



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ WIMAX (IEEE 802.16)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΑΣΙΑΝΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΜ:3808

Επιβλέπων Καθηγητής :
Δρ Στυλιανος Κουριδακης
Καθηγητης Εφαρμογων

ΧΑΝΙΑ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο 1ο κεφάλαιο της εργασίας αυτής γίνεται μια εισαγωγή στο WiMAX και το PSTN με ιδιαίτερη αναφορά στο WiMAX και μια σύντομη περιγραφή στα χαρακτηριστικά του. Στο κεφάλαιο 2ο γίνεται ανάλυση των προδιαγραφών του φυσικού στρώματος και των λειτουργιών του όπου περιέχει την διαμόρφωση OFDM , τεχνικές πολυπλέξιας TDD και FDD και τις παραλλαγές του WiMAX. Ενώ στο 3ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή για το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) , η σχέση του MAC και του φυσικού στρώματος , η αρχιτεκτονική του οι τάξεις υπηρεσιών και τα υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών . Στο 4ο κεφάλαιο συγκρίνω το WiMAX με ανταγωνιστικές τεχνολογίες κυρίως με το wi fi και περιγραφώ την δομή και τα υποπρότυπα του WiMAX . Στο τελευταίο κεφάλαιο κάνω μια σύντομη ανάλυση παρόμοιων τεχνολογιών .

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: WiMAX , IEEE 802.16 , Διαμόρφωση OFDM , Φυσικό Στρώμα , TDD , FDD , MAC του πρότυπου IEEE 802.16 , Qos , Common Part Sublayer

ABSTRACT

In the first chapter of this project WiMAX and PSTN are introduced focusing for the most part on WiMAX along with a short description of its characteristics. In the second chapter the specifications of WiMAX physical layer and its operations are analysed including OFDM configuration, TDD and FDD multiplexing technics as well as WiMAX variations. In the third chapter there is a full description of the Medium Access Control layer (MAC), the relationship between MAC and the physical layer, its architecture, its services classification and the convergence sublayers of the special services. In the fourth chapter I compare WiMAX to competitive technologies, mainly to Wi-Fi, and I describe the structure and the submodels of WiMAX. In the final chapter I shortly elaborate on similar technologies.

KEY WORDS: WiMAX , IEEE 802.16, OFDM configuration, physical layer, TDD , FDD , MAC του πρότυπου of IEEE 802.16 model, Qos , Common Part Sublayer

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα – Η λειτουργία του PSTN και WIMAX.....	12
1.2 Μεταγωγή.....	13
1.3 Μεταφορά	13
1.4 QoS.....	14
1.5 Πρόσβαση	15
1.6 Σύστημα WIMAX	15
1.7.1 Πολυπλεξία.....	16
1.7.2 Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση (AM, adaptive modulation).....	16
1.7.3 Τρόποι μετάδοσης.....	16
1.7.4 Διαλειτουργικότητα	17
1.7.5 Διακριτές υπηρεσίες	17
1.7.6 Υψηλή εμβέλεια	18
1.7.7 Απλότητα – ευκολία.....	18
1.7.8 Ρυθμιστικές διατάξεις των ασύρματων δικτύων.....	18
1.8 Διασπαστική τεχνολογία.....	19
1.9 Κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας	20
1.10 Ασφάλεια του WiMax.....	22
1.11 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX.....	23
1.12 Μειονεκτήματα του WiMAX.....	24
1.13.1 Διατάραξη στις τηλεφωνικές εταιρίες.....	25
1.13.2 Διατάραξη στις εταιρίες καλωδιακής και δορυφορικής τηλεόρασης.....	25
1.13.3 Διατάραξη στις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας.....	25
1.13.4 Διατάραξη στη βιομηχανία backhaul.....	26
2.0 Φυσικό Στρώμα.....	27
2.1 Εισαγωγή.....	28
2.2 Διαμόρφωση OFDM.....	30
2.3.1 Ποιοτική περιγραφή της διαμόρφωσης OFDM	32
2.3.2 Βασικές Παράμετροι	34
2.4 Περιγραφή συστήματος μετάδοσης πομπού και δέκτη	37
2.5 Κωδικοποίηση καναλιού	38
2.6 Διαμόρφωση	38
2.7 Πιλοτικά φέροντα	42
2.8 TDD και FDD.....	43
2.9 Σύστημα Προσαρμοζόμενων Κεραιών (Adaptive Antenna System).....	44

2.10 Διαφορετικές υλοποιήσεις.....	45
2.10.1 Wireless MAN-SC PHY	46
2.10.2 Wireless MAN-SCa PHY	49
2.10.3 Wireless MAN-OFDM PHY	51
2.10.4 Wireless MAN-OFDMA PHY	54
2.10.5 Wireless MAN-HUMAN PHY	54
3.0 MAC (Medium Access Control).....	55
3.1 Το επίπεδο MAC του προτύπου IEEE 802.16	56
3.2 Η αρχιτεκτονική του WiMAX και το MAC.....	57
3.2.1 QoS και τάξεις υπηρεσιών.....	59
3.3 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών.....	61
3.3.1 Common Part Sublayer.....	61
3.3.2 Μορφές MAC PDU.....	62
3.3.3 Μετάδοση των MAC PDU και SDU.....	63
3.3.4 Packing and Fragmentation.....	64
3.3.5 Δημιουργία PDU και ARQ (Automated Repeat Request).....	64
3.3.6 Υποστήριξη επιπέδου PHY και δομή πλαισίου.....	65
3.4 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής (Transmission Convergence).....	66
4.0 Συγκρίσεις και χαρακτηριστικά του WiMax.....	68
4.1 Δομή ενός δικτύου WiMAX.....	69
4.2 Τοπολογίες.....	70
4.3 Υποπρότυπα του WiMax.....	76
4.4 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες.....	78
4.5 Σύγκριση WiMAX με το WiFi.....	82
4.5.1 Ρυθμοί Μετάδοσης WIMAX και WIFI.....	83
5.0 Παρόμοιες τεχνολογίες με το WIMAX.....	85
5.1 XMAX.....	86
5.2 UMTS.....	87
5.3 WiBro.....	89
5.4 WLL.....	91
Βιβλιογραφία.....	93

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ

Σχήμα 1.1 Συμβατικό PSTN.....	12
Σχήμα 1.2 Παράκαμψη του PSTN με WIMAX και VOIP.....	14
Σχήμα 1.3 Διασπαστική Τεχνολογία.....	19
Σχήμα 1.4 LOS μετάδοση.....	20
Σχήμα 1.5 NLOS μετάδοση.....	21
Σχήμα 2.1 IEEE 802.11 MAC και Φυσικά Στρώματα.....	29
Σχήμα 2.2 MAC και Φυσικά Στρώματα του IEEE 802.16.....	30
Σχήμα 2.3 Σύγκριση της χρησιμοποίησης του διατιθέμενου εύρους ζώνης στις δύο διαμορφώσεις FDM και OFDM.....	32
Σχήμα 2.4. Δομή της χρονικής θυρίδας OFDM.....	34
Σχήμα 2.5 Φασματική περιγραφή OFDM.....	35
Σχήμα 2.6 Αλυσίδα πομπού και δέκτη WiMax τεχνολογίας.....	37
Σχήμα 2.7 Διάγραμμα αστερισμού QPSK Διαμόρφωσης.....	40
Σχήμα 2.8.1 Διάγραμμα αστερισμού 16-QAM Διαμόρφωσης.....	41
Σχήμα 2.8.2 Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM Διαμόρφωσης.....	41
Σχήμα 2.9 Διαμορφωτής πιλοτικών σημάτων.....	42
Σχήμα 2.10 Υπό-πλαίσιο TDD.....	43
Σχήμα 2.11 Half-duplex Subscriber Stations.....	44
Σχήμα 2.12 Με AAS πετυχαίνεται αύξηση του κέρδους στους εν λόγω SS.....	44
Σχημα 2.13.1 Κάτω ζεύξη TDM με την πληροφορία.....	48
Σχημα 2.13.2 Άνω ζεύξη σύστημα μετάδοσης TDMA με ριπές.....	48
Σχήμα 2.1 Τυπική αρχιτεκτονική WiMAX για πολύ-σημειακή Διανομή.....	57
Σχήμα 3.2 MAC PDU.....	62
Σχήμα 3.3 Τμηματοποίηση και πακετοποίηση των SDU και PDU.....	63
Σχήμα 3.4 Ελάχιστος χρόνος μεταξύ γνωστοποίησης παραλαβής και εφαρμοσιμότητας του UL-MAP για ένα σύστημα FDD.....	66
Πίνακας 3.5 Υπόστρωμα TC.....	67
Σχημα 4.1 Οι ζώνες του Fresnel.....	74
Σχήμα 4.2 Παράδειγμα σύνδεσης χωρίς οπτική επαφή.....	75
Πίνακας 4.1 Αποστάσεις Επικοινωνίας (PTP).....	76
Πίνακας 4.2 Αποστάσεις Επικοινωνίας (PMP).....	76
Σχήμα 4.3 Ταχύτητα συναρτήσεως κινητικότητας.....	78
Πίνακας 4.4 Συγκριτικός πίνακας όλων των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο.....	81
Πίνακας 4.5 Σύγκριση WiMAX με Wi-Fi.....	84
Σχήμα 5.1 Η 3GPP αρχιτεκτονική του UMTS.....	89
Σχήμα 5.2 WiBro Market.....	90
Σχήμα 5.3 Συνδρομητές WLL ανά περιοχή.....	91

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επανάσταση στις επικοινωνίες, είναι ένα γεγονός που βιώνουμε καθημερινά. Από ένα περιβάλλον όπου υπήρχαν μόνο οι σταθερές γραμμές τηλεφώνου, φτάσαμε σε μια εποχή όπου τα καλώδια αντικαθιστούνται από ασύρματους διαύλους και η απλή τηλεφωνική υπηρεσία εξελίσσεται σε μια συστάδα υπηρεσιών, που προσφέρουν στους χρήστες ευκολίες και νέους τρόπους επικοινωνίας. Γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο, “online” αγορές και συναλλαγές, ενημέρωση, ψυχαγωγία, τηλεδιασκέψεις είναι μόνο μερικές από αυτές. *Η εργασία με θέμα το WiMAX είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στα πρότυπα 802.16 της IEEE και επιτρέπει ασύρματη μετάδοση, σαν εναλλακτική λύση στις ενσύρματες συνδέσεις και στην τεχνολογία DSL. Το WiMAX είναι σε θέση να παρέχει σταθερή, φορητή, και προσφάτως, κινητή ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση, χωρίς να είναι απαραίτητη η άμεση οπτική επαφή με έναν σταθμό βάσης. Σε μια τυπική ακτίνα κυψελωτής κάλυψης που κυμαίνεται από τρία έως δέκα χιλιόμετρα, ο επίσημος εξοπλισμός, WiMAX Forum Certified™, θα είναι σε θέση να παρέχει χωρητικότητα από 1 έως 70 Mbps ανά κανάλι, τόσο για τις σταθερές εφαρμογές όσο και για τις φορητές. Αυτό είναι αρκετό εύρος ζώνης για να υποστηρίξει ταυτόχρονα εκατοντάδες επιχειρήσεις με τη σύνδεση T1 και χιλιάδες οικιακούς χρήστες με συνδέσεις DSL. Αναμένεται ότι η τεχνολογία WiMAX θα ενσωματωθεί στους υπολογιστές και στους PDAs (υπολογιστές παλάμης), επιτρέποντας στις αστικές περιοχές και στις μικρότερες πόλεις να γίνουν ένα είδος μητροπολιτικών δικτύων για τη φορητή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πτυχιακή αυτή περιγράφει το πρότυπο 802.16 του IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) που είναι γνωστό σαν Worldwide Interoperability for Microwave Access ή Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση Μικροκυμάτων. 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 LAN, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

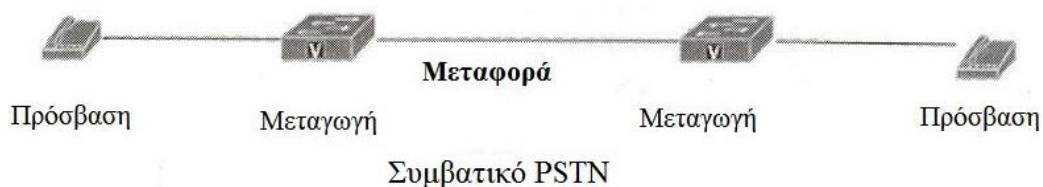
Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 70Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50Mbps.

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως point to multipoint (PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί.

Παραλλαγές του προτύπου, που στοχεύουν στους κινητούς χρήστες (802.16e) και στην παροχή ενισχυμένης QoS (802.16b) είναι ήδη σε εξέλιξη. Το πρώτο 802.16a προϊόν καθώς και συμβατός με αυτό εξοπλισμός εκδόθηκε από την Redline Communications τον Μάρτιο του 2004. Διάφοροι προμηθευτές chip, συμπεριλαμβανομένης και της Intel, εργάζονται στο 802.16a ενσωματωμένο πυρίτιο, και σε χαμηλού κόστους μονάδες συνδρομητών και αναμένεται να είναι ευρέως διαθέσιμα σημεία πρόσβασης (Access Points-AP). παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη των ασύρματων τοπικών δικτύων σε ότι αφορά το πρότυπο που χρησιμοποιείται κάθε χρονική περίοδο, τις ταχύτητες που υποστηρίζει και τη διαμόρφωση που χρησιμοποιεί.

1.1 Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα – Η λειτουργία του PSTN και WIMAX

Η καλύτερη αντίληψη της λειτουργίας του PSTN (Public Switched Telephone Network) επιτυγχάνεται με την κατανόηση των τριών βασικών συστατικών του: πρόσβαση, μεταγωγή, και μεταφορά. Καθένα από αυτά τα στοιχεία έχει εξελιχθεί στα εκατό χρόνια της ιστορίας του PSTN. Η πρόσβαση σχετίζεται με το πώς ένας χρήστης αποκτά πρόσβαση στο δίκτυο, η μεταγωγή σχετίζεται με το πώς μεταγεται ή δρομολογείται στο δίκτυο, και η μεταφορά περιγράφει πως μια κλήση ταξιδεύει μέσα στο δίκτυο. Αυτό το δίκτυο σχεδιάστηκε αρχικά μόνο για φωνή και αργότερα δεδομένα. Καθώς αναπτυσσόταν η κίνηση δεδομένων στο PSTN, χρήστες υψηλής χωρητικότητας το έβρισκαν ανεπαρκές, οπότε αυτοί οι συνδρομητές μετέφεραν την κίνηση δεδομένων σε δίκτυα πιο ειδικά για δεδομένα. Τότε πολλοί χρήστες δεδομένων συνειδητοποίησαν πως περιορίζονται από υποδομές που εξαρτώνται από τα καλώδια, είτε αυτά είναι οπτικές ίνες, ομοαξονικά καλώδια, χάλκινα καλώδια. Αν και ο ασύρματος τρόπος επικοινωνίας δεν είναι καινούριος (μορφές ραδιοεπικοινωνίας χρησιμοποιούνται σχεδόν έναν αιώνα), η εφαρμογή ασύρματων μεθόδων για να παρακαμφθούν τα ασύρματα μονοπάτια είναι τώρα μια πρακτική ευκαιρία για συνδρομητές φωνής και υπηρεσιών δεδομένων. Η πρωταρχική μορφή παράκαμψης είναι τα κινητά τηλέφωνα. Το WiMAX είναι μια ασύρματη τεχνολογία που υπόσχεται ευρυζωνικότητα δεδομένων (μέχρι 11 Mbit/sec).



Σχήμα 1.1 Συμβατικό PSTN

1.2 Μεταγωγή

Το PSTN είναι ένα δίκτυο με τοπολογία αστέρα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής συνδέεται με κάποιον άλλο μέσω τουλάχιστον ενός αν όχι περισσότερων κομβικών σημείων, τα γνωστά μας κέντρα του ΟΤΕ. Σε αυτά τα κέντρα υπάρχουν μεταγωγείς. Πολύ απλά, τα τοπικά κέντρα είναι για τοπικές συνδέσεις, και τα υπεραστικά κέντρα είναι για συνδέσεις μεγάλης απόστασης. Τα τοπικά κέντρα γνωστά ως Κεντρικά Γραφεία (Central Office) χρησιμοποιούν μεταγωγείς τάξης 5 ενώ τα υπεραστικά τάξης 4.

1.3 Μεταφορά

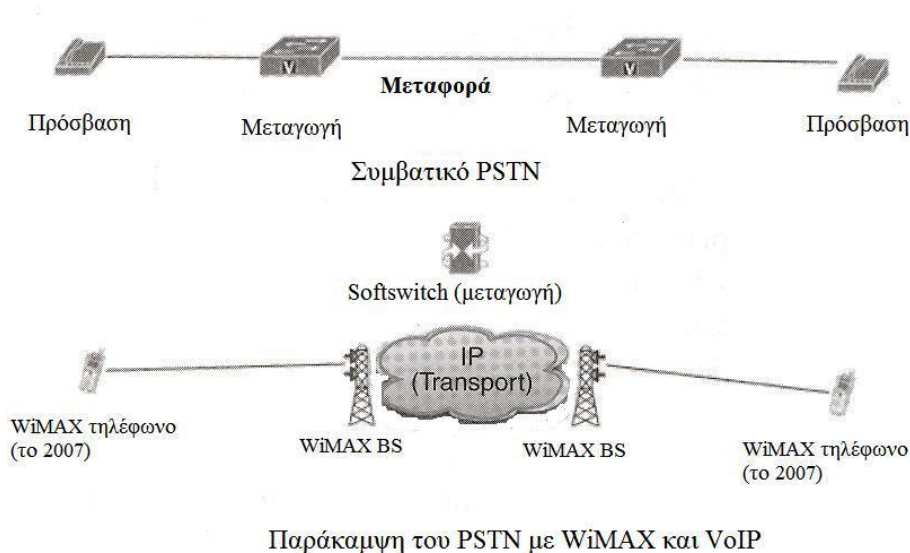
Χρειάστηκε περισσότερο από έναν αιώνα για να αναπτυχθεί το πολυδάπανο PSTN. Οι αναλυτές στο πέρασμα του χρόνου πάλευαν να βρουν τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιούνταν οι περισσότερες συνδιαλέξεις με το λιγότερο δυνατό κόστος στις υποδομές. Ας φανταστούμε ένα πρώιμο τηλεφωνικό κύκλωμα από την Αθήνα στη Θεσσαλονίκη. Τα χάλκινα καλώδια, οι επαναλήπτες και άλλοι μηχανισμοί που εμπλέκονταν στη μεταφορά της συνδιάλεξης ήταν όλα τεράστια σε πλήθος. Επομένως, οι πρώιμοι τηλεφωνικοί μηχανικοί και επιστήμονες έπρεπε να βρουν τους τρόπους με τους οποίους θα επιτυγχανόταν ο μέγιστος αριθμός συνδιαλέξεων μέσω αυτού του δικτύου. Με πολλή έρευνα, ανέπτυξαν διαφορετικούς τρόπους για να πάρουν τη μέγιστη αποτελεσματικότητα από τις υποδομές χάλκινων καλωδίων. Πολλές από αυτές τις ανακαλύψεις παρέμειναν λειτουργικές και με την είσοδο των οπτικών ινών στην αγορά. Η αρχική μορφή μεταφοράς στο PSTN ήταν η μεταγωγή κυκλώματος (σε αντίθεση με την μεταγωγή πακέτου του Διαδικτύου).

Στη δεκαετία του 1990, οι παροχείς υπηρεσιών μεγάλης απόστασης, ή οι IXC (Inter Exchange Carriers), και τοπικοί παροχείς υπηρεσιών, ή οι LEC (Local Exchange Carriers), μετέλλαξαν αυτά τα δίκτυα μεταφοράς στο ATM (Asynchronous Transfer Mode). Το ATM είναι ο τρόπος μεταφοράς από μεταγωγέα σε μεταγωγέα. Η εμφάνιση των IP (Internet Protocol) backbones μετατοπίζει μέρος της κίνησης δικτύων ATM και σε δίκτυα IP.

1.4 QoS

Στις ασύρματες τεχνολογίες που θα αντικαταστήσουν το PSTN μπορούν να αποδοθούν κάποιες αντιρρήσεις. Πρωτίστως, αυτές οι αντιρρήσεις επικεντρώνονται σε θέματα ποιότητας υπηρεσίας (QoS), ασφάλειας του ασύρματου δικτύου, περιορισμούς ως προς το βεληνεκές της διανομής της υπηρεσίας, και τη διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης.

Μια από τις πρωταρχικές έγνοιες για την ασύρματη διάδοση δεδομένων, καθώς και με ενσύρματες υπηρεσίες στο Διαδίκτυο, είναι ότι το QoS είναι ανεπαρκές. Πιθανές ενστάσεις στο WiMAX ως αντικατάσταση του PSTN είναι ο ανταγωνισμός με άλλες ασύρματες υπηρεσίες, χαμένα πακέτα δεδομένων, και ατμοσφαιρικές παρεμβολές. Το QoS σχετίζεται επίσης με την ικανότητα ενός ασύρματου παροχέα υπηρεσιών Διαδικτύου (wireless ISP) να παρέχει υπηρεσίες φωνής στο δίκτυό του. Το WiMAX αξιοποιεί ένα πακέτο μέτρων για να διασφαλίσει καλό QoS, περιλαμβάνοντας παροχή υπηρεσίας χρονοπρογραμματισμού QoS, αποκατάσταση δυναμικών υπηρεσιών, και ένα μοντέλο ενεργοποίησης δύο φάσεων. Το Σχήμα 1.2 απεικονίζει την ασύρματη ευρυζωνικότητα σε αντίθεση με την PSTN υποδομή.



Σχήμα 1.2 Παράκαμψη του PSTN με WIMAX και VOIP

1.5 Πρόσβαση

Η πρόσβαση αναφέρεται στο πως ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στο τηλεφωνικό δίκτυο. Οι περισσότεροι χρήστες αποκτούν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω μιας τηλεφωνικής συσκευής. Αυτή η συσκευή συνδέεται συνήθως στο κύριο κέντρο με καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους. Ένας από τους κυριότερους λόγους για τους οποίους η πλειοψηφία των συνδρομητών δεν έχει επιλογή όσο αφορά τους τοπικούς παροχείς υπηρεσιών είναι το απαγορευτικό κόστος ανάπτυξης εναλλακτικών λύσεων πέραν των υπάρχοντων καλωδίων που τους συνδέουν στο δίκτυο. Επίσης, υπάρχουν νομικοί και οικονομικοί όροι που καθιστούν οποιαδήποτε άλλη επιλογή αδύνατη.

1.6 Σύστημα WiMAX

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη:

Πύργος WiMAX, σε παρόμοια ιδέα σε ένα κελί-πύργος τηλέφωνο - Ένας ενιαίος πύργος WiMAX μπορεί να προσφέρει κάλυψη σε μια πολύ μεγάλη περιοχή - τόσο μεγάλη όσο 3.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα (~ 8000 χιλιόμετρα πλατεία).

Δέκτης WiMAX - Ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσε να είναι ένα μικρό κουτί ή PCMCIA κάρτα, ή θα μπορούσαν να είναι ενσωματωμένη σε ένα φορητό υπολογιστή όπως με τον τρόπο πρόσβαση WiFi που είναι σήμερα.

Ένας σταθμός πύργος WiMAX, μπορεί να συνδεθεί απευθείας με το Internet χρησιμοποιώντας ένα υψηλού εύρους ζώνης, ενσύρματη σύνδεση (για παράδειγμα, μια γραμμή T3). Μπορεί επίσης να συνδεθεί με ένα άλλο πύργο WiMAX χρησιμοποιώντας μια γραμμή-of-sight, σύνδεση μικροκυμάτων. Αυτή η σύνδεση με ένα δεύτερο πύργο (που συχνά αναφέρεται ως backhaul), μαζί με την ικανότητα ενός πύργου και μόνο για να καλύψει μέχρι 3.000 τετραγωνικά μίλια, είναι αυτό που επιτρέπει WiMAX να παρέχει κάλυψη σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές.

1.7.1 Πολυπλεξία

Προβλέπονται δύο τύποι πολυπλεξίας: 256-OFDM & 2048-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Αυτός ο τύπος πολυπλεξίας χρησιμοποιεί πολλαπλά σήματα σε μια περιοχή συχνοτήτων (ορθογώνια μεταξύ τους). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ευκολότερη ισοστάθμιση (ανά υπό-φέρων), επομένως καλύτερες συνθήκες ανάκτησης σήματος σε διάφορα περιβάλλοντα (πολλαπλές ανακλάσεις, διαλείψεις, μη οπτική επαφή). Χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά τελευταίας γενιάς, αυτός ο τύπος πολυπλεξίας επιτυγχάνεται με χαμηλό κόστος.

