



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

Πτυχιακή Εργασία:

WiMAX – an Overview



Του φοιτητή:

Ανδριανού Χρήστου

Αρ. Μητρώου: 2393/03

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Περικλής Χατζημίσος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

**Στους γονείς μου Παναγιώτη και Ειρήνη
και στις αδελφές μου Αγγελική και Αθηνά**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης τα τελευταία χρόνια έχουν γνωρίσει σημαντική εξέλιξη, καθώς από τα πλεονεκτήματά τους επωφελούνται τόσο οι πάροχοι υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων, όσο και οι ιδιώτες ή οι απλοί χρήστες. Η ευκολία εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου, οδήγησε στην ανάπτυξη σήμερα εκατομμυρίων δικτύων Wi-Fi σε ολόκληρο τον πλανήτη. Παρόλα αυτά, το Wi-Fi αντιμετωπίζει μειονεκτήματα που έρχεται να λύσει μια νέα τεχνολογία, η οποία ακούει στο όνομα WiMAX. Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης.

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 72 Mbps στον αέρα και οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι να παρουσιάσουμε τις Βασικές Τεχνικές Έννοιες και τις εφαρμογές της ασύρματης τεχνολογίας WiMAX και τη μελέτη του νέου πρωτοκόλλου της IEEE, του 802.16, γνωστότερο και ως WiMAX. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα είδη και στους τύπους των ασύρματων δικτύων και γίνεται μια παρουσίαση των βασικότερων τεχνολογιών τους. Έπειτα παρουσιάζονται τα πρωτοκόλλα του WiMAX και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Εξετάζονται κατά πόσο οι δυνατότητές του θα ωφελήσουν τις ανάγκες του κόσμου των επικοινωνιών, παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φυσικού στρώματος του πρωτοκόλλου, όπως αυτά έχουν προτυποποιηθεί από την IEEE. Ακόμη γίνεται μια παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών του στρώματος MAC, των υποστρωμάτων του καθώς και του QoS του WiMAX. Στο τέλος της παρούσης πτυχιακής μπορούμε να δούμε σε ποιο βαθμό έχει υιοθετηθεί η τεχνολογία WiMAX στην Ελλάδα και στον κόσμο. Από πλευράς εφαρμογών με το WiMAX, το γρήγορο Internet είναι διαθέσιμο σε κάθε σημείο μιας μεγάλης πόλης και στα περισσότερα τμήματα της χώρας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν ώστε να έρθει εις πέρας αυτή η πτυχιακή.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου Δρ. Περικλή Χατζημίσιου που δέχτηκε να με αναλάβει και με την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής, κατάφερα να την φέρω εις πέρας. Τον ευχαριστώ θερμά γιατί σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπιζα μου έλυνε τις απορίες και με καθοδηγούσε ώστε να ξεπεράσω τα τυχόν προβλήματα που προέκυπταν. Τέλος, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την συνεργασία και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου.

Τέλος, θέλω να αναφέρω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που μου παρείχαν συμπαράσταση και με παρακινούσαν ώστε να εργαστώ σκληρά για να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ADSL :	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ISPs:	<i>Internet Service Providers</i>
BWA:	<i>Broadband Wireless Access</i>
WiMAX:	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
OFDM:	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
QoS:	<i>Quality of Service</i>
NLOS:	<i>Non Line of Sight</i>
QAM:	<i>Quadrature amplitude modulation</i>
QPSK:	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
DES:	<i>Data Encryption Standard</i>
LMSC:	<i>Local and Metropolitan Area Networks Standards Committee</i>
LLC:	<i>Logical Link Control</i>
TTA:	<i>Telecommunications Technology Association</i>
TDD:	<i>Time Division Duplex</i>
FDD:	<i>Frequency Division Duplex</i>
NCMS:	<i>Network Control and Management System</i>
FHSS:	<i>Frequency-Hopping Spread Spectrum</i>
WPA:	<i>Wi-Fi Protected Access</i>

VoIP:	<i>Voice Over Internet Protocol</i>
MIMO:	<i>Multiple-Input/Multiple-Output</i>
MMR:	<i>Mobile Multihop Relay</i>
DFS:	<i>Dynamic Frequency Select</i>
WLL:	<i>Wireless Local Loop</i>
MMDS:	<i>Multi-Channel Multi-Point Distribution System</i>
BRS:	<i>Broadband Radio Service</i>
HMAC:	<i>Hashed Message Authentication Code</i>
EAP:	<i>Extensible Authentication Protocol</i>
ISDN:	<i>Integrated Services Digital Network</i>
WEP:	<i>Wired Equivalent Privacy</i>
DSP:	<i>Digital Signal Computing</i>
CCK:	<i>Complementary Code Keying</i>
UDP:	<i>User Datagram Protocol</i>
IrDA:	<i>Infrared Data Association</i>
FCC:	<i>Federal Communications Commission</i>
DSSS:	<i>Direct-Sequence Spread Spectrum</i>
ISS:	<i>Internal Sublayer Service</i>
TDMA:	<i>Time Division Multiple Access</i>
ATM:	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
WiBro:	<i>Wireless Broadband</i>

<i>ETSI:</i>	<i>European Telecommunication and Standards Institute</i>
<i>WiSOA:</i>	<i>WiMAX Spectrum Owners Alliance</i>
<i>ODMs:</i>	<i>Original Design Manufacturers</i>
<i>OEM:</i>	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
<i>CSN:</i>	<i>Connectivity Service Network</i>
<i>ASN:</i>	<i>Access Service Network</i>
<i>MAC:</i>	<i>Medium Access Control</i>
<i>IIOT:</i>	<i>Infrastructure Interoperability Testing</i>
<i>NCT:</i>	<i>Network Conformance Testing</i>
<i>RPT:</i>	<i>Radiated Performance Testing</i>
<i>PCT:</i>	<i>Protocol Conformance Testing</i>
<i>RCT:</i>	<i>Radio Conformance Testing</i>
<i>NWG:</i>	<i>Network Working Group</i>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	V
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	VI
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	IX
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	1
1.1.1. Είδη ασύρματου δικτύου.....	3
1.1.2. Πλεονεκτήματα ασύρματης σύνδεσης	4
1.1.3. Μειονεκτήματα ασύρματης σύνδεσης	7
1.2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	8
1.3. ΤΥΠΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	9
1.3.1. Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN)	10
1.3.2. Ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMAN)	11
1.3.3. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)	12
1.3.4. Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).....	13
1.3.5. Ασύρματο δίκτυο περιοχής (WRAN).....	14
1.4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	16
1.4.1. Ultra Wideband Technology (UWB)	16
1.4.5. Bluetooth.....	19
1.4.6. IR	21
1.4.7. Zigbee	22
1.4.3. Wi-Fi.....	24
1.4.9. HiperLAN	25
1.4.2. 3G	27
1.4.4. WiMAX.....	29
1.4.8. WiBro.....	31
1.4.10. LTE	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. WiMAX.....	40
2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ WiMAX	40
2.2. IEEE	45
2.2.1. Ιστορική Αναδρομή για το IEEE.....	46
2.2.2. IEEE Working Group Standardization Bodies.....	46
2.3. WiMAX FORUM	50
2.3.1. Στόχος του WiMAX Forum	50
2.3.2. WiMAX Forum Certified	51
2.3.3. Χαρακτηριστικά Πιστοποίησης.....	52
2.3.4. Δοκιμές Πιστοποίησης WiMAX Forum	55
2.3.5. Pre-WiMAX Certified Modules	57
2.4. WiMAX SPECTRUM OWNERS ALLIANCE	58
2.5. ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.16	58
2.5.1. Πρότυπο IEEE 802.16-2001	59
2.5.2. Πρότυπο IEEE 802.16.2-2001	59
2.5.3. Πρότυπο IEEE 802.16c-2002	60
2.5.4. Πρότυπο IEEE 802.16a-2003	60
2.5.5. Πρότυπο IEEE 802.16-2004	61
2.5.6. Πρότυπο IEEE 802.16.2-2004	62
2.5.7. Πρότυπο IEEE 802.16e-2005	63
2.5.8. Πρότυπο IEEE 802.16k-2007	65
2.5.9. Πρότυπο IEEE 802.16g	66
2.5.10. Πρότυπο IEEE 802.16j	66
2.5.11. Πρότυπο IEEE 802.16h	68
2.5.12. Πρότυπο IEEE 802.16m.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ WiMAX.....	71
3.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ WiMAX	72
3.2. LINE-OF-SIGHT	74
3.3. NON-LINE-OF-SIGHT	75
3.4. ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ WiMAX	78
3.4.1. Σταθερό μοντέλο χρήσης WiMAX	79

3.4.2. Κινητό μοντέλο χρήσης WiMAX.....	83
3.5. ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΜΕΝΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	86
3.5.1. Αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων	86
3.5.1.1. Πλεονεκτήματα αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX.....	87
3.5.1.2. Εφαρμογές των αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX.....	88
3.5.2. Μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων	88
3.5.2.1. Πλεονεκτήματα μη αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX.....	89
3.5.2.2. Εφαρμογές των μη αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX	90
3.6. ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ WiMAX.....	91
3.6.1. Τοπολογία Point-to-Point (PTP).....	92
3.6.2. Τοπολογία Point-to-Multipoint (PMP)	93
3.6.3. Τοπολογία Mesh.....	94
3.7. ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ WiMAX.....	95
3.7.1. Το MAC στρώμα του WiMAX	97
3.7.2. Το φυσικό (PHY) στρώμα του WiMAX.....	101
3.7.2.1. OFDM Φυσικό επίπεδο	101
3.7.2.2. OFDMA Φυσικό επίπεδο.....	102
3.8. CIR ΚΑΙ MIR.....	103
3.9. QUALITY OF SERVICE (QoS) ΣΤΟ WiMAX	103
3.9.1. Ορισμός του QoS	106
3.9.2. Εφαρμογές που απαιτούν Quality of Service.....	109
3.9.3. Κληροδοτημένοι μηχανισμοί QoS	113
3.9.3.1. FDD/TDD/OFDM.....	114
3.9.3.2. Forward Error Correction (FEC)	115
3.9.4. Χαρακτηριστικά του QoS στο IEEE 802.16	116
3.9.4.1. Κατηγορίες υπηρεσιών και QoS	116
3.9.4.2. Παράμετροι QoS.....	123
3.9.5. Voice Over IP	125
3.9.5.1. Voice Over IP σε δίκτυα WiMAX.....	131
3.9.5.2. Μετρήσεις επιδόσεων και ανάπτυξη του πεδίου δοκιμών.....	133
3.9.5.2.1. E-Model.....	134
3.9.5.2.2. Διαμόρφωση της πλατφόρμας δοκιμών	135

3.9.5.2.3. Ρυθμίσεις του Alvarion BreezeMAX.....	136
3.9.5.2.4. Μετρήσεις απόδοσης.....	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. WI-FI	143
4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ WI-FI	144
4.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ WI-FI	145
4.3. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ 802.11X	147
4.3.1. Το πρότυπο IEEE 802.11 legacy.....	147
4.3.2. Το πρότυπο IEEE 802.11b.....	148
4.3.3. Το πρότυπο IEEE 802.11a.....	149
4.3.4. Το πρότυπο IEEE 802.11g.....	151
4.3.5. Το πρότυπο IEEE 802.11n.....	152
4.4. ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	153
4.5. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ WI-FI	153
4.6. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	156
4.7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ	157
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΤΡΩΜΑ MEDIA ACCESS CONTROL (MAC) ΤΟΥ WiMAX	159
5.1. ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ MAC ΜΕ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	163
5.2. ΤΟ ΣΤΡΩΜΑ MAC ΚΑΙ Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ WiMAX	165
5.3. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (SERVICE-SPECIFIC CONVERGENCE SUBLAYERS).....	168
5.3.1. Υπόστρωμα σύγκλισης ATM (CS ATM).....	170
5.3.1.1. Διαδικασία σηματοδότησης (Signaling Procedure)	170
5.3.2. Υπόστρωμα σύγκλισης πακέτων (Packet CS)	170
5.3.2.1. Ταξινόμηση.....	171
5.3.3. Αποκοπή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου (Payload Header Suppression) ..	172
5.3.3.1. PHS signaling.....	174
5.3.4. Connection ID (CID).....	175
5.4. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΟΙΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (COMMON PART SUB LAYER).....	177
5.5. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (SECURITY SUBLAYER)	180
5.6. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	182

5.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (ADAPTIVE ANTENNA SYSTEM)	184
5.8. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ MULTICAST ΚΑΙ BROADCAST	186
5.9. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (TRANSMISSION CONVERGENCE)	187
5.10. ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ TLV ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.16	187
5.11. ΑΥΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΧΗ ΑΙΤΗΣΗΣ (ARQ).....	189
5.11.1. <i>Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)</i>	191
5.12. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	194
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΟ WiMAX ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	197
6.1. Το WiMAX ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	197
6.2. Το WiMAX ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	205
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	209
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	211
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	212

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η έναρξη της νέας χιλιετίας ήταν μάρτυρας ενός τηλεπικοινωνιακού κόσμου πολύ διαφορετικού από το πρόσφατο παρελθόν. Η εξάπλωση των ασύρματων και ευρυζωνικών τεχνολογιών τα τελευταία χρόνια έχει εξάψει τη φαντασία και την καινοτομικότητα των τεχνολόγων σε ολόκληρο τον κόσμο.

Κατά το πέρασμα των χρόνων υπήρχε μια συνεχόμενη επιθυμία του ανθρώπου να επικοινωνεί περισσότερο αποτελεσματικά αλλά ταυτόχρονα να είναι απαλλαγμένος από φυσικούς και ψυχολογικούς δεσμούς. Μια παρόμοια τάση μπορεί να εντοπιστεί και στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Η ανάγκη για κινητικότητα και υψηλότερες ταχύτητες σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα είναι πρωταρχικής σημασίας στον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Ο άνθρωπος καθοδηγούμενος από την ανάγκη του για επικοινωνία σε διαρκώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα σε συνδυασμό με την προσδοκία του για εξέλιξη και με τις δυναμικές τεχνολογίες που διαθέτει, θέτει διαρκώς νέες προκλήσεις στο χώρο των τηλεπικοινωνιών.

1.1. Ασύρματα δίκτυα

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, συνήθως ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. [1]

Τα ασύρματα δίκτυα συνήθως λειτουργούν στο φάσμα συχνοτήτων ελεύθερης πρόσβασης (Industrial, Scientific and Medical -ISM band). Η υλοποίηση των τοπικών δικτύων υπολογιστών βασίζεται σε διάφορα πρότυπα που θεσπίζει το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρονικών Μηχανικών IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και που παίρνουν συνήθως κάποιο όνομα σχετικό με αυτό (IEEE 802.16, IEEE 802.3 - το γνωστό Ethernet κλπ.). Έτσι και τα πρότυπα για την ασύρματη δικτύωση που έχουν επικρατήσει στη σημερινή αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι τα IEEE 802.11.b και IEEE 802.11.g και αποτελούν εξέλιξη του

αρχικού IEEE 802.11. Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν κυρίως με τη διαμόρφωση που χρησιμοποιούν και την μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης που υποστηρίζουν.

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (Wireless Wide Area Network - WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Network - WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Network - WPAN). Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά.

Η ασύρματη επικοινωνία χρονολογείται από τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα, όταν οι εξισώσεις του Maxwell έδειξαν ότι η διαβίβαση των πληροφοριών θα μπορούσε να επιτευχθεί χωρίς την ανάγκη καλωδίων. Λίγα χρόνια αργότερα, μετά από πειραματισμούς που έκανε ο Marconi απέδειξε ότι η ασύρματη μετάδοση μπορεί να είναι μια πραγματικότητα και για αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Κατά την διάρκεια του εικοστού αιώνα, μεγάλες ανακαλύψεις και εφευρέσεις πάνω στην ηλεκτρονική έδωσαν τη θέση τους σε πολλά συστήματα ασύρματης μετάδοσης.

Στη δεκαετία του 1970, η Bell Labs πρότεινε την κυτταρική έννοια, μια μαγική ιδέα που επέτρεψε την κάλυψη μιας ζώνης τόσο μεγάλης όσο χρειαζόταν για να χρησιμοποιηθεί ένα σταθερό εύρος ζώνης συχνοτήτων. Από τότε, πολλές ασύρματες τεχνολογίες είχαν μεγάλη χρήση, με την πιο επιτυχημένη μέχρι τώρα, το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communications) ή GSM (πρώην Groupe Spécial Mobile), που αρχικά ήταν Ευρωπαϊκό δεύτερης γενιάς κυψελοειδές σύστημα. Το GSM είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως για μετάδοση φωνής καθώς και για τη μετάδοση χαμηλών ταχυτήτων δεδομένων, όπως την υπηρεσία μικρών μηνυμάτων (Short Message Service - SMS).

