις ανάγκες της ραδιοσυχνότητας⁴⁰

Είναι επίσης γεγονός πως οι σχετικές ορθογωνικές θεωρούνται οι συχνότητες στις οποίες έχει διαιρεθεί το φέρον και είναι επιλεγμένες έτσι ώστε οι κορυφές της μιας να συμπίπτουν με τα μηδενικά της γειτονικής. Η ροή των δεδομένων μετατρέπεται από σειριακή σε παράλληλη, στη συνέχεια κάθε παράλληλη ροή δεδομένων χαρτογραφείται από ένα διάγραμμα διαμόρφωσης. Με τη σειρά τους βέβαια τα διαμορφωμένα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία από μια μονάδα αντίστροφου μετασχηματισμού Φουριέ όπως το IFFT block. Το IFFT διάγραμμα μπορεί και μετατρέπει τις διακριτές διαμορφωμένες συχνότητες σε σήματα στο πεδίο του χρόνου, τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τον ενισχυτή ραδιοσυχνοτήτων (RF amp)⁴¹.

Η OFDMA χρησιμοποιεί ένα σχήμα με πολλούς «φέροντες» (multicarrier scheme) για να επιτύχει απόδοση μετάδοσης (δεδομένα/Hz) κοντά στα κλασικά σχήματα με ένα φέρον (QPSK, QAM) αλλά με μεγαλύτερη ανοχή στις διαταραχές του καναλιού. Αυτό επιτυγχάνεται συγχρονίζοντας πολλούς φορείς ταυτόχρονα, αλλά σε χαμηλότερους ρυθμούς συμβόλων συγκριτικά με σχήματα διαμόρφωσης με ένα φέρον (Single Carrier Modulation)⁴².

⁴⁰ Ζαβιτσάνος Σ., Παναγιωτόπουλος Φ, “Σχεδίαση και ανάπτυξη παιχνιδιού πολλαπλών χρηστών σε κινητές συσκευές, πάνω από προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007

⁴¹ Barbeau Michel, “WiMax/802.16 Threat Analysis”, Q2SWinet’05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005

⁴² Ζαβιτσάνος Σ., Παναγιωτόπουλος Φ, “Σχεδίαση και ανάπτυξη παιχνιδιού πολλαπλών χρηστών σε κινητές συσκευές, πάνω από προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007

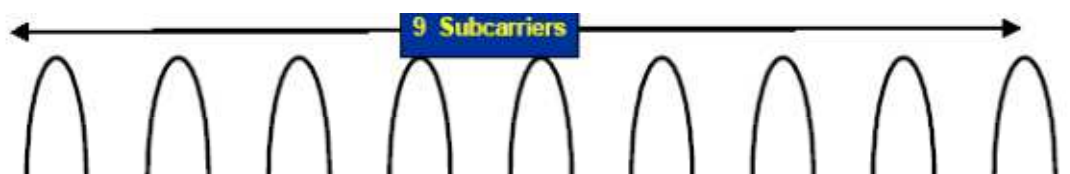
Το multi-carrier σχήμα είναι περισσότερο «συμπαγές» στην παρουσία παρεμβολής στο κανάλι και θορύβου, επειδή η απώλεια κάποιου carrier ή ακόμα και αρκετών δεν είναι δυνατόν να χαλάσει την συνολική μετάδοση. Τα χαμένα bits μπορούν να ανακτηθούν μέσω αλγορίθμων διόρθωσης σφαλμάτων. Επίσης, λόγω του χαμηλότερου ρυθμού συμβόλου ο θόρυβος μπορεί να επισκιάσει λιγότερα σύμβολα. Η OFDMA πολυπλεξία είναι αποτελεσματική ως προς το φάσμα λόγω της μικρής απόστασης που έχουν οι carriers μεταξύ τους. Αν και γενικά είναι μη διαχωρίσιμοι ακόμα και από έναν υψηλής απόδοσης αναλυτή φάσματος, μπορούν να χωριστούν κατά την ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων (DSP), εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι μαθηματικά ορθογώνιοι (πράγμα που σημαίνει ότι δεν αλληλεπιδρούν).

Είναι γεγονός επίσης πως η ακριβής απόσταση ανάμεσα στους carriers τους καθιστά ως ορθογώνιους. Η ορθογωνιότητα βέβαια μειώνεται από διαταραχές στο σήμα, όπως το *phase noise* και αντίστοιχα λάθη στον χρονισμό των διαφόρων μεταβλητών συμβόλων, οι οποίες επίσης προκαλούν και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συμβόλων (Intersymbol Interference (ISI)). Θα πρέπει να σημειωθεί πως η μέθοδος OFDMA είναι βασισμένη στην FDM που χρησιμοποιεί το διαθέσιμο φάσμα διαιρεμένο σε υπο-φέρουσες συχνότητες έτσι ώστε πολλαπλά σήματα να εκπέμπονται ταυτόχρονα με παράλληλο τρόπο. Κάθε ένα από αυτά τα σήματα έχει το δικό του εύρος συχνότητας (υπο-φέρουσα) που στη συνέχεια διαμορφώνεται με τα δεδομένα⁴³.

Έτσι λοιπόν άθε υπο-φέρουσα διαχωρίζεται από την επόμενη με ένα κενό διάστημα για να μην υπάρχει αλληλοκάλυψη των σημάτων στη λειτουργία του

⁴³ Μελετίου P., “Ευρωζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX”, Χανιά, 2007

WiMAX. Οι υπο-φέρουσες αποδιαμορφώνονται στο δέκτη του WiMAX και χρησιμοποιούμε φίλτρα για να διαχωρίζουμε τις μπάντες⁴⁴.



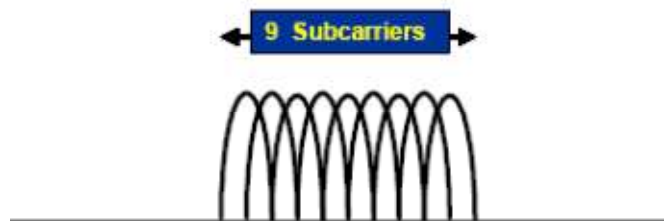
2.6.2 Μέθοδος OFDMA και FDM στο WiMAX

Η μέθοδος OFDMA του WiMAX είναι παρόμοια με την FDM αλλά πολύ περισσότερο αποδοτική όσον αφορά το φάσμα, καθώς το διάστημα που υπάρχει μεταξύ των υπο-φέρουσων δεν είναι αναγκαίο και όπου ουσιαστικά οι μπάντες των δεδομένων αλληλοκαλύπτονται σχετικά. Αυτό βέβαια πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας και στις συχνότητες που αναφέρονται ως ορθογωνικές, δηλαδή κάθετες μεταξύ τους από μαθηματική άποψη, επιτρέποντας έτσι στο φάσμα του κάθε υπο-καναλιού να αλληλοκαλύπτεται με αυτό του επόμενου δίχως να υφίσταται παρεμβολή μεταξύ τους. Όπως βέβαια διαπιστώνεται αντίστοιχα, το απαιτούμενο φάσμα είναι κατά μεγάλο βαθμό μειωμένο καθώς δεν υπάρχουν κενά για τον διαχωρισμό των υπο-καναλιών και επιπλέον αυτά αλληλοκαλύπτονται.