1.7.2 Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση (AM, adaptive modulation)

Αναλόγως των συνθηκών διάδοσης, η διαμόρφωση του κάθε υπο-φέροντος μπορεί να αλλάξει αυτόματα (σε BPSK, QPSK, 16-QAM & 64-QAM) ανά κατεύθυνση, μεταβάλλοντας αντίστοιχα την ευαισθησία με αντιστάθμισα στο ρυθμό μετάδοσης. Επιπλέον σε κάθε πλαίσιο πληροφορίας προστίθενται με την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων, επιπλέον κωδικοί, ώστε να γίνεται δυνατή η ανάκτηση της πληροφορίας ακόμη και σε περίπτωση λανθασμένης λήψης (Forward Error Correction, FEC). Ο τύπος αυτής της κωδικοποίησης επίσης μεταβάλλεται αυτόματα, αναλόγως των συνθηκών διάδοσης.

1.7.3 Τρόποι μετάδοσης

a. FDD (Frequency Division Duplexing)

b. TDD (Time Division Duplexing)

Με την πρώτη μέθοδο, χρησιμοποιείται μια ζώνη συχνοτήτων για την κατεύθυνση του κεντρικού πομπού - περιφερειακά (Downlink) και μία άλλη για την αντίστροφη (Uplink). Στη δεύτερη, και οι δύο κατευθύνσεις χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι επικοινωνίας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές

1.7.4 Διαλειτουργικότητα

Είναι ένα διεθνές πρότυπο με ευρεία υποστήριξη. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός (WiMAX Forum), που αποτελείται από πάνω από 350 εταιρείες του χώρου των τηλεπικοινωνιών, πληροφορικής και παροχής υπηρεσιών (Intel, Microsoft, Motorola, Lucent, Siemens, Nokia, Nortel, Ericsson, Alcatel, Huawei, ZTE, Alvarion, Airspan, Aperto, Intracom, BT, DT, FT, Telecom Italia, America Online, AT&T, Q-Telecom κ.α.). Παράλληλα, έχει ανατεθεί σε ανεξάρτητο εργαστήριο η πιστοποίηση συσκευών ως συμβατών με το πρότυπο. Επομένως θα είναι δυνατή η λειτουργία συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών.

1.7.5 Διακριτές υπηρεσίες

Στο πρότυπο προβλέπονται 4 τύποι υπηρεσιών:

- a. Σταθερού ρυθμού μετάδοσης (UGS, Unsolicited Grant Services)
- b. Μεταβαλλόμενου ρυθμού, υψηλής διαθεσιμότητας (rt-PS, real time Polling Services)
- c. Μεταβαλλόμενου ρυθμού, χαμηλής διαθεσιμότητας (nrt-PS, non real time Polling Services)
- d. Διαθέσιμου εύρους (BE, Best Effort)

Με αυτόν τον τρόπο, θα είναι δυνατό για τον πάροχο να διαφοροποιεί τα τιμολόγια αναλόγως της παρεχόμενης υπηρεσίας (SLA, Service Level Agreement), στοχεύοντας σε διαφορετικούς πελάτες, π.χ.

- σπίτια
- μικρές επιχειρήσεις
- μεγάλες επιχειρήσεις

1.7.6 Υψηλή εμβέλεια

Υπολογίζεται ότι η μέγιστη απόσταση σταθμού βάσης - συνδρομητή θα μπορεί να φτάσει τα 50 km., καθιστώντας την τεχνολογία ιδανική για αγροτικές/ημιαστικές περιοχές. Προς τούτο, γίνεται χρήση διαφόρων τεχνικών (subchannelization, diversity antenna, Adaptive Antenna System, FEC κ.α.), κύρια για να αντισταθμιστεί το χαμηλότερο κέρδος της κεραίας και η χαμηλή ισχύς εκπομπής του τερματικού σταθμού

1.7.7. Απλότητα – ευκολία

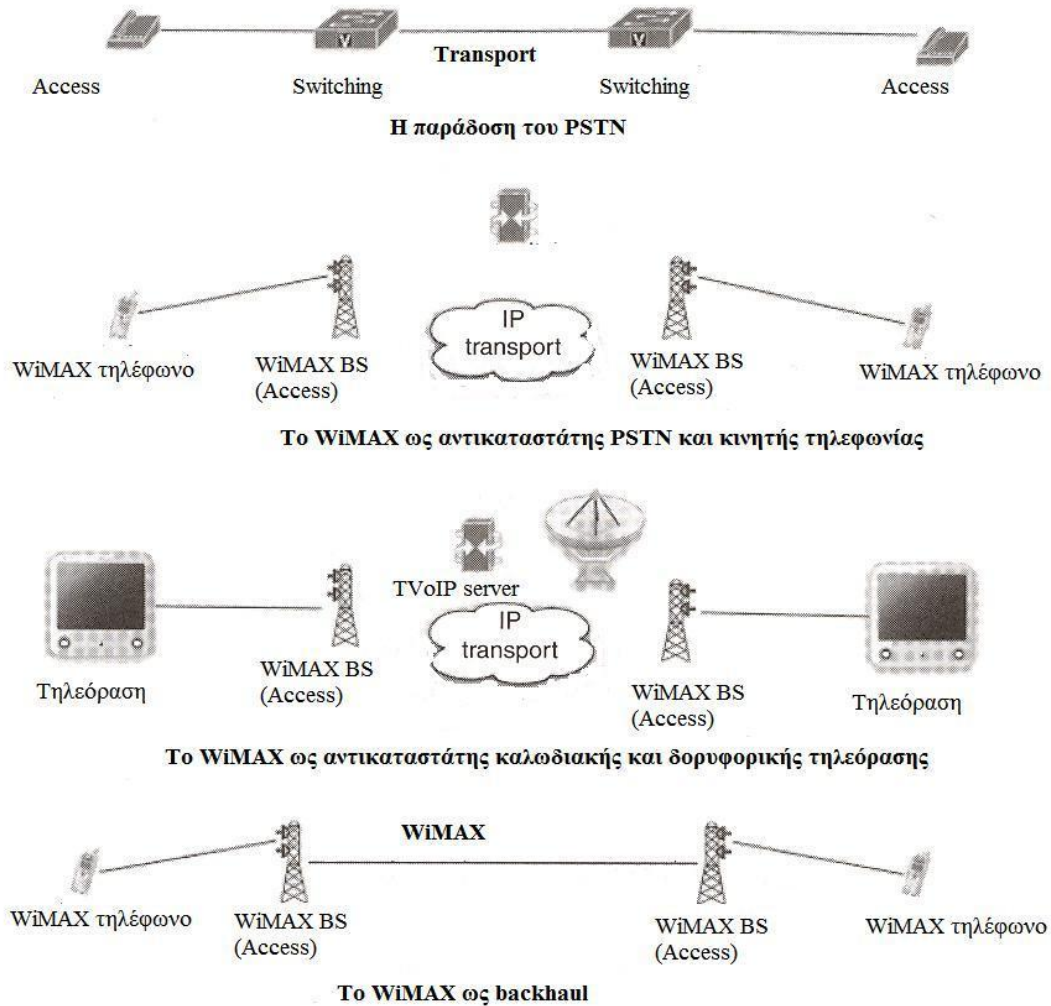
Λόγω χρήσης εξελιγμένων ηλεκτρονικών, τα προϊόντα WiMAX (σταθμός βάσης, συνδρομητικές μονάδες) θα είναι αρκετά προσιτά ώστε να είναι συμφέρουσα η αγορά σε μεγάλες κατηγορίες πληθυσμού. Επιπλέον, η εγκατάσταση θα είναι πολύ εύκολη (είτε με εσωτερική κεραία είτε με χρήση εξωτερικής μικρού μεγέθους). Το μέγεθος και κόστος της τερματικής συσκευής είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα για συσκευές ADSL

1.7.8 Ρυθμιστικές διατάξεις των ασύρματων δικτύων

Ποιες είναι οι ρυθμιστικές διατάξεις που αφορούν την ανάπτυξη ενός επιχειρηματικού ασύρματου δικτύου; Τέτοια θέματα είναι στην αρμοδιότητα της ΕΕΤΤ (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων). Η ασύρματη διάδοση δεδομένων απαιτεί ένα φάσμα στο οποίο θα γίνεται η εκπομπή των ράδιο-κυμάτων σε μια δοσμένη συχνότητα. Ένα μη αδειοδοτημένο φάσμα δεν απαιτεί από τον πάροχο να αποκτήσει μια αποκλειστική άδεια για να εκπέμπει σε μια κάποια συχνότητα σε κάποια περιοχή. Σε αντίθεση με εταιρίες ραδιοφωνικών σταθμών ή κινητής τηλεφωνίας, ένας ασύρματος πάροχος υπηρεσιών Διαδικτύου (Wireless ISP), δημόσιο ή ιδιωτικό, εκπέμπει «χωρίς χρέωση». Θεωρώντας πως οι Wireless ISPs συναγωνίζονται για την απόκτηση συνδρομητών με εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, οι Wireless ISPs που αξιοποιούν τεχνολογίες WiMAX μπορεί να βρεθούν να υπερέχουν σημαντικά από δίκτυα τρίτης γενιάς (3G).

1.8 Διασπαστική τεχνολογία

Μια τεχνολογία μπορεί, αφηρημένα, να χαρακτηριστεί διασπαστική όταν είναι τυπικά φθηνότερη, απλούστερη, μικρότερη, και αρκετά συχνά πιο βολική από την αντίπαλη τεχνολογία. Το WiMAX ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια.

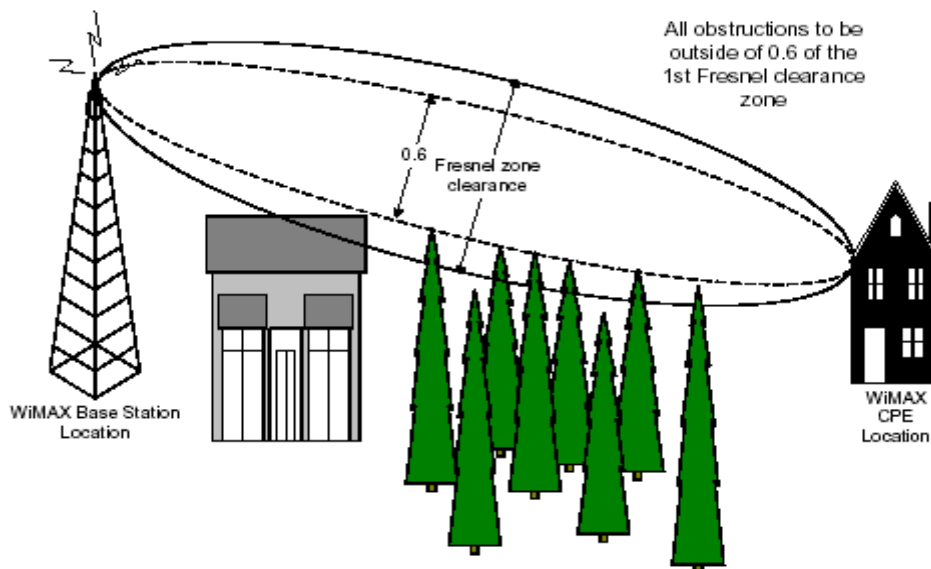


Σχήμα 1.3 Διασπαστική Τεχνολογία

1.9 Κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας

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).

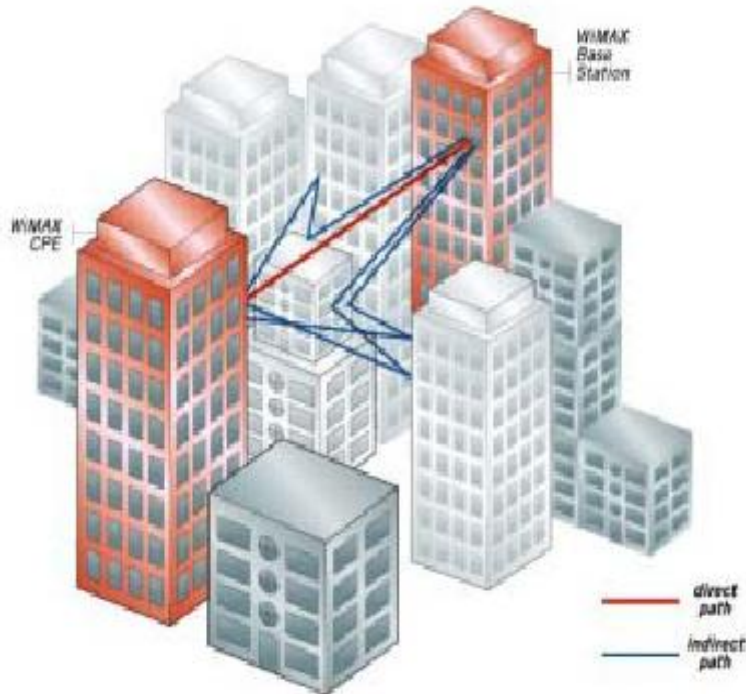
Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτό ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στην παρακάτω εικόνα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στην εικόνα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



Σχήμα 1.4 LOS μετάδοση

Σε μια NLOS_σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανακλάσεων 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. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα μιας NLOS μετάδοσης.



Σχήμα 1.5 NLOS μετάδοση

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 εγκατάσταση σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη.

1.10 Ασφάλεια του WiMax

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο "κλασικός" αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά κατά συνέπεια αυτό το πρότυπο αυξάνει την ασφάλεια του DES, καθώς χρησιμοποιεί τρία κλειδιά κρυπτογράφησης.

1.11 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX

Μέχρι την τελική κάλυψη πόλεων, απομακρυσμένων τοποθεσιών ή περιοχών με γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, το WiMAX υπόσχεται να καλύψει τα κενά που ήδη υπάρχουν στις ενσύρματες συνδέσεις αλλά και στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Χαρακτηριστικό της τεχνολογίας είναι ότι μόνο ένας σταθμός (κεραία) WiMAX μπορεί να προσφέρει ταυτόχρονα συνδέσεις σε αρκετούς συνδρομητές ή επιχειρήσεις με ταχύτητες T1 ενώ παράλληλα να εξυπηρετεί πλήθος συνδέσεων με ταχύτητες ADSL ή Cable. Το πρακτικό αποτέλεσμα της δυνατότητας αυτής, είναι η διάθεση πολλών ασύρματων συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων με μειωμένο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες.

Το WiMAX έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων:

Ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας. Έτσι θα δημιουργηθούν συνθήκες πραγματικού τηλεπικοινωνιακού ανταγωνισμού και στη χώρα μας.

Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία Wi-Fi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.

Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλούπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια.

Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, το WiMAX θα επιτρέπει επίσης την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων ή ακόμη και βίντεο κλήσεων.

1.12 Μειονεκτήματα του WiMax

Το μοναδικό μειονέκτημα της τεχνολογίας WiMAX είναι ότι μπορεί να επηρεάσει την υγεία των ανθρώπων που θα είναι σε καθημερινή έκθεση. Επειδή η τεχνολογία αυτή λειτουργεί σε πολύ υψηλές συχνότητες έχει διαπιστωθεί ότι θα δημιουργηθούν δίκτυα όπως αυτά των κινητών τηλεφώνων, αλλά με πολύ μεγαλύτερη ακτίνα δράσης και μικρότερη ακτινοβολία. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος όπου η τεχνολογία παρότι προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, δεν εφαρμόζεται ευρέως αλλά μόνο σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μόνιμοι κάτοικοι (π.χ. Πλατεία Συντάγματος στην Ελλάδα).

1.13.1 Διατάραξη στις τηλεφωνικές εταιρίες

Η Εικόνα 1.1 έδειξε πως το WiMAX αντικαθιστά το κομμάτι της πρόσβασης του PSTN. Η ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο που έγινε εφικτή από το WiMAX είναι το IP και, χρησιμοποιώντας Voice over IP (VoIP), το PSTN παρακάμπτεται. Αν εξαιρεθεί η περίπτωση όπου μια κλήση καταλήγει σε έναν αριθμό PSTN, όλες οι άλλες κλήσεις δεν χρειάζονται το PSTN. Αυτό μπορεί ενδεχομένως να διαταράξει την οικονομική ευμάρεια μεγάλων τηλεφωνικών εταιριών.

1.13.2 Διατάραξη στις εταιρίες καλωδιακής και δορυφορικής τηλεόρασης

Μια τεχνολογία που λέγεται TV over Internet Protocol (TVoIP) είναι για την καλωδιακή τηλεόραση ότι είναι το VoIP για τις τηλεφωνικές εταιρίες. Τώρα είναι εφικτή η απλή μετατροπή του προγραμματισμού της καλωδιακής τηλεόρασης και η διανομή της μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης Διαδικτύου όπως είναι το WiMAX. Ο προγραμματισμός είναι διαθέσιμος σε πανομοιότυπο πραγματικό χρόνο με την εκπομπή της καλωδιακής τηλεόρασης, και τα κανάλια μπορούν να αλλαχθούν με τη χρήση ενός αποκωδικοποιητή και μετατροπέα τηλεοπτικού σήματος ενώ ο προγραμματισμός να εμφανίζεται σε μια συμβατική τηλεόραση. Δεν απαιτούνται ικανότητες χειρισμού ηλεκτρονικού υπολογιστή.

1.13.3 Διατάραξη στις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας

Οι τεχνολογίες VoIP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κινητή τηλεφωνία που θα αντικαταστήσει εδραιωμένες εταιρίες κυψελώδους κινητής τηλεφωνίας. Σύντομα το κόστος αντικατάστασης μιας τωρινής υποδομής κινητής τηλεφωνίας θα είναι ένα μικρό κλάσμα του κόστους κατασκευής ενός εδραιωμένου τωρινού δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Το μόνο που θα χρειάζεται θα είναι ένα τηλέφωνο WiMAX και πρόσβαση σε ένα σταθμό βάσης WiMAX. (Ο ίδιος σταθμός θα δίνει ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, VoIP, TVoIP σε κατοικίες και επιχειρήσεις).

1.13.4 Διατάραξη στη βιομηχανία backhaul

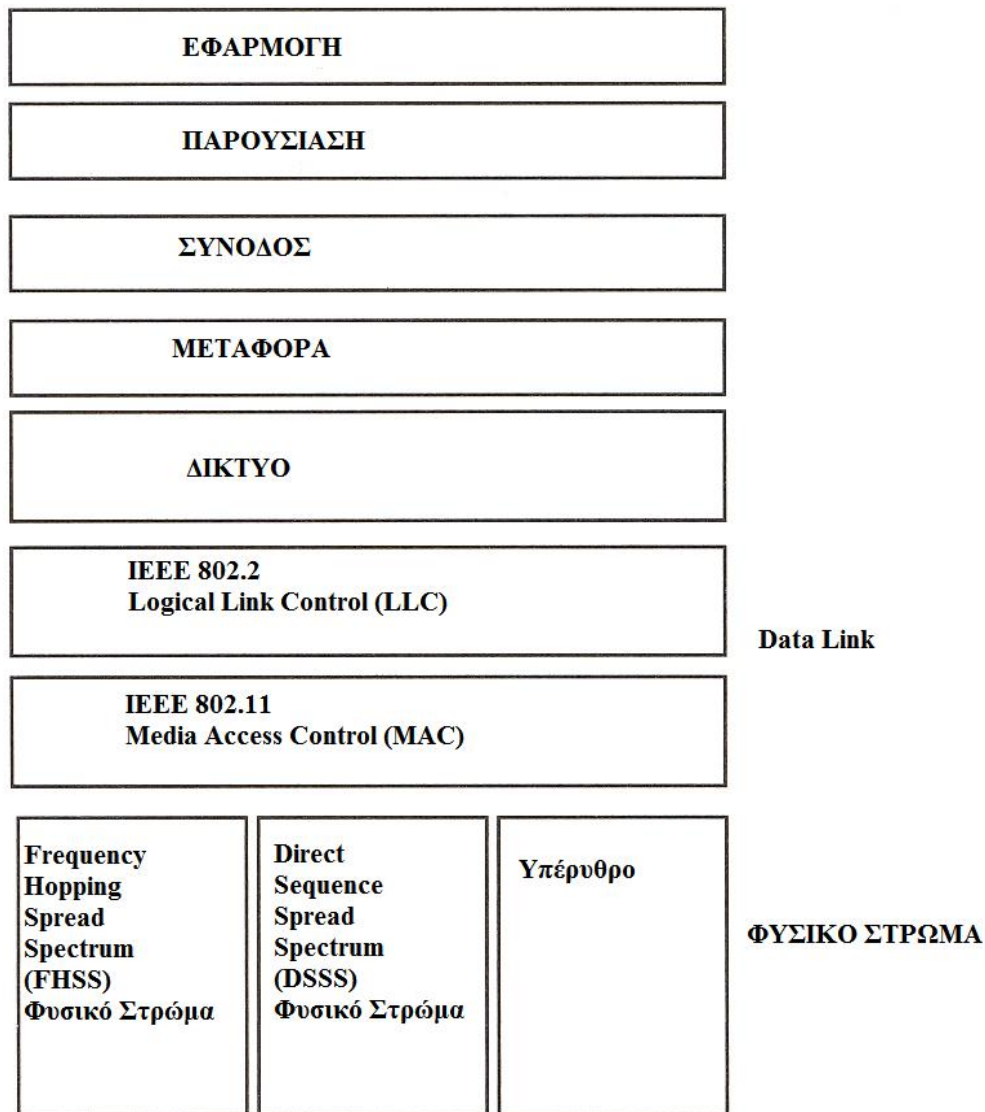
Η κατασκευή πολυδάπανων δικτύων οπτικών ινών στιγματίσει την τηλεπικοινωνιακή έκρηξη τη δεκαετία του 1990. Πολύ απλά, αν το WiMAX μπορεί να μεταδώσει 72 Mbit/sec σε ακτίνα 49 χιλιομέτρων και η υποδομή κοστίζει μόνο μερικές χιλιάδες ευρώ (κεραίες, ράδιο), τότε υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στο backhaul δίκτυο οπτικών ινών που χρεώνουν τους πελάτες τους χιλιάδες ευρώ το μήνα είναι σε κίνδυνο. Το μοντέλο αυτό μπορεί να επεκταθεί κάλλιστα και δίκτυα backhaul μεγάλης απόστασης. Οι πύργοι μικροκομματικών ζεύξεων είναι ο τρόπος κάλυψης μεγάλων αποστάσεων που χρησιμοποιούν οι τηλεφωνικές εταιρίες εδώ και πολύ καιρό. Το WiMAX είναι ένας τρόπος για απλή επέκταση και αύξηση αυτών των δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φυσικό Στρώμα

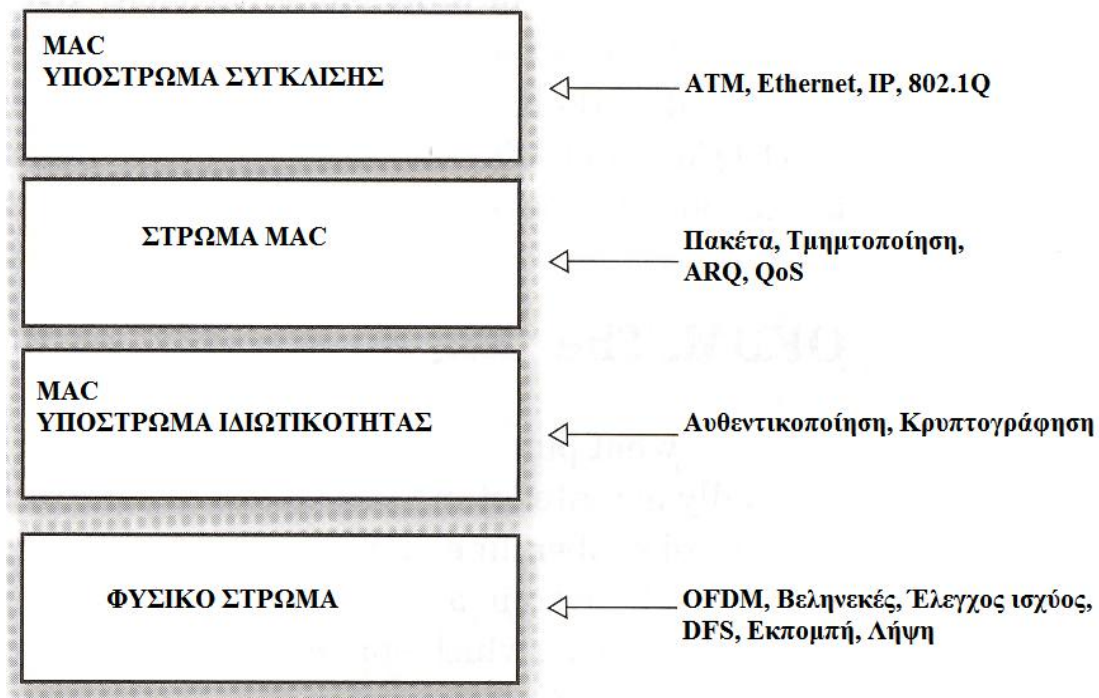
2.1 Εισαγωγή

Το WiMAX δεν είναι και τόσο καινούριο, ωστόσο, είναι μοναδικό επειδή σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου από την αρχή για να προσφέρει τη μέγιστη ικανότητα διαβίβασης δεδομένων στη μέγιστη απόσταση και παράλληλα να είναι 99,999% αξιόπιστο. Για να επιτευχθεί αυτό, οι σχεδιαστές (IEEE 802.16 Working Group D) βασίστηκαν σε αποδεδειγμένες τεχνολογίες για το φυσικό στρώμα όπως Orthogonal Frequency (OFDM), Time Division Duplex (TDD), Frequency Division Duplex (FDD), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) και Quadrature Amplitude Modulation (QAM). Αυτό το κεφάλαιο δίνει μια περιγραφή του φυσικού στρώματος και των διάφορων παραλλαγών (που βασίζονται στις τεχνολογίες και εφαρμογές του φυσικού στρώματος) του WiMAX, των τεχνολογιών που κάνουν αυτές τις παραλλαγές να λειτουργούν, καθώς και τους λόγους για τους οποίους αυτές οι τεχνολογίες συνδυάζονται έτσι ώστε το WiMAX να αποτελεί ένα ραγδαίο προοδευτικό άλμα σε σχέση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες.