Το GSM προσφέρει αναβαθμίσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την διευκόλυνση σχετικά με την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων σε GSM δίκτυα. Οι σημαντικότερες αναβαθμίσεις είναι οι εξής:

- GPRS (General Packet Radio Service). Είναι μια υπηρεσία που διατίθεται στους χρήστες κινητών τηλεφώνων GSM. Συχνά περιγράφεται ως 2.5G

δηλαδή ως το ενδιάμεσο βήμα ανάμεσα στις τεχνολογίες δικτύων 2G και 3G. Το GPRS σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει τη δυνατότητα ταχύτερης μεταφοράς δεδομένων, γεγονός το οποίο επιτυγχάνεται με την χρήση των ανεκμετάλλευστων καναλιών TDMA (Time Division Multiple Access) των δικτύων GSM. Το GPRS ενσωματώθηκε στα βασικά πρότυπα του GSM με την Release97, ενώ τις τεχνικές του προδιαγραφές διαχειρίζεται το 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [3].

- EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Είναι η τεχνολογία που επιτρέπει τον «εκσυγχρονισμό» των δικτύων δεύτερης γενιάς ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητά τους, αλλά και ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων.

Εκτός από το GSM, τρίτης γενιάς (3G) κυτταρικά συστήματα, ευρωπαϊκή και ιαπωνική UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) τεχνολογία και αμερικανική CDMA2000 (επίσης γνωστή και σαν IMT Multi-Carrier (IMT-MC)) τεχνολογία, έχουν ήδη αναπτυχθεί και είναι πολλά υποσχόμενα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών.

1.1.1. Είδη ασύρματου δικτύου

Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη ασύρματων δικτύων που αναφέρονται ως "hosted" και "peer-to-peer". Όταν δύο ή περισσότερες συσκευές ασύρματης επικοινωνίας συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, χωρίς δηλαδή να παρεμβάλλεται κάποια άλλη συσκευή, δημιουργούν ένα ομότιμο δίκτυο που αποτελεί την απλούστερη μορφή ασύρματου δικτύου. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική περιγράφεται από τους όρους "peer-to-peer", "ad-hoc" και "unmanaged", ενώ στην αντίθετη περίπτωση που παρεμβάλλεται κάποια άλλη συσκευή στην επικοινωνία, δημιουργείται ένα "hosted", "infrastructure" ή "managed" δίκτυο αντίστοιχα.

"Hosted" δίκτυα: Τα ασύρματα "hosted" δίκτυα περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα κεντρικά σημεία πρόσβασης (base stations), που αναλαμβάνουν την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Οι αντίστοιχες συσκευές ονομάζονται Access Points (AP), ενώ σε περίπτωση που επιφορτιστούν με επιπλέον υπηρεσίες, όπως τη διαχείριση και την προστασία της επικοινωνίας ή τη δυναμική απόδοση διευθύνσεων IP στους κόμβους του δικτύου, χαρακτηρίζονται ως Gateways ή Wireless Routers. Τα κεντρικά σημεία πρόσβασης συνδέουν το σύνολο των συσκευών που διαθέτουν τον

απαραίτητο wireless εξοπλισμό και βρίσκονται εντός της εμβέλειάς τους, από φορητούς υπολογιστές και PDAs μέχρι δικτυακούς εκτυπωτές για ασύρματα δίκτυα. Μέσω της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, για να επικοινωνήσει κάθε κόμβος του ασύρματου δικτύου με κάποιον άλλο, θα πρέπει αρχικά να αποστείλει τα κατάλληλα σήματα προς το κεντρικό σημείο πρόσβασης, που με τη σειρά του θα τα προωθήσει προς το σωστό κόμβο. Στο χώρο των επιχειρήσεων πολλά "hosted" ασύρματα δίκτυα μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας περίπλοκα υβριδικά δίκτυα, που μπορούν να συνδεθούν με το ενσύρματο εσωτερικό εταιρικό δίκτυο, παρέχοντας σε όλους τους χρήστες πρόσβαση σε κεντρικά αποθηκευμένα αρχεία ή στο Internet.

"Peer-to-peer" δίκτυα: Ένα δίκτυο peer-to-peer αποτελείται από δύο ή περισσότερους κόμβους εξοπλισμένους με τις απαραίτητες συσκευές δικτύωσης που επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να χρησιμοποιείται κάποιο Access Point ή Gateway. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική υποστηρίζεται από όλες τις συσκευές που έχουν πιστοποιηθεί από τον οργανισμό WECA (Wireless Ethernet Certification Alliance), φέροντας την ένδειξη "Wi-Fi Certified". Το ομότιμο δίκτυο που δημιουργείται παρέχει το πλεονέκτημα της άμεσης, ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ δύο υπολογιστών που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο και σε μικρή σχετικά απόσταση μεταξύ τους, σε αντίθεση με τα Access Points, η εμβέλεια των οποίων εκτείνεται σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις. Τα δίκτυα "peer-to-peer" προσφέρονται κυρίως για οικιακούς χρήστες λόγω του μειωμένου οικονομικού κόστους, ενώ αποδεικνύονται ιδανικά για την παροχή σύνδεσης Internet στο δεύτερο υπολογιστή του σπιτιού (Internet connection sharing).

1.1.2. Πλεονεκτήματα ασύρματης σύνδεσης

Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρέχει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο προέρχονται από την φύση της ασύρματης τεχνολογίας η οποία προσφέρει πολλές ευκολίες. Έτσι, τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτών των δικτύων είναι:

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

- **Ευκολία, ευελιξία και απλότητα εγκατάστασης:** Δεν χρειάζεται να εγκαταστήσουμε καλωδίωση μέσα από τοίχους και ταβάνια. Μπορεί να γίνει η δικτύωση σε μέρη όπου η καλωδίωση θα ήταν αδύνατη, ή μη επιθυμητή, όπως η δικτύωση γραφείων τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Η εγκατάσταση στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να γίνει εύκολα αν ακολουθηθούν κάποιοι βασικοί κανόνες εγκατάστασης.
- **Κλιμάκωση, δυνατότητα επέκτασης:** Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να διαρθρωθούν σε ένα πλήθος από τοπολογίες, ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Οι τοπολογίες αλλάζουν εύκολα και επεκτείνονται από απλά δίκτυα με μικρό αριθμό χρηστών, ως μεγάλες δομές δικτύων με εκατοντάδες χρήστες και δυνατότητα περιαγωγής (roaming).
- **Κόστος:** Παρόλο που το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι συνήθως υψηλότερο σε σχέση με λύσεις ενσύρματης δικτύωσης, το κόστος για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης μπορεί να είναι μικρότερο, ιδιαίτερα σε δυναμικό περιβάλλον που απαιτεί συχνές αλλαγές, αναδιαρθρώσεις και μετακινήσεις. Επιπλέον το κόστος υλοποίησης - εγκατάστασης και συντήρησης - διαχείρισης του δικτύου είναι πολύ μικρό. Το σημαντικότερο κομμάτι του κόστους είναι η αγορά του εξοπλισμού.

Επίσης, με την εμφάνιση περισσότερων κατασκευαστών και τον έντονο ανταγωνισμό το κόστος έχει πέσει αισθητά, ενώ παράλληλα οι συσκευές έχουν αποκτήσει περισσότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ενώ το 1998 ένα σημείο πρόσβασης είχε κόστος 1000-2000\$, τώρα έχει κόστος δέκα φορές μικρότερο.

- **Ταχύτητες μετάδοσης:** Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία γίνεται δυνατή η μετάδοση μεγαλύτερων ρυθμών δεδομένων. Ήδη ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, από τα 2 Mbps που μπορούσαν να επιτευχθούν αρχικά, έφτασε σήμερα σε ταχύτητες πάνω από 100 Mbps ενώ ήδη έχουν εξαγγελθεί ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες.
- **Αξιοπιστία – ανεξαρτησία:** Ένα ασύρματο δίκτυο κατάλληλα διαμορφωμένο μπορεί να έχει μεγάλη αξιοπιστία. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να εργάζεται όταν συμβαίνουν διακοπές ρεύματος και να περιλαμβάνει πολλές εναλλακτικές διαδρομές.

- **Εμβέλεια:** Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές οπότε υφίστανται σημαντική απόσβεση. Σε ανοικτό χώρο όπου υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στις ασύρματες συσκευές, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν είναι μεγαλύτερες.
- **Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο:** Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα έχουν προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, η προσθήκη ασύρματης δικτύωσης σε υπάρχουσες δομές δικτύων μπορεί να γίνει με τον ευκολότερο τρόπο. Πολλές φορές δε, αποτελούν επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.
- **Ασφάλεια:** Ο έλεγχος και η διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυό σας είναι μέγιστης σημασίας για την επιτυχία του. Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας Wi-Fi προσφέρουν ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα σας να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπετε την πρόσβαση.

Τα παραπάνω σαφή πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων οδηγούν σε κάποια άλλα τα οποία σχετίζονται περισσότερο με την ακαδημαϊκή εκπαίδευση, όπως:

- Η δικτύωση των φοιτητών και των υπαλλήλων με το ακαδημαϊκό δίκτυο και το διαδίκτυο σε αίθουσες διδασκαλίας, εργαστήρια, κοιτώνες και κοινόχρηστες περιοχές, ακόμα και σε εξωτερικούς χώρους.
- Η επέκταση του ακαδημαϊκού δικτύου με μικρό κόστος ακόμα και σε σημεία που πλέον η καλωδίωση είναι δύσκολη, αν όχι αδύνατη.
- Μεγαλύτερη ευελιξία – δεν υπάρχει πλέον η ανάγκη για την μεταφορά των συνδέσεων του τοπικού δικτύου όταν διαμορφώνονται ξανά χώροι όπως γραφεία ή αίθουσες.
- Εύκολη εγκατάσταση δικτυακών συνδέσεων σε μέρη τα οποία χρησιμοποιούνται προσωρινά.
- Εύκολη πρόσβαση των φοιτητών και των υπαλλήλων σε δικτυακές συσκευές όπως εκτυπωτές, σαρωτές και εξυπηρετητές.

1.1.3. Μειονεκτήματα ασύρματης σύνδεσης

Κάθε τεχνολογία έχει και τα μειονεκτήματά της και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα δεν αποτελούν εξαίρεση. Πολλές από τις ευκολίες που προσφέρουν έχουν σαν συνέπεια κάποιες αδυναμίες, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- Τα σημερινά ασύρματα τοπικά δίκτυα λειτουργούν παρόμοια με τα παλιά δίκτυα τεχνολογίας Ethernet. Μόνο ένας σταθμός εργασίας μπορεί να μεταδίδει κάθε στιγμή δεδομένα. Το γεγονός αυτό καθιστά το δίκτυο ευάλωτο σε ένα φαινόμενο γνωστό ως “slamming” δηλαδή την απασχόληση του δικτύου για πολλή ώρα από έναν μόνο σταθμό (π.χ. αν αυτός ο σταθμός μεταφέρει ένα πολύ μεγάλο αρχείο).
- Ένα ασύρματο δίκτυο έχει σημαντικά χαμηλότερο bandwidth από τα σημερινά δίκτυα καλωδίων. Οι πιο πολλές εταιρείες και ακαδημαϊκά ιδρύματα έχουν εγκαταστήσει δίκτυα μεταγωγής ταχυτήτων 100 Mbps στους σταθμούς εργασίας και 100 Mbps ή 1000 Mbps στον κορμό του δικτύου και στους εξυπηρετητές. Ένα ασύρματο δίκτυο τεχνολογίας 802.11b μπορεί να εξασφαλίσει ταχύτητα 11 Mbps ενώ το αντίστοιχο σε ασύρματα δίκτυα τεχνολογίας 802.11a ή 802.11g είναι 54 Mbps. Επιπλέον, η επιβάρυνση του δικτύου από τα πρωτόκολλα ασύρματης διασύνδεσης, διαχείρισης και αποφυγής συγκρούσεων τυπικά μειώνει το χρήσιμο bandwidth στο 45-50%. Έτσι το ωφέλιμο bandwidth στα δίκτυα 802.11b είναι περί τα 6 Mbps ενώ στα 802.11a και 802.11g περί τα 25 Mbps.
- Τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα σε παρεμβολές. Αν ένας ισχυρός αναμεταδότης, που λειτουργεί στην ίδια ραδιοσυχνότητα με ένα ασύρματο δίκτυο, βρίσκεται κοντά στο δίκτυο τότε αυτό μπορεί να καταστεί άχρηστο.
- Τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα σε επιθέσεις. Από τη στιγμή που το ασύρματο μέσο είναι κοινόχρηστο, όλοι οι ασύρματοι σταθμοί εργασίας μπορούν να «δουν» όλη την κίνηση που διασχίζει το μέσο ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που ισχύει στους διασυνδεδεμένους με καλώδιο σε ένα hub σταθμούς εργασίας σε ένα Ethernet δίκτυο. Αν δεν ληφθούν κάποια μέτρα για την προστασία των δεδομένων που μεταδίδονται στο μέσο τότε αυτά μπορούν να διαβαστούν από εξωτερικούς ή εσωτερικούς κακόβουλους χρήστες. Μια πολιτική ασφαλείας είναι απαραίτητη σε κάθε εγκατάσταση ασύρματου δικτύου.

1.2. Ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα

Σήμερα όλο και περισσότεροι χρήστες ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν ευρυζωνική σύνδεση. Η ευρυζωνική πρόσβαση δεν παρέχει μόνο ταχύτερη περιήγηση στο διαδίκτυο και ταχύτερη λήψη αρχείων, αλλά κάνει εφικτή και την χρήση διάφορων εφαρμογών πολυμέσων όπως μετάδοση εικόνας-ήχου μέσω του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, multimedia conferencing και διαδραστικά παιχνίδια. Οι ευρυζωνικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται επίσης για τη φωνητική τηλεφωνία χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Voice-over-Internet Protocol (VoIP). Πιο προχωρημένα συστήματα ευρυζωνικής σύνδεσης όπως Fiber-To-The-Home (FTTH) και πολύ υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ψηφιακοί συνδρομητικοί βρόχοι (Very-high-bitrate Digital Subscriber Line - VDSL ή VHDSL), κάνουν εφικτή την χρήση εφαρμογών όπως υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση (High-Definition Television - HDTV) καθώς και το Video on Demand (VoD). Δεδομένου ότι η ευρυζωνική αγορά συνεχίζει να αυξάνεται, είναι πιθανόν να προκύψουν αρκετές νέες εφαρμογές στο άμεσο μέλλον.

Το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο είναι μια συνέχεια της συνύπαρξης και επικάλυψης τεχνολογιών που επιτρέπουν τις ασύρματες επικοινωνίες υψηλών ταχυτήτων. Τεχνολογίες όπως Wi-Fi, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), 3G (Third-Generation), UWB (Ultra-Wideband) και LTE (Long Term Evolution) είναι καθεμία από αυτές απαραίτητη για την παγκόσμια ασύρματη υποδομή που χρειάζεται για την παροχή επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας και για πρόσβαση στο Internet σε όλο τον κόσμο. Κάθε μια από αυτές προορίζεται για ένα συγκεκριμένο τύπο συνδέσεων.