Με σκοπό λοιπόν να γίνει η αποδιαμόρφωση των σημάτων είναι αναγκαίος μετασχηματισμός *Fourier* (DFT), ολοκληρωμένα κυκλώματα για *Fast Fourier Transformation* (FFT) υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο, επομένως η διαδικασία της αποδιαμόρφωσης γίνεται σχετικά εύκολα στο σύστημα WiMAX⁴⁵.

⁴⁴ Μελετίου Π., "Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX", Χανιά, 2007

⁴⁵ Μελετίου Π., "Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX", Χανιά, 2007



2.6.3 Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας OFDMA του WiMAX

- *SCM*: Ένας carrier του οποίου το εύρος ζώνης (bandwidth) καθορίζεται από τον ρυθμό του συμβόλου και την μορφή του φίλτρου βασικού σήματος του WiMAX. Οποιαδήποτε ενέργεια έξω από αυτό το εύρος οφείλεται σε μη γραμμική παραμόρφωση.
- *OFDM*: 200 carriers, με ένα μηδενικό στο κέντρο του WiMAX. Το εύρος του σήματος είναι συνάρτηση του αριθμού των carriers επί την απόσταση στην συχνότητα μεταξύ των carriers. Η ενέργεια σε γειτονικά κανάλια δεν είναι παραμόρφωση αλλά το σύνθετο rolloff των 200 carriers.

Όπως βέβαια αναφέρθηκε πριν, κάποιοι από τους carriers δεν μεταφέρουν δεδομένα αλλά είναι *pilots* του WiMAX. Αυτοί μεταδίδονται χρησιμοποιώντας BPSK και ανεξάρτητα από το είδος της διαμόρφωσης στους υπόλοιπους 192 carriers. Λόγω βέβαια του γεγονότος ότι το πλάτος και η φάση τους είναι μεγέθη γνωστά, είναι πολύ πιο εύκολο ο δέκτης να συγχρονίσει τα εισερχόμενα σήματα και να τα αποδιαμορφώσει σωστά. Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας πραγματοποιείται ως ακολούθως :

- *SCM*: Ένας carrier του οποίου το εύρος ζώνης (bandwidth) καθορίζεται από τον ρυθμό του συμβόλου και την μορφή του φίλτρου βασικού σήματος του

WiMAX. Οποιαδήποτε ενέργεια έξω από αυτό το εύρος οφείλεται σε μη γραμμική παραμόρφωση.

- *OFDM*: 200 carriers, με ένα μηδενικό στο κέντρο. Το εύρος του σήματος είναι συνάρτηση του αριθμού των carriers επί την απόσταση στην συχνότητα μεταξύ των carriers. Η ενέργεια σε γειτονικά κανάλια δεν είναι παραμόρφωση αλλά το σύνθετο rolloff των 200 carriers.
- *SCM*: Ένα σύμβολο αναπαριστά μια συγκεκριμένη στιγμή στο χρόνο όπως για παράδειγμα ένα σημείο στην μεταδιδόμενη κυματομορφή, όπου το πλάτος και η φάση αντιστοιχούν σε μια τιμή στον αστερισμό μετάδοσης. Τα σύμβολα μεταδίδονται γρήγορα για να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.
- *OFDM*: Ένα σύμβολο δεν είναι πια μονοδιάστατο αλλά είναι ένα block χρόνου συγκεκριμένης διάρκειας. Μεμονωμένα σημεία στον χρόνο δεν έχουν καμία σημασία ως προς τα δεδομένα που κουβαλούν.

2.6.4 Απεικόνιση στο Πεδίο του Χρόνου για το OFDMA στο WiMAX

Η κυματομορφή μπορεί και παράγεται αντίστοιχα από έναν αντίστροφο μετασχηματισμό *Fourier (IFFT)*. Ο χρόνος T_b αποτελεί ουσιαστικά τον χρήσιμο χρόνο συμβόλου. Ένα αντίγραφο T_g της χρήσιμης περιόδου του συμβόλου αντιγράφεται από το τέλος του συμβόλου και τοποθετείται στην αρχή, κατά την διαδικασία αυτή η ορθογωνικότητα του κώδικα διατηρείται. Σαν χρόνο συμβόλου T_s ορίζεται πλέον το άθροισμα $T_s = T_g + T_b$. Το αντίγραφο αυτό ονομάζεται CP (Cyclic

Prefix) και χρησιμοποιείται για να επιτύχουμε σωστή λήψη του σήματος στον δέκτη⁴⁶.

Το σήμα κατά την πορεία του από τον πομπό προς τον δέκτη δεν ακολουθεί μια και μόνο πορεία αλλά μπορεί ταυτόχρονα να ανακλάται πάνω σε κτίρια ή αυτοκίνητα και να φτάνει στον δέκτη αλλοιωμένο (multipath). Η σημασία του τέλους της χρήσιμης περιόδου του συμβόλου έχει να κάνει με την αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου. Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον πομπό αυξάνεται όσο μεγαλώνει το μήκος του guard time T_g , ενώ η ενέργεια του δέκτη παραμένει η ίδια καθώς η κυκλική επέκταση απορρίπτεται και μόνο το χρήσιμο μέρος του συμβόλου επεξεργάζεται περαιτέρω. Για το λόγο αυτό έχουμε μια απώλεια στο λόγο E_b/N_0 η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση⁴⁷:

$$10 \log (1 - T_g / T_g + T_b)$$

$$E_b/N_0 = (\text{dB})$$

Θα πρέπει να σημειωθεί βέβαια πως χρησιμοποιώντας ουσιαστικά εκείνη την κυκλική επέκταση, τα δείγματα τα οποία απαιτούνται στον δέκτη για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία του *Fast Fourier Transformation* μπορούν να ληφθούν από οποιοδήποτε σημείο και κατά μήκος του εκτεταμένου συμβόλου. Αυτό βέβαια παρέχει στο σύστημα μια ανοσία από το *multipath* όπως και ανθεκτικότητα σε τυχόν σφάλματα χρονισμού του συμβόλου.