Σχήμα 2.1 (IEEE 802.11 MAC και Φυσικά Στρώματα)

Όπως υπονοεί το όνομα, το 802.16 (WiMAX) είναι ένα παρακλάδι του IEEE 802, το οποίο βρίσκεται εφαρμογή στο Ethernet, την τεχνολογία που χρησιμοποιεί το καλώδιο κατηγορίας 5, το οποίο συνδέει την πλειοψηφία των υπολογιστών παγκοσμίως. Στο Ethernet, το Φυσικό Στρώμα εμπεριέχεται σε ένα κατηγορίας 5 καλώδιο. Εν συντομία, το WiMAX και το προηγούμενο 802.11 (Wi-Fi) είναι ασύρματες μορφές του Ethernet. Επομένως, ισχύει το μεγαλύτερο μέρος του μοντέλου αναφοράς OSI (Open Systems Interconnection). Η Εικόνα 2.1 απεικονίζει τη τον τρόπο συσχέτισης του μοντέλου αναφοράς OSI και του 802.11, και το Σχήμα 2.2 περιγράφει το Φυσικό Στρώμα και το Στρώμα MAC του 802.16



Σχήμα 2.2 (MAC και Φυσικά Στρώματα του IEEE 802.16)

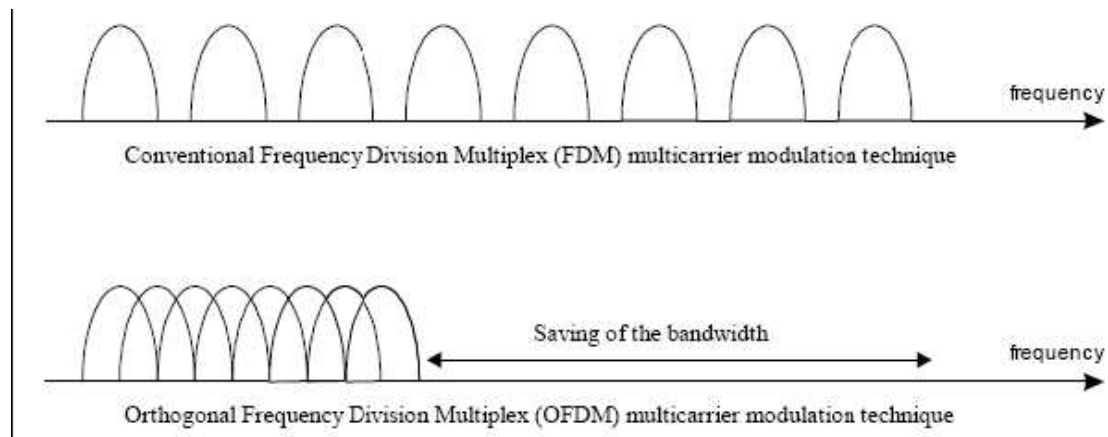
Εφόσον τα πρότυπα IEEE 802.11 και 802.16 είναι ασύρματες εκδόσεις του Ethernet, χρησιμοποιούν ένα Φυσικό Στρώμα και ένα Στρώμα Ελέγχου του Μέσου ώστε να υλοποιηθεί το ασύρματο μέσο. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει τις παραλλαγές του IEEE 802.11 στο μοντέλο αναφοράς OSI. Το Σχήμα 2.2 επεξηγεί πως υλοποιούνται τα στρώματα MAC και Φυσικό στο IEEE 802.16

2.2 Διαμόρφωση OFDM

Η διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) προέκυψε από την ανάγκη αποτελεσματικής αντιμετώπισης του προβλήματος διάδοσης μέσα από κανάλια επιλεκτικής εξασθένησης ως προς τη συχνότητα. Σε αντίθεση με το κανάλι επίπεδης εξασθένησης (flat fading), ένα κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης (frequency-selective fading) είναι εκείνο που επηρεάζει διαφορετικά την κάθε συχνότητα του εύρους του σήματος που μεταφέρει. Αποτέλεσμα αυτού είναι η φασματική αλλοίωση του ψηφιακά διαμορφωμένου σήματος καθώς διέρχεται από κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης, γεγονός που οδηγεί στο φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, υπάρχουν δύο λύσεις. Η πρώτη, έγκειται στη χρησιμοποίηση ενός σύνθετου κυκλώματος εξισωτή, που έχει ως στόχο τη μετατροπή του καναλιού σε επίπεδη εξασθένηση στη ζώνη συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Όμως, κάτι τέτοιο είναι αρκετά ακριβό και πολύπλοκο στην κατασκευή του, ακριβώς προσαρμοσμένο στο συγκεκριμένο κανάλι και στη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων για την οποία έχει κατασκευαστεί. Είναι επόμενο, ότι μια τέτοια λύση, στερείται ευελιξίας και καθολικότητας. Η δεύτερη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί μεγάλη διάρκεια συμβόλου, ώστε να γίνει αμελητέο το ποσοστό της διασυμβολικής παρεμβολής. Μεγάλη διάρκεια συμβόλου, δηλαδή διεύρυνση στο πεδίο του χρόνου, οδηγεί σε σύμπτυξη του φάσματος στο πεδίο της συχνότητας. Δηλαδή, στην εκπομπή ενός σήματος στενής ζώνης, τόσο στενής ώστε η συμπεριφορά του καναλιού δεν προλαβαίνει να αλλάξει.

Με αυτή τη νέα θεώρηση εκπομπής σημάτων στενής ζώνης, το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να χωριστεί σε πολλά υποκανάλια στα οποία αντιστοιχεί διαφορετική φέρουσα συχνότητα και τα οποία μεταφέρουν ταυτόχρονα ξεχωριστά σήματα πληροφορίας. Μεταφέρουν δηλαδή πολυπλεγμένα σήματα στο πεδίο της συχνότητας. Αυτή ακριβώς είναι η βασική ιδέα Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing, FDM). Σε κάθε κανάλι όμως, είναι εφικτή η μεταφορά δύο σημάτων ορθογώνιων μεταξύ τους, χωρίς να κινδυνεύει η φασματική ακεραιότητα κανενός εκ των δύο. Αυτή η επέκταση οδήγησε στην OFDM διαμόρφωση, που χρησιμοποιείται από πλήθος νέων τεχνολογιών, όπως οι κινητές τηλεπικοινωνίες, το ADSL, τεχνολογίες IEEE 802.11 και WiMax. Επομένως, στην ανάλυση που θα ακολουθήσει, επιλέγεται διαμόρφωση φυσικού στρώματος OFDM και με αυτήν την υπόθεση θα εξεταστεί η υλοποίηση του φυσικού στρώματος από το 802.16a πρωτόκολλο.



Σχήμα 2.3 Σύγκριση της χρησιμοποίησης του διατιθέμενου εύρους ζώνης στις δύο διαμορφώσεις FDM και OFDM

Βέβαια, παρόλα τα προφανή πλεονεκτήματα που κάνουν την OFDM διαμόρφωση προτιμητέα σε πλήθος εφαρμογών, η OFDM θέτει και κάποιους περιορισμούς. Είναι πολύ ευαίσθητη σε οποιοδήποτε σφάλμα φάσης μπορεί να επηρεάσει την ορθογωνιότητα των δύο σημάτων που πολυπλέκονται ανά φέρον. Και η πιο μικρή απόκλιση στη φάση των αποκωδικοποιητών στο δέκτη, μπορεί να αυξήσει πάρα πολύ την πιθανότητα λάθους και να καταστήσει αδύνατη την αποκωδικοποίηση. Επίσης, οι υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ, απαιτούν τη λειτουργία του ενισχυτή στη μη γραμμική περιοχή, οδηγώντας έτσι σε παραμόρφωση του σήματος.

2.3.1 Ποιοτική περιγραφή της διαμόρφωσης OFDM

Στο περιβάλλον ψηφιακής μετάδοσης επικοινωνίας πολυμέσων υπάρχει η απαίτηση για μετάδοση δεδομένων σε υψηλή ταχύτητα και με υψηλή ποιότητα. Τα απλά ψηφιακά συστήματα πομποδεκτών δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις παραπάνω απαιτήσεις αφού πλήττονται από το φαινόμενο της πολύοδης διάδοσης με αποτέλεσμα τα σήματα να καταφθάνουν στο δέκτη εξασθενημένα και σε πολλαπλά αντίγραφα.

Στο συμβατικό τρόπο σειριακής μετάδοσης, τα σύμβολα μεταδίδονται ακολουθιακά και κάθε σύμβολο στο χρόνο μετάδοσης που του αντιστοιχεί είναι ελεύθερο να καταλάβει όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ο παράλληλος τρόπος μετάδοσης, εισάγοντας την ταυτόχρονη μετάδοση συμβόλων, αντιμετωπίζει πολλά από τα προβλήματα της σειριακής μετάδοσης. Στην OFDM διαμόρφωση, τα δεδομένα διαμοιράζονται σε ένα μεγάλο πλήθος φερόντων, δικαιολογώντας το χαρακτηρισμό της πολύπλεξης διαίρεσης συχνότητας. Η διαμόρφωση OFDM, επομένως, δεν αφορά μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης του μέσου, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κοινό μέσο με πεπερασμένο εύρος ζώνης για να διαμοιραστεί. Πρόκειται για μια παράλληλη μετάδοση της πληροφορίας, η οποία διαμοιράζεται εξίσου στα πολλαπλά φέροντα έτσι ώστε κάθε φέρον σήμα να μεταφέρει μικρή ποσότητα της προς αποστολή πληροφορίας. Αυτό επιτρέπει τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας ανά φέρον σήμα, με αποτέλεσμα τον σημαντικό περιορισμό του φαινομένου της διασυμβολικής παρεμβολής. Επισημαίνεται, ότι μείωση στο ρυθμό μετάδοσης του κάθε φέροντος δε σημαίνει μείωση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης, ο οποίος είναι τόσες φορές ταχύτερος όσο είναι το πλήθος των φερόντων σημάτων.

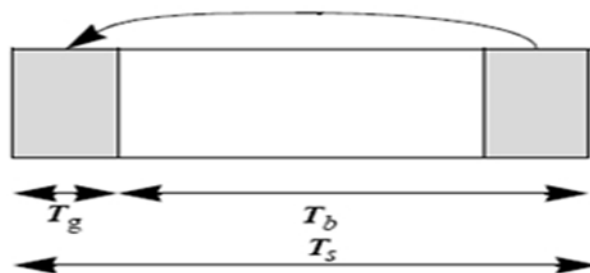
Η παραπάνω υλοποίηση, διαμοιράζοντας την πληροφορία σε πολλαπλά κανάλια, βοηθά στην αποφυγή λαθών σε καταιγισμούς πληροφορίας, γεγονός που θα έκανε αδύνατη την ανασύνθεση μέρους της πληροφορίας αν αυτό για κάποιο λόγο καταστρεφόταν. Παράλληλα, το μικρό εύρος που διατηρεί κάθε φέρον, αφού μεταφέρει σήματα στενής ζώνης, αποτρέπει την επιλεκτική ως προς τη συχνότητα εξασθένιση. Τα παραπάνω, αν εφαρμοστούν σε συνδυασμό με έναν απλό αλγόριθμο εξισορρόπησης μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τη μέση τετραγωνική διασπορά σε κάθε ένα από τα κανάλια μετάδοσης. Εναλλακτική λύση της χρήσης εξισορροπιστή, είναι η χρήση διαφορικής κωδικοποίησης. Με την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων γίνεται εφικτή η ακριβής ανασύνθεση της πληροφορίας στο δέκτη, ακόμα και χωρίς τη χρήση άλλου μηχανισμού διόρθωσης λαθών.

Η ορθογώνια διαμόρφωση που αναφέρεται στο OFDM αναφέρεται στην ακριβή μαθηματική σχέση που συνδέει τις συχνότητες των φερόντων του συστήματος. Στα συστήματα που χρησιμοποιούν FDM διαμόρφωση είναι απαραίτητη η εισαγωγή των διαστημάτων φύλαξης, δηλαδή κενών διαστημάτων μεταξύ του φάσματος δύο διαδοχικών καναλιών που εξασφαλίζουν τον περιορισμό της διασυμβολικής παρεμβολής. Στην OFDM διαμόρφωση τα φασματικά περιεχόμενα

δύο διαδοχικών καναλιών μπορούν να υπερκαλύπτονται, αρκεί να ισχύουν συνθήκες ορθογωνιότητας μεταξύ των δύο φερόντων.

2.3.2 Βασικές Παράμετροι

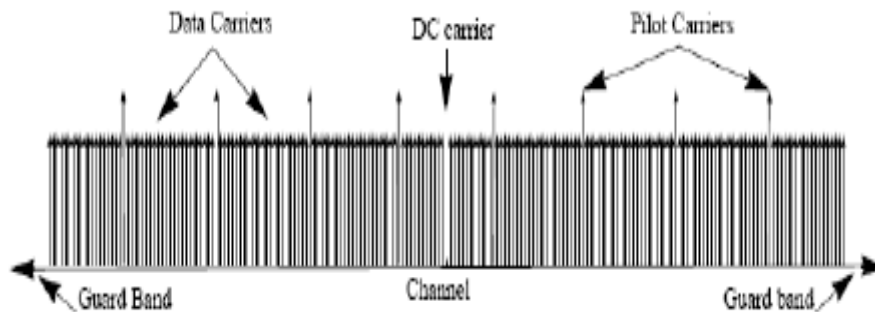
Η διαμόρφωση OFDM είναι κατάλληλη για δίκτυα που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2-11 GHz, όπου δεν υπάρχει απαίτηση οπτικής επαφής. Στο πεδίο του χρόνου, η κυματομορφή OFDM προκύπτει από τον Αντίστροφο Μετασχηματισμό Fourier. Η διάρκειά της αντιστοιχεί στο χρόνο T_b , που είναι ο χρόνος μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου. Τα τελευταία T_g μ s, ονομάζονται κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix, CP) και αντίγραφό τους τοποθετείται στην αρχή του συμβόλου. Αυτό συμβαίνει για να σχηματιστεί μια αρχική περίοδο μη ωφέλιμης πληροφορίας στην αρχή της χρονοθυρίδας, η οποία θα συγκεντρώνει τα διάφορα αντίγραφα προηγούμενων συμβόλων που, λόγω της πολύοδης διάδοσης, έχουν εισχωρήσει στη χρονοθυρίδα του επόμενου συμβόλου. Παράλληλα, συντελεί στην εξασφάλιση της ορθογωνιότητας των καναλιών. Το άθροισμα των δύο περιόδων $T_g + T_r$ αποτελεί την περίοδο T_s που αντιστοιχεί στη διάρκεια του συμβόλου.



Σχήμα 2.4. Δομή της χρονικής θυρίδας OFDM

Μελετώντας το πεδίο της συχνότητας, προκύπτει ένα σύνολο από φέροντα κύματα, το πλήθος των οποίων αντιστοιχεί στο πλήθος των δειγμάτων Γρήγορου Μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) που έχουν χρησιμοποιηθεί. Τα φέροντα κύματα που συναντώνται μπορεί να είναι:

- Φέροντα δεδομένων: Διαμορφώνουν τη ροή δεδομένων.
- Πιλοτικά φέροντα: Μεταφέρουν πληροφορίες άσχετες με τη ροή της καθαρής πληροφορίας. Αυτό περιλαμβάνει τις ροές δεδομένων διαχείρισης και άλλες πληροφορίες.
- Κενά φέροντα: Δεν επιτελούν κανενός είδους μετάδοση, είναι τα φέροντα που εκπέμπονται κατά τα κενά διαστήματα φύλαξης (guard band) ή κατά τη μεταφορά του φέροντος DC. Τα κενά διαστήματα φύλαξης είναι απαραίτητα για την αποφυγή της παρεμβολής μεταξύ γειτονικών φερόντων (Inter-Carrier-Φασματική περιγραφή OFDM Interference, ICI).



Σχήμα 2.5 Φασματική περιγραφή OFDM

Οι βασικές μεταβλητές και τεχνικές προδιαγραφές που χαρακτηρίζουν την OFDM διαμόρφωση είναι οι εξής:

- Εύρος Ζώνης (BW): Είναι το ονομαστικό εύρος ζώνης που έχει ανατεθεί στο κανάλι

- Συχνότητα Δειγματοληψίας (F_s): Εξαρτάται από το εύρος ζώνης, είναι μια παραγόμενη μεταβλητή

- Παράμετρος $\eta^{F/BW}$: Είναι βασική παράμετρος της OFDM διαμόρφωσης και παίρνει τιμές για κανάλια χωρίς εξουσιοδότηση που είναι πολλαπλάσια των 1.75 MHz $\eta^{F/BW}=8/7$, ενώ για κάθε άλλη περίπτωση παίρνει την τιμή $7/6$

- Πλήθος Φέροντων : $N_{FFT} = 256$

- Χρησιμοποιούμενα φέροντα : $N_{used} = 200$

- Απόσταση Υπο-φερόντων: $\Delta f = F_s / N_{FFT}$

- Φέροντα δεδομένων = 192

- Φέροντα φύλαξης / Πιλοτικά / DC = 55 / 8 / 1

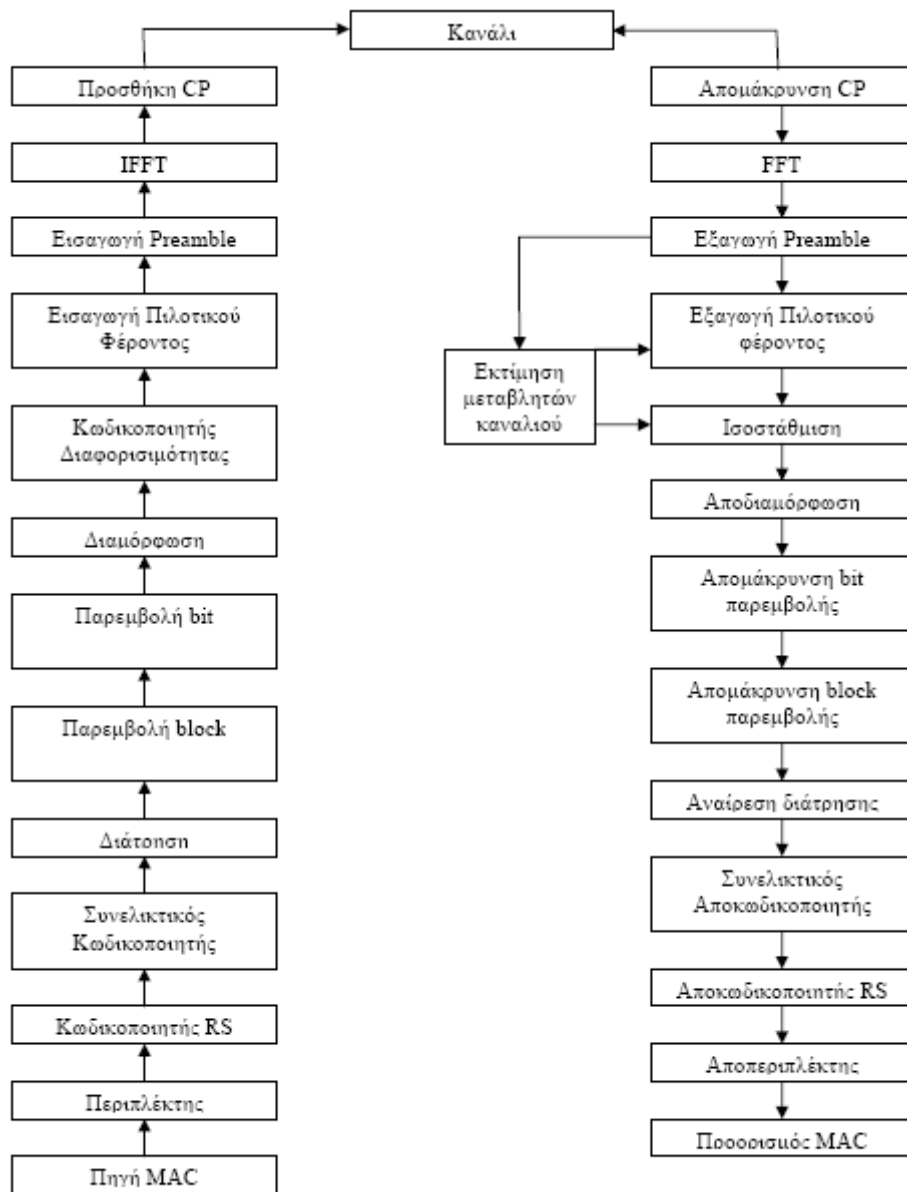
- Ωφέλιμος Χρόνος : $T = 256 \cdot T$ όπου το T ορίζεται από τη σχέση $F_s = 1/T$

- Μήκος Κυκλικού προθέματος : $T_g \geq 2 \mu s$ για συνθήκες NLOS

- Μήκος Συμβόλου : $T_s = T_g + T_b$

- $T_g/T_b = \{ 14, 18, 116, 132 \}$

2.4 Περιγραφή συστήματος μετάδοσης πομπού και δέκτη



Σχήμα 2.6 Αλυσίδα πομπού και δέκτη WiMax τεχνολογίας

Στο παραπάνω σχήμα, παρουσιάζονται οι βαθμίδες ενός πομπού και δέκτη που κάνουν χρήση OFDM διαμόρφωσης. Τα επιμέρους στάδια της επεξεργασίας του σήματος πληροφορίας μέχρι να προκύψει το προς μετάδοση σήμα.

2.5 Κωδικοποίηση καναλιού

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια: Την περίπλεξη, την εκ των προτέρων διόρθωση λαθών και την παρεμβολή. Κατά την εκπομπή, οι παραπάνω λειτουργίες τελούνται με τη σειρά που αναφέρθηκαν, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά τη λήψη.

2.6 Διαμόρφωση

Η διαμόρφωση που ακολουθείται για τα σήματα πληροφορίας, είναι ψηφιακή διαμόρφωση πολλαπλών επιπέδων. Στην περίπτωση που ακολουθείται σηματοδοσία M επιπέδων, ο συρμός των ψηφίων του σήματος πληροφορίας $m(t)$ δεν παίρνει τιμές $\{0,1\}$, αλλά όποια τιμή περιέχεται στο σύνολο $\{0,1,\dots,M-1\}$. Για το M ισχύει: $M=2^k$ όπου k =αριθμός bits/symbol.