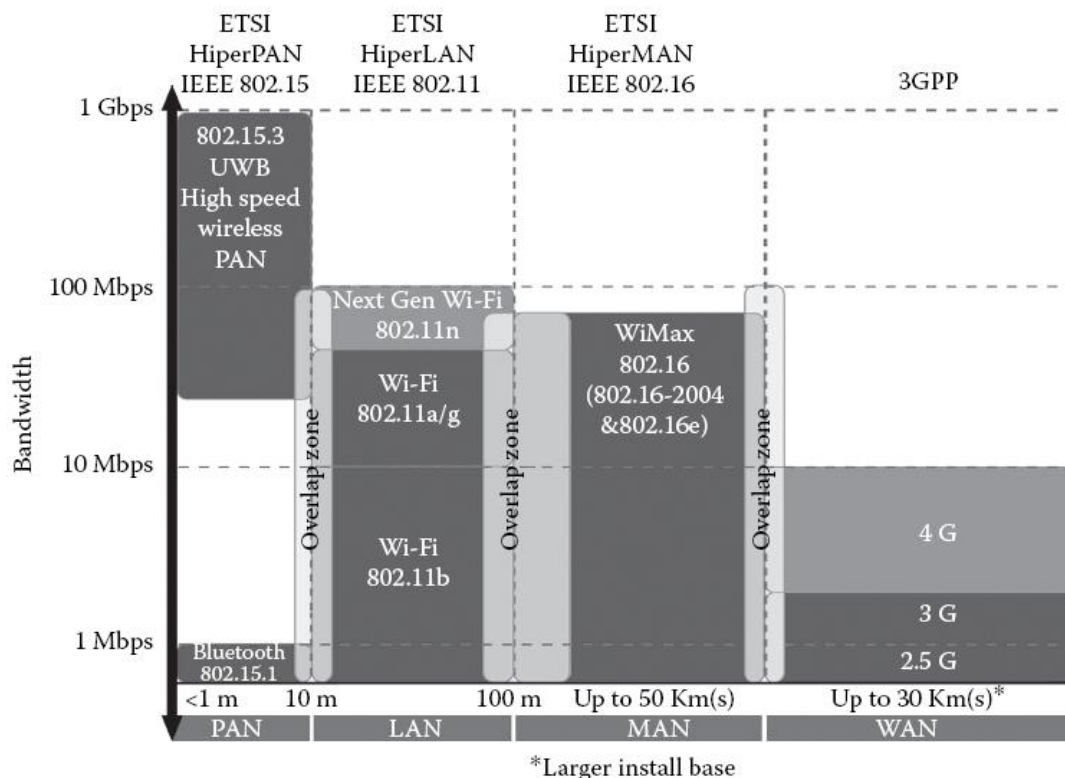
Το Wi-Fi είναι ιδανικό για την κάλυψη μικρών περιοχών ενώ το WiMAX και το 3G μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις. Το WiMAX λειτουργεί καλύτερα για υπολογιστικές πλατφόρμες όπως φορητοί υπολογιστές ενώ το 3G είναι το καλύτερο για φορητές συσκευές όπως PDA και κινητά τηλέφωνα. Ενώ η τεχνολογία UWB προσφέρει πολύ μικρής εμβέλειας συνδεσιμότητα, ιδανική για το περιβάλλον οικιακής ψυχαγωγίας ή για ασύρματο USB (Universal Serial Bus). Εν ολίγοις, κάθε τεχνολογία είναι σημαντική για διαφορετικούς λόγους.

Όλα τα ασύρματα δίκτυα έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικές χρήσεις το καθένα, με κάποια επικάλυψη του ενός δικτύου με το άλλο. Το πιο σημαντικό είναι ότι όλες οι

τεχνολογίες θα συνυπάρχουν και θα δημιουργούν περισσότερες και ανθεκτικές λύσεις που θα φέρουν μια σειρά από νέες και συναρπαστικές δυνατότητες. Στην ουσία ο όρος ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνει το πλήρες φάσμα των ασύρματων τεχνολογιών και εφαρμογών, κινητών και σταθερών.

1.3. Τύποι ασύρματων δικτύων

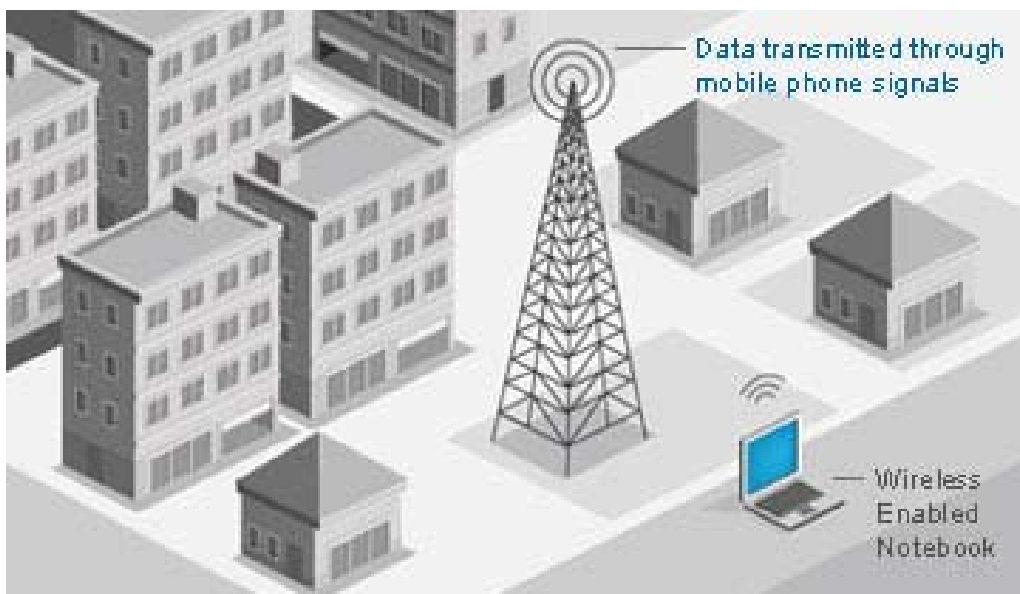
Όπως και με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικούς τύπους με βάση τις αποστάσεις τις οποίες μπορούν να καλύψουν. Τα ασύρματα δίκτυα διεισδύουν όλο και περισσότερο στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών λόγω των νέων συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, του χαμηλού κόστους εξοπλισμού και της ικανότητας σύνδεσης στο Internet ανεξαρτήτως της τοποθεσίας στην οποία βρίσκεται ο χρήστης. Υπάρχουν πολλές ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών οι οποίες μπορούν να διαφοροποιηθούν από τη συχνότητα, το εύρος ζώνης, την έκταση την οποία μπορούν να καλύψουν και από τις εφαρμογές. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να οργανωθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Εικόνα 1.1). Οι κατηγορίες αυτές κυμαίνονται από ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα οποία καλύπτουν μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή μέχρι ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN), τα οποία μπορούν να καλύψουν λιγότερο από 10 μέτρα.



Εικόνα 1.1. Τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης [4]

1.3.1. Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN)

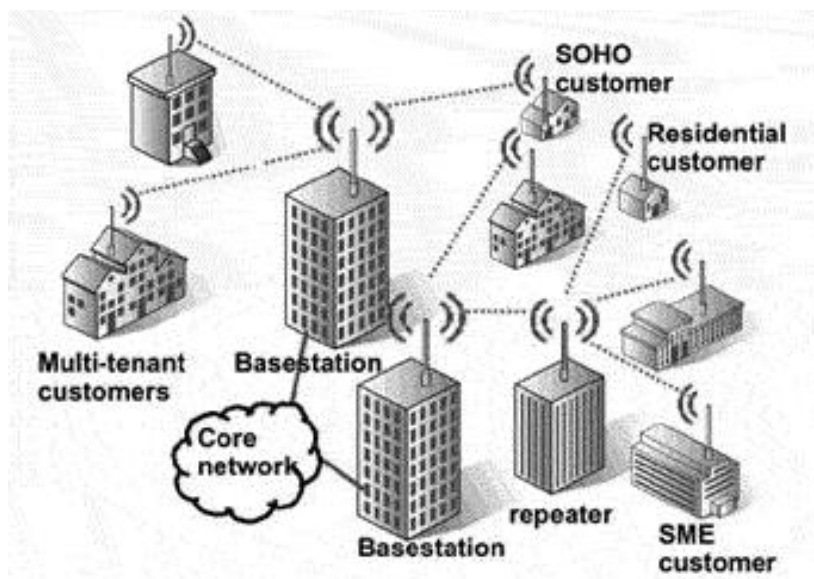
Οι WWAN τεχνολογίες (Εικόνα 1.2) επιτρέπουν στους χρήστες να εγκαθιδρύσουν μια ασύρματη σύνδεση πάνω σε απομακρυσμένα δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα. Αυτές οι συνδέσεις μπορούν να διατηρηθούν σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, όπως πόλεις ή χώρες, μέσω της χρήσης πολλαπλών κεραιών ή δορυφορικών συστημάτων από παρόχους ασύρματων υπηρεσιών. Οι τρέχουσες τεχνολογίες WWAN είναι γνωστές ως δεύτερης γενιάς (2G) και περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως Global System for Mobile Communications (GSM), Cellular Digital Packet Data (CDPD) και Code Division Multiple Access (CDMA).



Εικόνα 1.2. WWAN [5]

1.3.2. Ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMAN)

Οι WMAN τεχνολογίες (Εικόνα 1.3) επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν μια ασύρματη σύνδεση μεταξύ πολλαπλών τοποθεσιών εντός μιας μητροπολιτικής περιοχής (για παράδειγμα, μεταξύ πολλών κτιρίων γραφείων σε μια πόλη ή σε μια πανεπιστημιούπολη), χωρίς το υψηλό κόστος τοποθέτησης οπτικών ινών ή καλωδίων χαλκού και τη μίσθωση γραμμών. Επιπλέον, τα WMAN μπορούν να χρησιμεύσουν ως εφεδρικά για τα ενσύρματα δίκτυα όταν αυτά δεν είναι πλέον διαθέσιμα. Αν και χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνολογίες, όπως Multi-Channel Multi-Point Distribution Service (MMDS) και Local Multi-Point Distribution Services (LMDS), η ομάδα εργασίας του IEEE 802.16 για πρότυπα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης εξακολουθεί να αναπτύσσει προδιαγραφές για την τυποποίηση την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών.

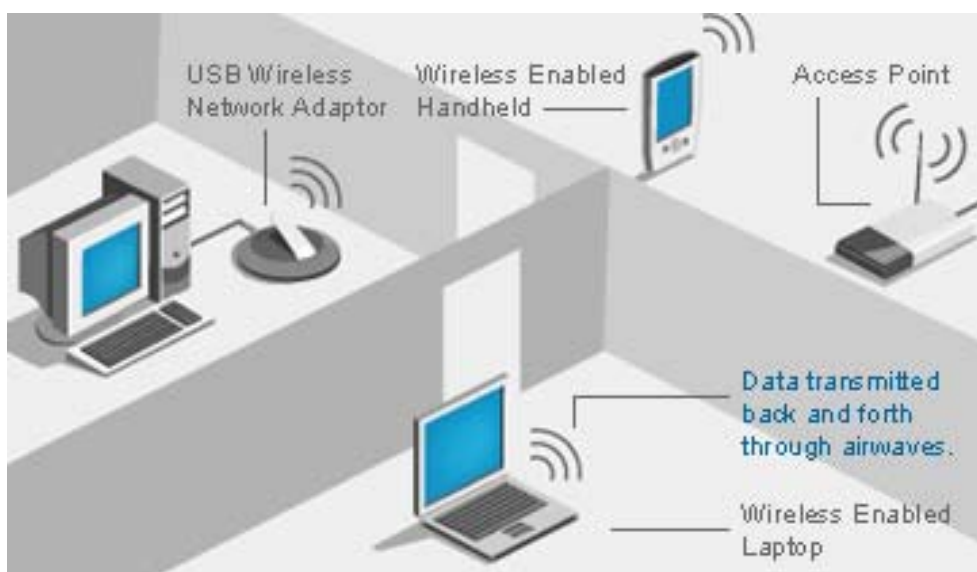


Εικόνα 1.3. WMAN [6]

1.3.3. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)

Οι τεχνολογίες ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN) (Εικόνα 1.4) επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν μια ασύρματη σύνδεση μέσα σε μια τοπική περιοχή (για παράδειγμα σε έναν εταιρικό χώρο, σε ένα κτίριο πανεπιστημιούπολης ή σε ένα δημόσιο χώρο όπως είναι το αεροδρόμιο). Το δίκτυο WLAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γραφεία ή άλλους χώρους όπου η εγκατάσταση εκτεταμένης καλωδίωσης θα ήταν απαγορευτικά δαπανηρή ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπλήρωση ενός υπάρχοντος LAN ώστε οι χρήστες να μπορούν να εργαστούν σε διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Το δίκτυο WLAN μπορεί να λειτουργήσει με δύο διαφορετικούς τρόπους. Στην υποδομή (infrastructure), όπου οι ασύρματοι σταθμοί του WLAN (συσκευές με κάρτες ασύρματου δικτύου), συνδέουν τα σημεία ασύρματης πρόσβασης που λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ των σταθμών και του υπάρχοντος δικτύου κορμού. Σε peer-to-peer (ad hoc) δίκτυα WLAN, όπου διάφοροι χρήστες μέσα σε μια περιορισμένη περιοχή, όπως η αίθουσα συνεδριάσεων, μπορούν να σχηματίσουν ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη χρήση σημείων πρόσβασης. Το σημείο πρόσβασης είναι συνήθως μικρό και ελαφρύ και στέλνει τα δεδομένα προς όλες τις κατευθύνσεις δια μέσου του αέρα. Η εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης μπορεί να φτάσει μέχρι τα 100 μέτρα.

Για να έχει κάποιος πρόσβαση σε ένα δημόσιο ασύρματο τοπικό δίκτυο, θα χρειαστεί ένα λογαριασμό με ένα ασύρματο πάροχο υπηρεσιών Internet (Internet Service Provider - ISP). Η υπηρεσία παροχής ασύρματου Internet μπορεί να σας προμηθεύσει με μια λίστα των θέσεων, που ονομάζεται «hotspots», που αποτελούν μέρος του ίδιου ασύρματου LAN που έχετε πρόσβαση μέσω του λογαριασμού σας. Αυτά τα hotspots περιέχουν σημεία πρόσβασης που στέλνουν μηνύματα προς την ασύρματη κάρτα δικτύου στο φορητό υπολογιστή ή στο PDA.

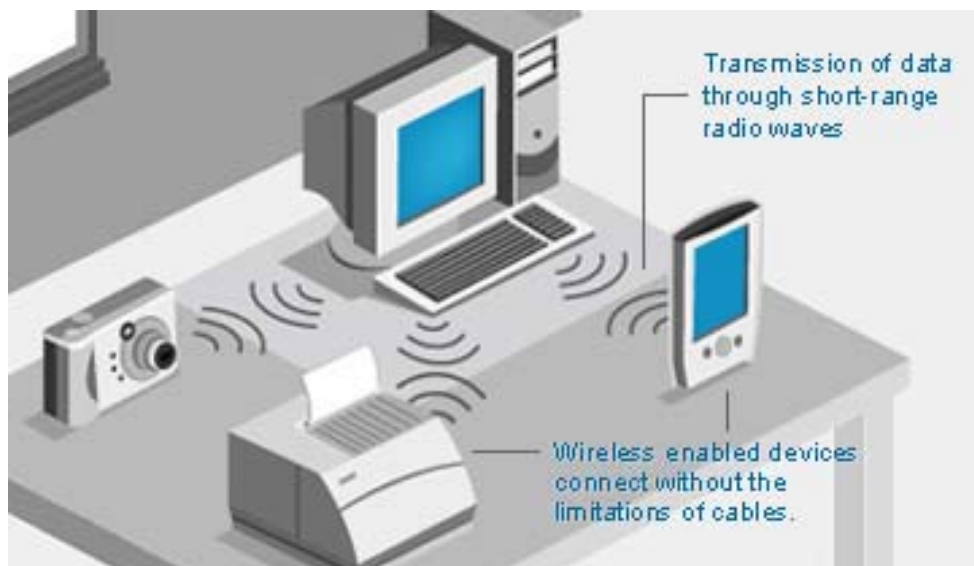


Εικόνα 1.4. WLAN [5]

1.3.4. Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN)

Οι τεχνολογίες ασύρματου προσωπικού δικτύου (WPAN) (Εικόνα 1.5) επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν ad hoc, ασύρματες επικοινωνίες για συσκευές (όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα και φορητοί υπολογιστές) που θα χρησιμοποιηθούν μέσα σε ένα προσωπικό χώρο λειτουργίας. Ο προσωπικός χώρος λειτουργίας είναι ο χώρος γύρω από ένα άτομο, μέχρι μια απόσταση 10 m. Η βασική WPAN τεχνολογία είναι το Bluetooth το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να εκπέμψει δεδομένα σε απόσταση έως και 10 μέτρα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας Bluetooth έγινε από την Special Interest Group (SIG) η οποία δημοσίευσε τις Bluetooth έκδοση 1.0 προδιαγραφές το 1999.

Για να τυποποιηθεί η ανάπτυξη των τεχνολογιών WPAN, η IEEE καθιέρωσε την ομάδα εργασίας 802.15 Βασικοί στόχοι για το Bluetooth ήταν η χαμηλή πολυπλοκότητα, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η διαλειτουργικότητα και η συνύπαρξη με τα 802.11 δίκτυα.