⁴⁶ Μελετιού P., "Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX", Χανιά, 2007

⁴⁷ Barbeau Michel, "WiMax/802.16 Threat Analysis", Q2SWinet'05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005

Κατά την αρχικοποίηση του στο WiMAX, ο ΣΧ θα ψάξει όλα τα πιθανά μεγέθη κυκλικής επέκτασης μέχρι να βρεί το ακριβές μέγεθος που χρησιμοποιεί ο ΣΒ. Το μέγεθος επέκτασης που υπάρχει στην κάτω ζεύξη, ο ΣΧ θα το χρησιμοποιήσει και για την άνω ζεύξη. Όταν μια συγκεκριμένη διάρκεια CP επιλεγεί από τον ΣΒ για λειτουργία στην κάτω ζεύξη, δεν θα αλλάξει στη συνέχεια η διάρκεια αυτή για κανένα λόγο. Μια αλλαγή στην κυκλική επέκταση από τον ΣΒ θα ανάγκαζε όλους τους ΣΧ που εξυπηρετούνται από αυτόν να ξανασυγχρονιστούν από την αρχή διακόπτοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος WiMAX.

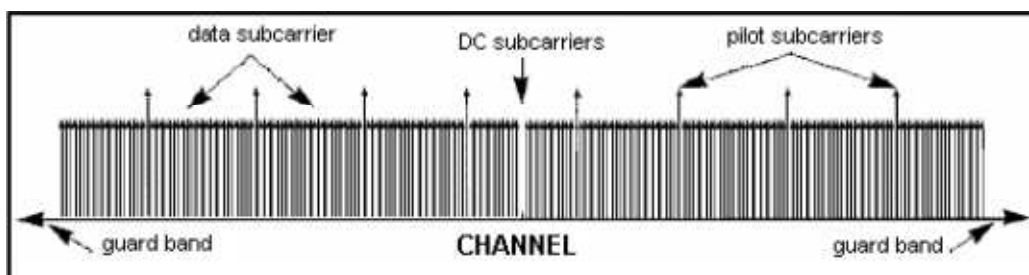
2.6.5 Απεικόνιση στο Πεδίο της Συχνότητας για τα OFDMA στο WiMAX

Το συγκεκριμένο σύμβολο φτιάχνεται από κατάλληλα subcarriers, ο αριθμός των οποίων προσδιορίζει το μέγεθος του FFT που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν 3 τύποι subcarriers στο OFDMA για χρήση WiMAX:

- *Data subcarriers: Για μετάδοση δεδομένων*
- *Pilot subcarriers: Για διάφορους ελέγχους, σηματοδότηση και συγχρονισμό*
- *Null subcarriers: Καμία μετάδοση. Μηδενικά subcarriers και DC subcarrier, χρησιμοποιούνται και σαν guard bands και επιτελούν το ρόλο ζωνών ασφαλείας.*

Ο λόγος ύπαρξης βέβαια των ζωνών ασφαλείας και ο οποίος λαμβάνεται ως guard band είναι με σκοπό να υπάρχει μια εξασθένηση και μηδενισμός του σήματος σε συγκεκριμένα σημεία του φάσματος μεταξύ των subcarrier δεδομένων. Όσον αφορά τα pilot subcarriers στο σύμβολο που αποτελείται από 256 subcarriers, θα βρίσκονται στις θέσεις -88, -63, -38, -13, +13, +38, +63, +88. Η δε διαμόρφωση

τους θα είναι πάντα QPSK σε αντίθεση με τα data subcarrier που η διαμόρφωση μπορεί να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση εκπομπής .



2.7 Περιγραφή OFDM Συμβόλου στη Συχνότητα του WiMAX

Στα OFDMA συστήματα για χρήση σε WiMAX, τα ενεργά subcarriers ομαδοποιούνται σε υποσύνολα του καναλιού τα οποία καλούνται subchannels. Αυτή η ομαδοποίηση γίνεται γιατί στην κάτω ζεύξη είναι δυνατόν ένα subchannel να προορίζεται για διαφορετικούς δέκτες ή ομάδες δεκτών . Επίσης στην άνω ζεύξη ένας πομπός μπορεί να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα subchannels, ενώ και άλλοι χρήστες να εκπέμπουν ταυτόχρονα στα ίδια subchannels⁴⁸.

Ο σχηματισμός ενός subchannel για χρήση WiMAX μπορεί να γίνει από ένα ή περισσότερα γειτονικά subcarriers. Το κάθε σύμβολο κατανέμεται σε λογικά subchannels έτσι ώστε το σύστημα να είναι κλιμακωτό, να υποστηρίζεται η είσοδος από πολλαπλούς χρήστες και για να μπορεί να εκμεταλλευθεί τις δυνατότητες επεξεργασίας των προηγμένων συστημάτων κεραιών⁴⁹.

⁴⁸ Μελετίου P., "Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX", Χανιά, 2007

⁴⁹ Barbeau Michel, "WiMax/802.16 Threat Analysis", Q2SWinet'05, Montreal, Quebec, Canada, October 2005

2.8 Βασικές Παράμετροι του OFDMA Συμβόλου

Το OFDMA σύμβολο χαρακτηρίζεται από 4 βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος WiMAX.

- 1. BW : εκφράζει το κανονικό φάσμα του καναλιού.
- 2. N_{used} : εκφράζει τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων *subcarriers*, συνυπολογιζόμενων και των *DC carriers*
- 3. n : παράγοντας δειγματοληψίας. Η παράμετρος αυτή σε συνδυασμό με τις δύο προηγούμενες καθορίζει τα διαστήματα που θα απέχουν τα *subcarriers* μεταξύ τους και την χρήσιμη διάρκεια του συμβόλου. Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι ορισμένη στο 8/7.
- 4. G : ο λόγος της διάρκειας της κυκλικής επέκτασης προς τον χρόνο του χρήσιμου συμβόλου. Οι υποστηριζόμενες τιμές για την παράμετρο αυτή είναι 1/32, 1/16, 1/8 και 1/4. Εκτός από τις βασικές παραμέτρους υπάρχουν κάποιες οι οποίες προέρχονται από τις τέσσερις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.9 Περιγραφή Καναλιού και Λειτουργία Χρήσης στο OFDMA

Η χρήση της πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (FDM) πηγαίνει έναν αιώνα πίσω, όπου περισσότερα από ένα σήματα χαμηλού ρυθμού, όπως ο τηλεγράφος, μεταφέρονταν σε ένα κανάλι με σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας ξεχωριστά φέροντα συχνότητας για κάθε σήμα. Για να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των σημάτων στο δέκτη, οι φέρουσες συχνότητες τοποθετούνταν επαρκώς μακριά έτσι ώστε το φάσμα του σήματος να μην επικαλύπτεται. Οι κενές φασματικές περιοχές μεταξύ των σημάτων σιγούρευαν το ότι θα μπορούσαν να διαχωριστούν με

τα ήδη υπάρχοντα φίλτρα. Η φασματική επάρκεια που προέκυπτε επομένως ήταν αρκετά χαμηλή.