Το βασικότερο πλεονέκτημα της διαμόρφωσης πολλαπλών επιπέδων είναι η οικονομία φάσματος. Η πληροφορία μεταδίδεται με το ρυθμό μετάδοσης των ψηφίων $R_b = 1/T_b$, όπου T_b είναι η διάρκεια του ενός bit. Αντιθέτως, το εύρος φάσματος είναι ανάλογο του ρυθμού μετάδοσης συμβόλων $R_s = 1/T_s$, όπου T_s είναι η διάρκεια του ενός συμβόλου. Για κάθε σύμβολο μεταδίδεται ένας μόνο παλμός.

Το διαμορφωμένο προς αποστολή σήμα έχει τη μορφή:

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + 2\pi/M * m(t)]$$

όπου $m(t) \in \{0,1,\dots,M-1\}$ και A_c συμβολίζει το πλάτος του σήματος.

Στην περίπτωση όπου $M=2$, προκύπτει η διαμόρφωση BPSK όπου το σήμα μπορεί να πάρει δύο δυνατές τιμές:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \text{ για } m(t) = 0$$

ή

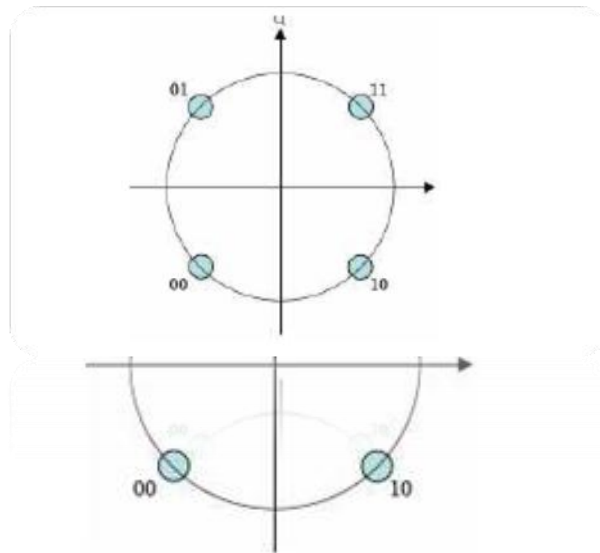
$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \pi) = -A_c \cos(2\pi f_c t) \text{ για } m(t) = 1$$

Τα πιθανά ενδεχόμενα δείγματα που προκύπτουν κατά τη λήψη του σήματος απεικονίζονται στα διαγράμματα αστερισμού. Τα διαγράμματα αυτά παρέχουν έναν εποπτικό τρόπο για να αποφασιστεί το λαμβανόμενο ενδεχόμενο, απεικονίζοντας τα πιθανά ενδεχόμενα (με τη μορφή αστεριών) καθώς και τις περιοχές εμπέλειας του κάθε ενδεχομένου. Η ισχύς του κάθε σήματος είναι ανάλογη της απόστασης του σημείου από την αρχή των αξόνων. Η απόφαση για το ποιο ενδεχόμενο του σήματος στάλθηκε εξαρτάται από την απόσταση του λαμβανόμενου σήματος από τα σημεία αστερισμού. Το σημείο αστερισμού που βρίσκεται εγγύτερα στο λαμβανόμενο σήμα είναι το ενδεχόμενο που έχει σταλεί.

Αν ένα δείγμα βρίσκεται στο αριστερό ημιεπίπεδο, τότε έχει σταλεί 0, ενώ στην αντίθετη περίπτωση έχει σταλεί 1. Σε ένα τέτοιο σχήμα διαμόρφωσης, επιτυγχάνεται η χειρότερη δυνατή εκμετάλλευση εύρους ζώνης και για το λόγο αυτόν δεν επιλέγεται ως διαμόρφωση φυσικού στρώματος στο πρότυπο 802.16a. Από την άλλη πλευρά, η πιθανότητα λάθους είναι μικρή αφού υπάρχουν μόνο δύο περιοχές απόφασης, όσα και τα ενδεχόμενα που μπορεί να σταλούν.

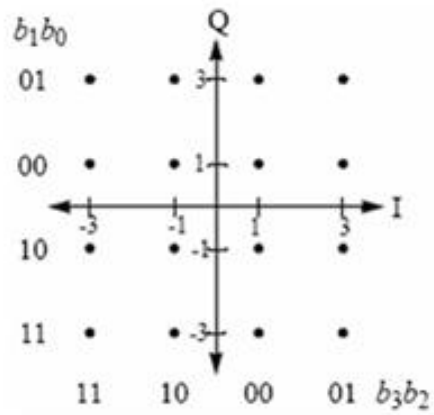
Με μικρή αύξηση στην πολυπλοκότητα και την πιθανότητα λάθους, συνιστάται η αύξηση του αριθμού των ψηφίων ανά σύμβολο, επιλέγοντας $M=4$ και υλοποιώντας τη διαμόρφωση QPSK (Quadrature PSK), όπου υπάρχει η δυνατότητα αποστολής τεσσάρων διαφορετικών συμβόλων.

Το διάγραμμα αστερισμού που προκύπτει εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Μια τέτοια διαμόρφωση, αν και έχει σχεδόν διπλάσια πιθανότητα λάθους συμβόλου από αυτήν της BPSK, είναι προτιμότερη, λόγω των φασματικών πλεονεκτημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πιθανότητα λάθους του ενός ψηφίου παραμένει ίδια και στις δύο διαμορφώσεις.

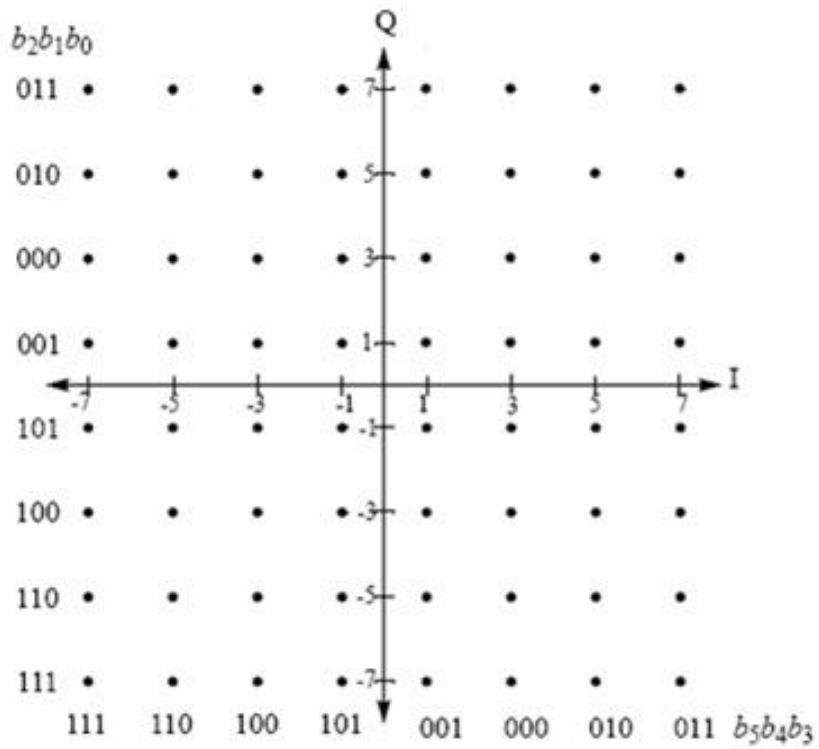


Σχήμα 2.7 Διάγραμμα αστερισμού QPSK Διαμόρφωσης.

Αν, εκτός από τη φάση, μεταβληθεί και το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος, τότε τα διαγράμματα αστερισμού που προκύπτουν έχουν σημεία αστερισμού, πάνω σε ομόκεντρους κύκλους. Έτσι, προκύπτουν τα σχήματα διαμόρφωσης QAM (Quadrature amplitude modulation). Στο φυσικό στρώμα του 802.16a, χρησιμοποιούνται οι διαμορφώσεις 16-QAM και 64-QAM τα διαγράμματα των οποίων εικονίζονται στις ακόλουθες εικόνες



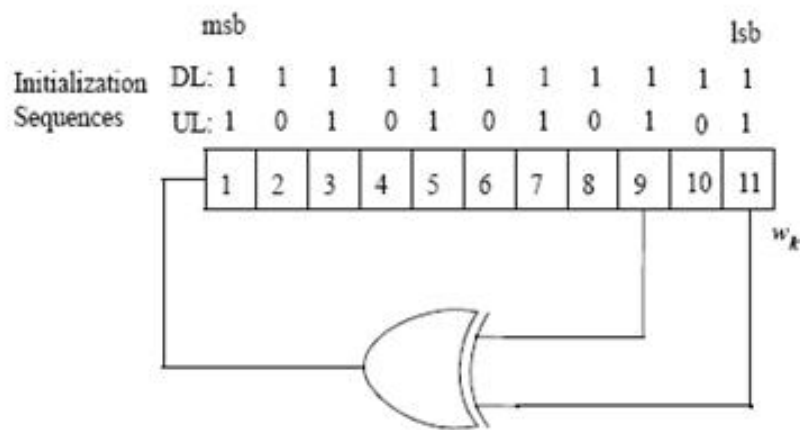
Σχήμα 2.8.1 Διάγραμμα αστερισμού 16-QAM Διαμόρφωσης.



Σχήμα 2.8.2 Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM Διαμόρφωσης.

2.7 Πιλοτικά φέροντα

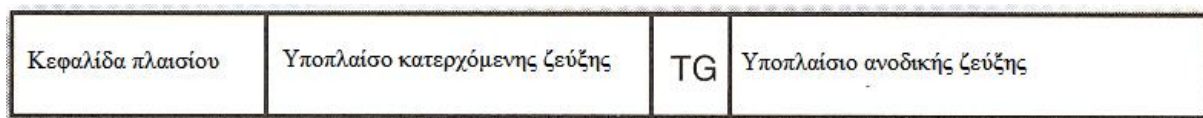
Χρησιμοποιούνται 8 πιλοτικά φέροντα τα οποία δεν μεταφέρουν δεδομένα, αλλά έχουν ως λειτουργία τον υπολογισμό των παραμέτρων απόδοσης του καναλιού και τη διατήρηση συγχρονισμού. Η διαμόρφωση των πιλοτικών σημάτων είναι BPSK και γίνεται από μια ψευδοτυχαία δυαδική ακολουθία. Σημειώνεται, ότι δεν υπάρχει μετάδοση για τα διαστήματα φύλαξης και το υπο-φέρον DC.



Σχήμα 2.9 Διαμορφωτής πιλοτικών σημάτων

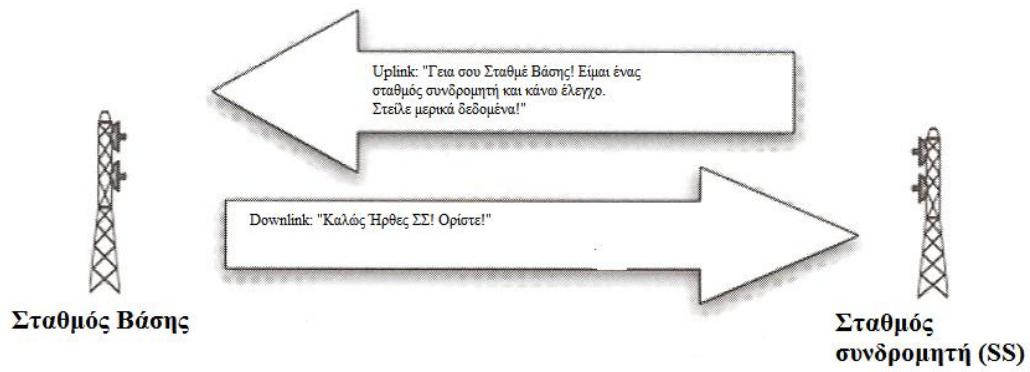
2.8 TDD και FDD

Το WiMAX λειτουργεί και με Time Division Duplex (TDD) και με Frequency Division Duplex (FDD). Η TDD είναι μια τεχνική στην οποία το σύστημα εκπέμπει και λαμβάνει μέσα την ίδια συχνότητα, ορίζοντας χρονοθυρίδες εκπομπής και χρονοθυρίδες λήψης. Η FDD είναι δύο διαφορετικές συχνότητες γενικώς χωριζόμενες ανά 50 έως 100 MHz εντός του φάσματος λειτουργίας. Η TDD πλεονεκτεί όταν ένα ρυθμιστικό στοιχείο κατανέμει το φάσμα σε ένα γειτονικό τεμάχιο (block). Με την TDD δεν είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της ζώνης συχνοτήτων. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 2.10. Επομένως ολόκληρη η κατανομή του φάσματος είναι αποτελεσματική και στην ανοδική πορεία (upstream) και στην κατερχόμενη (downstream) και όπου οι μέθοδοι κίνησης είναι μεταβαλλόμενες ή ασυμμετρικές.



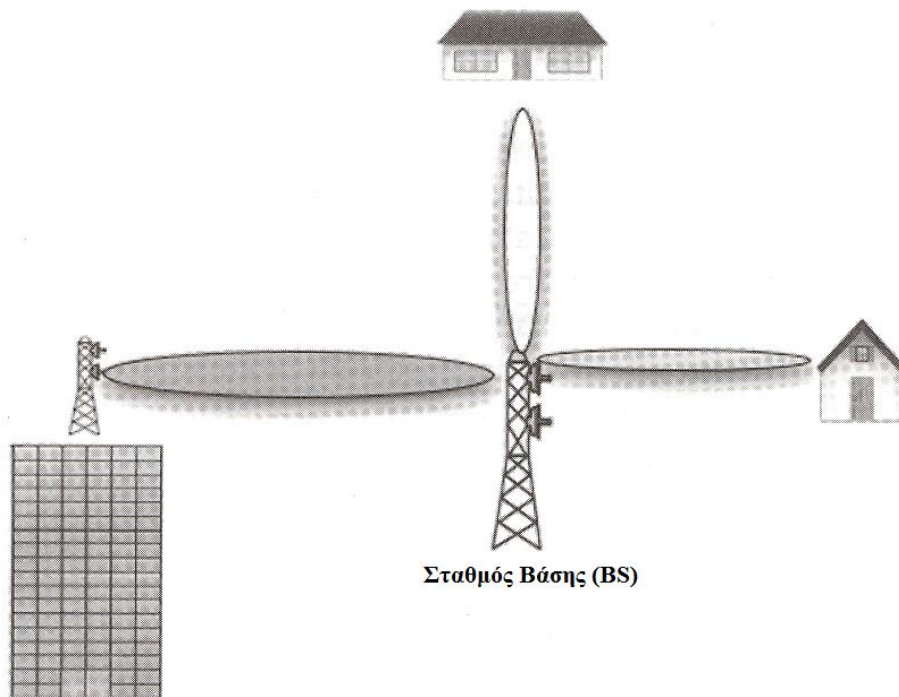
Σχήμα 2.10 (Υπό-πλαίσιο TDD)

Στα συστήματα FDD, οι δομές των πλαισίων ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης είναι όμοιες εκτός από το ότι κάθε ζεύξη εκπέμπεται σε διαφορετικά κανάλια. Όταν είναι παρόντες σταθμοί συνδρομητών half-duplex FDD (half-duplex Subscriber Stations), ο σταθμός βάσης (Base Station) πρέπει να εξασφαλίσει πως δεν θα προγραμματίσει έναν H-FDD SS να εκπέμπει και να λαμβάνει την ίδια στιγμή. Το Σχήμα 2.11 απεικονίζει αυτόν τον συσχετισμό.



Σχήμα 2.11 Half-duplex Subscriber Stations

2.9 Σύστημα Προσαρμοζόμενων Κεραιών (Adaptive Antenna System)



Σχήμα 2.12 (Με AAS πετυ χάνεται αύξηση του κέρδους στους εν λόγω SS)

Το AAS χρησιμοποιείται στις προδιαγραφές του WiMAX για να περιγράψει τεχνικές σχηματισμού δεσμών όπου μια παράταξη κεραιών χρησιμοποιείται στο σταθμό βάσης για να αυξηθεί το κέρδος προς τον στοχευόμενο σταθμό συνδρομητή και παράλληλα εκμηδενισμό των παρεμβολών από άλλους σταθμούς συνδρομητών ή διαφόρων πηγών παρεμβολών. Οι τεχνικές τύπου AAS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενεργοποιήσουν Πολλαπλή Πρόσβαση Χωρική Διαίρεσης (Spatial Division Multiple Access), έτσι ώστε πολλαπλοί σταθμοί συνδρομητών που ξεχωρίζουν στο χώρο να μπορούν να λαμβάνουν και να εκπέμπουν στο ίδιο υπό-κανάλι την ίδια χρονική στιγμή. Χρησιμοποιώντας σχηματισμό δέσμης, ο σταθμός βάσης έχει τη δυνατότητα να κατευθύνει το επιθυμητό σήμα στους διαφορετικούς σταθμούς συνδρομητών και να διακρίνει τα σήματα των διαφορετικών σταθμών συνδρομητών ακόμη και αν λειτουργούν στα ίδια υπό-κανάλια. Το Σχήμα 2.12 επεξηγεί.

2.10 Διαφορετικές υλοποιήσεις

Οι διαφορετικές υλοποιήσεις για το φυσικό επίπεδο είναι οι εξής:

WirelessMAN-SC

WirelessMAN-SCa

WirelessMAN-OFDM

WirelessMAN-OFDMA

WirelessHUMAN Συνοπτικά οι ιδιαιτερότητες και τα κύρια χαρακτηριστικά τους:

Υποτύπη	Ζώνη Συχνότητας	Λειτουργίες	Duplexing
WirelessMAN-SC	10-60GHz		TDD FDD
WirelessMAN-SCa	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessMAN-OFDM	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC Mesh	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA	<11GHz αδειοδοτούμενες	AAS ARQ STC	TDD FDD
WirelessHUMAN	<11GHz αιώθηρες	AAS ARQ STC Mesh Topology	TDD

2.10.1 Wireless MAN-SC PHY

Το όνομα του επιπέδου αυτού προκύπτει από το Single-Carrier modulation και όπως αναφέρθηκε το φυσικό αυτό επίπεδο λειτουργεί στις ζώνες από 10GHz έως 60GHz. Οι ζώνες αυτές παρέχουν ένα φυσικό περιβάλλον, το οποίο λόγω του μικρού μήκους κύματος, που απαιτεί οπτική επαφή πομπού με δέκτη (Line Of Sight - LOS) και αμελητέο θόρυβο πολλαπλών διαδρομών (multipath interference). Στην ζώνη αυτή, το εύρος των καναλιών είναι συνήθως 25MHz ή 28MHz με καθαρό ρυθμό αποστολής δεδομένων να υπερβαίνει τα 125Mb/s. Είναι προφανές ότι αυτό το περιβάλλον είναι κατ' εξοχήν χρήσιμο για πρόσβαση σημείου προς πολλά σημεία (PMP) υποστηρίζοντας εφαρμογές από μικρές έως μεγάλες επιχειρήσεις. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει προφανώς και το ότι αναφερόμαστε αυστηρά σε ζώνες μη ελεύθερες δηλαδή που απαιτούν αδειοδότηση.

Το επίπεδο αυτό είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παρέχει ένα πολύ μεγάλο βαθμό ευελιξίας, με σκοπό να παρέχει την δυνατότητα της βέλτιστης ανάπτυξης και υλοποίησης από τους παρόχους, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις αναφορικά με τον

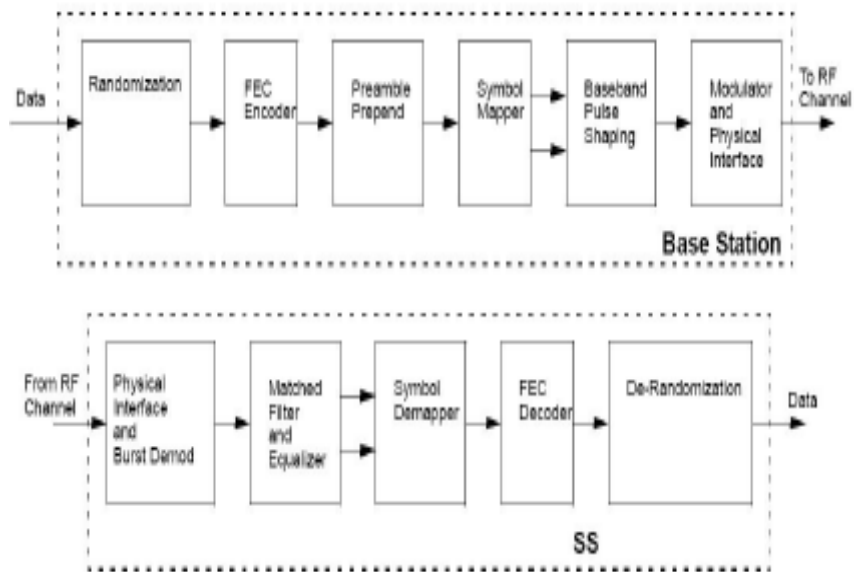
σχεδιασμό των κυβελών, του κόστους, των ασύρματων δυνατοτήτων, των υπηρεσιών και της χωρητικότητας.

Για λόγους ευέλικτης χρήσης του φάσματος, υποστηρίζονται τόσο FDD όσο και TDD παραμετροποιήσεις. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται FDD υποστηρίζεται full-duplex επικοινωνία με τους σταθμούς βάσης αλλά και half-duplex¹. Και οι δύο χρησιμοποιούν φορμά μετάδοσης με ριπές, του οποίου ο μηχανισμός ενθλάκωσης υποστηρίζει προσαρμοζόμενες τεχνικές όσο αναφορά τις παραμέτρους μετάδοσης, όπως τον τύπο της διαμόρφωσης και τον τύπο της κωδικοποίησης. Αυτές μπορούν να ρυθμιστούν ξεχωριστά για κάθε σταθμό συνδρομητή (SS), πλαίσιο προς πλαίσιο αναλόγως με τις συνθήκες και την ποιότητα της ζεύξης την κάθε χρονική στιγμή.

Το κομμάτι της άνω ζεύξης δηλαδή της επικοινωνίας του συνδρομητή με τον σταθμό βάσης είναι βασισμένο σε έναν συνδυασμό TDMA και DAMA. Συγκεκριμένα, το κανάλι της άνω ζεύξης είναι χωρισμένο σε ένα αριθμό από χρονοθυρίδες. Ένας αριθμός από αυτές, που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για λειτουργίες του δικτύου, ελέγχονται από το MAC επίπεδο στον σταθμό βάσης μπορεί να αλλάζουν στο πέρασμα του χρόνου για μέγιστη απόδοση.

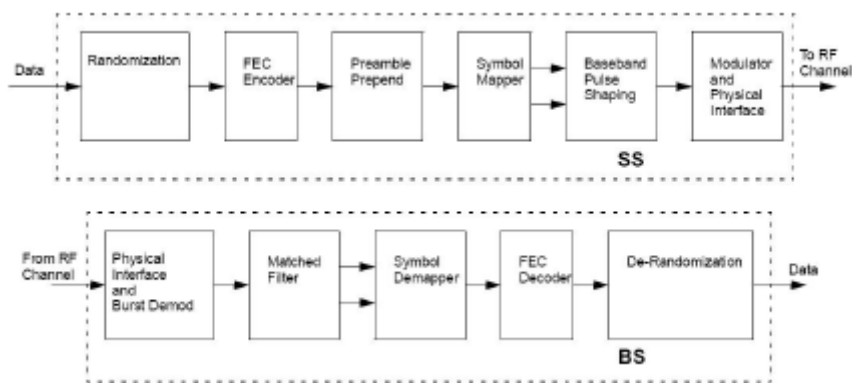
Η κάτω ζεύξη χρησιμοποιεί TDM με την πληροφορία που προορίζεται για κάθε σταθμό βάσης πολυπλεγμένη σε μία και μοναδική ροή δεδομένων που λαμβάνεται από όλους τους σταθμούς βάσης του ίδιου τομέα ταυτόχρονα.

Το κομμάτι του φυσικού επιπέδου που είναι υπεύθυνο για την κάτω ζεύξη, περιλαμβάνει και ένα υποεπίπεδο σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence - TS) το οποίο εισάγει έναν δείκτη στην αρχή των MAC PDUs², δηλαδή των πακέτων που προέρχονται από το ανώτερο επίπεδο, ώστε να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα από τον δέκτη. Τα δεδομένα που έρχονται από το επίπεδο αυτό κωδικοποιούνται με randomization, ύστερα με FEC και τέλος αντιστοιχούνται σε μία QPSK, 16-QAM ή 64-QAM διαμόρφωση.