Εικόνα 1.5. WPAN [5]

Με ένα WPAN δίκτυο μπορείς:

- Να συνδέσεις τον υπολογιστή σου με έναν εκτυπωτή
- Να συγχρονίσεις το PDA σου
- Να κατεβάσεις εικόνες από την ψηφιακή σου κάμερα
- Να μεταφέρεις αρχεία MP3

1.3.5. Ασύρματο δίκτυο περιοχής (WRAN)

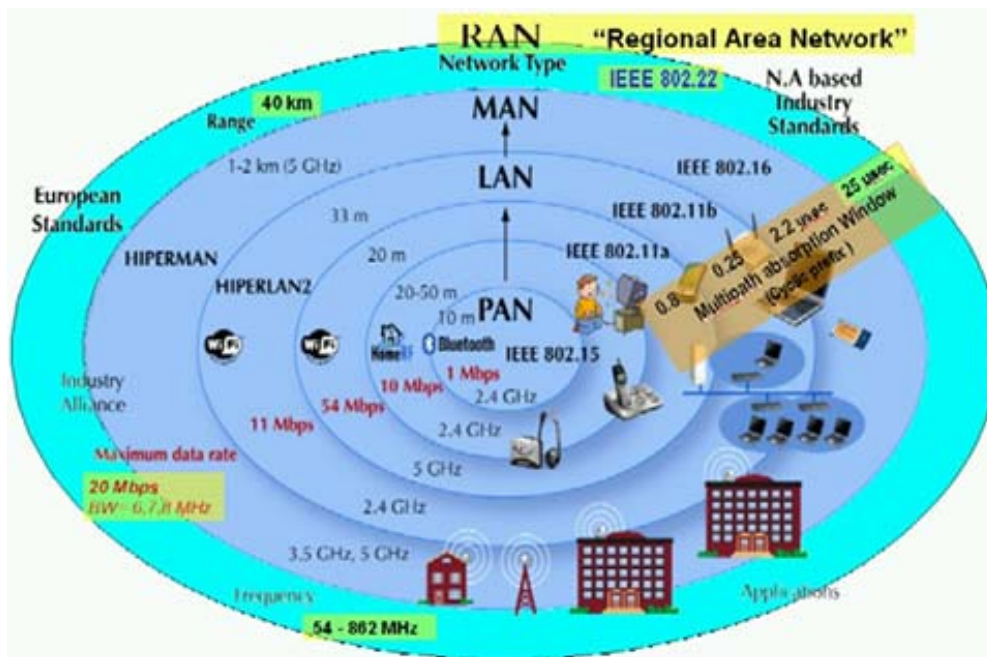
Αν και η διείσδυση των ευρυζωνικών επικοινωνιών αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς σε ολόκληρο τον κόσμο, ορισμένες αραιοκατοικημένες περιοχές εξακολουθούν να μην έχουν ευρυζωνική πρόσβαση. Τον Οκτώβριο του 2004, ωθούμενη από μια αποστολή να φέρει ευρυζωνικότητα σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται με καλώδιο ή με το

DSL, το IEEE δημιούργησε μια ομάδα εργασίας για την ανάπτυξη του 802.22 πρότυπου[7].

Η ιδέα ήταν απλή δηλαδή να αξιοποιηθούν τα υπάρχοντα, υποχρησιμοποιούμενα κανάλια εκπομπής τηλεόρασης VHF / UHF (Very High Frequency / Ultra High Frequency) για την παροχή ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου.

Το δίκτυο αυτό (Εικόνα 1.6) έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο και στις streaming υπηρεσίες πολυμέσων μέσω ενός ασύρματου δικτύου περιοχής (WRAN). Οι προσφερόμενοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι πολύ γρήγοροι σε σχέση με την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων στη τεχνολογία της κινητής τηλεπικοινωνίας, καθώς και άλλων ασύρματων δικτύων και η εμβέλεια τους είναι πιο μεγάλη. Βασικός στόχος της ομάδας εργασίας ήταν να αναπτύξουν ένα WRAN πρότυπο που θα χρησιμοποιεί Cognitive Radio (CR) τεχνικές για να καταστήσουν δυνατή την ανταλλαγή γεωγραφικά αχρησιμοποίητου φάσματος που διατίθεται για την υπηρεσία τηλεοπτικής μετάδοσης, σε μια μη-παρεμβολής βάση. Ο στόχος ήταν η παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης σε περιοχές που ήταν πολύ δύσκολο να υπάρχει, σε περιοχές με μικρό πληθυσμό, χαρακτηριστικά που συναντάμε στο αγροτικό περιβάλλον [8].

Η ισχυρότερη πρόταση σχετικά με τη χρήση VHF / UHF καναλιών εκπομπής είναι η διαθεσιμότητα των αχρησιμοποίητων συχνοτήτων, που κυμαίνονται μεταξύ 54 και 862 MHz. Αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την εμβέλεια των ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων έως και 100 χιλιόμετρα, ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους.



Εικόνα 1.6. Τοποθέτηση του WRAN μεταξύ των IEEE 802 ασύρματων δικτύων [9]

1.4. Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων

Τα ασύρματα δίκτυα έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής καθώς όλο και περισσότερες συσκευές ενσωματώνουν την τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης όπως εκτυπωτές, τηλεοράσεις, PDA, κινητά τηλέφωνα, ασύρματα ακουστικά, ψηφιακές κάμερες, φορητοί υπολογιστές μέχρι και ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον προκύπτουν όλο και μεγαλύτερες ανάγκες για μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερο εύρος σύνδεσης. Έτσι αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων καθώς και νέος εξοπλισμός για να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες ανάγκες που έχει ο κάθε καταναλωτής.

1.4.1. Ultra Wideband Technology (UWB)

Η Ultra-Wideband (UWB) τεχνολογία, που βασίζεται στο πρότυπο WiMedia, φέρνει την ευκολία και την κινητικότητα των ασύρματων επικοινωνιών σε υψηλής ταχύτητας διασύνδεση με συσκευές σε όλο το ψηφιακό σπίτι και γραφείο. Σχεδιασμένη για χαμηλής ισχύος και μικρής εμβέλειας, ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής, το UWB επιτρέπει την ασύρματη σύνδεση πολλών συσκευών για τη μετάδοση βίντεο, ήχου και άλλων δεδομένων υψηλού εύρους ζώνης.

Το UWB είναι μικρής εμβέλειας ασύρματη τεχνολογία και συμπληρώνει άλλες τεχνολογίες με μεγαλύτερη εμβέλεια, όπως το Wi-Fi, το WiMAX και το 3G. Χρησιμοποιείται για την αναμετάδοση των δεδομένων από μια συσκευή host σε άλλες συσκευές στην άμεση περιοχή (έως 10 μέτρα). Οι ασύρματες μεταδόσεις της τεχνολογίας UWB μπορούν νόμιμα να λειτουργήσουν στην περιοχή από 3,1 GHz μέχρι 10,6 GHz, σε μια περιορισμένη ισχύ εκπομπής -41dBm/MHz [10]. Κατά συνέπεια, η UWB προβλέπει δραματική χωρητικότητα καναλιού σε σύντομο χρονικό φάσμα που περιορίζει τις παρεμβολές. Είναι μια νέα μορφή της ασύρματης τεχνολογίας που βασίζεται σε μεταβίβαση χαμηλής ισχύος και κωδικοποιημένες ωθήσεις σε περιβάλλον μικρής απόστασης.

Η τεχνολογία UWB υπάρχει από τη δεκαετία του 1980, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως από εφαρμογές βασισμένες σε ραντάρ. Εξαιτίας των πρόσφατων βελτιώσεων στην υψηλής τεχνολογίας μεταπήδησης, το UWB γίνεται περισσότερο ελκυστικό στους καταναλωτές φθηνών εφαρμογών επικοινωνίας.

Τώρα η UWB τεχνολογία χρησιμοποιείται σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές για τον καθορισμό αποστάσεων ανάμεσα σε αντικείμενα, σε συστήματα ασφαλείας και σε ιατρικά συστήματα. Επίσης εφαρμόζεται σε τηλεοράσεις, στο Internet, στους υπολογιστές, σε ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) και φορητά ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Κάποιες εφαρμογές της τεχνολογίας UWB είναι οι παρακάτω:

- Εικονικά συστήματα που περιλαμβάνουν Ground Penetrating Radars (GPRs), wall, through-wall, medical imaging και μηχανισμούς επιτήρησης.
- Συστήματα επικοινωνιών και αποστάσεων.
- Συστήματα ραντάρ για την κυκλοφορία των οχημάτων.

Σήμερα, οι περισσότεροι υπολογιστές καθώς και οι ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούν καλώδια για την καταγραφή, αναπαραγωγή ή την ανταλλαγή δεδομένων. Από μια ψηφιακή βιντεοκάμερα, ένα DVD player, ένα φορητό υπολογιστή μέχρι και σε μια τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) απαιτείται η σύνδεση με καλώδια. Η τεχνολογία UWB μπορεί να εξαλείψει τον μεγάλο όγκο καλωδίων καθώς και να χρησιμοποιηθεί όπως φαίνεται παρακάτω:

- Μια ψηφιακή βιντεοκάμερα μπορεί να παίζει ένα βίντεο που μόλις καταγράφηκε σε μια τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) ενός φίλου χωρίς κανείς να χρειάζεται να χρησιμοποιήσει καλώδια για την σύνδεση της.
- Ένα φορητό MP3 player μπορεί να κάνει stream ένα αρχείο ήχου σε ηχεία surround οπουδήποτε στο δωμάτιο.
- Ένας χρήστης φορητού υπολογιστή μπορεί να συνδεθεί ασύρματα σε έναν ψηφιακό προβολέα σε μια αίθουσα συσκέψεων για να κάνει μια παρουσίαση.
- Οι ψηφιακές εικόνες μπορούν να μεταφερθούν σε ένα περίπτερο εκτύπωσης φωτογραφιών για άμεση εκτύπωση χωρίς την ανάγκη χρήσης ενός καλωδίου.
- Ένας υπάλληλος γραφείου μπορεί να συνδέσει τον φορητό του υπολογιστή με έναν εκτυπωτή, σαρωτή και με τα ακουστικά του.



Εικόνα 1.7. Τεχνολογία UWB [11]

1.4.5. Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα ανοικτό πρότυπο ασύρματης τεχνολογίας για την ανταλλαγή δεδομένων σε μικρές αποστάσεις (με τη χρήση μικρού μήκους κύματος ασύρματες μεταδόσεις μέσω μικροκυμάτων) από σταθερές και κινητές συσκευές και δημιουργεί δίκτυα προσωπικής περιοχής (PANs) με υψηλά επίπεδα ασφάλειας. Η προδιαγραφή Bluetooth αναπτύχθηκε το 1994 από τον Jaap Haartsen και Sven Mattisson, οι οποίοι εργάζονται για την Ericsson στο Lund της Σουηδίας. Το Bluetooth αρχικά είχε σχεδιαστεί ως μια ασύρματη εναλλακτική λύση σε καλώδια δεδομένων RS-232. Μπορεί να συνδέσει πολλές συσκευές, ξεπερνώντας τα προβλήματα συγχρονισμού.

Το Bluetooth είναι μια ασύρματη τεχνολογία δικτύου που ορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.15. Χρησιμοποιεί μια ασύρματη τεχνολογία που ονομάζεται frequency-hopping spread spectrum και η οποία κομματιάζει τα δεδομένα που αποστέλλονται και μεταδίδει κομμάτια από αυτά σε τουλάχιστον 79 ζώνες (1 MHz το καθένα) στην περιοχή των 2402-2480 MHz. Αυτό το εύρος είναι μέσα στην παγκόσμια Βιομηχανική, Επιστημονική και Ιατρική (ISM), μικρής εμβέλειας ασύρματης ζώνης συχνοτήτων των 2.4 GHz. Ακόμα με την τεχνική frequency hopping μειώνει τις παρεμβολές στη ζώνη των 2.4 MHz που λειτουργεί. Η ρυθμοαπόδοση σε μια σύνδεση Bluetooth εξαρτάται από την έκδοση που έχει υλοποιήσει ο κατασκευαστής της συσκευής. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων κυμαίνεται από 1 Mbps έως 3 Mbps. Το πρότυπο Bluetooth 1.0 έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps ενώ το Bluetooth 2.0 έχει 3 Mbps. Ωστόσο οι πραγματικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων είναι πολύ πιο κάτω από αυτά τα όρια. Το Bluetooth 2.0 είναι προς τα πίσω συμβατό με τις συσκευές του Bluetooth 1.0. Το πρότυπο Bluetooth 3.0 + HS εγκρίθηκε από το Bluetooth SIG στις 21 Απριλίου, 2009 και υποστηρίζει θεωρητικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και 24 Mbps.

Αρχικά το μόνο σύστημα διαμόρφωσης που ήταν διαθέσιμο για χρήση ήταν το Gaussian Frequency-Shift Keying (GFSK). Μετά εισήχθησαν νέες διαμορφώσεις, Bluetooth 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate), $\pi/4$ -DQPSK και 8DPSK που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επίσης μεταξύ συμβατών συσκευών. Οι συσκευές που λειτουργούν με το σύστημα διαμόρφωσης GFSK λειτουργούν στην Basic Rate (BR) λειτουργία όπου ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι 1 Mbps. Ο όρος Enhanced Data Rate (EDR) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα συστήματα διαμορφώσεων $\pi/4$ -DPSK και 8DPSK που το κάθε ένα δίνει 2 και 3 Mbps αντίστοιχα. Ο συνδυασμός

αυτών των δυο (BR και EDR) στην ασύρματη τεχνολογία Bluetooth έχει χαρακτηριστεί ως "BR/EDR radio" [12].

Οι εφαρμογές του Bluetooth (Εικόνα 1.8):

- Ασύρματη δικτύωση μεταξύ επιτραπέζιου και φορητού υπολογιστή, σε έναν περιορισμένο χώρο με ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης.
- Ασύρματα περιφερειακά, όπως εκτυπωτές, ποντίκια και πληκτρολόγια, τα οποία επικοινωνούν με κάποιον επιτραπέζιο ή φορητό υπολογιστή.
- Ασύρματη μεταφορά ψηφιακών αρχείων (εικόνες, mp3 κλπ) ανάμεσα σε κινητά τηλέφωνα και PDA.
- Ασύρματα ακουστικά για κινητά τηλέφωνα και Smartphone.
- Ιατρικές εφαρμογές – δοκιμάζονται συσκευές από εταιρίες που παρέχουν ηλεκτρονικές συσκευές προχωρημένης ιατρικής.
- Ορισμένοι δέκτες GPS (Global Positioning System) μεταφέρουν πληροφορίες NMEA μέσω Bluetooth.
- Ασύρματη τηλεφωνία στο αυτοκίνητο: Το Bluetooth δίνει τη δυνατότητα σε χρήστες καταλλήλως εξοπλισμένων κινητών τηλεφώνων να χρησιμοποιούν κάποιες βασικές λειτουργίες τους με ασύρματα ακουστικά. Ανάλογο σύστημα υπάρχει ενσωματωμένο και σε κράνη οδηγών μοτοσικλέτας, επιτρέποντας τη συνομιλία κατά την οδήγηση.
- Απομακρυσμένος έλεγχος συσκευών, όπου έως την εμφάνιση του Bluetooth χρησιμοποιούνταν τεχνολογία υπέρυθρων ακτινών.



Εικόνα 1.8. Συσκευές με Bluetooth [13]

1.4.6. IR

Η ανακάλυψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας, αποδίδεται στο Γουίλιαμ Χέρσελ στις αρχές του 19ου αιώνα ο οποίος χρησιμοποίησε ένα πρίσμα για να διαθλάσει το φως από τον ήλιο και ανίχνευσε τις υπέρυθρες, πέρα από το κόκκινο μέρος του φάσματος, μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας που καταγραφόταν σε ένα θερμόμετρο. Ένωσε έκπληξη για το αποτέλεσμα και το ονόμασε «Calorific Rays» .

Οι υπέρυθρες (IR - Infrared) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος μεταξύ 0,7 και 300 μικρόμετρα, το οποίο ισοδυναμεί με ένα φάσμα συχνοτήτων μεταξύ περίπου 1 και 430 THz. Τα μήκη κύματος του IR είναι μεγαλύτερα από αυτά του ορατού φωτός, αλλά μικρότερα από αυτά των μικροκυμάτων ακτινοβολίας terahertz [14].

Οι υπέρυθρες χρησιμοποιούνται στα περισσότερα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου τηλεόρασης [15]. Οι υπέρυθρες επικοινωνίες είναι αρκετά αξιόπιστες και δεν κοστίζουν πάρα πολύ για να ενσωματωθούν σε μια συσκευή, αλλά υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα. Πρώτον, οι υπέρυθρες είναι μια τεχνολογία που απαιτεί «οπτική επαφή». Το δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι οι υπέρυθρες είναι σχεδόν πάντα μια τεχνολογία "ένα προς ένα".