Αντί να μεταφέρουν ξεχωριστές πληροφορίες, οι διαφορετικές φέρουσες συχνοτήτων μπορούν να μεταφέρουν διαφορετικά bits από μία πληροφορία υψηλότερου ρυθμού. Η πηγή μπορεί να είναι παράλληλου τύπου, είτε μία σειριακή πηγή που μπορεί να μετατραπεί παράλληλη (με μετατροπέα σειριακό σε παράλληλο της οποίας η έξοδος τροφοδοτεί τα πολλαπλά φέροντα. Ένα τέτοιο σχήμα παράλληλης μετάδοσης μπορεί να συγκριθεί με ένα σειριακό σχήμα υψηλότερου ρυθμού που χρησιμοποιεί το ίδιο κανάλι.

Το παράλληλο σύστημα, αν σχεδιαστεί ως ξεχωριστοί εκπομποί και δέκτες, σίγουρα θα είναι πιο ακριβό να υλοποιηθεί. Κάθε ένας από τους παράλληλους υποδιαύλους μπορεί να μεταφέρει ένα χαμηλό ρυθμό σήματος, ανάλογα με το εύρος ζώνης. Το άθροισμα αυτών των ρυθμών είναι μικρότερο από αυτό που μεταφέρεται από ένα απλό σειριακό κανάλι αυτού του συνδυασμού εύρους συχνοτήτων λόγω του μη χρησιμοποιούμενου χώρου ανάμεσα στα παράλληλα υποφέροντα.

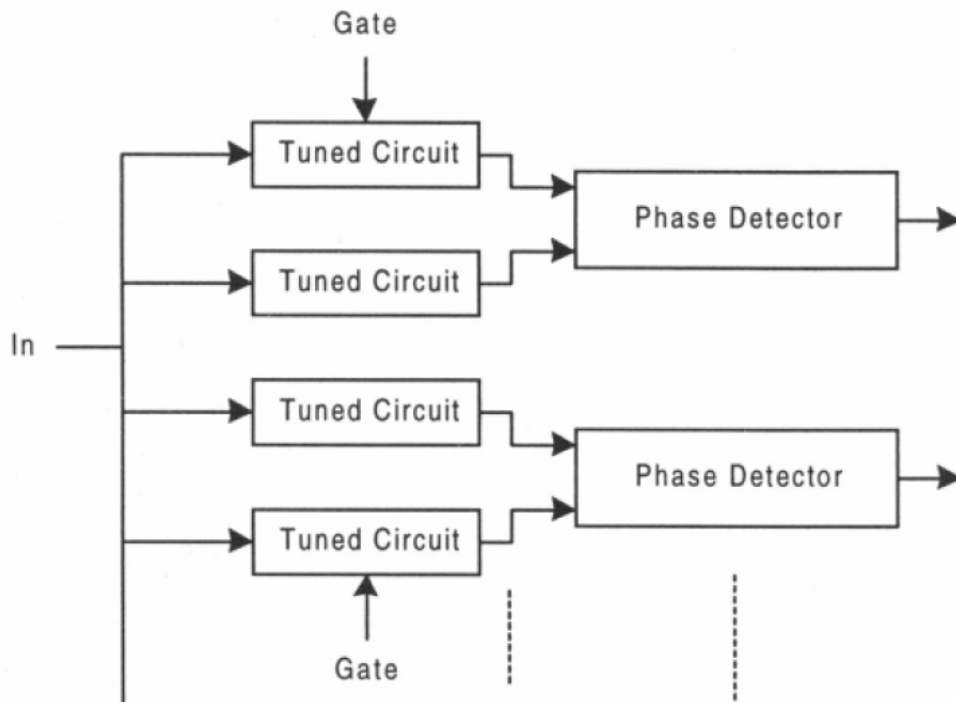
Από την άλλη μεριά, ο απλός διάυλος θα είναι πιο ευάλωτος σε διασυμβολική παρεμβολή. Κι αυτό λόγω της μικρής διάρκειας του κάθε στοιχείου του σήματος και της υψηλής παραμόρφωσης που παράγεται από την ευρεία ζώνη συχνοτήτων του, συγκριτικά με τη μεγάλη διάρκεια των στοιχείων του σήματος και του στενού εύρους ζώνης στους υποδιαύλους στο παράλληλο σύστημα. Πριν την ανάπτυξη της εξισορρόπησης, η παράλληλη τεχνική ήταν το προτιμητέο μέσο για να κατορθωθούν υψηλοί ρυθμοί σε ένα διάυλο διασποράς, παρά το υψηλό κόστος και τη σχετική ανεπάρκεια εύρους ζώνης. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της παράλληλης τεχνικής είναι η μειωμένη ευαισθησία στις περισσότερες μορφές παλμικού θορύβου.

Η πρώτη λύση στο πρόβλημα της επάρκειας εύρους ζώνης σε πολυτονική μετάδοση (όχι στο πρόβλημα της πολυπλοκότητας) ήταν το “Kineplex” σύστημα. Το Kineplex σύστημα αναπτύχθηκε από την Collins Radio Co. για μετάδοση δεδομένων σε έναν H.F. ραδιοδιάυλο που υπόκειται μεγάλη πολυδιαδρομική εξασθένηση. Σε αυτό το σύστημα, κάθε ένας από τους 20 τόνους διαμορφώνεται με διαφορική 4-PSK διαμόρφωση χωρίς φιλτράρισμα. Τα φάσματα είναι επομένως της μορφής $\sin(kf) / f$ επικαλύπτονται αρκετά.