Σχημα 2.13.1 Κάτω ζεύξη TDM με την πληροφορία

Στην άνω ζεύξη χρησιμοποιείται σύστημα μετάδοσης TDMA με ριπές. Κάθε ριπή είναι σχεδιασμένη ώστε να μεταφέρει MAC PDUs μεταβλητού μήκους. Ο πομπός κωδικοποιεί τα δεδομένα με βάση της ίδιας διαδικασίας που γίνεται και για την ζεύξη καθόδου.



Σχημα 2.13.2 Άνω ζεύξη σύστημα μετάδοσης TDMA με ριπές

Το φυσικό αυτό επίπεδο, λειτουργεί, όπως ήδη αναφέρθηκε, με ενθυλάκωση των δεδομένων σε πλαίσια. Μέσα σε κάθε πλαίσιο υπάρχει ένα υποπλαίσιο για την ζεύξη καθόδου και ένα για ζεύξη ανόδου. Το υποπλαίσιο της καθόδου ξεκινά με πληροφορία απαραίτητη για τον συγχρονισμό και τον έλεγχο του πλαισίου από τον δέκτη. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται TDD, το υποπλαίσιο αυτό προηγείται του αντίστοιχου της ανόδου. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται FDD αυτά συμβαίνουν ταυτόχρονα

Channel size (MHz)	Symbol rate (Mbd)	Bit rate (Mb/s) QPSK	Bit rate (Mb/s) 16-QAM	Bit rate (Mb/s) 64-QAM	Recommended Frame Duration (ms)	Number of PSs/frame
20	16	32	64	96	1	4000
25	20	40	80	120	1	5000
28	22.4	44.8	89.6	134.4	1	5600

2.10.2 Wireless MAN-SCa PHY

Το WirelessMAN-SCa PHY είναι βασισμένο στην τεχνολογία single-carrier access και σχεδιασμένο για NLOS λειτουργία χρησιμοποιώντας φάσμα κάτω από τα 11GHz. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε δεσμευμένες ζώνες συχνοτήτων, όσο και σε ελεύθερες.

Κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

Λειτουργία TDD ή FDD .Χρησιμοποίηση TDMA για την ζεύξη ανόδου TDM ή TDMA για την ζεύξη καθόδου. Block-adaptive διαμόρφωση και FEC κωδικοποίηση και για την ζεύξη ανόδου και για την ζεύξη καθόδου .Βελτιωμένη πρόβλεψη και εξισορρόπηση καναλιού για NLOS περιβάλλοντα καθώς και για περιβάλλοντα όπου η διακύμανση καθυστέρησης διάδοσης είναι αυξημένη Concatenated FEC με Reed-Solomon και TCM διαμόρφωση.

BTC και CTC FEC επιλογές. Μη χρησιμοποίηση FEC όταν χρησιμοποιείται ARQ για έλεγχο λαθών. Εξαίρεση αποτελούν τα FCH. STC.

Robust modes για λειτουργία με χαμηλό CINR

AAS (προαιρετικά)

Έλεγχος ισχύος

Επίσης το WirelessMAN-SCa PHY υποστηρίζει τις εξής διαμορφώσεις:

Spread BPSK

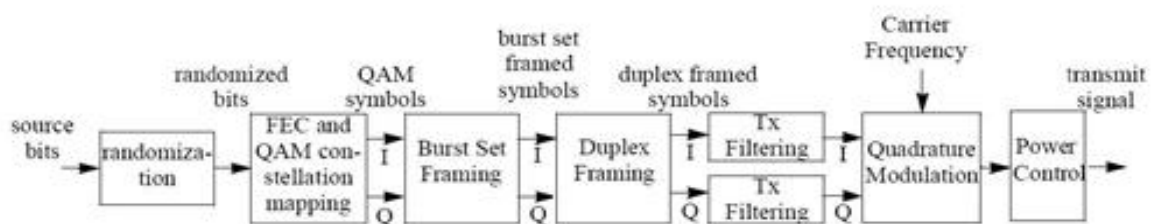
BPSK

QPSK

16-QAM

64-QAM

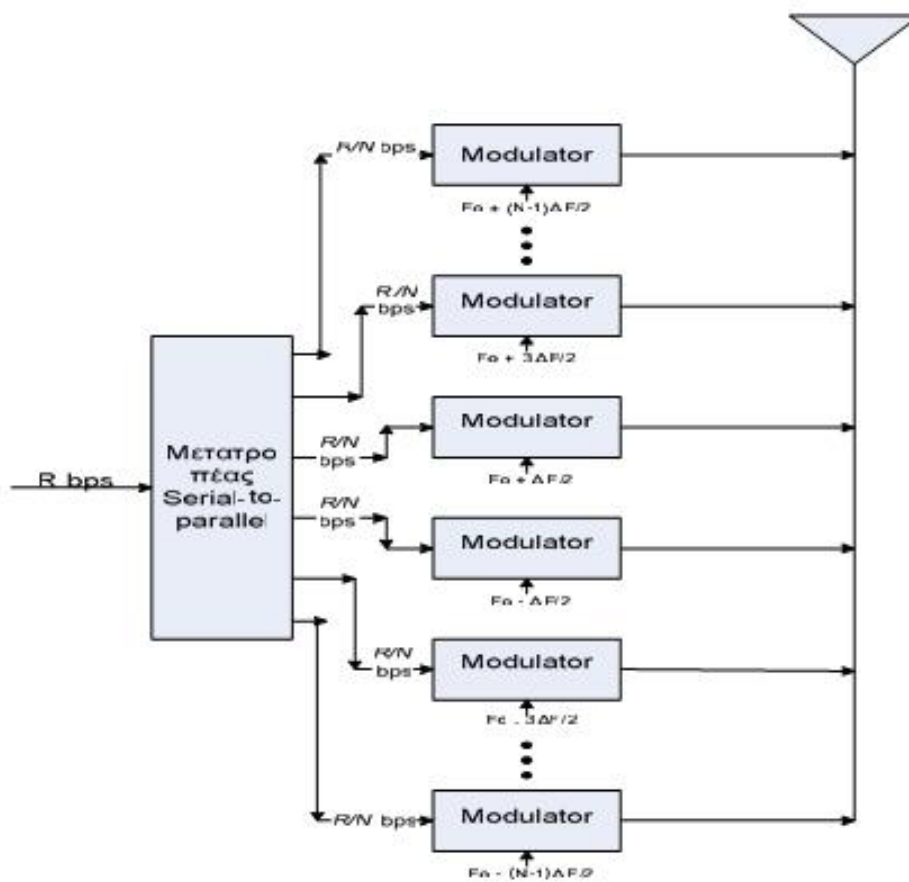
256-QAM (προαιρετικά)



2.10.3 Wireless MAN-OFDM PHY

Το WirelessMAN-OFDM PHY είναι σχεδιασμένο για περιβάλλοντα NLOS και για συχνότητες κάτω των 11GHz και χρησιμοποιεί, όπως αναφέρεται και στο όνομά του OFDM διαμόρφωση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε αδειοδοτούμενες συχνότητες όσο και σε ελεύθερες.

Το OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) χρησιμοποιεί πολλαπλά σήματα μεταφοράς σε διαφορετικές συχνότητες, στέλνοντας μερικά από τα bits σε κάθε κανάλι. Αυτό είναι παρόμοιο και με το FDM, μόνο που σε αυτήν την περίπτωση όλα τα υποκανάλια λαμβάνουν δεδομένα από μία πηγή.



Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μία ροή δεδομένων που λειτουργεί σε R bps και εύρος φάσματος (bandwidth) $N\Delta f$, επικεντρωμένο στο f_0 . Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλο το εύρος για να στείλουμε την ροή δεδομένων, οπότε η διάρκεια κάθε bit θα ήταν $1/R$. Η εναλλακτική λύση είναι να χωρίσουμε το stream σε N substreams, χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα από σειριακό σε παράλληλο. Κάθε substream έχει data rate R/N bps και μεταδίδεται σε ξεχωριστή υπογραμμή, με απόσταση ανάμεσα σε γειτονικές γραμμές μετάδοσης του Δf . Τώρα η διάρκεια κάθε bit είναι N/R .

Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων το συνολικά διαθέσιμη εύρος συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων. Κάθε υποκάνάλι διαμορφώνεται και από διαφορετικό σύμβολο και ακολούθως τα N υποκανάλια πολυπλέκονται στο πεδίο των συχνοτήτων. Η ιδέα που εισήγαγε το OFDM ήταν πρωτοποριακή μιας και οδηγούσε στην εξοικονόμηση φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, έκανε λόγο για χρήση επικαλυπτόμενων υποκαναλιών, που χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας, γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή ισοστάθμισης, την αντιμετώπιση θορύβου και εξασθένησης σήματος λόγω πολυδιόδευσης (multipath fading) καθώς και την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Άλλα χαρακτηριστικά του φυσικού αυτού επιπέδου είναι τα εξής:

- AAS
- ARQ
- Mesh Topology
- STC (προαιρετικά)
- Concatenated FEC με Reed-Solomon
- BTC, CTC (προαιρετικά)
- Transmission Convergence Layer ίδιο με του WirelessMAN-SC (προαιρετικά)
- Έλεγχος ισχύος
- Μεταβλητό εύρος καναλιού (ελάχιστο εύρος 1.25MHz)

Η κωδικοποίηση του καναλιού γίνεται σε τρία βήματα: randomizing, FEC και τέλος interleaving [Παράρτημα]. Το επόμενο βήμα είναι η διαμόρφωση των δεδομένων. Υποστηριζόμενες μορφές διαμόρφωσης είναι οι εξής:

- BPSK
- Gray-mapped QPSK
- 16-QAM
- 64-QAM (προαιρετική για χρήση σε ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων) [Παράρτημα]

Όπως και τα άλλα, έτσι και το WirelessMAN-OFDM μπορεί να χρησιμοποιεί είτε FDD είτε TDD. Επίσης αντίστοιχα, σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιείται μόνο το TDD. Στο αναφέρονται ενδεικτικά οι ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν με το WirelessMANOFDM PHY.

Modulation / Code Rate	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 QAM 2/3	64 QAM 3/4
1.75 MHz	1.04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5 MHz	2.08	4.37	5.82	8.73	11.88	13.09
7.0 MHz	4.15	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10.0 MHz	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.40
20.0 MHz	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	74.81

2.10.4 WirelessMAN-OFDMA PHY

Το WirelessMAN-OFDMA PHY είναι παρόμοιο με το WirelessMAN-OFDM PHY με κύρια διαφορά ότι χρησιμοποιεί μία εξελιγμένη μορφή του OFDM, το OFDMA το οποίο «ομαδοποιεί» τις φέρουσες σε υποκανάλια. Έτσι ένας χρήστης μπορεί να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ένα μέρος των υποκαναλιών, ή όλα ταυτόχρονα. Παράλληλα μειώνεται το ελάχιστο εύρος του καναλιού από 1.25MHz σε 1MHz. Άλλη σημαντική διαφορά είναι η μη υποστήριξη τοπολογίας mesh.

2.10.5 WirelessMAN-HUMAN PHY

Το συγκεκριμένο δεν προσδιορίζει κάποιο καινούριο φυσικό στρώμα αλλά αναφέρεται ουσιαστικά στα WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM και WirelessMAN-OFDMA όταν αυτά χρησιμοποιούνται σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων, θέτοντας κάποιους περιορισμούς όσο αναφορά το εύρος των καναλιών που θα χρησιμοποιούνται καθώς και η μέγιστη επικάλυψη που μπορεί να υπάρχει ανάμεσα σε δύο γειτονικά κανάλια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

MAC (Medium Access Control)

3.1 Το επίπεδο MAC του προτύπου IEEE 802.16.

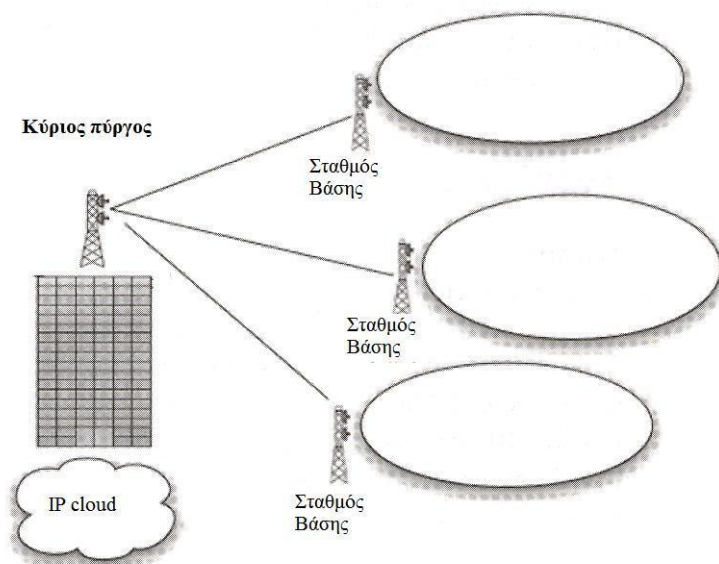
Το MAC του WiMAX παρέχει «νοημοσύνη» για το Φυσικό Στρώμα και εξασφαλίζει ένα πλήθος χαρακτηριστικών QoS που δε συναντώνται σε άλλα ασύρματα πρότυπα. Ίσως η μεγαλύτερή του αξία είναι ότι παρέχει δυναμική κατανομή εύρους ζώνης που κατατροπώνει τις συνηθισμένες υποβαθμίσεις των ασύρματων υπηρεσιών, δηλαδή λανθάνων χρόνο και παραμόρφωση σήματος (jitter).

Το πρωτόκολλο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για πολύ-σημειακές εφαρμογές ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Επιλαμβάνεται της ανάγκης για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, και για το UL (στον σταθμό βάσης) και για το DL (από τον σταθμό βάση). Με το WiMAX, σε αντίθεση με τους Wi-Fi προκατόχους του, οι αλγόριθμοι πρόσβασης και κατανομής εύρους ζώνης εξυπηρετούν εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι, και πολλαπλοί τελικοί χρήστες μπορεί να μοιράζονται αυτά τα τερματικά. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν υπηρεσίες που ποικίλουν στη φύση περιλαμβάνοντας παραδοσιακή TDM φωνή και δεδομένα, συνδετικότητα IP, και πακετοποιημένο VoIP. Για να υποστηριχθεί αυτή η ποικιλία υπηρεσιών το MAC του WiMAX προσαρμόζεται και σε συνεχόμενη κίνηση και σε εκρηκτική κίνηση (bursty traffic). Επιπλέον, σε αυτές τις υπηρεσίες αναθέτονται QoS παράμετροι κατά που ταιριάζει στα είδη κίνησης.

Στην ποικιλία απαιτήσεων backhaul που υποστηρίζει το πρωτόκολλο MAC του WiMAX περιλαμβάνονται και ATM και βασιζόμενα σε πακέτα πρωτόκολλα. Τα υπό-στρώματα σύγκλισης αντιστοιχίζουν την κίνηση που ορίζει το στρώμα μεταφοράς σε ένα MAC που είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά οποιοδήποτε είδος κίνησης. Τα υπό-στρώματα σύγκλισης και το MAC συνεργάζονται χρησιμοποιώντας καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου, συσκευασία (packing), και κατακερματισμό για τη μεταφορά της κίνησης με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο από αυτόν του αρχικού μηχανισμού μεταφοράς.

3.2 Η αρχιτεκτονική του WiMAX και το MAC

Το WiMAX DL από τον σταθμό βάσης στον χρήστη έχει πολύ-σημειακή λειτουργία όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1 Η ασύρματη ζεύξη του WiMAX λειτουργεί με έναν κεντρικό σταθμό βάσης με μια κατευθυντική κεραία ικανή να χειρίζεται πολλαπλούς ανεξάρτητους τομείς ταυτόχρονα. Εντός ενός δεδομένου καναλιού συχνότητας και τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια εκπομπή. Ο σταθμός βάσης είναι ο μόνος πομπός που λειτουργεί σε αυτή την κατεύθυνση, έτσι εκπέμπει χωρίς να χρειάζεται να συντονιστεί με άλλους σταθμούς εκτός από το συνολικό TDD που μπορεί να διαιρεί το χρόνο σε περιόδους εκπομπής UL και DL. Το DL είναι γενικώς εκπομπής σε όλους τους σταθμούς. Σε περιπτώσεις που του DL-MAP δεν υποδηλώνει ρητά πως ένα κομμάτι του DL υπό-πλασίου δεν είναι ένας συγκεκριμένος σταθμός συνδρομητή, όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που είναι ικανοί να ακροαστούν σε αυτό το κομμάτι του υπό-πλασίου DL θα ακροαστούν.



Σχήμα 3.1 (Τυπική αρχιτεκτονική WiMAX για πολύ-σημειακή διανομή)

Το MAC είναι συνδεδεμένο. Οι συνδέσεις αναφέρονται με αναγνωριστικά σύνδεσης (Connection ID, CID) και είναι πιθανόν να απαιτούν συνεχώς χορηγούμενο εύρος ζώνης ή εύρος ζώνης κατά απαίτηση. Για τη διάκριση πολλαπλών καναλιών

UL που σχετίζονται με το ίδιο κανάλι DL χρησιμοποιείται ένα CID. Οι σταθμοί συνδρομητών ελέγχουν τα CID στα λαμβανόμενα PDU και διατηρούν μόνο τα PDU που απευθύνονται σε αυτούς.

Το MAC PDU είναι η μονάδα δεδομένων που ανταλλάσσεται μεταξύ των MAC στρωμάτων του σταθμού βάσης και των σταθμών συνδρομητών του. Είναι η μονάδα δεδομένων που παράγεται στην καθοδική κατεύθυνση για το επόμενο χαμηλότερο στρώμα και η μονάδα δεδομένων που λαμβάνεται κατά την ανοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο χαμηλότερο στρώμα.

Κάθε σταθμός συνδρομητή έχει μια συνήθη διεύθυνση MAC 48-bit, η οποία είναι και αναγνωριστικό εξοπλισμού επειδή οι κύριες διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας είναι τα CID. Με την είσοδο στο δίκτυο, ανατίθενται στον σταθμό συνδρομητή τρεις συνδέσεις διαχείρισης σε κάθε κατεύθυνση. Αυτές οι τρεις συνδέσεις αντιπροσωπεύουν τις τρεις διαφορετικές απαιτήσεις QoS που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης:

- Βασική σύνδεση – μεταφέρει μικρά, καίριου χρόνου (time-critical) μηνύματα MAC και ελέγχου ράδιο ζεύξης (Radio Link Control) .
- Σύνδεση πρωτεύουσας διαχείρισης – μεταφέρει μεγαλύτερα, περισσότερο ανεκτικά στην καθυστέρηση μηνύματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για αυθεντικοποίηση και αρχικοποίηση της σύνδεσης. Η σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης μεταφέρει σχετικά των προτύπων μηνύματα διαχείρισης, όπως DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol), και SNMP (Simple Network Management Protocol). Επιπροσθέτως σε αυτές τις συνδέσεις διαχείρισης, οι σταθμοί συνδρομητών είναι εκχωρημένες συνδέσεις μεταφοράς για τις συμβαλλόμενες υπηρεσίες.
- Συνδέσεις μεταφοράς – είναι μονοκατευθυντικές για να διευκολύνουν διαφορετικό QoS UL και DL καθώς και παραμέτρους κίνησης. Τυπικά εκχωρούνται σε ζευγάρια σε υπηρεσίες.

Οι σταθμοί συνδρομητών μοιράζονται το UL στον σταθμό βάσης κατά απαίτηση. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τάξη υπηρεσίας, ο σταθμός συνδρομητή μπορεί να χορηγείται δικαιώματα εκπομπής συνεχώς, ή ο σταθμός βάσης μπορεί να χορηγήσει το δικαίωμα εκπομπής μετά από λήψη αίτησης από έναν χρήστη.

3.2.1 QoS και τάξεις υπηρεσιών

Μέσα σε κάθε τομέα, οι χρήστες τηρούν ένα πρωτόκολλο εκπομπής που ελέγχει τις διαμάχες μεταξύ των χρηστών και επιτρέπει στην υπηρεσία να συνταιριαστεί στην καθυστέρηση και τις απαιτήσεις εύρους ζώνης της κάθε εφαρμογής χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τεσσάρων ειδών μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού του UL. Αυτοί οι μηχανισμοί υλοποιούνται χρησιμοποιώντας αυτόκλητες αιτήσεις εύρους ζώνης, προσκλήσεων για εκπομπή (polling) και διαδικασίες συναγωνισμού. Το MAC του WiMAX παρέχει διαφοροποίηση του QoS για διαφορετικά είδη εφαρμογών που ενδεχομένως λειτουργούν πάνω από δίκτυα WiMAX:

- Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Services) – Οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη αμετάβλητου ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.
- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services) – Οι rtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με περιοδική καταστολή σιωπής.
- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services) – Οι nrtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων.
- Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services) – Οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το Διαδίκτυο σήμερα για περιπλάνηση στο δίκτυο (web surfing).

Η χρήση των προσκλήσεων για εκπομπή απλοποιεί τη λειτουργία πρόσβασης και εγγυάται ότι οι εφαρμογές λαμβάνουν την υπηρεσία σε μια προκαθορισμένη βάση αν απαιτείται. Γενικώς, οι εφαρμογές δεδομένων είναι ανεκτικές στις καθυστερήσεις, αλλά οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και βίντεο, απαιτούν υπηρεσία σε μια πιο ομοιόμορφη βάση και μερικές φορές σε ένα πολύ σφιχτά ελεγχόμενο πρόγραμμα.

Για σκοπούς αντιστοίχισης των υπηρεσιών στους σταθμούς συνδρομητών και συσχετισμού ποικίλων επιπέδων QoS, όλες οι επικοινωνίες δεδομένων είναι στο γενικότερο πλαίσιο εφαρμογής μιας σύνδεσης. Οι ροές υπηρεσιών μπορούν να

παρέχονται όταν είναι εγκατεστημένος ένας σταθμός συνδρομητή στο σύστημα. Αμέσως μετά την καταχώρηση του σταθμού συνδρομητή οι συνδέσεις συσχετίζονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μια σύνδεση ανά ροή υπηρεσίας) για να παρέχουν μια σχέση στην οποία θα γίνει η αίτηση εύρους ζώνης. Επιπροσθέτως, όταν η υπηρεσία ενός πελάτη χρειάζεται αλλαγή μπορεί να εγκαθιδρυθούν νέες συνδέσεις. Μια σύνδεση ορίζει μια ροή υπηρεσίας καθώς και την αντιστοίχιση μεταξύ διαδικασιών ομότιμης σύγκλισης που χρησιμοποιούν το MAC. Η ροή υπηρεσίας ορίζει τις παραμέτρους QoS για τα PDU που ανταλλάσσονται μόλις εγκαθιδρυθεί η σύνδεση.

Οι ροές υπηρεσίας είναι ο μηχανισμός για UL και DL για διαχείριση QoS. Συγκεκριμένα, διευκολύνουν τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης. Ένας σταθμός συνδρομητή αιτείται εύρος ζώνης UL ανά σύνδεση (αφανώς αναγνωρίζοντας τη ροή υπηρεσίας). Ο σταθμός βάσης χορηγεί το εύρος ζώνης στον σταθμό συνδρομητή ως ένα σύνολο αιτήσεων σε απόκριση των ανά σύνδεση αιτήσεων από τους σταθμούς συνδρομητών.

Τα πλάνα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης καθορίζονται σε ένα προφίλ ριπών που μπορεί να ρυθμιστεί προσαρμοζόμενο σε κάθε ριπή σε κάθε σταθμό συνδρομητή. Το MAC μπορεί να κάνει χρήση προφίλ ριπών που διαχειρίζονται αποτελεσματικά το εύρος ζώνης υπό ιδανικές συνθήκες ζεύξης μετά να πάει σε πιο αξιόπιστες μεν, λιγότερο αποτελεσματικές δε, εναλλακτικές λύσεις, όπως απαιτεί η επιθυμητή 99,999% διαθεσιμότητα ζεύξης (QPSK σε 16-QAM σε 64-QAM).

Ο μηχανισμός αίτησης – χορήγησης σχεδιάστηκε να είναι κλιμακούμενος, αποτελεσματικός, και αυτό-διορθωτικός. Το σύστημα πρόσβασης του WiMAX δε χάνει σε αποτελεσματικότητα όταν υλοποιείται με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, πολλαπλά επίπεδα QoS ανά τερματικό, και μεγάλο αριθμό χρηστών στατιστικής πολυπλεξίας.