Αυτές οι δυο ιδιότητες των υπέρυθρων μπορούν ταυτόχρονα να αποτελέσουν και πλεονέκτημα. Επειδή οι υπέρυθροι πομποί και δέκτες πρέπει να παρατάσσονται ο ένας απέναντι από τον άλλον οι παρεμβολές μεταξύ συσκευών είναι πολύ ασυνήθιστο φαινόμενο (Εικόνα 1.9). Ο ένας-προς-έναν χαρακτήρας της υπέρυθρης επικοινωνίας είναι χρήσιμος στο ότι μπορείτε να βεβαιωθούμε ότι το μήνυμα πηγαίνει μόνο στο δέκτη που εμείς επιθυμούμε ακόμη και σε ένα δωμάτιο γεμάτο με υπέρυθρους δέκτες.



Εικόνα 1.9. Συσκευές που χρησιμοποιούν υπέρυθρες [15]

1.4.7. Zigbee

Το ZigBee είναι μια ασύρματη τεχνολογία που αναπτύχθηκε ως ένα ανοικτό παγκόσμιο πρότυπο για την αντιμετώπιση των ιδιαίτερων αναγκών του χαμηλού κόστους και της χαμηλής ισχύος ασύρματων δικτύων. Το πρότυπο ZigBee λειτουργεί στη φυσική ασύρματη προδιαγραφή IEEE 802.15.4 και λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των 2.4 GHz, 900 MHz και 868 MHz.

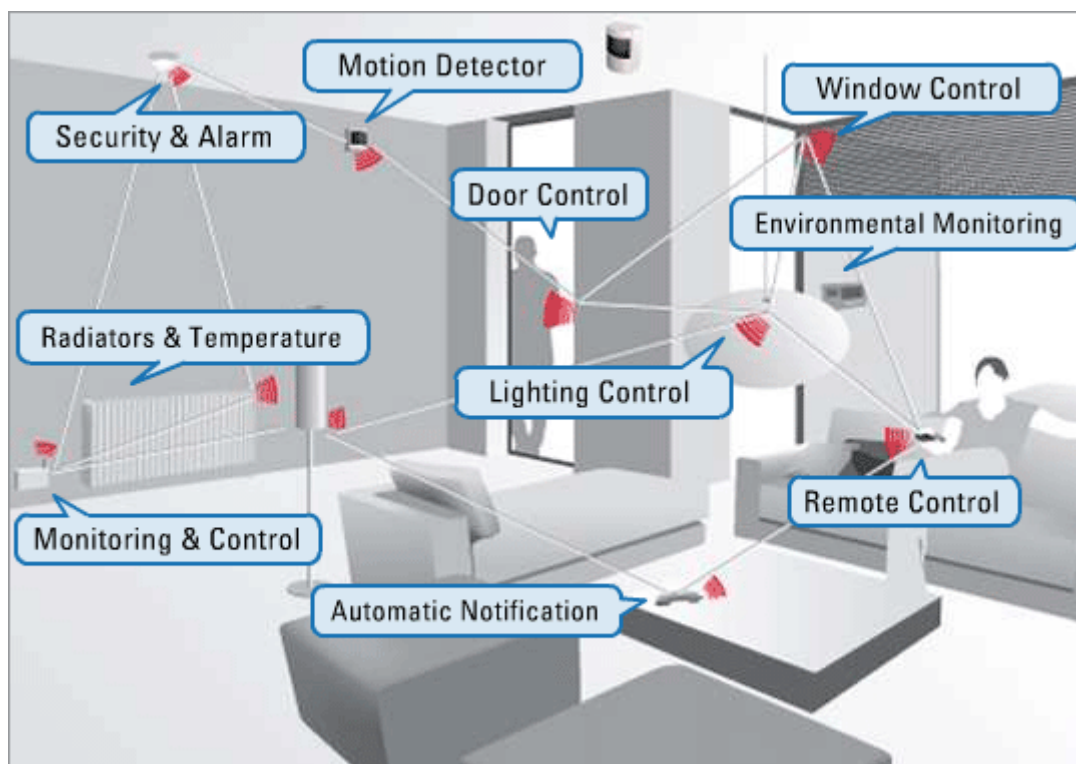
Το πρότυπο IEEE 802.15.4-2003 απευθύνεται σε Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), όπως οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας που εμφανίζουν την κατανάλωση στο σπίτι, και είδη ηλεκτρονικού εξοπλισμού με μικρής εμβέλειας ασύρματη σύνδεση. Η τεχνολογία που ορίζεται από την προδιαγραφή ZigBee προορίζεται να είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από άλλες WPANs τεχνολογίες, όπως είναι το Bluetooth. Το ZigBee απευθύνεται σε RF εφαρμογές που απαιτούν ένα χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, και ασφαλή δικτύωση.

Οι προδιαγραφές 802.15.4 στις οποίες βασίζεται η λειτουργία της στοίβας ZigBee κέρδισε επικύρωση από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) το 2003. Το ZigBee είναι ένα χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, πρότυπο ασύρματης δικτύωσης πλέγματος. Το χαμηλό κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία να αναπτυχθεί ευρέως στις ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης. Επιπλέον, η χαμηλή ισχύς της χρήσης της τεχνολογίας επιτρέπει να έχουμε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με μικρότερες μπαταρίες. Τέλος, η δικτύωση πλέγματος παρέχει υψηλή αξιοπιστία και μεγαλύτερο εύρος.

Το ZigBee έχει αναπτυχθεί για να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση για ασύρματη δικτύωση μεταξύ πολλαπλών συσκευών χαμηλής κατανάλωσης (Εικόνα 1.10). Στη βιομηχανία το ZigBee χρησιμοποιείται σαν την επόμενη γενιά αυτοματοποιημένης παραγωγής, με μικρούς πομπούς σε κάθε συσκευή στο πάτωμα, που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών με έναν κεντρικό υπολογιστή. Το νέο αυτό επίπεδο επικοινωνίας επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ZigBee είναι τα εξής [16],[17]:

- Ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από 20 έως 250 Kbps
- Διαφορετικές τοπολογίες δικτύου όπως η αστέρα, point-to-point, point-to-multipoint και η τοπολογία πλέγματος
- Χαμηλός κύκλος λειτουργίας - Παρέχει μεγάλη διάρκεια ζωής στη μπαταρία.
- Κρυπτογράφηση AES (Advanced Encryption Standard) 128-bit για ασφαλείς συνδέσεις δεδομένων
- Ασφάλεια πολλαπλών επιπέδων
- Energy Detection (ED)
- Link Quality Indication (LQI)



Εικόνα 1.10. Εφαρμογές της τεχνολογίας ZigBee [18]

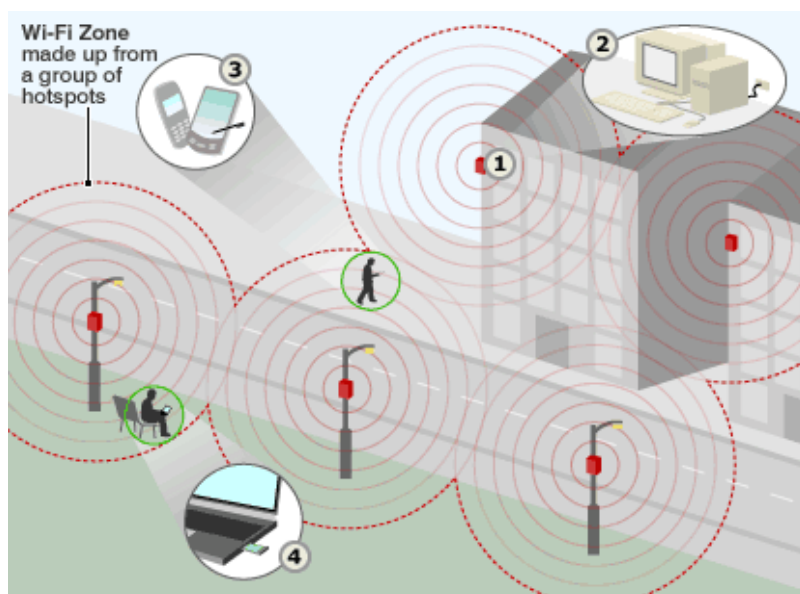
1.4.3. Wi-Fi

Σε αντίθεση με το 3G, το Wi-Fi μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών και είναι μια τεχνολογία που σχεδιάστηκε για να παρέχει ευρυζωνική κάλυψη σε τοπικά δίκτυα.

Το Wi-Fi βασίζεται στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.11 και αυτή περιλαμβάνει το 802.11b (το πιο δημοφιλές, στα 11 Mbps, με εμβέλεια έως και 100 μέτρα), το 802.11a (με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 54 Mbps, αλλά με μικρότερη εμβέλεια από το 802.11b), το 802.11g (που συνδυάζει την ταχύτητα του "a" με την εμβέλεια του "b") και το 802.11n (το πιο πρόσφατο πρότυπο με μια σημαντική αύξηση της μέγιστης ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων από τα 54 Mbps στα 250 Mbps).

Το Wi-Fi έχει γίνει το κύριο πρότυπο για "last mile" ευρυζωνική σύνδεση σε σπίτια, γραφεία και δημόσιους χώρους (hotspots). Τα τελευταία χρόνια δήμοι και τοπικές κοινότητες σε όλο τον κόσμο έχουν αναλάβει την πρωτοβουλία να εγκαταστήσουν

περισσότερα hotspots για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης σε διάφορα σημεία στις πόλεις καθώς και σε αγροτικές περιοχές (Εικόνα 1.11).



Εικόνα 1.11. Δίκτυο Wi-Fi [19]

1.4.9. HiperLAN

Το HiperLAN (High Performance Radio LAN) είναι ένα πρότυπο WLAN και πρόκειται για μια ευρωπαϊκή εναλλακτική λύση για το πρότυπο IEEE 802.11 από το European Telecommunications Standards Institute (ETSI) [20]. Στο ETSI τα πρότυπα καθορίζονται από το σχέδιο BRAN (Broadband Radio Access Networks) και υπάρχουν δύο προδιαγραφές, HIPERLAN/1 και HIPERLAN/2 οι οποίες υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης από 6 έως 54 Mbps, με εμβέλεια από 100 έως 300 μέτρα, αντιστοίχως.

Το HiperLAN/1 που τυποποιήθηκε το 1996 υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 24Mbps ενώ το HiperLAN/2 τυποποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 2000 και υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 54Mbps. Αμφότερες οι εκδόσεις του HiperLAN χρησιμοποιούν τη συχνότητα των 5GHz, η οποία στην Αμερική και στην Ιαπωνία είναι ελεύθερη και στην Ευρώπη έχει επισήμως παραχωρηθεί για χρήση από τα ασύρματα δίκτυα, με αποτέλεσμα αφενός μεν να μη δημιουργούνται προβλήματα με τα δίκτυα που τρέχουν στα 2,4GHz και αφετέρου οι συσκευές HiperLAN να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου χωρίς τροποποιήσεις. Μια άλλη ιδιαιτερότητα του

HiperLAN είναι επίσης το ad hoc roaming, η δυνατότητα δηλαδή της αυτόματης προώθησης των δεδομένων από access point σε access point σε περίπτωση που ο παραλήπτης δεν βρίσκεται στο βεληνεκές του αποστολέα. Εκτός από αυτό, η υπεροχή στην ταχύτητα και η δυνατότητα QoS (Quality of Service) που μόνο το HiperLAN έχει από τα πρότυπα ασύρματης δικτύωσης. Με το QoS μπορούν τα πακέτα δεδομένων να κατηγοριοποιούνται και να αποκτούν διαφορετική σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το είδος τους. Έτσι, τα πακέτα που αφορούν ένα video π.χ., μπορεί να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα κατά τη μεταφορά, με αποτέλεσμα την πιο ομαλή εμφάνισή του. Το HiperLAN/1 χρησιμοποιεί στο φυσικό επίπεδο τις διαμορφώσεις FSK και GMSK ενώ το HiperLAN/2 χρησιμοποιεί τις διαμορφώσεις BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ή 64QAM. Το HiperLAN/2, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα πρότυπα, είναι συμβατό με μια τεράστια ποικιλία δικτύων γιατί, εκτός από το να συνδέεται με δίκτυα Ethernet, έχει τη δυνατότητα και για μεταφορά πακέτων IP, Firewire, ATM (Asynchronous Transfer Mode), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) κ.ά. Δυστυχώς η ανάπτυξη των προτύπων HiperLAN έχει σταματήσει και κάποια χαρακτηριστικά τους έχουν ενσωματωθεί στο πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης για τοπικά δίκτυα IEEE 802.11

Χαρακτηριστικά του HiperLAN/1 [21]:

- Μικρή εμβέλεια 50m
- Χαμηλή κινητικότητα - 1.4 m/s
- Δίκτυα με υποδομή και χωρίς υποδομή
- Υποστήριξη ασύγχρονης κίνησης

Χαρακτηριστικά του HiperLAN/2:

- Υψηλή ταχύτητα μετάδοσης
- Υποστήριξη Quality of Service (QoS)
- Αυτόματη κατανομή συχνοτήτων
- Υποστήριξη ασφάλειας
- Υποστήριξη της κινητικότητας
- Ανεξαρτησία δικτύου και εφαρμογών
- Εξοικονόμηση ενέργειας

1.4.2. 3G

Η κινητή τηλεφωνία έχει διεισδύσει για τα καλά στη ζωή μας, καθιστώντας το κινητό τηλέφωνο απαραίτητο εργαλείο για όλους μας. Νέες υπηρεσίες δημιουργούνται συνεχώς από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για να καλύψουν όλο και περισσότερες ανάγκες και να παρέχουν νέες ευκολίες στους χρήστες. Μια από αυτές τις τεχνολογίες είναι το 3G.

Η πρώτη γενιά (1G) εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 80 με την εμπορική ανάπτυξη των κυβελοειδών δικτύων της Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Τα πρώτα δίκτυα AMPS χρησιμοποιούσαν Frequency Division Multiplexing Access (FDMA) για να μεταφέρουν την αναλογική φωνή δια μέσου καναλιών στη ζώνη των 800MHz [22].

Η δεύτερη γενιά (2G), εμφανίστηκε τη δεκαετία του 90, όταν οι διαχειριστές κινητής τηλεφωνίας ανέπτυξαν δύο ανταγωνιστικά πρότυπα ψηφιακής φωνής. Στη Βόρεια Αμερική, ορισμένοι διαχειριστές υιοθέτησαν το IS-95, το οποίο χρησιμοποιεί Code Division Multiple Access (CDMA) για να πολυπλέξει έως και 64 κλήσεις ανά κανάλι μετάδοσης στη ζώνη των 800 MHz. Σε όλο τον κόσμο πολλοί διαχειριστές υιοθέτησαν το πρότυπο GSM, το οποίο χρησιμοποιεί TDMA για να πολυπλέξει μέχρι και 8 κλήσεις ανά κανάλι μετάδοσης στα 900 και 1800 MHz.

Η International Telecommunications Union (ITU) όρισε το International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000), ευρύτερα γνωστό ως 3G ή 3ης γενιάς. Το 3G είναι μια παραγωγή προτύπων για κινητά τηλέφωνα και υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας που πληρούν τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών. Ως γενιά χαρακτηρίζεται το σύνολο των ασύρματων τεχνολογιών που επιτρέπουν τη μετάδοση φωνής ή και δεδομένων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Μεταξύ των τεχνολογιών αυτών είναι οι WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), CDMA2000, UMTS και EDGE. Οι υπηρεσίες του 3G περιλαμβάνουν κινητή τηλεφωνία, πρόσβαση στο Internet από κινητά, βιντεοκλήσεις και κινητή τηλεόραση σε ένα κινητό περιβάλλον. Σε σύγκριση με τα παλιότερα πρότυπα 2G και 2.5G, ένα 3G σύστημα πρέπει να επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών φωνής και δεδομένων και παρέχει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων τουλάχιστον 200 kbit/s σύμφωνα με την προδιαγραφή IMT-2000. Οι πρόσφατες κυκλοφορίες 3G, συχνά συμβολίζονται ως 3.5G και 3.75G, και παρέχουν επίσης κινητή ευρυζωνική πρόσβαση πολλών Mbps για φορητούς υπολογιστές και smartphones.