Όμως, όμοια με την σύγχρονη OFDM, οι τόνοι τοποθετούνται σε διαστήματα συχνότητας σχεδόν ίδια με τον ρυθμό του σήματος και μπορούν να διαχωριστούν στο δέκτη. Η τεχνική λήψης δείχνεται στο σχήμα 2.10.1. Κάθε συχνότητα ανιχνεύεται με ένα ζευγάρι συντονισμένων κυκλωμάτων. Εναλλασσόμενα σύμβολα οδηγούνται σε ένα από τα συντονισμένα κυκλώματα, των οποίων το σήμα κρατείται για τη διάρκεια του επόμενου συμβόλου. Τα σήματα στα δύο συντονισμένα κυκλώματα υπόκεινται επεξεργασία για να καθοριστεί η διαφορά φάσης τους, και επομένως η πληροφορία που μεταδίδεται. Το παλιότερο από τα δύο σήματα σβήνεται για να επιτραπεί η είσοδος στο επόμενο σύμβολο.

Το κλειδί στην επιτυχία αυτής της τεχνικής είναι ότι η απόκριση χρόνου κάθε συντονισμένου κυκλώματος σε όλες τις συχνότητες, εκτός από αυτή στην οποία είναι συντονισμένο, περνάει από το μηδέν στο τέλος κάθε διαστήματος, στο σημείο που το διάστημα είναι ίσο με το αντίστροφο του διαχωρισμού συχνοτήτων μεταξύ των συχνοτήτων. Ο χρόνος γίνεται λίγο μικρότερος από την περίοδο συμβόλου για να μειωθεί η διασυμβολική παρεμβολή, όμως επιτυγχάνεται επάρκεια 70% του ρυθμού Nyquist. Κατορθώθηκε υψηλή απόδοση σε πραγματικούς H.F. διαύλους, αλλά με υψηλό κόστος υλοποίησης.

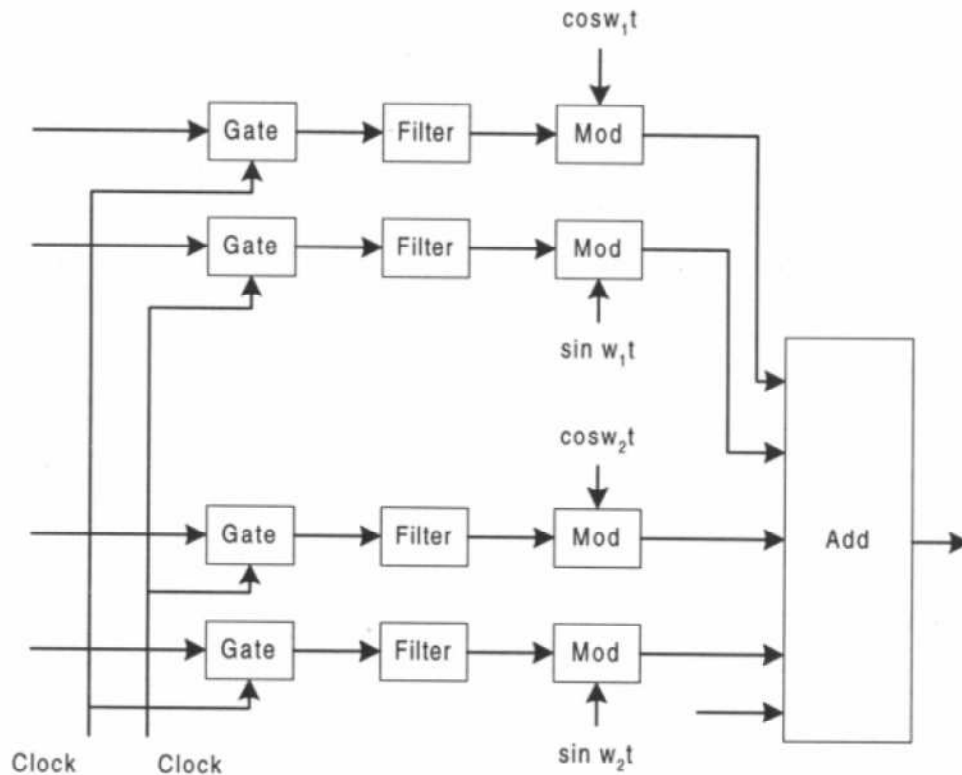
Σχήμα 2.9.1. Ο δέκτης Collins Kineplex



Ένα επόμενο πολυτονικό σύστημα που προτάθηκε χρησιμοποιεί μία ομάδα 9 σημείων QAM σε κάθε φέρον, με ανίχνευση συσχέτισης στο δέκτη. Τα 23 διαστήματα των φέροντων που είναι ίσα με το ρυθμό συμβόλου παρέχουν βέλτιστη επάρκεια φάσματος. Η απλή κωδικοποίηση στο πεδίο της συχνότητας είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτού του σχήματος. Οι παραπάνω τεχνικές παρέχουν την ορθογωνιότητα που χρειάζεται για να γίνει ο διαχωρισμός πολυτονικών σημάτων που χωρίζονται με το ρυθμό συμβόλου. Όμως το $\sin(kf)/f$ φάσμα κάθε συνιστώσας έχει κάποιες μη επιθυμητές ιδιότητες.

Η αμοιβαία επικάλυψη ενός μεγάλου αριθμού φάσματος υποδιαύλων είναι έντονη. Επίσης το φάσμα για ολόκληρο το σύστημα πρέπει να έχει χώρο πάνω και κάτω από τις υπερυψηλές τονικές συχνότητες για να προσαρμόζεται η αργή πτώση