Παράλληλα με τη θεμελιώδη εργασία κατανομής του εύρους ζώνης και μεταφοράς των δεδομένων, το MAC περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα ιδιωτικότητας που παρέχει αυθεντικοποίηση για την πρόσβαση στο δίκτυο και την εγκαθίδρυση της σύνδεσης ώστε να αποφευχθεί κλοπή υπηρεσίας, και παρέχει ανταλλαγή κλειδιών και κρυπτογράφηση για ιδιωτικότητα δεδομένων.

3.3 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών

Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX:

- Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτου ορίζεται για την αντιστοίχιση υπηρεσιών πακέτου όπως Internet Protocol version 4 ή 6 (IPv4, IPv6), Ethernet, και VLAN (Virtual Local Area Network).

Η κύρια λειτουργία του υποστρώματος είναι η ένταξη των SDU (Service Data Units) στη σωστή σύνδεση MAC, η διαφύλαξη ή ενεργοποίηση QoS, και η ενεργοποίηση της κατανομής εύρους ζώνης. Τα SDU είναι οι μονάδες που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο γειτονικών στρωμάτων πρωτοκόλλων. Είναι οι μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται στην καθοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο υψηλότερο στρώμα και οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται κατά την ανοδική κατεύθυνση στο επόμενο υψηλότερο στρώμα. Η αντιστοίχιση παίρνει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Εκτός από αυτές τις βασικές λειτουργίες, τα υποστρώματα σύγκλισης πραγματοποιούν πολύπλοκες λειτουργίες, όπως καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου και ανακατασκευή, για την βελτίωση της εναέριας αποτελεσματικότητας.

3.3.1 Common Part Sublayer

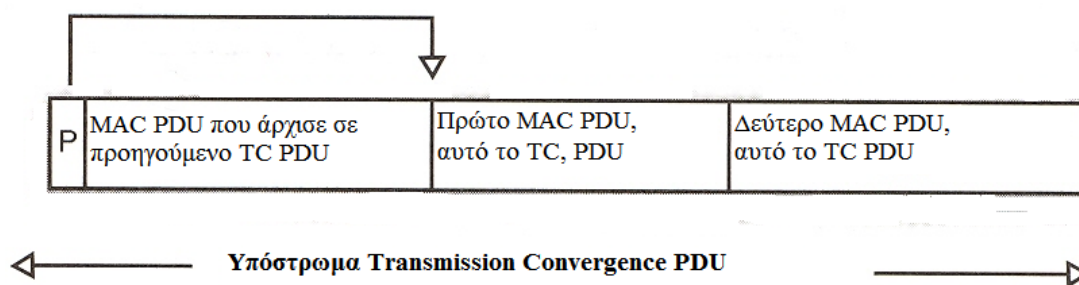
Το MAC δεσμεύει επιπλέον συνδέσεις για άλλους σκοπούς. Μια σύνδεση δεσμεύεται για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών. Μια άλλη δεσμεύεται για εκπομπή σε όλους τους σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών. Επιπλέον συνδέσεις δεσμεύονται για πολυεκπομπή (multicast) σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμών. Οι σταθμοί συνδρομητών μπορεί να διαταχθούν να προσχωρήσουν σε ομάδες πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης που συσχετίζονται με αυτές τις συνδέσεις πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης.

3.3.2 Μορφές MAC PDU

Μια MAC PDU αποτελείται από μια κεφαλίδα MAC σταθερού μήκους, ένα ωφέλιμο φορτίο μεταβλητού μήκους, και έναν προαιρετικό κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check). Ορίζονται δύο μορφές κεφαλίδων: η γενική κεφαλίδα (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2) και η κεφαλίδα αίτησης εύρους ζώνης. Εκτός από τις MAC PDU αίτησης εύρους ζώνης, οι οποίες δεν περιέχουν καθόλου ωφέλιμο φορτίο, οι MAC PDU περιέχουν είτε μηνύματα διαχείρισης MAC ή δεδομένα υποστρώματος σύγκλισης.

Υπάρχουν τρία είδη MAC υπό-κεφαλίδων:

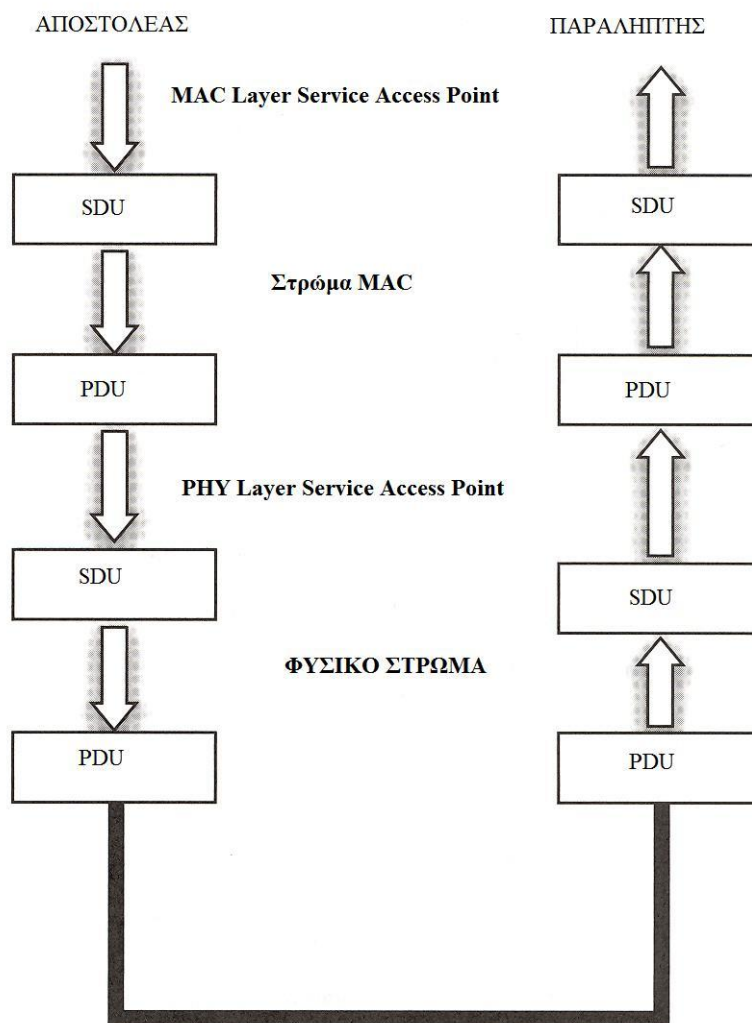
- Υπό-κεφαλίδα εκχώρησης διαχείρισης (Grant Management Subheader) – χρησιμοποιείται από έναν σταθμό συνδρομητή για τη διαβίβαση των αναγκών διαχείρισης εύρους ζώνης στον σταθμό βάσης του.
- Υπό-κεφαλίδα τμηματοποίησης (Fragmentation subheader) – περιέχει πληροφορίες που υποδηλώνουν την παρουσία και τον προσανατολισμό στο ωφέλιμο φορτίο τυχόντων τμημάτων στις SDU.
- Υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης (Packing subheader) – υποδηλώνει την πακετοποίηση πολλαπλών SDU σε μια μονή PDU. Οι υπό-κεφαλίδες εκχώρησης διαχείρισης και τμηματοποίησης μπορούν να εισέλθουν σε μια MAC PDU ακολουθούμενες αμέσως τη γενική κεφαλίδα αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field. Η υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης μπορεί να εισέλθει πριν την εκάστοτε MAC SDU αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field.



Σχήμα 3.2 (MAC PDU)

3.3.3 Μετάδοση των MAC PDU και SDU

Οι εισερχόμενες MAC SDU από τα αντίστοιχα υποστρώματα σύγκλισης είναι μορφοποιημένες σύμφωνα με τη μορφή του MAC PDU, με τμηματοποίηση, ή/και πακετοποίηση, πριν διαβιβαστούν πάνω από μια ή περισσότερες συνδέσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο MAC. Μετά τη διάσχιση της εναέριας ζεύξης, οι MAC PDU ανακατασκευάζονται στις αρχικές MAC SDU έτσι ώστε οι τροποποιήσεις που έγιναν από το πρωτόκολλο του στρώματος MAC να είναι σαφείς στην λαμβάνουσα οντότητα. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.3 (Τμηματοποίηση και πακετοποίηση των SDU και PDU)

3.3.4 Packing and Fragmentation

Το WiMAX επωφελείται την ενσωμάτωση των διαδικασιών πακετοποίησης και τμηματοποίησης με τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης με σκοπό τη μεγιστοποίηση της ευελιξίας, της αποδοτικότητας και την δραστικότητα αυτών των δύο. Η τμηματοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια MAC SDU διαιρείται σε ένα ή περισσότερα κομμάτια MAC SDU. Η πακετοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία πολλαπλές MAC SDU πακετάρονται σε ένα μονό MAC PDU ωφέλιμο φορτίο. Είτε ένας σταθμός βάσης για μια DL σύνδεση, είτε ένας σταθμός συνδρομητή για μια UL σύνδεση μπορεί να αρχικοποιήσει και τις δύο διαδικασίες. Το WiMAX επιτρέπει ταυτόχρονη τμηματοποίηση και πακετοποίηση για αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης.

3.3.5 Δημιουργία PDU και ARQ (Automated Repeat Request)

Τα ARQ μπλοκ είναι διακριτές μονάδες δεδομένων που μεταφέρονται σε συνδέσεις που υποστηρίζουν ARQ. Σκοπός του ARQ είναι η επανεκπομπή χαμένων ή αλλοιμένων MAC SDU μπλοκ (δηλαδή μπλοκ ARQ). Το MAC του WiMAX χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση βασιζόμενη στην τεχνική του «ολισθαίνοντος παραθύρου» όπου ο πομπός μπορεί να αποστείλει έναν αριθμό μπλοκ χωρίς να λαμβάνει επιβεβαίωση. Ο δέκτης στέλνει μηνύματα επιβεβαίωσης ή αρνητικής επιβεβαίωσης για να πει στον πομπό ποια SDU μπλοκ λήφθηκαν και ποια χάθηκαν. Ο πομπός επανεκπέμπει μπλοκ που χάθηκαν και μετακινεί το ολισθαίνον παράθυρο εμπρός όταν έχουν επιβεβαιωθεί τα SDU μπλοκ που ληφθεί.

Σε κάθε σύνδεση σταθμού συνδρομητή σε σταθμό βάσης ανατίθεται μια τάξη υπηρεσίας, ως μέρος της δημιουργίας της σύνδεσης. Όταν τα πακέτα ταξινομούνται στο υπόστρωμα σύγκλισης, η σύνδεση στην οποία είναι τοποθετημένα επιλέγεται βάσει των εγγυήσεων QoS απαιτεί η εφαρμογή.

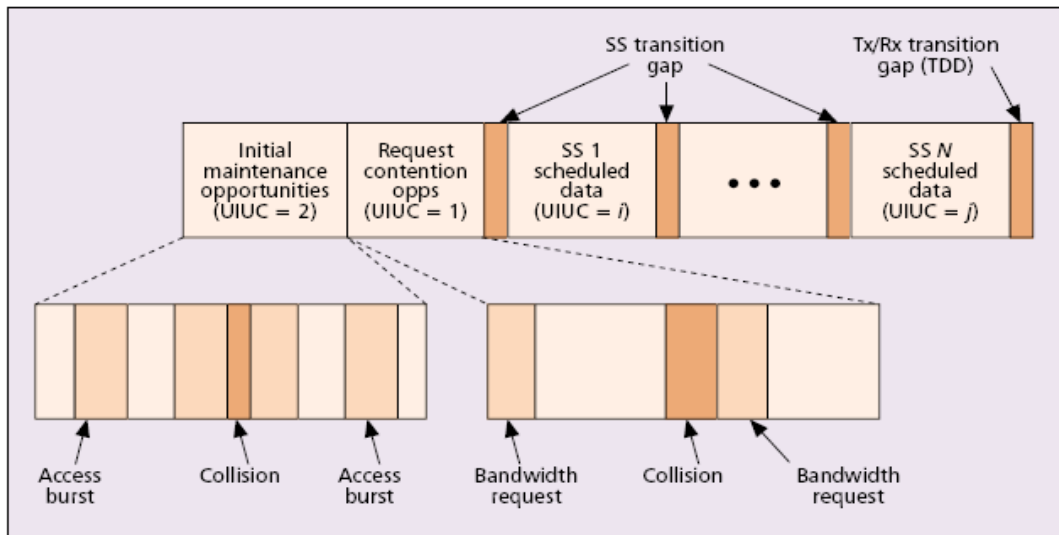
Το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει τον μηχανισμό QoS του WiMAX για υποστήριξη πολυμεσικών υπηρεσιών περιλαμβάνοντας φωνή TDM, VoIP, συνεχή ροή βίντεο, TFTP, HTTP, e-mail.

3.3.6 Υποστήριξη επιπέδου PHY και δομή πλαισίου

Το MAC του WiMAX υποστηρίζει και TDD και FDD. Στην FDD, υποστηρίζονται συνεχόμενης ροής DL και DL ριπών (burst). Τα συνεχόμενης ροής DL χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες τεχνικές βελτίωσης της σθεναρότητας, όπως διεμπλοκή. Τα DL ριπών (είτε για TDD είτε για FDD) επιτρέπουν τη χρήση τεχνικών πιο προηγμένης σθεναρότητας και βελτιωμένης χωρητικότητας, όπως προσαρμοζόμενα προφίλ ριπών σε επίπεδο συνδρομητή και συστήματα AAS.

Το MAC δομεί το υπό-πλαίσιο DL αρχίζοντας με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει τα μηνύματα DL-MAP και UL-MAP. Αυτά υποδηλώνουν τις μεταβάσεις του Φυσικού Επιπέδου στο DL καθώς επίσης κατανομές εύρους ζώνης και προφίλ ριπών στο UL.

Το DL-MAP είναι πάντα εφαρμοστέο στο ενεργό πλαίσιο και είναι πάντα τουλάχιστο δύο FEC μπλοκ μακρύ. Η πρώτη Φυσικού Επιπέδου μετάβαση διατυπώνεται στο πρώτο FEC μπλοκ ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνο επεξεργασίας. Στα TDD και FDD συστήματα, το UL-MAP παρέχει εκχωρήσεις που ξεκινούν όχι αργότερα από το επόμενο πλαίσιο DL. Το UL-MAP, μπορεί ωστόσο, να εκχωρεί αρχίζοντας στο ενεργό πλαίσιο για όσο οι χρόνοι επεξεργασίας και καθυστερήσεις μετάβασης-επιστροφής (round-trip) τηρούνται. Ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ γνωστοποίησης παραλαβής και εφαρμοσιμότητας του UL-MAP για ένα σύστημα FDD απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4



Σχήμα 3.4 Ελάχιστος χρόνος μεταξύ γνωστοποίησης παραλαβής και εφαρμοσιμότητας του UL-MAP για ένα σύστημα FDD

3.4 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής (Transmission Convergence)

Μεταξύ του PHY και του MAC υπάρχει ένα υπόστρωμα TC (Πίνακας 3.5). Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει MAC PDU μεταβλητού μήκους σε σταθερού μήκους μπλοκ FEC (συν πιθανώς ένα βραχύτερο μπλοκ στο τέλος κάθε ριπής). Το στρώμα TC έχει μια PDU με τέτοιο μέγεθος που να ταιριάζει στο FEC μπλοκ που τρεχόντως γεμίζεται. Αρχίζει με ένα δείκτη που υποδεικνύει που αρχίζει η επόμενη κεφαλίδα MAC PDU εντός του FEC μπλοκ. Αυτό φάνηκε στο Σχήμα 3.3 Η μορφοποίηση του TC PDU επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο FEC μπλοκ είχε αμετάκλητα σφάλματα.

MAC Layer
Στρώμα TC
Φυσικό Στρώμα

Πίνακας 3.5 Υπόστρωμα TC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ WIMAX

4.1 Δομή ενός δικτύου WiMAX

Ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται ένα δίκτυο WiMAX, ώστε να παρέχει υπηρεσίες διαδικτύου στους συνδρομητές του, είναι αρκετά απλός. Ο πάροχος υπηρεσιών Internet εγκαθιστά σταθμούς βάσης, δηλαδή τις λεγόμενες κεραιές, οι οποίες αναλαμβάνουν τη διανομή του σήματος σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Στη συνέχεια ο συνδρομητής εγκαθιστά στο χώρο του τον απαραίτητο εξοπλισμό, ο οποίος μπορεί να είναι είτε ένας απλός υπολογιστής με υποστήριξη WiMAX, είτε ένας WiMAX router αν η σύνδεση πρόκειται να μοιραστεί σε περισσότερους από έναν υπολογιστές στον ίδιο χώρο. Μάλιστα αναμένεται να συναντήσουμε στην αγορά τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές με εγγενή υποστήριξη δικτύων WiMAX, με τον ίδιο τρόπο που σήμερα ήδη συμβαίνει αυτό με την τεχνολογία Wi-Fi. Για παλαιότερους υπολογιστές φυσικά θα διατεθούν κάρτες επέκτασης σε μορφή PCI για desktop συστήματα, PCMCIA για laptops ή SDIO για Pocket PC, ενώ ήδη στο εξωτερικό έχει αρχίσει η διάθεση WiMAX routers που αναλαμβάνουν να μοιράσουν τη σύνδεση Internet σε 2 ή περισσότερους υπολογιστές ενός τοπικού δικτύου.

Σε γενικές γραμμές εκτιμάται ότι ο χρόνος που θα χρειάζεται ένας απλός χρήστης για να συνδεθεί για πρώτη φορά σε ένα δίκτυο WiMAX δεν θα ξεπερνά τα 3 λεπτά, δεδομένου ότι τα βήματα της σύνδεσης είναι πολύ απλά και συνοψίζονται ως εξής:

- 1) Ο χρήστης ενεργοποιεί την ασύρματη σύνδεση WiMAX στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή PDA του.
- 2) Το διαθέσιμο δίκτυο εντοπίζεται και αναφέρεται ως εντός εμβέλειας.
- 3) Ο χρήστης πληκτρολογεί ένα κλειδί εισόδου, το οποίο του έχει γνωστοποιηθεί από τον πάροχο υπηρεσιών διαδικτύου (ISP).
- 4) Η σύνδεση ολοκληρώνεται με επιτυχία και ο χρήστης είναι έτοιμος να πλοηγηθεί στο Internet.

Σημειώνεται δε ότι η παραπάνω διαδικασία θα ακολουθηθεί μόνο την πρώτη φορά που θα συνδεθεί κανείς σε ένα δίκτυο WiMAX. Από τη στιγμή που οι απαραίτητες ρυθμίσεις (όνομα δικτύου, κλειδί πρόσβασης) αποθηκευτούν στη συσκευή του, τις επόμενες φορές η σύνδεση θα πραγματοποιείται σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

Ουσιαστικά, ενεργοποιώντας κάποιος τον ηλεκτρονικό του υπολογιστή, μόλις ολοκληρωθεί η εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος, θα έχει ήδη συνδεθεί στο προκαθορισμένο δίκτυο WiMAX και κατ' επέκταση στο Internet.

Σε ότι αφορά τις χρεώσεις, το WiMAX δεν θα διαφοροποιείται σε σχέση με τη σημερινή τεχνολογία ADSL. Ως εκ τούτου, στα κοινά πακέτα πρόσβασης δεν θα υφίσταται χρονοχρέωση ή ογκοχρέωση, επιτρέποντας έτσι στον χρήστη να παραμένει μόνιμα συνδεδεμένος στο Internet, «κατεβάζοντας» κάθε είδους αρχεία, χωρίς να ανησυχεί για υπερβολικές χρεώσεις. Φυσικά δεν αποκλείεται να διατεθούν και προαιρετικά πρόσθετα προγράμματα ογκοχρέωσης ή χρονοχρέωσης για τους λεγόμενους “light users”, όπως ήδη ισχύει σήμερα για το ADSL.

4.2) Τοπολογίες

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PTM) συνδέσεις, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις.

Οι point to point συνδέσεις αναφέρονται γενικά σε μια σύνδεση που περιορίζεται σε δύο σημεία τέλους, συνήθως οικοδεσπότες (host) υπολογιστές.

Μία παραδοσιακή point to point σύνδεση στοιχείων είναι ένα μέσο επικοινωνίας με ακριβώς δύο τελικά σημεία και χωρίς καμία μορφοποίηση πακέτων ή στοιχείων. Οι οικοδεσπότες υπολογιστές σε κάθε τελικό σημείο έπρεπε να έχουν πλήρη ευθύνη για τα στοιχεία που διαβιβάστηκαν μεταξύ τους. Η σύνδεση μεταξύ του υπολογιστή και του μέσου επικοινωνιών εφαρμόστηκε γενικά μέσω RS-232 διασύνδεσης, ή κάτι παρόμοιου. Οι υπολογιστές σε κοντινή απόσταση μπορούν να συνδεθούν με καλώδια άμεσα μεταξύ των καρτών διεπαφής τους. Όταν συνδέεται σε μια απόσταση, κάθε υπολογιστής στο τελικό σημείο θα χρησιμοποιούσε ένα modem για να μετατρέψει τα αναλογικά σήματα τηλεπικοινωνιών σε ένα ρεύμα ψηφιακών στοιχείων. Όταν η σύνδεση χρησιμοποίησε έναν προμηθευτή τηλεπικοινωνιών, οι συνδέσεις ονομάστηκαν αφιερωμένη(dedicated), μισθωμένη(leased), ή ιδιωτική (private) γραμμή. Το ARPANET χρησιμοποίησε τις μισθωμένες γραμμές για να παρέχει τις point to point συνδέσεις στοιχείων μεταξύ των κόμβων μεταγωγής πακέτων του, που κλήθηκαν επεξεργαστές μηνυμάτων διεπαφών (Interface Message Processors). Πιο πρόσφατα (2003), ο όρος point to point συνδέσεις σχετίζεται με τις ασύρματες

μεταδόσεις στοιχείων για το Διαδίκτυο ή την υπηρεσία Voice over IP μέσω ραδιοσυχνοτήτων σε εύρος πολλών GHz. Περιλαμβάνει επίσης τεχνολογίες όπως το λέιζερ για τηλεπικοινωνίες αλλά σε όλες τις περιπτώσεις αναμένει ότι το μέσο μετάδοσης είναι LOS (Line of Sight) και ότι είναι ικανό να στέλνει πολύ καλά τα σήματα από τον πομπό στο δέκτη.

Οι point-to-multipoint τηλεπικοινωνίες (PT2MP) χρησιμοποιούνται περισσότερο (2003) για ασύρματο Internet και την IP τηλεφωνία μέσω ραδιοσυχνοτήτων μεγέθους GHz. Τα PT2MP συστήματα έχουν σχεδιαστεί και ως ενιαία και αμφίδρομα συστήματα. Μια κεντρική κεραία ή μια σειρά κεραιών μεταδίδει ραδιοσήματα σε μερικές κεραίες-δέκτες και το σύστημα χρησιμοποιεί μια μορφή Time-division Multiplexing για να επιτρέψει την back-channel κυκλοφορία .

Το (2003), ο όρος point to point συνδέσεις σχετίστηκε με τις ασύρματες μεταδόσεις στοιχείων για το Διαδίκτυο ή την υπηρεσία Voice over IP μέσω ραδιοσυχνοτήτων σε εύρος πολλών GHz. Περιλαμβάνει επίσης τεχνολογίες όπως το λέιζερ για τηλεπικοινωνίες αλλά σε όλες τις περιπτώσεις αναμένει ότι το μέσο μετάδοσης είναι LOS (Line of Sight) και ότι είναι ικανό να στέλνει πολύ καλά τα σήματα από τον πομπό στο δέκτη.

Στα hubs και στα switches, ένα hub παρέχει ένα point-to-multipoint κύκλωμα που διαιρεί το συνολικό εύρος ζώνης (bandwidth) που παρέχεται από το hub μεταξύ κάθε συνδεδεμένου κόμβου πελατών. Από την άλλη, ένα switch παρέχει μια σειρά από point to point κυκλωμάτων, μέσω ενός μικροδιαχωρισμού (microsegmentation), το οποίο επιτρέπει σε κάθε κόμβο πελατών για να έχει ένα αφιερωμένο (dedicated) κύκλωμα και το προστιθέμενο πλεονέκτημα της full-duplex σύνδεσης.