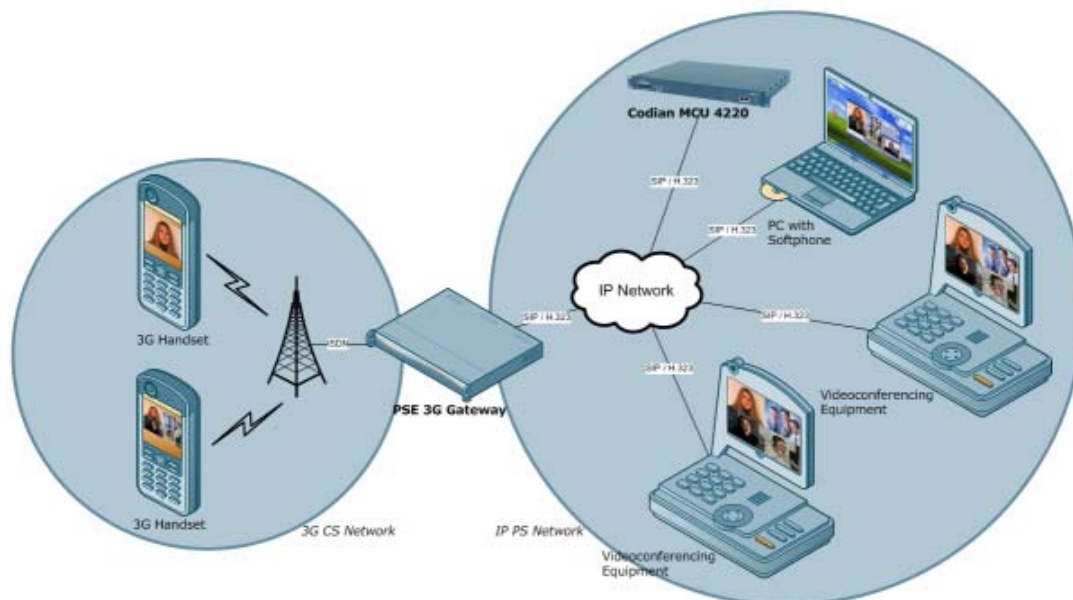
Το εμπορικό σήμα 3G (Εικόνα 1.12) περιλαμβάνει τα ακόλουθα πρότυπα:

- Το σύστημα UMTS διατέθηκε το 2001, τυποποιήθηκε από την 3GPP και χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Ευρώπη, την Ιαπωνία, την Κίνα (ωστόσο με μια διαφορετική ασύρματη διεπαφή) και άλλες περιοχές που κυριαρχεί η υποδομή GSM του συστήματος 2G. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν συνήθως τα υβριδικά πρωτόκολλα UMTS και GSM. Αρκετές από τις διεπαφές που προσφέρονται μοιράζονται την ίδια υποδομή:
 - Η ασύρματη διεπαφή W-CDMA που είναι και η πιο διαδεδομένη.
 - Η ασύρματη διεπαφή TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) που διατέθηκε στο εμπόριο το 2009 και μόνο στην Κίνα.
 - Η τελευταία έκδοση του UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), το HSPA+ (High Speed Packet Access) που μπορεί να προσφέρει μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στο downlink έως και 56 Mbps (28 Mbps σε υφιστάμενες υπηρεσίες) και 22 Mbps στο uplink.
- Το σύστημα CDMA2000, άρχισε να διατίθεται το 2002, τυποποιήθηκε από την 3GPP2, και χρησιμοποιήθηκε κυρίως στη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Κορέα και μοιραζόταν την ίδια υποδομή με το πρότυπο IS-95 του συστήματος 2G. Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν συνήθως τα υβριδικά πρωτόκολλα CDMA2000 και IS-95. Η τελευταία έκδοση του η EVDO (Evolution-Data Optimized) Rev B προσφέρει μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 14.7 Mbps στο downstream.

Τα παραπάνω συστήματα και οι ασύρματες διεπαφές βασίζονται σε συγγενικά φάσματα τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης. Το πρότυπο GSM/EDGE (2.9G), τα ασύρματα τηλέφωνα DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) και το πρότυπο του κινητού WiMAX πληρούν επισήμως τις προϋποθέσεις IMT-2000 και έχουν εγκριθεί ως πρότυπα 3G από την ITU. Αυτά συνήθως δεν χαρακτηρίζονται με την επωνυμία 3G, και βασίζονται σε εντελώς διαφορετικές τεχνολογίες .

Κάθε 10ετία από το 1981/1982 που εισήχθησαν τα συστήματα 1G εμφανίζεται και μια νέα γενιά των κυτταρικών προτύπων. Κάθε γενιά χαρακτηρίζεται από νέες ζώνες

συχνοτήτων, υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και μη συμβατή προς τα πίσω τεχνολογία μετάδοσης.



Εικόνα 1.12. Τεχνολογία 3G [23]

1.4.4. WiMAX

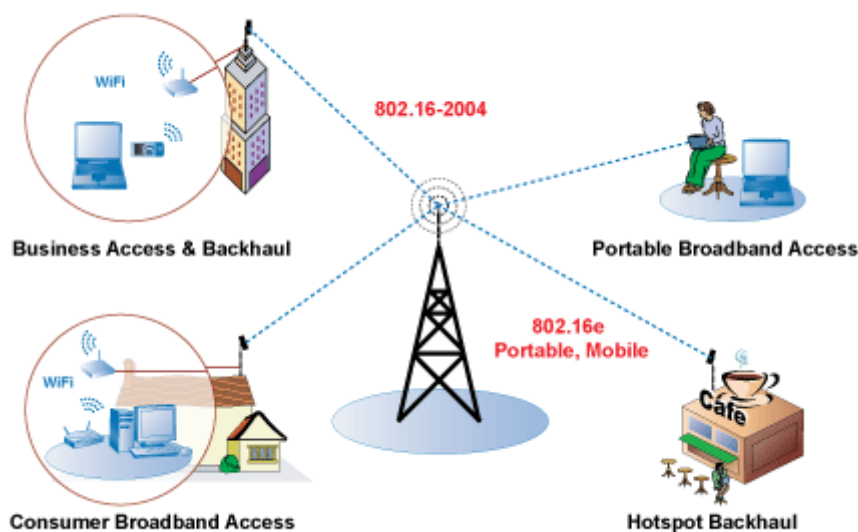
Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) έχει την προοπτική να αντικαταστήσει έναν μεγάλο αριθμό των υπαρχόντων τηλεπικοινωνιακών δομών καθώς μπορεί να αντικαταστήσει τα τηλεφωνικά χάλκινα ενσύρματα δίκτυα και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (Εικόνα 1.13).

Η τεχνολογία WiMAX (802.16d για σταθερό WiMAX και 802.16e για κινητό WiMAX) έχει καταφέρει να καταστήσει δυνατή την κινητικότητα και να μειώσει την εξάρτηση από τις ενσύρματες συνδέσεις. Το WiMAX είναι ο σύντομος όρος για το πρότυπο IEEE 802.16, επίσης γνωστό ως air interface για σταθερά ασύρματα συστήματα ευρυζωνικής πρόσβασης. Είναι ένα πρωτόκολλο τηλεπικοινωνιών που παρέχει σταθερή και πλήρως κινητή πρόσβαση στο Internet. Η τρέχουσα αναθεώρηση WiMAX προσφέρει έως και 40 Mbps και με την ενημερωμένη έκδοση IEEE 802.16m που αναμένεται, θα προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 1 Gbit/s. Το όνομα "WiMAX" δημιουργήθηκε από το WiMAX Forum, το οποίο ιδρύθηκε τον

Ιούνιο του 2001 για την προώθηση της συμμόρφωσης με το πρότυπο και τη διαλειτουργικότητα του. Το Forum περιγράφει το WiMAX, ως «μια τεχνολογία βασισμένη σε πρότυπα που επιτρέπει την παράδοση last mile ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης ως μια εναλλακτική λύση στο cable και στο DSL".

Η αρχική έκδοση του προτύπου 802.16, εγκρίθηκε από το IEEE το 2002, λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων 10 - 66 GHz και απαιτεί την χρήση πύργων WiMAX που χρησιμοποιούν ένα Line-Of-Sight (LOS), microwave link για να συνδεθούν. Η επέκταση 802.16a, που επικυρώθηκε το Μάρτιο του 2003, δεν απαιτεί line-of-sight μετάδοση και επιτρέπει την χρήση χαμηλότερων συχνοτήτων (2 - 11 GHz). Παρέχει εμβέλεια 50 χιλιομέτρων και μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 70Mbps ενώ μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών. Μετά την έκδοση του αρχικού προτύπου δημιουργήθηκαν και αναμένεται να δημιουργηθούν πολλές επεκτάσεις οι οποίες καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες:

- 802.16b - Quality of Service (QoS).
- 802.16c - Διαλειτουργικότητα.
- 802.16d - Διορθώνει θέματα που δεν κάλυπτε το 802.11c, το οποίο είναι το πρότυπο για την ανάπτυξη σημείων πρόσβασης (access points) και προβλέπει ένα προφίλ συστήματος για 10-63 GHz.
- 802.16e - Υποστήριξη για το κινητό WiMAX.
- 802.16k - Γεφύρωση των 802.16 (Τροποποίηση του IEEE 802.1D).
- 802.16j - Multihop relay.
- 802.16h - Η βελτίωση των μηχανισμών για τη συνύπαρξη License-Exempt λειτουργιών.
- 802.16m - Θα βασίζεται στην τεχνολογία του 802.16e και θα προσφέρει τετραπλάσια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από το υπάρχον πρότυπο.
- 802.16n – Ανώτερης αξιοπιστίας δίκτυα.



Εικόνα 1.13. Δίκτυο WiMAX [24]

1.4.8. WiBro

Η Νότια Κορέα έχει σίγουρα ένα πλεονέκτημα στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, είτε πρόκειται για ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ή για 3G. Η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο είναι ευρέως διαδεδομένη μέσω DSL, cable και Wi-Fi. Η Νότια Κορέα οδήγησε επίσης την παγκόσμια αγορά γρήγορα στην εμπορευματοποίηση των 3G υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, όπως είναι το CDMA2000, μια ταχύτερη έκδοση του Code Division Multiple Access. Όπως και οι Ηνωμένες Πολιτείες, είναι ένα από τα λίγα κράτη να χρησιμοποιούν το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας CDMA πιο έντονα από ότι το πιο διαδεδομένο GSM.

Τον Φεβρουάριο του 2002, η Κορεατική κυβέρνηση διέθεσε 100 MHz ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στη ζώνη των 2.3 - 2.4 GHz. Το πρότυπο TTA PG302 BWA εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2004 από τον TTA (Telecommunications Technology Association, ο Κορεάτικος οργανισμός τυποποίησης) και είναι γνωστό ως WiBro (Wireless Broadband). Το πρότυπο αυτό έχει την υποστήριξη των ανθρώπων που οδηγούν στην κορεατική βιομηχανία τηλεπικοινωνιών [25].

Αρχικά υπήρξε ανταγωνιστής με το WiMAX μέχρι που έφτασαν σε μια συμφωνία το Νοέμβριο του 2004 ενώ το 802.16e ήταν ακόμα στο στάδιο της προετοιμασίας. Αυτή η συμφωνία ήταν ανάμεσα στους χρηματοδότες του 802.16 (συμπεριλαμβανομένης

και της Intel) και τους χρηματοδότες του WiBro ώστε να διατίθενται WiBro προϊόντα που έχουν πιστοποιηθεί ως WiMAX εξοπλισμός. Ως εκ τούτου το WiBro θα μπορούσε να προσφέρει τις ίδιες δυνατότητες και χαρακτηριστικά, με το κινητό WiMAX, για αυτό και θεωρήθηκε ως το Mobile WiMAX της Κορέας

Οι άδειες του WiBro ανατέθηκαν στην Κορέα, τον Ιανουάριο του 2005. Οι τρεις πάροχοι σταθερής τηλεφωνίας που τους χορηγήθηκε άδεια από την νοτιοκορεατική κυβέρνηση για την εμπορική εκμετάλλευση του WiBro ήταν οι Korea Telecom (KT), SK Telecom (SKT) και Hanaro Telecom. Ωστόσο τον Απρίλιο του 2005 η Hanaro Telecom εγκατέλειψε το σχέδιο της για εκμετάλλευση του WiBro φοβούμενη ότι οι επενδύσεις που θα έκανε δεν θα έφερναν και τα προσδοκώμενα κέρδη και έτσι επέστρεψε την άδεια WiBro που είχε.

Το WiBro χρησιμοποιεί Αμφίδρομη Επικοινωνία με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Duplex - TDD), σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με ορθογώνια διαίρεση συχνοτήτων (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - OFDMA) και εύρος ζώνης καναλιού 8.75 MHz. Επινοήθηκε για να υπερβεί τους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων στα κινητά τηλέφωνα (π.χ. CDMA 1x) και να προσθέσει την κινητικότητα, στην ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο (π.χ. ADSL ή Wireless LAN).

Οι σταθμοί βάσης του WiBro θα προσφέρουν μια συνολική ρυθμοαπόδοση δεδομένων 30 - 50 Mbps ανά φορέα και θα καλύπτει μια περιοχή με ακτίνα 1-5 χιλιόμετρα και έτσι θα επιτρέπει τη φορητή πρόσβαση στο διαδίκτυο. Πιο αναλυτικά, θα παρέχει την κινητικότητα για φορητές συσκευές έως 120 km/h (74.5 μίλια/ώρα) σε σύγκριση με το Wireless LAN που έχει κινητικότητας έως την ταχύτητα βηματισμού και τις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας που έχουν κινητικότητα έως και 250 km/h. Από τις δοκιμές που έγιναν κατά τη διάρκεια της συνόδου κορυφής APEC στην πόλη Μπουσάν στα τέλη του 2005, η πραγματική εμβέλεια και η ταχύτητα ήταν αρκετά χαμηλότερα από αυτούς τους αριθμούς. Το WiBro (Εικόνα 1.14) παρέχει ρυθμούς μετάδοσης downstream μεταξύ 1 και 3 Mbps και μεταξύ 128 και 512 Kbps για upstream. Ο χρόνος απόκρισης είναι περίπου 150 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η τεχνολογία αυτή παρέχει επίσης Quality of Service (QoS). Ενώ το WiBro είναι αρκετά ακριβές όσον αφορά τις απαιτήσεις του από τη χρήση του ραδιοφάσματος στην σχεδιασμού του εξοπλισμού, το WiMAX αφήνει ένα μεγάλο μέρος αυτού, στο πάροχο του εξοπλισμού, παρέχοντας του επαρκείς πληροφορίες για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των σχεδίων.



Εικόνα 1.14. WiBro/Wi-Fi/WiMAX Router [26]

1.4.10. LTE

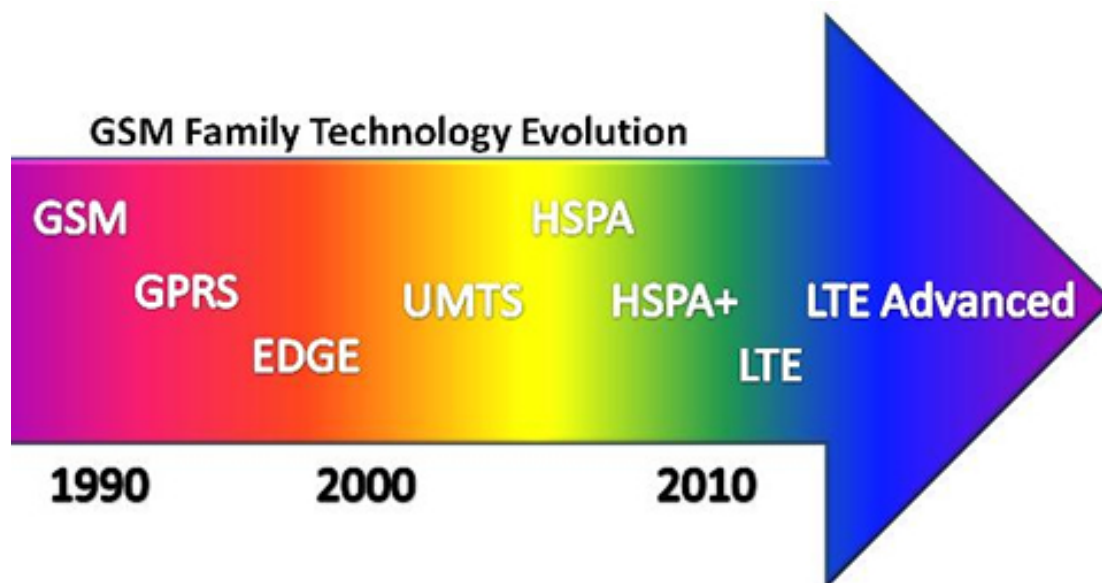
Το 3GPP Long Term Evolution (LTE), είναι το πιο πρόσφατο πρότυπο στον τομέα των mobile τεχνολογιών δικτύου που παρήγαγε τις τεχνολογίες δικτύων GSM / EDGE και UMTS / HSPA. Πρόκειται για ένα έργο του 3rd Generation Partnership Project (3GPP) , που λειτουργεί κάτω από ένα όνομα εμπορικού σήματος από μία από τις οργανώσεις στο πλαίσιο της σύμπραξης, το European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

Το LTE αναφέρθηκε για πρώτη φορά από την NTT DoCoMo της Ιαπωνίας και έχει υιοθετηθεί ως διεθνές πρότυπο καθώς η τυποποίηση του έχει φθάσει σε προχωρημένο στάδιο.