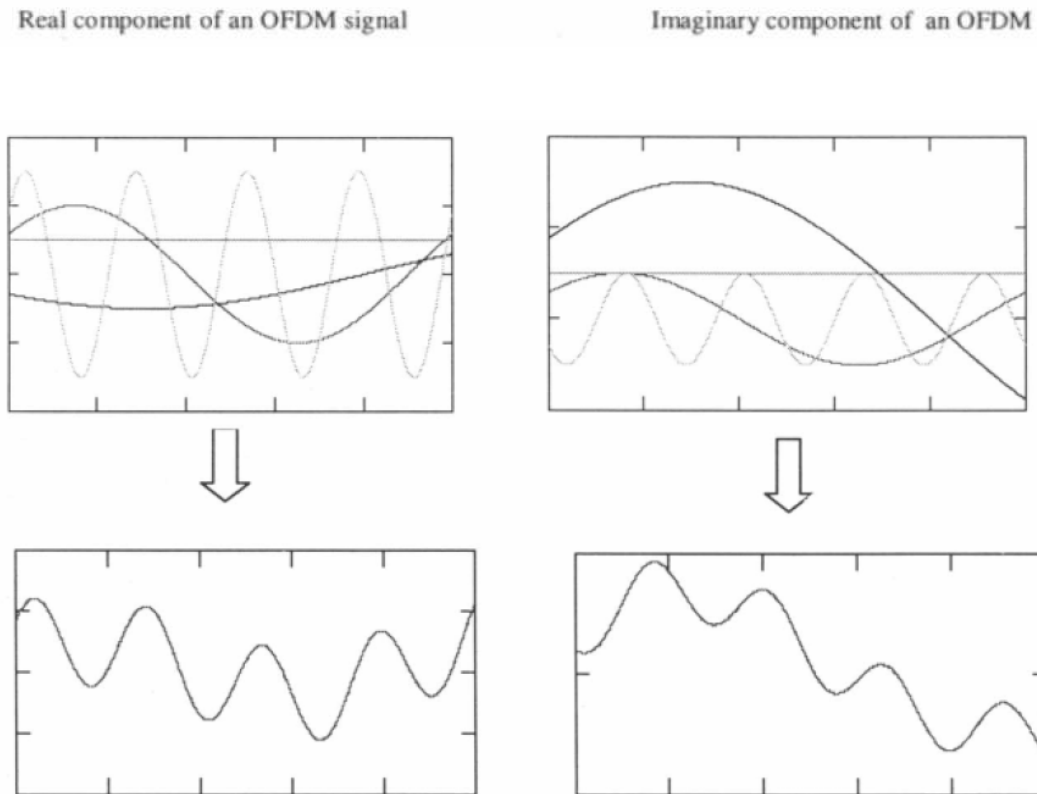
του φάσματος των υποδιαύλων. Για τους λόγους αυτούς, είναι επιθυμητό για κάθε συνιστώσα του σήματος να είναι περιορισμένου εύρους έτσι ώστε να επικαλύπτει μόνο τα αμέσως γειτονικά φέροντα, παραμένοντας ορθογωνική σε αυτά.



Σχήμα 2.9.2. Πρόωρη έκδοση OFDM.

Στο σχημα 1.2. δείχνεται πώς η QAM περιορισμένου εύρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πολυτονικό σύστημα με ορθογωνιότητα και ελάχιστο διάστημα φερόντων . Σε αντίθεση με την QAM μη περιορισμένου εύρους, κάθε φέρον πρέπει να έχει κλιμακωτή (ή αντισταθμισμένη) (Staggered) QAM, δηλαδή η είσοδος στους I και Q διαμορφωτές πρέπει να είναι αντισταθμισμένη με το μισό της περιόδου συμβόλου. Επιπρόσθετα, γειτονικά φέροντα πρέπει να είναι αντισταθμισμένα ανάποδα. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί το ότι η Staggered QAM είναι όμοια με τη διαμόρφωση συμπίεσης της μίας πλευρικής περιοχής (Vestigial

Sideband, VSB). Τα βαθυπερατά φίλτρα $g(t)$ είναι έτσι, ώστε ο συνδυασμός των φίλτρων εκπομπής και λήψης, να είναι Nyquist, με τον παράγοντα αύξησης των απολειών με την αύξηση της συχνότητας να είναι μικρότερος του 1.

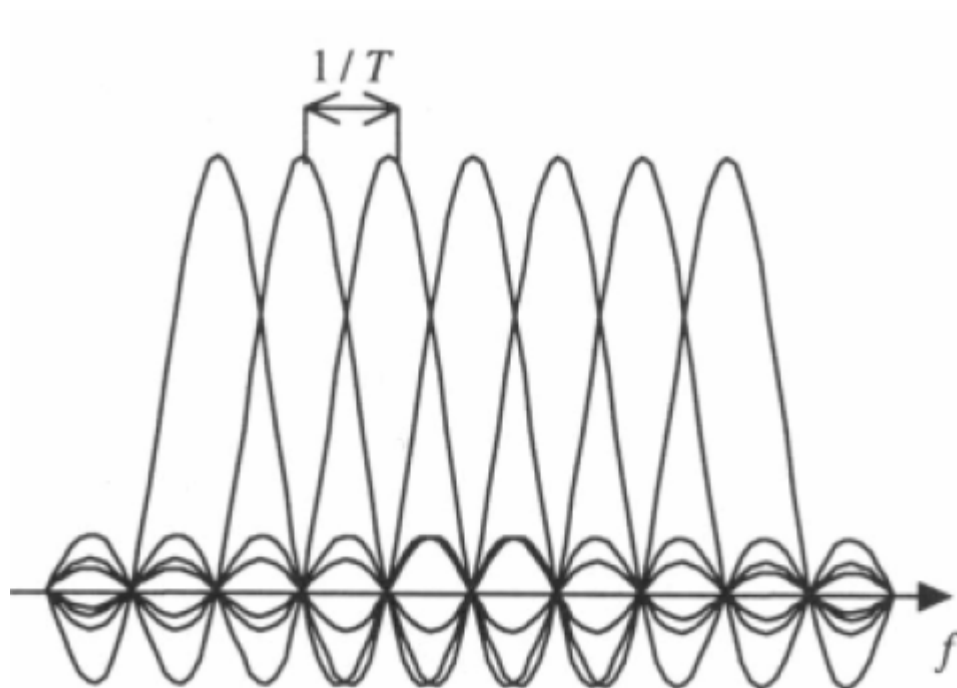


Η μεγαλύτερη συνεισφορά στο πρόβλημα της πολυπλοκότητας OFDM ήταν η εφαρμογή του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT) στη διαδικασία διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης. Ευτυχώς, αυτό συνέβη την ίδια περίοδο που οι ψηφιακές τεχνικές επεξεργασίας σήματος εισάγονταν στο σχεδιασμό modem. Η τεχνική περιελάμβανε συναρμολόγηση της πληροφορίας εισόδου σε μπλοκ από N μιγαδικούς αριθμούς, ένα για κάθε υποδιάυλο.

Σε κάθε μπλοκ εφαρμόζεται αντίστροφος FFT, και αυτό που προκύπτει μεταδίδεται σειριακά. Στο δέκτη, η πληροφορία αποκαθίσταται εφαρμόζοντας FFT στο μπλοκ από δείγματα του σήματος που λαμβάνονται. Αυτή η μορφή OFDM

αναφέρεται συχνά ως Discrete Multi-Tone (DMT). Το φάσμα του σήματος στη γραμμή είναι ίδιο με αυτό των N ξεχωριστών QAM σημάτων, σε N συχνότητες που χωρίζονται από το ρυθμό του σήματος. Κάθε τέτοιο QAM σήμα φέρει έναν από τους πρωτότυπους μιγαδικούς αριθμούς εισόδου. Το φάσμα κάθε QAM σήματος είναι της μορφής $\sin(kf)/f$, με μηδενικά στο κέντρο κάθε άλλου υποφέροντος, όπως στα προηγούμενα OFDM συστήματα, και όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9.3

Σχίμα 2.9.3. Επικάλυψη φάσματος OFDM.



Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η έννοια *Orthogonal συχνότητα-πολυπλεξία (OFDM)* και κατ'ουσίαν ταυτόσημη με Coded OFDM (COFDM) και Διακριτά πολυτονική διαμόρφωση (DMT), είναι μια συχνότητα-πολυπλεξία (FDM) σύστημα χρησιμοποιείται ως ψηφιακό πολυφεροντικούς μέθοδο διαμόρφωσης. Ένας μεγάλος αριθμός των εκ του σύνεγγες διάστιχο orthogonal υπο-μεταφορείς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων. Το

OFDM έχει εξελιχθεί σε ένα δημοφιλές πρόγραμμα για ευρυζωνική ψηφιακή επικοινωνία, είτε ασύρματα ή πάνω από σύρματα χαλκού, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η ψηφιακή τηλεόραση και εκπομπής ήχου, ασύρματη δικτύωση και την ευρυζωνική πρόσβαση στο internet.

Μία άλλη ασύρματη εφαρμογή της OFDM είναι σε υψηλής ταχύτητας LAN. Αν και η απόλυτη καθυστέρηση που διαδίδεται σε αυτό το περιβάλλον είναι χαμηλή, αν πολύ υψηλοί ρυθμοί δεδομένων είναι επιθυμητοί, της τάξεως πολλών δεκάδων Mb/s, τότε η διασπορά καθυστέρησης μπορεί να είναι μεγάλη αν συγκριθεί με το διάστημα συμβόλου. Η διαμόρφωση OFDM είναι προτιμότερη από τη χρήση εξισορροπητών σε αυτήν την εφαρμογή.

Αναμένεται ότι η OFDM θα εφαρμόζεται σε πολλά ακόμα καινούρια τηλεπικοινωνιακά συστήματα τα επόμενα χρόνια. Η βασική αρχή του OFDM είναι να διαιρεί υψηλούς-ρυθμούς μετάδοσης σε χαμηλότερους ρυθμούς που μεταδίδονται ταυτόχρονα πέρα από ένα υποφέρον (subcarrier). Επειδή η διάρκεια συμβόλων αυξάνεται για τους χαμηλότερους ρυθμούς παράλληλων υποφερόντων (subcarriers), το σύνολο των διασκορπισμένων στο χρόνο που προκαλείται εγκαίρως από την πολλαπλή καθυστέρηση διάδοσης είναι μειωμένη.

Η ενδοσυμβολική παρεμβολή (Intersymbol interference -ISI) αποβάλλεται σχεδόν πλήρως με την εισαγωγή ενός χρόνου φρουράς σε κάθε σύμβολο OFDM. Στο διάστημα φρουράς, το σύμβολο OFDM πρόκειται κυκλικά να αποφύγει την παρεμβολή (intercarrier interference ICI). Για τη σχεδίαση OFDM συστημάτων, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράμετροι, όπως ο αριθμός υποφερόντων, ο χρόνος φρουράς, η διάρκεια συμβόλου, το διάστημα υποφερόντων, ο τύπος διαμόρφωσης ανά υποφέρον, και ο τύπος κωδικοποίησης διορθώσεων λάθους. Η επιλογή των

παραμέτρων επηρεάζεται από τις απαιτήσεις συστημάτων, όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης, το απαραίτητο ρυθμό δυαδικών ψηφίων, η καθυστέρηση διάδοσης (delay spread) όπως και οι εξάπλωση Doppler.

3. Κεφάλαιο 3^ο : Επίλογος

Σκοπός του φοιτητή στη παρούσα πτυχιακή εργασία, ήταν να αναλύσει τη λειτουργία τους συστήματος WiMAX καθώς και των χαρακτηριστικών του προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ποιότητας προς τους χρήστες του με σκοπό την άρτια και ολοκληρωμένη εφαρμογή ενός συστήματος OFDMA. Για το σχετικό λόγο λοιπόν, ο φοιτητής αναφέρεται στην πλήρη και αναλυτική λειτουργία των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του συστήματος WiMAX στο Πρώτο κεφάλαιο της παρούσης πτυχιακής εργασίας και στο Δεύτερο κεφάλαιο αυτής, αναφέρεται στα ειδικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται αλλά και σε τελική ανάλυση πως συντελεί το κάθε χαρακτηριστικό στην καλύτερη παροχή υπηρεσιών από μέρους του WiMAX σε συνδυασμό με την εφαρμογή του OFDAM προς τους χρήστες των ασύρματων συνδέσεων στις μέρες μας.

Αποτελεί γεγονός πως η παροχή της υψηλής ποιότητας υπηρεσιών όπως για παράδειγμα η μεταφορά της φωνής, θεωρείται εξαιρετικά σημαντική με σκοπό την υιοθέτηση αλλά και την εξάπλωση του προτύπου WiMAX. Για αυτό ακριβώς το λόγο, το σχετικό υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει αντίστοιχα κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής αλλά και βίντεο και με σκοπό να είναι εφικτή αυτή η συγκεκριμένη μεταφορά και η οποία χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο. Θα πρέπει να σημειώσουμε αντίστοιχα ότι τα χαρακτηριστικά του *Medium Access Control (MAC)* του προτύπου WiMAX 802.16a προσφέρουν τη δυνατότητα σε ένα συγκεκριμένο χειριστή και για να παρέχει ταυτόχρονα υπηρεσίες σε αντίστοιχες επιχειρήσεις με υπηρεσίες τύπου τεχνολογίας του T1 και σε σπίτια με υπηρεσίες τύπου καλωδιακής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας τον ίδιο σταθμό βάσης.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι φυσικού επιπέδου το OFDM φυσικό επίπεδο και το OFDMA φυσικό επίπεδο. Το OFDM φυσικό επίπεδο βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση σε χρήση broadcasting. Η OFDM διαμόρφωση αναφέρεται σε μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο αναφέρεται κυρίως στη περίπτωση όπου τα SS είναι πύλες και επεκτείνονται με πολλά κανάλια σε σπίτια και επιχειρήσεις. Είναι δηλαδή η λογική των Modem που επεκτείνονται μέσα στο ενσύρματο δίκτυο⁵⁰.