Η γραμμή θέας (Line of Sight-LOS) χρησιμοποιείται συνήθως για να αναφορά στις τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις που στηρίζονται σε μια γραμμή θέας μεταξύ της διαβιβάζουσας κεραίας και της λαμβάνουσας κεραίας. Εξ ορισμού, η γραμμή θέας είναι η οπτική γραμμή θέας, αυτή που καθορίζεται από τη δυνατότητα του μέσου ανθρώπινου ματιού να επιλυθεί ένα απόμακρο αντικείμενο. Τέτοια ικανότητα είναι απαραίτητη για τις συνδέσεις μικροκυμάτων υψηλής συχνότητας που προσφέρουν κυκλώματα επικοινωνίας σχετικά υψηλού εύρους ζώνης. Οι χαρακτηριστικές συχνότητες λειτουργίας είναι της τάξεως των GHz όπου η πορεία του σήματος δεν απεικονίζεται ή διαθλάται σε οποιαδήποτε μεγάλη κλίμακα. Περιστασιακά, όμως, αυτός ο όρος γράφεται λανθασμένα (line of site). Τα χαρακτηριστικά μήκη πορειών μετάδοσης είναι της τάξης των 40 μιλίων (60 χλμ) αλλά το ύψος των κεραιών και η

διαμόρφωση του μεταξύ τους εδάφους έχουν σημαντική επιρροή. Η γραμμή θέας είναι επίσης απαραίτητη για τα οπτικά συστήματα μετάδοσης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύντομες αποστάσεις μεταξύ δύο ψηλών αντικειμένων, όπου ένα καλώδιο σύνδεσης μπορεί να είναι πολύ μακρύ.

Το ακρόνυμο NLOS (Near Line of Sight ή No Line of Sight και μπορούμε να το αποδώσουμε σαν όρο: Χωρίς Άμεση Ορατότητα), είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μετάδοση ραδιοσημάτων σε μία πορεία που εμποδίζεται μερικώς, συνήθως από ένα φυσικό αντικείμενο.

Πολλοί τύποι μεταδόσεων ραδιοσημάτων εξαρτώνται, σε διαφορετικό βαθμό, στη γραμμή θέας μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Τα εμπόδια που προκαλούν συνήθως NLOS συνθήκες μπορεί να είναι κτήρια, δέντρα, λόφοι, βουνά, και, σε μερικές περιπτώσεις, ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης. Μερικές από αυτές τις παρεμποδίσεις αφορούν ορισμένες μόνο ραδιοσυχνότητες, ενώ μερικές άλλες απλά απορροφούν ή αλλοιώνουν τα σήματα αλλά, σε καθεμία περίπτωση, περιορίζουν τη χρήση πολλών τύπων μεταδόσεων ραδιοσημάτων, περιλαμβανομένων των περισσότερων από εκείνους που χρησιμοποιούνται για WiFi. Το πως να επιτύχουμε αποτελεσματική NLOS δικτύωση έχει γίνει ένα από τα σημαντικότερα θέματα της σύγχρονης δικτύωσης υπολογιστών. Αυτήν την περίοδο, η πιο κοινή μέθοδος για την αντιμετώπιση NLOS συνθηκών στα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών είναι απλά να τοποθετηθούν αναμεταδότες σε επιπλέον τοποθεσίες, που στέλνουν το περιεχόμενο της μετάδοσης γύρω από τις παρεμποδίσεις. Μερικά περισσότερο προηγμένα NLOS σχέδια μετάδοσης χρησιμοποιούν τώρα την multipath διάδοση σημάτων, αναπηδώντας το σήμα σε άλλα κοντινά αντικείμενα για να φτάσουν στο δέκτη.

Ο όρος NLOS έχει γίνει δημοφιλέστερος στα πλαίσια των ασύρματων δικτύων τοπικής περιοχής (WLANs) όπως WiFi και WiMax επειδή η ικανότητα τέτοιων συνδέσεων να παρασχεθεί ένα λογικό επίπεδο NLOS κάλυψης βελτιώνει πολύ την εμπορευσιμότητα και τη μεταβλητότητά τους στα χαρακτηριστικά αστικά περιβάλλοντα στα οποία χρησιμοποιούνται πολύ συχνά.

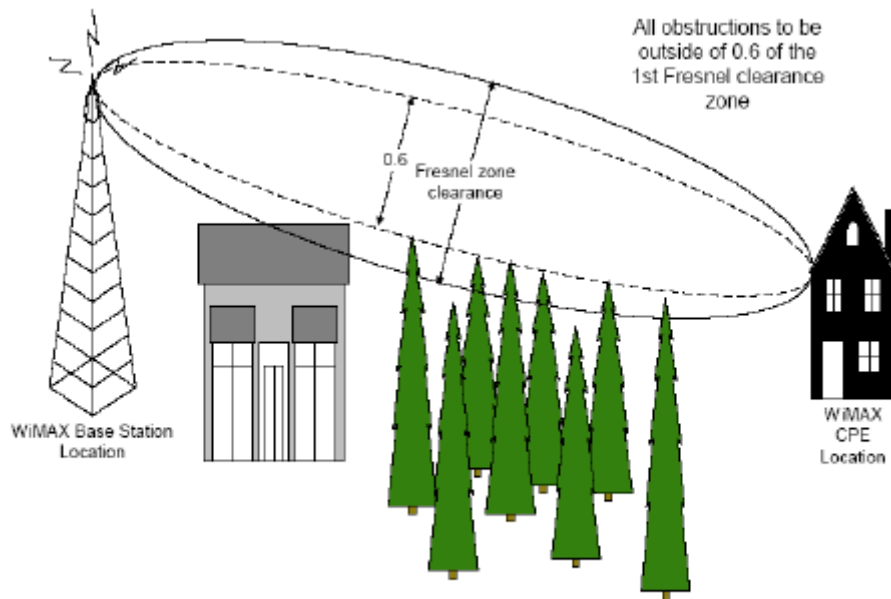
Η επιρροή μιας οπτικής παρεμπόδισης σε μια NLOS σύνδεση μπορεί να είναι αμελητέα ή πολύ σημαντική για να ολοκληρωθεί η αποστολή του σήματος. Ένα παράδειγμα είναι μια πορεία LOS μεταξύ μιας κεραίας τηλεοπτικής ραδιοφωνικής μετάδοσης και μιας στέγης που τοποθετήθηκε κεραία-δέκτης. Εάν ένα σύννεφο

περάσει μεταξύ των κεραιών η σύνδεση θα μπορούσε πραγματικά να γίνει NLOS αλλά η ποιότητα του ραδιοκαναλιού θα μπορούσε να είναι ουσιαστικά απρόσβλητη. Εάν, αντ' αυτού, ένα μεγάλο κτήριο κατασκευαστεί στην πορεία καθιστώντας τη NLOS, μπορεί να είναι αδύνατο να γίνεται μετάδοση μέσω αυτού του καναλιού. Οι NLOS συνδέσεις μπορούν να είναι μονοκατευθυντικές (η μετάδοση είναι σε μια κατεύθυνση μόνο), διπλές (η μετάδοση είναι και στις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα) ή ημιαμφίδρομες (η μετάδοση είναι δυνατή και στις δύο κατευθύνσεις αλλά όχι ταυτόχρονα).

Όταν ζητείται η ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο σημείων είναι βασικό να γνωρίζουμε αν τα σημεία αυτό βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) ή όχι (NLOS). Σε μια ζεύξη σημείων που βρίσκονται σε οπτική επαφή, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατευθύνεται απευθείας από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη χωρίς να υποστεί κάποια ανάκλαση από γειτονικά εμπόδια. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβαίνει το παραπάνω είναι να είναι ελεύθερη από εμπόδια μια περιοχή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των δύο σημείων προς επικοινωνία που ονομάζεται ελλειψοειδές του Fresnel (Fresnel Zone). Η ζώνη Fresnel υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_N = \sqrt{\frac{N \times \lambda \times D_1 \times D_2}{D_1 + D_2}}$$

όπου N είναι ο αριθμός της ζώνης (πχ για N=1 έχουμε την 1η ζώνη Fresnel... κτλ), λ είναι το μήκος κύματος και D1 , D2 είναι οι αποστάσεις των δύο κεραιών από το εμπόδιο. Τα παρακάτω παρουσιάζονται παραστατικά στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Οι ζώνες του Fresnel

Όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται μέσα στη πρώτη ζώνη του Fresnel τότε το κανάλι χαρακτηρίζεται σαν OLOS (Optical Line of Sight). Το πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί να παρέχει επικοινωνία και σε σημεία τα οποία βρίσκονται σε συνθήκες OLOS κάτι που ο προκάτοχος του (IEEE 802.11) δύσκολα μπορούσε να πετύχει. Η χρήση της διαμόρφωσης OFDM επιτρέπει στο πρότυπο να εξασφαλίζει σταθερές και αξιόπιστες συνδέσεις ακόμα και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS). Η τεχνική OFDM υποστηρίζει μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipathfading). Επιπλέον η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι FEC (Forward Error Correction) και CRC (Cyclic Redundancy Check) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης.



Σχήμα4. 2: Παράδειγμα σύνδεσης χωρίς οπτική επαφή

Ζεύξεις σημείου προς σημείο μπορούν να επιτευχθούν καλύπτοντας μεγάλες αποστάσεις και μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ο Πίνακας 4.1 δείχνει ενδεικτικές αποστάσεις επικοινωνίας σε Οπτική Επαφή με Fresnel Zone Clearance (LOS) όπως επίσης και τους αντίστοιχους ενδεικτικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ο Πίνακας 4.2 απεικονίζει τις αποστάσεις και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε u960 πολυσημειακή (point to multipoint - PMP) ανάπτυξη δικτύου.

Average Ethernet Data Rate (Mbps)	Distance (km)
8	50
17	45
33	33
48	13

Πίνακας 4.1 Αποστάσεις Επικοινωνίας (PTP)

Average Ethernet Data Rate (Mbps)	Distance (km)
8	28
17	24
33	15
48	4

Πίνακας 4.2 Αποστάσεις Επικοινωνίας (PMP)

4.3 Υποπρότυπα του WiMax

Σήμερα η πιο ευρέως διαδεδομένη και εξελίξιμη τεχνολογία στις χώρες του εξωτερικού είναι το WiMAX. Μέσα από τη χρήση των υποπροτύπων του μπορεί πια να παρέχει στο χρήστη μεγαλύτερη ευελιξία στη χρησιμοποίηση τόσο των συχνοτήτων που καλύπτει όσο και στην τοπολογία του δικτύου.

Τον Ιανουάριο του 2003 δημιουργήθηκε το πρώτο υποπρότυπο **IEEE 802.16a**, με βάση το οποίο δεν είναι απαραίτητη η οπτική επαφή (line of sight) μεταξύ των σταθμών βάσης όπως ήταν απαραίτητη προηγουμένως. Το υποπρότυπο αυτό ελευθέρωσε τις συχνότητες από 2 GHz μέχρι 11 GHz, αφού η ελάχιστη συχνότητα μέχρι τότε για εκπομπή σημάτων ήταν τα 10 GHz.

Το επόμενο υποπρότυπο που δημιουργήθηκε είναι το **IEEE 802.16b**. Οι συχνότητες από 2 GHz μέχρι 5 GHz ήταν εκτός εμβέλειας της τεχνολογίας για την κάλυψη των

διαφόρων εφαρμογών. Επίσης το υποπρότυπο αυτό καλύπτει την περιοχή από 5 GHz μέχρι 6 GHz και είναι εκείνο το οποίο παρέχει προτεραιότητα στη μεταβίβαση πληροφοριών ήχου και εικόνας για την κάλυψη πολυμεσικών (multimedia) εφαρμογών. Αυτό το υποπρότυπο μπόρεσε να επιτύχει τη μεταφορά των δεδομένων σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο και ουσιαστικά παρείχε διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσίας σε διαφορετικούς τύπους μετάδοσης δεδομένων.

Το **IEEE 802.16c** είναι το τρίτο στη σειρά υποπρότυπο που αναπτύχθηκε για το WiMAX και είναι υπεύθυνο για την περιγραφή της λειτουργίας του προτύπου του WiMAX όσον αφορά τη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ των 10 GHz και 66 GHz. Οι συχνότητες άνω των 66 GHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο αν είναι εφικτή η οπτική επαφή μεταξύ των δυο σταθμών βάσης που επικοινωνούν.

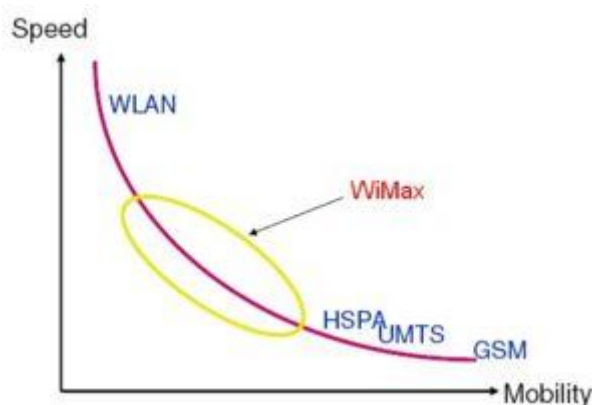
Αμέσως μετά αναπτύχθηκε το υποπρότυπο **IEEE 802.16d** για την βελτίωση των συνθηκών στις τηλεπικοινωνιακές διασυνδέσεις καθώς είχαν ήδη τεθεί θέματα που αφορούσαν την ασφάλεια και την ποιότητα επικοινωνιών μεταξύ των σταθμών βάσης. Με την αύξηση των εφαρμογών αλλά και την αύξηση των απαιτήσεων τους έπρεπε να δημιουργηθεί ένα υποπρότυπο για μεταφορά σε πραγματικό χρόνο του Video on Demand - VoD (μετάδοση σε πραγματικό χρόνο video και εικόνας) αλλά και του Voice over IP - VoIP (διεξαγωγή συνομιλίας μέσω Internet). Έτσι το υποπρότυπο αυτό κάλυψε το κενό που υπήρχε με το να παρέχει ελάχιστη καθυστέρηση για την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών.

Αμέσως μετά αναπτύχθηκε το υποπρότυπο **IEEE 802.16e** με σκοπό την βελτίωση της κινητικότητας της υπηρεσίας. Πειραματικά απέδειξαν ότι με τη χρήση του υποπροτύπου αυτού θα μπορούσε ο χρήστης να κινείται μέχρι και με ταχύτητα 120Km/h και η σύνδεση του στο διαδίκτυο ή η διεκπεραίωση μιας video-κλήσης να μην διακόπτεται. Ωστόσο αυτό αποτελεί μια θεωρητική μελέτη και δεν έχει εφαρμοστεί στην πραγματικότητα οπότε δεν έχουν αναπτυχθεί αντίστοιχες εφαρμογές για ταχύτητες τέτοιων επιπέδων.

Το τελικό υποπρότυπο που δημιουργήθηκε είναι το **IEEE 802.16e-2005** το οποίο είναι εκείνο το οποίο συνένωσε όλα τα πλεονεκτήματα που προσέφεραν τα προηγούμενα υποπρότυπα και έτσι να βελτιώσει τόσο την ποιότητα μετάδοσης των δεδομένων αλλά και των εφαρμογών που υπήρχαν σε τέτοιου είδους συνδέσεις. Με την ένωση των υποπροτύπων a,b,c,d το WiMAX έχει επιτύχει να περιγράψει την συνολική λειτουργικότητα για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων (από 5GHz έως και 66GHz).

4.4 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες

Στην αγορά εργασία, οι κύριοι «ανταγωνιστές» της τεχνολογίας WiMAX προέρχονται από ευρέως διαδεδομένα ασύρματα συστήματα όπως είναι το UMTS και το CDMA2000, καθώς επίσης και ένας αριθμός συστημάτων προσανατολισμένων στο Διαδίκτυο, όπως είναι το HIMPERSMAN και το WiBro. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ταχύτητα συναρτήσει της κινητικότητας για αυτές τις τεχνολογίες:



Σχήμα 4.3 Ταχύτητα συναρτήσει κινητικότητας

3G και 4G συστήματα κινητής τηλεφωνίας: Αμφότερα τα συστήματα 3^{ης} γενιάς, CDMA2000 ΚΑΙ UMTS, συναγωνίζονται το WiMAX, καθώς σκοπός και των δύο είναι να προσφέρουν σύνδεση στο διαδίκτυο με ταχύτητες της τάξης του DSL σε συνδυασμό με υπηρεσίες τηλεφωνίας. Το UMTS συν τοις άλλοις έχει ενισχυθεί για να ανταγωνισθεί ευθέως το WiMAX, στη μορφή του UMTS-TDD, η οποία μπορεί να χρησιμοποιεί WiMAX προσανατολισμένο εύρος συχνοτήτων και να προσφέρει μία περισσότερο συμπαγή, αν θεωρήσουμε ότι στο μέγιστό της έχει χαμηλότερο εύρος ζώνης, λύση από το WiMAX.

Τα συστήματα 3^{ης} γενιάς στην κινητή τηλεφωνία συνήθως επωφελούνται από την ήδη υπάρχουσα υποδομή, η οποία αναβαθμίζεται σε καινούρια συστήματα. Οι χρήστες μπορεί να επιστρέψουν σε παλαιότερα συστήματα, λόγω του αναβαθμισμένου εξοπλισμού σχετικά εύκολα. Τα μεγαλύτερα σάνταρ των κινητών τηλεπικοινωνιών έχουν αναβαθμιστεί σε 4^{ης} γενιάς, μεγάλου εύρους ζώνης, γρήγορης απόκρισης και υποστηρίζουν όλα τα δίκτυα IP με υπηρεσίες φωνής. Σε μερικές περιοχές ανά τον κόσμο το UMTS είναι ευρέως διαθέσιμο και υπάρχει μία γενική διάθεση για

τυποποίηση και αυτό οδήγησε στον να μη διατεθεί εύρος συχνοτήτων για το WiMAX, αφού τον Ιούλιο 2005 η διαθεσιμότητα συχνοτήτων στην Ευρωπαϊκή ένωση εφράγη.

Κινητή ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση: Είναι μία τεχνολογία που αναπτύσσεται από την ομάδα IEEE 802.20 και στόχος της είναι ή ασύρματη κινητή ευρυζωνικότητα για εγχειρήματα από 120 έως 350km/h. Το πρότυπο 802.20 χρησιμοποιεί πολλές από τις μεθόδους που χρησιμοποιεί το WiMAX φορητής πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένης της υψηλών ταχυτήτων δυναμική διαμόρφωση, καθώς επίσης και παραπλήσιες OFDMA δυνατότητες. Προφανώς διατηρεί το γρήγορο hand-off, το σύστημα Forward Error Correction (FEC) και τις αναβαθμίσεις των άκρων των κυψελών. Από τα μέσα του 2006 η IEE-SA έπαυσε της εργασίες αυτής της ομάδας και από το Σεπτέμβριο τους 2006 λειτουργεί κάτω από νέες, βελτιωμένες συνθήκες (αφού υπήρξε θέμα έλλειψης διαφάνειας των εργασιών της)

Συστήματα προσανατολισμένα στο Διαδίκτυο: Οι πρόγονοι του WirelessMAN προτύπου, όπως είναι το ευρωπαϊκό HIPERMAN και το κορεάτικο WiBro στάνταρ έχουν πια αρμονιστεί ως μέρος του WiMAX και δεν αποτελούν πλέον ανταγωνιστές αλλά κατά κάποιο τρόπο το συμπληρώνουν. Όλα τα δίκτυα τα οποία έχουν αναπτυχθεί στη Βόρεια Κορέα (την πατρίδα του WiBro προτύπου) ακολουθούν πλέον το πρότυπο WiMAX. Σε περιπτώσεις όπως καφετέριες και αεροδρόμια είναι διαδεδομένη η χρήση συστημάτων WiFi 802.11b/g και παρέχουν ικανοποιητική κάλυψη ώστε η χρήση συστημάτων WiMAX δε θεωρείται απαραίτητη.

Πρότυπο	Οικογένεια	Χρήση	Τεχνολογία	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
802.16e	WiMAX	Φορητό Διαδίκτυο	MIMO- SOFDMA	70	70
HIPERMAN	HIPERMAN	Φορητό Διαδίκτυο	OFDM	56,9	56,9
WiBro	WiBro	Φορητό Διαδίκτυο	OFDMA	50	50
iBurst	iBurst 802.20	Φορητό Διαδίκτυο	HC- SDMA	64	64
UMTS W-CDMA HSDPA+HS-UPA	UMTS/3 GSM	Φορητό Διαδίκτυο	CDMA/F DD	.384 14.4	0.38 4 5.76
UMTS-TDD	UMTS/3 GSM	Φορητό Διαδίκτυο	CDMA/T DD	16	16

LTE UMS	UMTS/4	υο	OFDMA/		
	GSM	4 ^{ης} γενιάς	MIMO/ SC- FDMA	0.144	0.14 4
1xRTT	CDMA2 000	Κινητή Τηλεφω νία	CDMA	0.144	0.14 4
EV-DO 1xRev. 0					
EV-DO 1xRev. A	CDMA2 000	Φορητό Διαδίκτ υο	CDMA/F DD	2.45 3.1 4.9xN	0.15 1.8 1.8x N
EV-DO Rev.B					

Πίνακας 4.4 Συγκριτικός πίνακας όλων των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο

Ο παραπάνω είναι ένας συγκριτικός πίνακας όλων των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο. Όλες οι τιμές downlink/uplink που αναφέρονται είναι θεωρητικές και οι μέγιστες δυνατές για κάθε πρότυπο.

4.5 Σύγκριση WiMAX με το WiFi

Ενδεχομένως επειδή οι δύο αυτές τεχνολογίες αρχίζουν με τα δύο ίδια γράμματα, τα IEEE πρότυπά τους ξεκινάνε από 802. και φυσικά επειδή και τα δύο αφορούν ασύρματες επικοινωνίες, γίνονται αντικείμενα σύγκρισης αλλά πολλές φορές και σύγχυσης, παρόλο που έχουν δημιουργηθεί για να ικανοποιούν το καθένα και διαφορετικές εφαρμογές. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή, ωστόσο με σημαντική μείωση στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων πολύ χαμηλότερο των 50 Mbps.

Επίσης σε σύγκριση με το πρότυπο 802.11, το 802.16 παρέχει σαφώς υψηλότερου επιπέδου **ποιότητα υπηρεσίας**. Το επίπεδο MAC του προτύπου 802.16 είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει στους τελικούς χρήστες, κατόπιν δικής τους επιθυμίας, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο σταθμό βάσης κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν ήταν σε θέση να εξασφαλίσει. Αυτό σημαίνει πως, αν θεωρήσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης, είναι δυνατόν ο ένας χρήστης να έχει σταθερή και εξασφαλισμένη ποιότητα υπηρεσίας ενώ ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort, πράγμα που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν εφικτό. Συμπερασματικά λοιπόν, όσοι χρήστες βρίσκονταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των δύο προτύπων είναι ότι το WiFi είναι μια τεχνολογία για τοπική δικτύωση και σχεδιάστηκε για να δώσει μια κινητικότητα σε ιδιωτικά ενσύρματα LAN ενώ το WiMAX σχεδιάστηκε για να παρέχει ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (Broadband Wireless Access BWA). Στόχος των υπηρεσιών BWA είναι η ασύρματη πρόσβαση στο internet χωρίς καλώδια και DSL τεχνολογίες. Έτσι, ενώ το WiFi υποστηρίζει εύρος μετάδοσης μερικών εκατοντάδων μέτρων, τα WiMAX συστήματα είναι σε θέση να υποστηρίξουν υπηρεσίες της τάξης των 10 χιλιομέτρων. Το παραπάνω στοιχείο αποτελεί και το επιχείρημα γιατί δεν είναι ακόμη τόσο διαδεδομένη η χρήση των συστημάτων WiMAX όσο αυτών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WiFi, αφού το WiFi στοχεύει στο χρήστη ενώ το WiMAX χρησιμοποιείται κυρίως για μεταφορά δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις.

Μια άλλη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το WiMAX παρέχει συμμετρικό εύρος ζώνης για πολλά χιλιόμετρα και σειρά με την ισχυρότερη κρυπτογράφηση (3DES ή AES) και συγκεκριμένα με τη λιγότερη παρέμβαση. Αντίθετα το πρότυπο IEEE 802.11 έχει την κρυπτογράφηση WEP ή WPA και δεν μπορεί να υπάρξει μεγάλη παρέμβαση σε περιοχές όπως αυτές όπου υπάρχουν πολλοί συνδεδεμένοι χρήστες.