Οι εταιρίες MetroPCS και Verizon Wireless στις Ηνωμένες Πολιτείες και διάφοροι άλλοι φορείς ανακοίνωσαν τα σχέδιά τους, αρχής γενομένης από το 2009, να μετατρέψουν τα δίκτυά τους σε LTE. Η πρώτη παγκοσμίως γνωστή διαθέσιμη υπηρεσία LTE ξεκίνησε η TeliaSonera στη Σκανδιναβία στις δύο σκανδιναβικές πρωτεύουσες Στοκχόλμη και το Όσλο στις 14 Δεκεμβρίου 2009 ακολουθούμενη από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία το 2010. Το 2011 αναμένεται να αναπτυχθούν περισσότερα πρώτης έκδοσης δίκτυα LTE σε παγκόσμιο επίπεδο ως φυσική εξέλιξη των διαφόρων 2G και 3G συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων του

Global System for Mobile communications και του Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) (3GPP καθώς και 3GPP2). Το LTE αποτελεί μια σειρά από βελτιώσεις στο Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), το οποίο εισήχθη στο 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 8. Ένα μεγάλο μέρος του 3GPP Release 8 εστιάζεται στην υιοθέτηση της 4G τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών συμπεριλαμβανομένης μιας all-IP flat αρχιτεκτονικής δικτύου. Το επόμενο βήμα για την εξέλιξη του LTE είναι το LTE Advanced που βρίσκετε στο στάδιο της τυποποίησης στην 3GPP έκδοση 10. Στις 18 Αυγούστου, 2009, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε ότι θα επενδύσει συνολικά 18,000,000 € στην έρευνα για την ανάπτυξη του LTE και του πιστοποιημένου συστήματος 4G, LTE Advanced [27], [28].

Το LTE Advanced είναι ένα προκαταρκτικό πρότυπο κινητών επικοινωνιών, που έχει υποβληθεί επίσημα ως υποψήφιο 4G σύστημα της ITU (International Telecommunications Union). Είναι τυποποιημένο από το 3GPP ως μια σημαντική ενίσχυση του προτύπου LTE.



Εικόνα 1.15. Εξέλιξη τις τεχνολογίας GSM [29]

Το LTE έχει επίσης εγκριθεί από δημόσιους οργανισμούς ασφάλειας στις ΗΠΑ, ως προτιμώμενη τεχνολογία για τη νέα δημόσια ασφάλειας ραδιοσυχνότητα των 700 MHz.

Οι προδιαγραφές του LTE προβλέπουν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων στο downlink τουλάχιστον 100 Mbps, στο uplink τουλάχιστον 50 Mbps και RAN round-trip φορές σε λιγότερο από 10 ms. Το LTE υποστηρίζει κλιμακούμενο εύρος ζώνης μεταφοράς, από 1,4 MHz έως 20 MHz και υποστηρίζει τόσο Frequency Division Duplexing (FDD) όσο και Time Division Duplexing (TDD).

Μέρος του προτύπου LTE είναι το System Architecture Evolution, μια επίπεδη IP-based αρχιτεκτονική δικτύου που προορίζεται για την αντικατάσταση του GPRS Core Network και εξασφαλίζει υποστήριξη και κινητικότητα μεταξύ ορισμένων κληροδοτημένων ή non-3GPP συστημάτων, για παράδειγμα, GPRS και WiMAX, αντίστοιχα.

Τα κύρια πλεονεκτήματα με το LTE είναι η υψηλή ρυθμοαπόδοση, η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, το plug and play, το FDD και το TDD στην ίδια πλατφόρμα, μια βελτιωμένη εμπειρία του τελικού χρήστη και μια απλή αρχιτεκτονική με αποτέλεσμα χαμηλό λειτουργικό κόστος.

Η σημερινή γενιά των κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι συλλογικά γνωστή ως 3G. Αν και το LTE είναι συχνά στο εμπόριο ως 4G, η πρώτη έκδοση του LTE χαρακτηρίστηκε ως 3.9G (πέραν της 3ης γενιάς, αλλά pre-4G) τεχνολογία. Η πρώτη έκδοση του LTE δεν συμμορφώνεται πλήρως με τις απαιτήσεις του IMT Advanced 4G όπως ορίζονται από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU). Η ITU έχει προσκαλέσει την υποβολή των Radio Interface Technologies (RITs) που ακολουθούν τις απαιτήσεις όπως αναφέρονται στην εγκύκλιο. Οι εργασίες του 3GPP για να καθορίσουν μια υποψήφια 4G ασύρματης διεπαφής τεχνολογία ξεκίνησαν στην Release 9 με τη φάση της μελέτης για την τεχνολογία LTE Advanced. Το pre-4G πρότυπο είναι ένα βήμα προς το LTE Advanced, ένα πρότυπο τέταρτης γενιάς (4G) των ασύρματων τεχνολογιών που σχεδιάστηκε για την αύξηση της ικανότητας και της ταχύτητας των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το LTE Advanced είναι συμβατό με το LTE και χρησιμοποιεί τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων, ενώ το LTE δεν είναι συμβατό με τα 3G συστήματα. Οι απαιτήσεις για την τεχνολογία LTE Advanced ορίζονται στην 3GPP Technical Report (TR) 36.913, "Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)". Οι απαιτήσεις αυτές βασίζονται στις απαιτήσεις της ITU για το 4G και για στις ανάγκες των φορέων 3GPP για την προώθηση του LTE. Σημαντικές τεχνικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: [28]

- Συνεχή βελτίωση της ασύρματης τεχνολογίας LTE και της αρχιτεκτονικής.

- Σενάρια και απαιτήσεις επιδόσεων για διαλειτουργικότητα με κληροδοτημένες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης.
- Προς τα πίσω συμβατότητα του LTE-Advanced με το LTE. Ένα τερματικό LTE θα πρέπει να είναι σε θέση να εργάζεται σε ένα δίκτυο LTE Advanced και αντιστρόφως. Τυχόν εξαιρέσεις θα πρέπει να εξετάζονται από το 3GPP.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις αποφάσεις του World Radiocommunication Conference (WRC-07) σχετικά με νέο φάσμα IMT καθώς και τις υφιστάμενες ζώνες συχνοτήτων για να εξασφαλιστεί ότι LTE-Advanced φιλοξενεί γεωγραφικά διαθέσιμο ραδιοφάσμα για εκχώρηση καναλιών πάνω από 20 MHz. Επίσης, οι απαιτήσεις οφείλουν να αναγνωρίζουν τα μέρη του κόσμου όπου δεν είναι διαθέσιμα τα ευρυζωνικά κανάλια.

Ομοίως το 802.16m, «WiMAX 2 », έχει εγκριθεί από την ITU στην οικογένεια IMT Advanced. Το WiMAX 2 έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατό με συσκευές WiMAX 1/1.5.

Στην Ελλάδα η COSMOTE δήλωσε το ενδιαφέρον της να προχωρήσει στην ανάπτυξη πιλοτικών δικτύων LTE στις περιοχές Αμαρουσίου και Χαλανδρίου, όπου βρίσκονται οι τεχνικές υπηρεσίες της εταιρείας. Η εταιρεία μάλιστα έχει ήδη υποβάλει αίτημα για την παροχή της σχετικής άδειας για πιλοτικές δοκιμές από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων.

Τα δίκτυα LTE επιτρέπουν ταχύτητες 100 Mbps για τη λήψη δεδομένων (downlink) και 45 Mbps για την αποστολή (uplink). Με αυτές τις ταχύτητες, που μπορούν να συγκριθούν μόνο με τις ταχύτητες των δικτύων οπτικών ινών, οι καταναλωτές θα μπορούν να απολαμβάνουν απρόσκοπτη πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως High Definition streaming και High Definition video-conferencing, ταχύτατο browsing και αποστολή ή λήψη αρχείων κ.α. Χαρακτηριστικό είναι πως κατά μέσο όρο οι χρήστες θα μπορούν να κατεβάσουν μια HD ταινία σε 2-3 λεπτά.

Συνολικά, η εμπειρία των πελατών θα βελτιωθεί σημαντικά ακόμη και έναντι των δικτύων HSPA και HSPA+, καθώς θα απολαμβάνουν πολλαπλάσιες ταχύτητες και θα έχουν δυνατότητα χρήσης προηγμένων εφαρμογών.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των δικτύων LTE είναι η δυνατότητά τους να λειτουργούν σε πολλές ζώνες συχνοτήτων, προσφέροντας ποιοτική κάλυψη με

βέλτιστο κόστος και σε απομακρυσμένες περιοχές της χώρας, συνεισφέροντας σημαντικά στην ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας. [30]

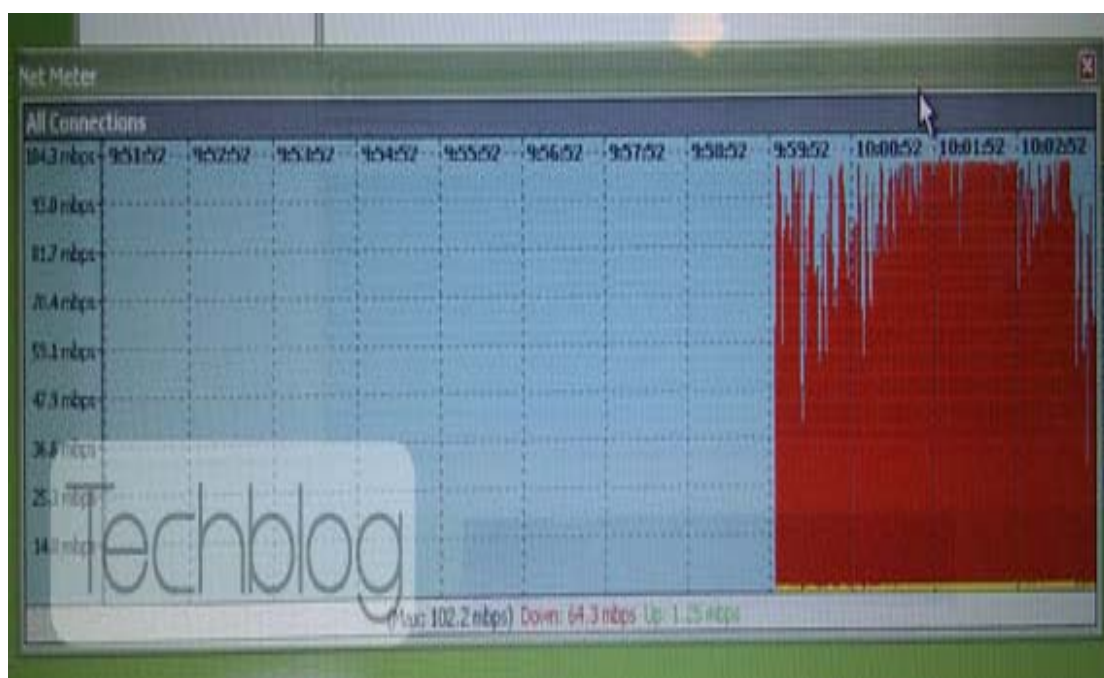
Στα πλαίσια του ετήσιου Συνεδρίου Comm World που διεξήχθη 19/10/2010 στην Αθήνα, οι παρευρισκόμενοι είχαν την ευκαιρία να επισκεφτούν το περίπτερο της Cosmote και να δουν από κοντά σε δράση τις ταχύτητες του LTE (Εικόνες 1.16-1.19). Οι τεχνικοί της Cosmote είχαν στήσει ένα εσωτερικό τοπικό δίκτυο και κατέβαζαν με ρυθμούς έως και 100Mbps χρησιμοποιώντας LTE 4G USB modem της Samsung [31].



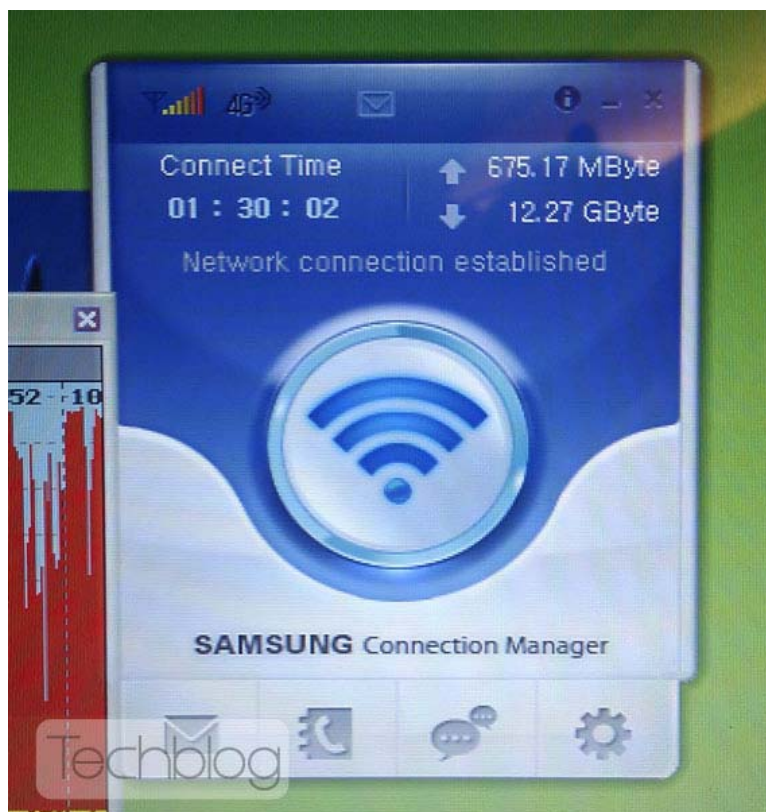
Εικόνα 1.16. Δοκιμή τοπικού δικτύου με LTE modem από την Cosmote [31]



Εικόνα 1.17. LTE 4G USB modem της Samsung [31]



Εικόνα 1.18. Ταχύτητες του εσωτερικού τοπικού δικτύου από την Cosmote [31]



Εικόνα 1.19. Το interface του LTE 4G USB modem της Samsung [31]

Κεφάλαιο 2. WiMAX

Σε μια διαρκώς τεχνολογικά αναπτυσσόμενη κοινωνία τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα αποτελούν ένα αξιόλογο παράδειγμα ανάπτυξης του κλάδου των τηλεπικοινωνιών. Η ασύρματη σύνδεση των κινητών υπηρεσιών αυξήθηκε από 11 εκατομμύρια συνδρομητές παγκοσμίως το 1990 σε 2 δις. το 2005 [32].

Αυτή η αλματώδης ανάπτυξη του διαδικτύου οδήγησε τους χρήστες σε συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για την ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης. Οι εταιρίες παροχής υπηρεσιών διαδικτύου ISPs ανταποκρίθηκαν στις ανάγκες των πελατών τους με την τεχνολογία DSL (Digital Subscriber Line). Ωστόσο η τεχνολογία DSL έχει κάποιους περιορισμούς όσον αφορά την απόδοση αφού αναπτύχθηκε πάνω στις ήδη υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές αλλά και στην κάλυψη ορισμένων περιοχών (ημιαστικών, αραιοκατοικημένων κλπ.) όπου ο αριθμός υποψηφίων πελατών δε θα δικαιολογούσε τη δαπάνη ανάπτυξης της τεχνολογίας και δε θα προσέφερε τα προσδοκώμενα κέρδη στις εταιρίες. Επιπλέον, η λύση της αντικατάστασης των τηλεφωνικών γραμμών με οπτικές ίνες (προσφέροντας υψηλότερες ταχύτητες) θα αύξανε το κόστος της επένδυσης αλλά και το χρόνο υλοποίησης λόγω των απαραίτητων εργασιών. Έτσι άρχισε η αναζήτηση εναλλακτικής πρότασης για την λύση των προβλημάτων όσον αφορά την απόδοση, με την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (Broadband Wireless Access–BWA) να προβάλλει ως η πιο ιδανική.