Αρχικά να πούμε ότι το OFDMA το οποίο αναφέρεται και ως «πολλαπλών χρηστών OFDM», θεωρείτε ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι το OFDMA PHY χρησιμοποιείται όχι μόνο στο πρότυπο 802.16 αλλά και σε κάποια υποπρότυπα του 802.11. Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση.

⁵⁰ Μπουανάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009

Τέλος, η μέθοδος OFDMA του WiMAX είναι παρόμοια με την FDM αλλά πολύ περισσότερο αποδοτική όσον αφορά το φάσμα, καθώς το διάστημα που υπάρχει μεταξύ των υπο-φέρουσων δεν είναι αναγκαίο και όπου ουσιαστικά οι μπάντες των δεδομένων αλληλοκαλύπτονται σχετικά. Αυτό βέβαια πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας και στις συχνότητες που αναφέρονται ως ορθογωνικές, δηλαδή κάθετες μεταξύ τους από μαθηματική άποψη, επιτρέποντας έτσι στο φάσμα του κάθε υπο-καναλιού να αλληλοκαλύπτεται με αυτό του επόμενου δίχως να υφίσταται παρεμβολή μεταξύ τους. Όπως βέβαια διαπιστώνεται αντίστοιχα, το απαιτούμενο φάσμα είναι κατά μεγάλο βαθμό μειωμένο καθώς δεν υπάρχουν κενά για τον διαχωρισμό των υπο-καναλιών και επιπλέον αυτά αλληλοκαλύπτονται.

Βιβλιογραφία

- ❖ Aboba, B., Simon, D., “*PPP EAP TLS Authentication Protocol*”, IETF RFC, 2716, 1999
- ❖ Arbaugh William, Shankar Narendar, Wan Y.C. Justin, “*Your 802.11 Wireless network has No clothes*”, March 2001,
- ❖ <http://www.cs.umd.edu/~waa/wireless.pdf>.
- ❖ Barbeau Michel, “*WiMax/802.16 Threat Analysis*”, *Q2SWinet’05*, Montreal, Quebec, Canada, October 2005.
- ❖ Brayley Jeremy, “*Layer 2 Transport Services: An Emerging Application of MPLS*”, White Paper, Laurel Networks, August 2001.
- ❖ Falk Rainer, Guenther Christian, Kroeselberg Dirk, Lior Avi, “*WiMAX Security Architecture*”

- ❖ Adams, J., 1998, “*The next world war*”, Simon and Schuster
- ❖ BloomBecker, B., 1990, “*Spectacular Computer Crimes*”, Dow Jones – Irwin
- ❖ Ransom, A. W., 1994, “*Who Owns Information*”, Basic Books
- ❖ Cavoukian, A., Tapscott, D., 1997, “*Who Knows*”, McGraw-Hill
- ❖ Denning, D., E., 1982, “*Cryptography and Data Security*”, Addison – Wesley
- ❖ Diffie, W., Landau, S., 1998, “*Beyond Calculation*”, The MIT Press
- ❖ Hager, N., 1996, “*Secret Power*”, Craig Cotton Publishing, New Zealand
- ❖ Libicki, G., M., 1995, “*What information is warfare?*”, National Defense University of USA
- ❖ McCarthy, L., 1997, “*Intranet Security*”, Prentice Hall
- ❖ Meinel, C., P., 1998, “*The Happy Hacker*”, American Eagle Publications
- ❖ Pfleeger, C., P., 1997, “*Security in Computing*”, Prentice Hall

- ❖ Rosenoer, J., 1997, “*CyberLaw*”, Springer – Verlag
- ❖ Timplon, H., F., Ruthberg, Z., G., 1993, “*Handbook of Information Security Management*”, Acerbic
- ❖ Saunders et all, (2005), “*Specified ways for research and analysis of data*”, Prentice Hall
- ❖ Sekaran U., (1992), “*Research Methods for Business, A Skill Building Approach*”. New York: John Wiles and Sons Inc.
- ❖ Schneier, B., 1996, “*Applied Cryptography*”, Prentice Hall
- ❖ Slade, P., 1994, “*Guide to Computer Viruses*”, Springer – Verlag
- ❖ Schweizer, P., 1993, “*Friendly Spies*”, The Atlantic Monthly Press
- ❖ Sterling, B., 1992, “*The Hacker Crackdown*”, Bantam
- ❖ Taylor, A., 1999, “*The Hackers*”, Routledge
- ❖ Wayner, P., 1996, “*Disappearing Cryptography*”, Academic Press
- ❖ Zikmund W.G., (2000), “*Business Research Methods*”. London: Harcourt college publishers.
- ❖ Μπουνάκης Γ., Χατζημίσιος Π., “*Η Τεχνολογία WiMAX και η Σύγκρισή της με Άλλες Ασύρματες Τεχνολογίες*”, Μελέτη Περίπτωσης, 2009
- ❖ Μπούζη Χ., “*Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού*”, Αθήνα, 2008
- ❖ Δουλγέρη Χ., Κεμαλής Κ, Μακροβασίλης Α., Ασφάλεια στο Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX), Αθήνα, 2006
- ❖ Ζαβιτσάνος Σ., Παναγιωτόπουλος Φ, “*Σχεδίαση και ανάπτυξη παιχνιδιού πολλαπλών χρηστών σε κινητές συσκευές, πάνω από προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών*”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007

- ❖ Μελετίου Ρ., “Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων WiMAX”, Χανιά, 2007
- ❖ Μπακούλη Α., Κατσινάκη Β., Εργασία Μελέτης Περίπτωσης WiMAX IEEE 802.16, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεσης Δικτύων, 2009
- ❖ Χρυσόγελος Π., Σχεδίαση, Προσομοίωση και Κατασκευή Τμήματος RF σε Πομπό WiMAX, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008
- ❖ Ντάουλας Ν., Σύγκριση WiMAX και Βασικά Χαρακτηριστικά Wi-Fi, 2009
- ❖ Σταμάτης, Κ., Ν., 2002, «*Η Αβέβαιη Κοινωνία της Γνώσης*», Εκδόσεις Σαββάλας
- ❖ Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης: <http://www.ekt.gr>
- ❖ Γενική Διεύθυνση "*Κοινωνία της Πληροφορίας*" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής: http://europa.eu.int/comm/dgs/information_society/index_en.htm
- ❖ www.eseeurope.org
- ❖ <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wimax.php>, 2010
- ❖ <http://www.tkne.net/vb/>, WiMAX Operation, 2010