Επίσης οι δυναμικές ζώνες του προτύπου IEEE 802.11 είναι backhauled στο ADSL, επομένως η πρόσβαση WiFi είναι τυπικά υποστηριζόμενη και έχει πολύ μικρές upload ταχύτητες μεταξύ του δρομολογητή και του Διαδικτύου.

Εκτός από αυτές τις διαφορές σχετικά με το εύρος μετάδοσης των δύο προτύπων, υπάρχουν αρκετές διαφορές στη ραδιοτεχνολογία που διακρίνουν τα δύο πρότυπα. Από τη μια πλευρά το WiMax αποτελείται από ένα πολύ μεγάλο εύρος πιθανών υλοποιήσεων για να μπορεί να παίξει το ρόλο του μεταφορέα σήματος σε ολόκληρο τον κόσμο και από την άλλη το WiFi περιγράφει 4^{ov} τύπων ραδιοσυνδέσεις, οι οποίες δουλεύουν στις συχνότητες 2.4 ή 5 GHz στη μη νόμιμη περιοχή. Αυτό που είναι επίσης αξιόλογο να σημειωθεί, είναι ότι ενώ όλες οι υλοποιήσεις του WiFi χρησιμοποιούν μη νόμιμες συχνοτικές μπάντες, το WiMAX δουλεύει σε νόμιμες και μη, μπάντες συχνοτήτων.

Επίσης τα πρότυπα WiFi και WiMAX έχουν και μία σημαντική διαφορά στο εύρος ζώνης των καναλιών. Το WiFi καθορίζει ένα σταθερό εύρος ζώνης καναλιού που είναι 25MHz για το 802.11b και 20MHz για τα 802.11a και 802.11g. Αντίθετα στο WiMAX, το εύρος ζώνης του καναλιού είναι προσαρμοστικό και κυμαίνεται από το 1.25MHz μέχρι τα 20MHz .

4.5.1 Ρυθμοί Μετάδοσης WIMAX και WIFI

Αρχικά είναι εύκολο να δούμε γιατί υπάρχει σύγκριση μεταξύ WiMax και WiFi. Το γεγονός αυτό συμβαίνει καθώς οι περισσότεροι άνθρωποι σκέφτονται ότι το WiMax είναι απλώς ευρύτερη εκδοχή του WiFi. Πράγματι είναι και οι δυο ασύρματες τεχνολογίες, αλλά διαφέρουν στον τρόπο τεχνικής τους και οι εφαρμογές τους είναι πολύ διαφορετικές. Ξέχωρα των τεχνικών διαφορών, υπάρχουν και άλλες διαφορές όπως για παράδειγμα στην ταχύτητα μετάδοσης, στην ακτίνα κάλυψης και κατά κύριο λόγο στη συχνότητα.

Ενδεικτικά παραθέτουμε τον ακόλουθο πίνακα :

Τεχνολογία	Πρότυπο	Χρήση	Ταχύτητα	Ακτίνα κάλυψης	Συχνότητα
Wi-Fi	IEEE, 802.11a	WLAN	Έως 54 Mbps	Έως 1 km	5 GHz
Wi-Fi	IEEE, 802.11b	WLAN	Έως 11 Mbps	Έως 1 km	2.4 GHz
Wi-Fi	IEEE, 802.11g	WLAN	Έως 54 Mbps	Έως 1 km	2.4 GHz
WiMAX	IEEE, 802.16d	WMAN	Έως 75 Mbps (20 MHz BW)	Τυπικά 6-9 km	Sub 11 GHz
WiMAX	IEEE, 802.16e	Mobile WMAN	Έως 30 Mbps	Τυπικά 1.5-5 km	2-6 GHz

Πίνακας 4.5 Σύγκριση WiMAX με Wi-Fi

Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα, το WiMAX θα πραγματοποιήσει την ευρυζωνική πρόσβαση του τελευταίου μιλίου σε μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή από ότι το WLAN, παρέχοντας στους επιχειρησιακούς πελάτες ευρυζωνικές υπηρεσίες τύπου T1 (1.544 Mbps), ενώ στους απλούς χρήστες πρόσβαση ανάλογη του DSL. Με ακτίνα κάλυψης από 1.5 έως 9 km (ανάλογα με τις τιμές διαφόρων παραμέτρων), το WiMAX θα επιτρέψει μεγαλύτερη κινητικότητα στις εφαρμογές δεδομένων υψηλών ταχυτήτων. Με τέτοια χαρακτηριστικά, το WiMAX είναι σε θέση να προσφέρει backhaul για την υποδομή παρόχων, τις μεγάλες επιχειρήσεις και τα WLAN hotspots. Όσον αφορά τις συχνότητες λειτουργίας, το WiMax που ακολουθεί το πρότυπο IEEE, 802.16e θα κυμανθεί σε γνώριμα για το Wlan επίπεδα σε αντίθεση με αυτό που ακολουθεί το πρότυπο IEEE, 802.16d που μπορεί να φτάσει και σε συχνότητες της τάξεως των 11 GHz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΟΜΟΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕ ΤΟ WIMAX

5.1 XMAX

Εταιρεία με το όνομα xGTM Technology δημιούργησε ένα νέο πρωτόκολλο χαμηλής συχνότητας που ονομάζεται xMax και μπορεί να καλύψει μια ευρύτερη περιοχή σε σχέση με το WiMax ή το Flash-OFDM.



Αυτή η νέα τεχνολογία χρησιμοποιείται κυρίως για modem και υπόσχεται να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σε μεγάλης εμβέλειας ασύρματη επικοινωνία, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό τον χρόνο ζωής των μπαταριών των κινητών συσκευών. Η ενεργειακή αποτελεσματικότητα του xMax συστήματος μπορεί να αυξήσει την υιοθέτηση ασύρματων τεχνολογιών όπως είναι το WiMax και τα κινητά τρίτης γενιάς.

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία xMax υπόσχεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας για την μετάδοση δεδομένων. Το γεγονός αυτό θα ενισχύσει σημαντικά τα ασύρματα συστήματα, τα οποία λειτουργούν με περιορισμένη ενέργεια των μπαταριών. Το xMax θα μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε ασύρματο ή μη-οπτικό ενσύρματο σύστημα.

Η μακρύτερη εμβέλεια του xMax συντελεί στην μείωση των απαιτούμενων σταθμών βάσης από άλλα ασύρματα συστήματα, καθιστώντας το έτσι πιο φθηνή την υλοποίησή του για την πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

Το καλύτερο όμως είναι ότι δεν χρειάζεται έναν αποκλειστικό διάδρομο φάσματος για να δουλέψει. Το xMax μεταδίδει σε συχνότητες που είναι αρκετά χαμηλές (όχι για να παρεμποδίσει άλλα σήματα) που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει κανάλια ραδιοφώνου που χρησιμοποιούνται ήδη για άλλους σκοπούς.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το πρώτο xMax ασύρματο δίκτυο κατασκευάστηκε στο Miami, και ισχυρίζονται ότι ένας σταθμός του μπορεί να διαμοιράσει το δίκτυο σε πάνω από 1000 χρήστες κατά μήκος μιας περιοχής 40 τετραγωνικών μιλίων.

5.2 UMTS

Η πρώτη τυποποίηση σε παγκόσμιο επίπεδο για την ανάπτυξη του πρώτου UMTS πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία από την εταιρεία DoComο.

Το UMTS προσφέρει πολύ γρήγορη πρόσβαση και ενοποιεί τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων και κυκλώματος στη μετάδοση δεδομένων.

Αυτή η τεχνολογία θα παρέχει καθολική πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυμέσων, ανεξαρτήτου τοποθεσίας, δικτύου και τερματικού που χρησιμοποιείται.

Ένα βασικό πλεονέκτημα του UMTS είναι οι τέσσερις κλάσεις που έχουν οριστεί για την ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών.

- *Conversational:*
για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (π.χ. ομιλία ή τηλεδιάσκεψη).
- *Streaming:*
για ελεγχόμενη μεταβλητότητα στην καθυστέρηση (π.χ. εφαρμογές Video, RealAudio).
- *Interactive:*
για μικρό ποσοστό απωλειών με ύπαρξη μεγίστου επιτρεπόμενου χρόνου διεκπεραίωσης (π.χ. ανάγνωση ιστοσελίδων).
- *Background:*
για μικρό ποσοστό απωλειών, χωρίς ύπαρξη εγγύησης για το συνολικό χρόνο διεκπεραίωσης (π.χ. ανάκτηση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου)

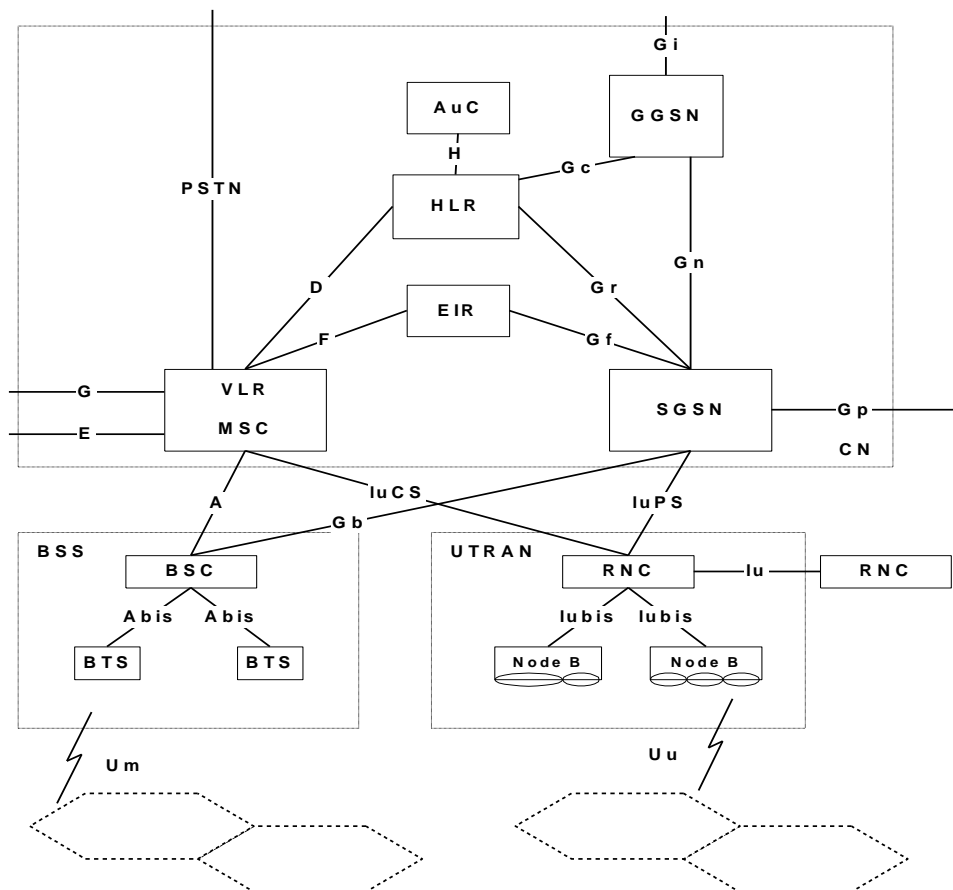
Ένας παράγοντας που το καθιστά ανώτερο των συστημάτων δεύτερης γενιάς είναι η δυνατότητά του να παρέχει αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες πολυμέσων και άλλες υπηρεσίες μεγάλου εύρους (όπως για παράδειγμα, το ηλεκτρονικό εμπόριο).

Επίσης, το UMTS θα έχει τη δυνατότητα μετάδοσης κινούμενης εικόνας αλλά και πολλαπλής εικονοσυνεδρίας. Το τελευταίο θα δώσει τη δυνατότητα για πρωτοποριακές υπηρεσίες όπως ιατρικής διάγνωσης από απόσταση και συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης. Οι τερματικές συσκευές θα εμφανίζονται σε πολλές μορφές και συχνά προσαρμοσμένες σε ειδικές περιπτώσεις.

Συνοψίζοντας αναφέρουμε τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του UMTS:

- 1) Το UMTS θα επιτρέπει την μετάδοση πληροφοριών προστιθέμενης αξίας, όπως είναι υπηρεσίες commerce αλλά και διασκέδασης στους χρήστες κινητών τηλεφώνων αλλά και δορυφορικών δικτύων.
- 2) Το UMTS θα φέρει οριστική σύγκλιση μεταξύ των τεχνολογιών
- 3) Τέλος, το UMTS θα μεταφέρει χαμηλού κόστους αλλά και υψηλής χωρητικότητας δεδομένων με ρυθμούς που θα αγγίζουν τα 2Mbit/sec.

Εντούτοις, μεγάλη τεχνολογική πρόκληση για το UMTS, είναι το αν θα μπορέσει τελικά να παράσχει επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (QoS-- Quality of Service), ιδιαίτερα όσον αφορά το ασύρματο δίκτυο πρόσβασης, στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που πρεσβεύει προκειμένου να ελέγχονται οι καθυστερήσεις εξαιτίας της μεταπομπής, να πραγματοποιείται η διαχείριση των λιγοστών ραδιοπόρων, και να ελέγχεται η εισαγωγή των χρηστών.



Σχήμα 5.1 Η 3GPP αρχιτεκτονική του UMTS

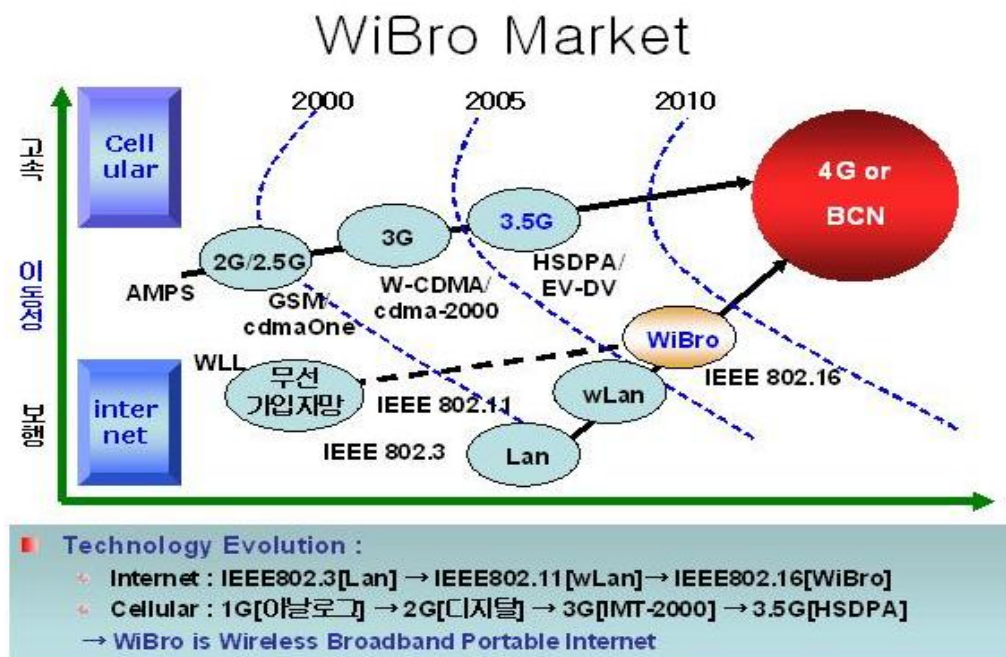
5.3 WiBro

Το WiBro (Wireless Broadband) αναπτύχθηκε στη Νότια Κορέα. Είναι μια από τις πιο πρόσφατες επιτυχίες των ασύρματων δικτύων. Στηρίζεται στο ίδιο πρωτόκολλο με το WiMax (IEEE 802.16e TDD OFDMA) και αποτελεί μία υψηλής ταχύτητας ασύρματη ευρυζωνική υπηρεσία που είναι σε θέση να προσφέρει φωνή, δεδομένα και βίντεο με ταχύτητα έως και 120 χιλιόμετρα την ώρα.

Το WiBro θα χειρίζεται ως ζώνη συχνότητας τα 2.3 gigahertz και θα είναι εφαρμόσιμο με WiMax. Γι' αυτό τον λόγο, είναι γνωστό και ως το "κινητό WiMax". Φορείς από την Κορέα όπως KT, SK Telecom and Hanaro Telecom αποφάσισαν να επενδύσουν στο WiBro.

Όμως, σύμφωνα με την εφημερίδα *Asia Media News Daily (Korean Times)* αναφέρθηκε μια δυσλειτουργία στην αρχική έκδοση του WiBro, όπως δημοσιεύτηκε στις 31 Αυγούστου του 2005. Αυτή η δυσλειτουργία είχε ως αποτέλεσμα η Hanaro Telecom να σταματήσει τις άδειες για το WiBro αναφέροντας ότι αυτή η σημαντική επένδυση δεν θα συνεχιστεί όπως έπραξε και η SK Telecom. Μόνο η KT παρέμεινε με τον ενθουσιασμό να γίνει το WiBro πραγματικότητα. Ταυτόχρονα η Samsung εκδήλωσε ενδιαφέρον για παροχή συσκευών με ικανότητα WiBro .

Το WiBro αναμένεται να διαδοθεί ευρέως στην Νότια Κορέα κατά τα μισά του 2006. Καθώς θα οδεύουμε προς την 4^η γενιά (4th Generation) ασύρματων standard, το MIC εκτιμά ότι ο αριθμός χρηστών του WiBro θα ανέλθει σε πάνω από 9εκατ. . Ωστόσο, ίσως να μην τύχουν ανάλογης υποδοχής σε άλλες χώρες. Οι Ιάπωνες χρησιμοποιούν, συχνά, τα κινητά τους για να παρακολουθήσουν ταινίες, επειδή πραγματοποιούν καθημερινά μεγάλες αποστάσεις σε αντίθεση με τους Αμερικανούς, οι οποίοι προτιμούν να χρησιμοποιούν το κινητό τους για να ακούσουν μουσική υψηλής ποιότητας.



Σχήμα 5.2 WiBro Market

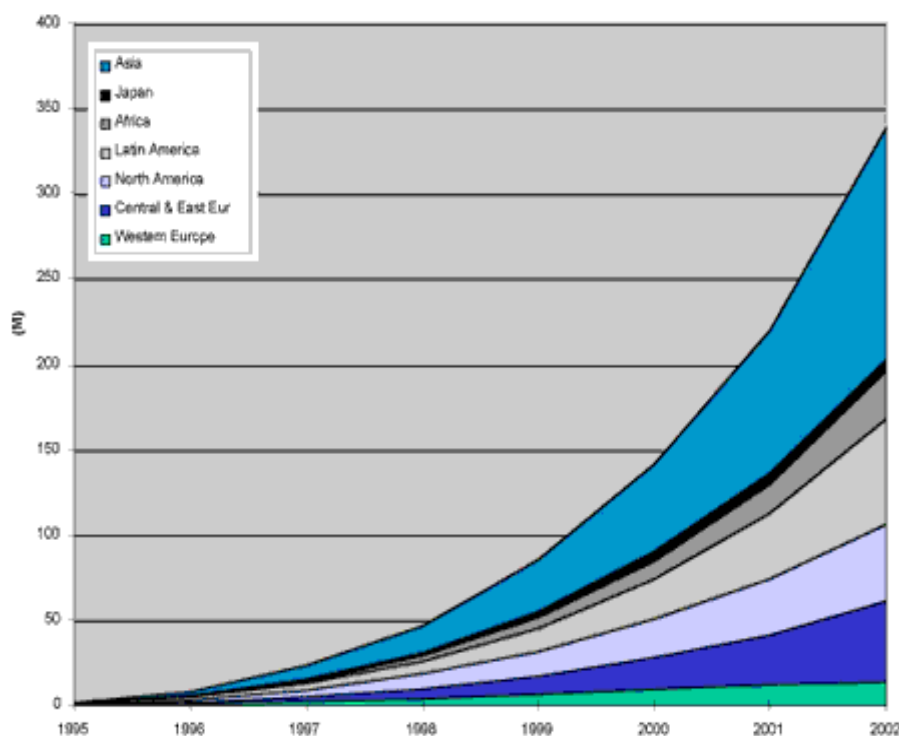
5.4 WLL

Το WLL (αποκαλούμενο και RITL ή FRA,) είναι ένα σύστημα που συνδέει τους συνδρομητές με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN) χρησιμοποιώντας ραδιοσήματα ως υποκατάστατο του χαλκού για το σύνολο ή μέρος της σύνδεσης του συνδρομητή.

Από την εμφάνιση του τηλεφωνικού συστήματος, το καλώδιο χαλκού έχει παράσχει παραδοσιακά τη σύνδεση μεταξύ του τηλεφωνικού συνδρομητή και της τοπικής ανταλλαγής. Όμως, οι νέες τεχνολογίες ανοίγουν την πόρτα για τις λύσεις με χρήση του WLL. Το WLL χρησιμοποιεί την ασύρματη τεχνολογία που συνδέεται με τις διεπαφές γραμμών και άλλα στοιχεία κυκλώματος για να ολοκληρώσει το τελευταίο μίλι μεταξύ της προϋπόθεσης πελατών και του εξοπλισμού ανταλλαγής.

Ο Bill Frezza, Πρόεδρος των Wireless Computing Associates , καλεί το WLL ως «καυτή βιομηχανία αύξησης τηλεπικοινωνιών της τρέχουσας δεκαετίας.» Σύμφωνα με την mta-EMCI, η παγκόσμια αγορά WLL έφτασε σε 202 εκατομμύρια συνδρομητές το έτος 2005.

Ενδεικτικά, σας δείχνουμε την ταχύτατη αύξηση του από το 1995 έως και το 2002



Σχήμα 5.3 Συνδρομητές WLL ανά περιοχή

Το WLL αν και δεν μπορεί να συγκριθεί με τις οπτικές ίνες, παρέχει καλύτερες επιδόσεις από τον χάλκινο τοπικό βρόγχο και έχει το πλεονέκτημα του σημαντικά μικρότερου κόστους, αφού απαιτεί μόνο την εγκατάσταση μιας κεντρικής κεραίας από την πλευρά του παρόχου της υπηρεσίας και μία μικρότερη κεραία σε κάθε συνδρομητή (ή πιθανόν και μόνο σε ένα σύνολο από συνδρομητές, όπως για παράδειγμα σε όλους τους συνδρομητές μιας πολυκατοικίας).

Βιβλιογραφία

- 1) Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed
Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking
- 2) Frank Ohrtman,
WiMAX Handbook: Building 802.16 Networks (McGraw-Hill Communications)
- 3) Daniel Sweeney
WiMax Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks, Second Edition
- 4) Professor Loutfi Nuaymi
WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access (Hardcover)
- 5) Kwang-Cheng Chen, J. Roberto B. de Marca
Mobile WiMAX (Wiley - IEE) (Hardcover)
- 6) Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi
Broadband Wireless Access & Local Networks: Mobile Wimax and Wifi
- 7) Yan Zhang , Hsiao-Hwa Chen
Mobile WiMAX: Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks (Wireless Networks and Mobile Communications)
- 8) Syed A. Ahson , Mohammad Ilyas
WiMAX Handbook - 3 Volume Set
- 9) Jean Walrand,
Δίκτυα Επικοινωνιών(Παπασωτηριου)
- 10) Ιάκωβος ΣΤ. Βενιέρης
Δίκτυα ευρείας ζώνης(Εκδόσεις Τζιόλα)
- 11) <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>
- 12) http://el.wikipedia.org/wiki/Επίπεδο_ζεύξης_δεδομένων
- 13) <http://el.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- 14) <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- 15) <http://www.wimaxforum.org/resources/documents>
- 16) http://supportland.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=73
- 17) http://el.wikipedia.org/wiki/Διεύθυνση_IP

- 18) <http://computer.howstuffworks.com/wimax.htm>
- 19) <http://www.rfdesign.info/doc-desc/18/WiMAX-An-Introduction.html>
- 20) <http://www.tutorialsworld.com/>
- 21) <http://www.tutorial-reports.com/wireless/wimax/introduction.php>
- 22) <http://www.wimax.com/>
- 23) http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- 24) <http://gaia.cti.gr/P84-broadband/el/wimax.php>
- 25) http://www.wi-fi.org/certified_products.php
- 26) <http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- 27) <http://www.intel.com/technology/wimax/index.htm>
- 28) <http://papvag.blogspot.com/>
- 29) http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_network
- 30) <http://www.pestola.gr/wimax-in-plain-greek>
- 31) <http://blogs.techrepublic.com.com/hiner/?cat=483>