Σήμερα το διαδίκτυο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Η διείσδυση της ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα στο τέλος του 2008 καταγράφεται με αύξηση κατά 48,1%, η οποία συνεχίστηκε σχεδόν με τους ίδιους ρυθμούς και στο πρώτο πεντάμηνο του 2009. Στο «κλείσιμο» του έτους 2009 ο συνολικός αριθμός των σταθερών ευρυζωνικών γραμμών ανερχόταν σε 1.506.614 παρουσιάζοντας αύξηση κατά 20,2% σε σχέση με το τέλος του πρώτου εξαμήνου του 2008. Επιπλέον σημειώνεται ότι την 1η Ιανουαρίου 2009 μετρήθηκαν και 184.625 ασύρματες ευρυζωνικές συνδέσεις μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας [33].

2.1. Ορισμός του WiMAX

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη αύξηση στο ποσοστό των ασύρματων συνδέσεων και όλο και περισσότεροι χρήστες του διαδικτύου επιλέγουν

το ασύρματο δίκτυο Wi-Fi ως μέσω σύνδεσης στο διαδίκτυο. Μέχρι σήμερα το Wi-Fi επέτρεπε την σύνδεση στο διαδίκτυο σε πολύ περιορισμένη εμβέλεια, γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots) όπως αεροδρόμια και ξενοδοχεία. Αυτά τα προβλήματα ήρθε να λύσει το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) που αποτελεί μια τεχνολογική εξέλιξη του Wi-Fi. Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMAX φθάνει τα 35 χιλιόμετρα. Το WiMAX θα είναι σε θέση να παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο σε μια ολόκληρη πόλη, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρίες παροχής Internet (ISP). Βασισμένη στο πρότυπο IEEE 802.16, η τεχνολογία WiMAX έρχεται να γεφυρώσει το κενό ανάμεσα στις ασύρματες συνδέσεις και τις μεγάλες ταχύτητες των ενσύρματων συνδέσεων. Συχνά αποκαλείται ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο γιατί υπόσχεται ταχύτητες αντίστοιχες με ADSL, Cable και T1 χωρίς καλώδια, σε μακρινές αποστάσεις.

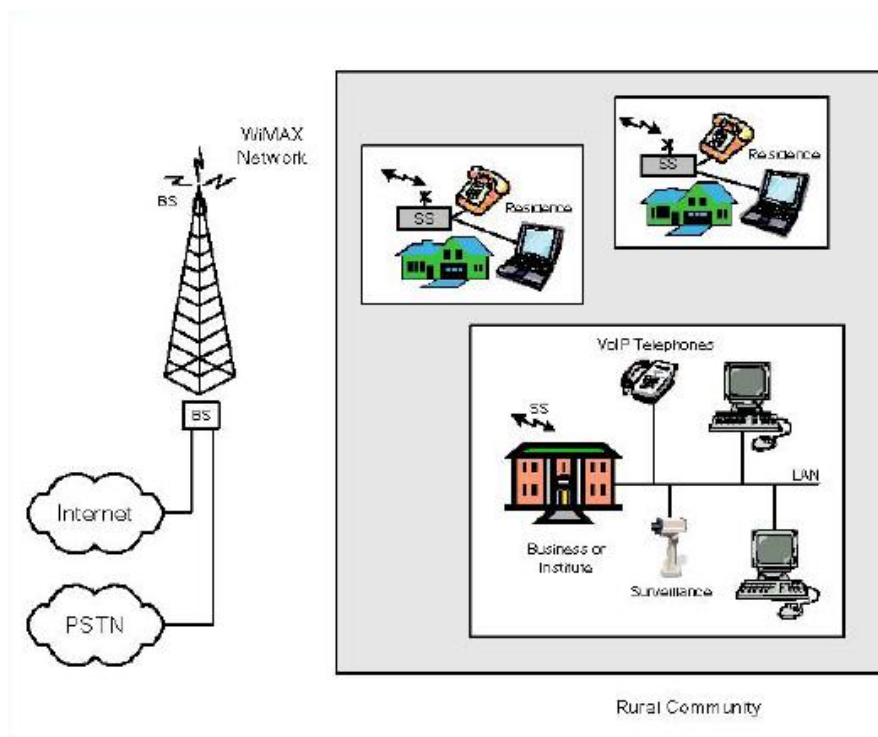
Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μάντα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 100 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 Km 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 50 Mbps [34].

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 πολυδιάθρασης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz, όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί.

Παραλλαγές του προτύπου, που στοχεύουν στους κινητούς χρήστες (802.16e) και στην παροχή QoS (802.16b) είναι ήδη σε εξέλιξη. Διάφοροι προμηθευτές chip,

συμπεριλαμβανομένης και της Intel, εργάστηκαν στο 802.16a σαν επέκταση του προτύπου 802.16 στη ζώνη συχνοτήτων 2-11 GHz για την υποστήριξη NLOS (Non Line of Sight) συνδέσεων. Αρκετοί προμηθευτές που έχουν ασχοληθεί με εξοπλισμό για ευρείας ζώνης ασύρματη πρόσβαση, έχουν εκδηλώσει το ενδιαφέρον τους για το WiMAX και έτσι δραστηριοποιούνται στην κατασκευή προϊόντων συμβατών με το εν λόγω πρότυπο.



Εικόνα 2.1. WiMAX Δίκτυο [35]

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

- **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.
- **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

Οι ταχύτητες μετάδοσης εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος.

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort σε χρήστες που καλύπτονται από το ίδιο Base Station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο Base Station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν αναγκαστικά την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου που ονομάζεται 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.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz. Στις παραπάνω συχνότητες, η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο υποπρότυπο IEEE 802.11c. Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπροτύπου IEEE 802.16a. Τον Ιανουάριο του 2003 το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2-11 GHz όπου στις συχνότητες αυτές ήταν δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού - δέκτη. Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16a. Τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία σήμερα είναι διαθέσιμα στην αγορά ακολουθούν στην μεγαλύτερη τους πλειοψηφία το υποπρότυπο αυτό.

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16d.

Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.11a, c, d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπροτύπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66 GHz.

Το πρότυπο IEEE 802.26-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε ένα κελί το οποίο καλύπτεται από ένα base station . Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του base station η σύνδεση χάνεται. Το υποπρότυπο IEEE 802.16e εισάγει και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από ένα base station σε άλλο. Στο υποπρότυπο αυτό ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120 Km/h.

2.2. IEEE

Το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών μηχανικών) είναι ο μεγαλύτερος τεχνολογικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός παγκοσμίως.

Σκοπός του είναι η προώθηση της επιστήμης και της τεχνολογικής καινοτομίας σε τομείς όπως της Μηχανικής, των Τηλεπικοινωνιών, της Πληροφορικής και της Ενέργειας με στόχο την τεχνολογική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία που προκύπτει από αυτήν. Ακόμα στοχεύει στην ενίσχυση των μελών του με γνωστικά και επαγγελματικά εφόδια ώστε να ηγηθούν σε όλους τους τεχνολογικούς τομείς.

Σήμερα το IEEE αποτελεί τον σημαντικότερο επιστημονικό οργανισμό στο χώρο των νέων τεχνολογιών, δημοσιεύοντας τον πλέον έγκυρο τεχνικό τύπο και ορίζοντας τις εξελίξεις σε όλους τους τεχνολογικούς τομείς.

Το IEEE έχει:

- περισσότερα από 382.000 μέλη σε πάνω από 150 χώρες, το 40% των οποίων βρίσκεται εκτός ΗΠΑ
- περισσότερους από 68.000 φοιτητές μέλη
- 307 τμήματα, ένα εκ των οποίων είναι και το ελληνικό
- περισσότερα από 1150 φοιτητικά παραρτήματα
- 39 κοινότητες (societies) τεχνικού ενδιαφέροντος μεταξύ των οποίων οι "Computer Society" και "Communication Society"

Ακόμα το IEEE:

- εκδίδει το 30% της παγκόσμιας τεχνικής βιβλιογραφίας
- οργανώνει ετησίως περισσότερα από 300 συνέδρια τεχνολογικού και ερευνητικού ενδιαφέροντος
- έχει αναπτύξει περισσότερα από 800 ενεργά τεχνολογικά standard με γνωστότερη τη σειρά πρωτοκόλλων IEEE 802.x για δίκτυα υπολογιστών

2.2.1. Ιστορική Αναδρομή για το IEEE

Η IEEE έχει συσταθεί στην Πολιτεία της Νέας Υόρκης, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1963 από τη συγχώνευση του Institute of Radio Engineers (IRE, ιδρύθηκε το 1912) και το American Institute of Electrical Engineers (AIEE, ιδρύθηκε το 1884). Τα κύριο ενδιαφέρον του AIEE ήταν οι ενσύρματες επικοινωνίες (τηλέγραφος και τηλεφωνία), το φως και τα συστήματα ισχύος. Τον IRE αφορούσε κυρίως η ράδιο-εφαρμοσμένη μηχανική, και δημιουργήθηκε από δύο μικρότερες οργανώσεις, την Society of Wireless and Telegraph Engineers και την Wireless Institute. Με την άνοδο των ηλεκτρονικών κατά τη δεκαετία του 1930, οι ηλεκτρονικοί μηχανικοί συνήθως γίνονταν μέλη της IRE, αλλά οι εφαρμογές της τεχνολογίας ηλεκτρονίων σωλήνα έγιναν τόσο εκτεταμένες που τα τεχνικά όρια που διαφοροποιούσαν την IRE από την AIEE έγιναν δυσδιάκριτα. Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οι δύο οργανώσεις έγιναν όλο και πιο ανταγωνιστικές και το 1961, οι ηγεσίες των δύο αποφάσισαν την συγχώνευση τους. Οι δύο οργανώσεις επίσημα συγχωνεύθηκαν σε μια στην IEEE την 1η Ιανουαρίου 1963.[36]

2.2.2. IEEE Working Group Standardization Bodies

Η ανάπτυξη των μεγάλων αγορών για τις υπηρεσίες ασυρμάτων υπηρεσιών δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητα του επαρκούς φάσματος στο συγκεκριμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων, αλλά επίσης και από τη διαθεσιμότητα των πρωτοκόλλων (standards) που υπάρχουν. Ο κύριος λόγος είναι επειδή οι μεγάλοι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θέλουν να έχουν την επιλογή της αγοράς εξοπλισμού από πολλαπλούς προμηθευτές και όχι από μία μόνο εταιρεία.

Η ύπαρξη των πρωτοκόλλων επίσης βοηθάει τις μικρές επιχειρήσεις να εισέλθουν στην αγορά της τεχνολογίας στις μεγάλες αγορές, μειώνοντας έτσι τα ρίσκα που συνδέονται με την προμήθεια προϊόντων όπως τα chipsets ημιαγωγών, λογισμικό, firmware κτλ.

Τα πρωτόκολλα φαίνονται σαν εθελοντικές συμφωνίες μεταξύ εταιρειών ημιαγωγών και τεχνολογίας, κατασκευαστών εξοπλισμού και παρόχων υπηρεσιών. Μέχρι και κάποια χρόνια πριν, δεν υπήρχε κανένα πρωτόκολλο για ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων. Η αγορά ήταν μικρή, κατακερματισμένη και κυριαρχούμενη από αρκετές ιδιοκτησιακές τεχνολογίες. Η δραματική αύξηση της αγοράς είναι ένα άμεσο

αποτέλεσμα της ανάγκης αρκετών πρωτοκόλλων τα οποία επιτρέπουν την συνεργασία εξοπλισμού από διαφορετικές εταιρείες. Η οικονομική συνέπεια των πρωτοκόλλων είναι ακόμα πιο σημαντική από την απελευθέρωση της αγοράς. Η αγορά όσον αφορά τα τυποποιημένα προϊόντα κατά ένα πρωτόκολλο χαρακτηρίζεται από σημαντικό ανταγωνισμό, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές. Για να υπερκεράσουν αυτήν την τάση, πολλές εταιρείες ψάχνουν τρόπους ώστε να διαφοροποιηθούν μέσα στην αγορά, αλλά παράλληλα να προσφέρουν τα τυποποιημένα κατά το πρωτόκολλο προϊόντα. Γενικά, τα πρωτόκολλα, προωθούν τη δημιουργικότητα, την καινοτομία και την επιχειρηματικότητα.

Αρκετές από τις πιο υψηλές πατέντες για πνευματική ιδιοκτησία στον κόσμο είναι αυτές που καλύπτουν ένα τέτοιο πρωτόκολλο ή μέρος του. Έτσι, η πολιτική πνευματικής ιδιοκτησίας κατά τη δημιουργία ενός πρωτοκόλλου είναι πολύ σημαντική.

Οι ανοιχτοί οργανισμοί, όπως οι οργανισμοί που αναπτύσσουν πρωτόκολλα, σχηματίζονται ώστε να μην ευνοούν καμία εταιρεία, αλλά έχουν ως σκοπό να ωφελήσουν το κοινό καλό. Η IEEE είναι ένα ανοιχτό σώμα ανάπτυξης πρωτοκόλλων. Πριν ένα IEEE πρωτόκολλο υιοθετηθεί, ζητείται από εταιρείες που είναι γνωστό ότι διαθέτουν απαραίτητες πατέντες γι' αυτό, μια επιβεβαίωση ότι η εν λόγω εταιρεία είτε δε θα ενδυναμώσει κάποια από τις τωρινές είτε τις μελλοντικές πατέντες τις (ή μέρος τους) εμποδίζοντας κάποια άλλη εταιρεία, είτε ότι θα διαθέσει άδειες με αποζημίωση ή σε λογικές τιμές σε διάφανη βάση. Δεν υπάρχει εγγύηση από την IEEE ότι ένα πρωτόκολλο δεν παραβιάζει την πνευματική περιουσία τρίτων, ακόμη και αν οι τρίτοι αυτοί δε θέλουν να μοιραστούν τα πνευματικά δικαιώματα. Τώρα, πως ακριβώς οριοθετούνται οι όροι “λογικός” και “διαφανής” είναι θέμα μόνο ενός δικαστηρίου.

Ειδικότερα στην IEEE, τα πρωτόκολλα για τις επικοινωνίες δεδομένων αναπτύσσονται από την κοινότητα IEEE 802, που αποκαλείται επίσης και Επιτροπή Πρωτοκόλλων Τοπικών και Μητροπολιτικών Δικτύων (Local and Metropolitan Area Networks Standards Committee – LMSC) και χορηγείται από την IEEE Computer Society. Η IEEE 802 έχει την ευθύνη της ανάπτυξης και συντήρησης παγκοσμίων πρωτοκόλλων και προτεινόμενων πρακτικών για επικοινωνίες υπολογιστών. Μερικά από τα επιτυχημένα πρωτόκολλα της IEEE 802 είναι:

- IEEE 802.3 ή Ethernet standard

- IEEE 802.5 ή Token Ring standard
- IEEE 802.11 ή Wi-Fi standard

Όλα τα παραπάνω έχουν υιοθετηθεί από την ISO/IEC Joint Technical Committee 1 (JTC1) ως International Standards.

Αν και η IEEE έχει την έδρα της στις Η.Π.Α., υπάρχει τεράστια παγκόσμια αναγνώριση και στήριξη, ειδικά στις διάφορες συνεδριάσεις που οργανώνει και πολλά πρωτόκολλα που εισάγονται από την IEEE αναγνωρίζονται ως παγκόσμια standards. Η κοινότητα IEEE 802 αποτελείται από πολλές ομάδες εργασίας, που οργανώνονται γύρω από σημαντικές εφαρμογές. Τα πρωτόκολλα της IEEE 802 σχετίζονται με το φυσικό στρώμα και το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων, όπως αυτά ορίζονται στο ISO (International Organization for Standardization) Open Systems Interconnections (OSI) reference model. Τα πρωτόκολλα της IEEE 802 χωρίζουν το στρώμα σύνδεσης δεδομένων σε 2 υποστρώματα, το Logical Link Control (LLC) και το Medium Access Control (MAC). Το LLC εισήχθη στο 802.2 και είναι κοινό για όλα τα 802 MACs.

Η ομάδα εργασίας του 802.11 δραστηριοποιήθηκε στη δεκαετία του '90 με εντυπωσιακά αποτελέσματα, καθώς ήταν το πρώτο πρωτόκολλο με τόσο μεγάλη απήχηση στον κόσμο και φυσικά στην αγορά της ασύρματης τεχνολογίας. Η τεχνολογία, όμως, δε μένει στάσιμη και εφόσον το εμπορικό ενδιαφέρον ήταν μεγαλύτερο από ποτέ άλλοτε σχετικά με τις ασύρματες τεχνολογίες, το 1999 δημιουργήθηκαν 2 ακόμα ομάδες εργασίες. Η IEEE 802.15 που δραστηριοποιήθηκε στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα και η IEEE 802.16 που δραστηριοποιήθηκε στα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα και στη λεγόμενη ασύρματη κάλυψη ευρείας ζώνης.

Η συμμετοχή στις ομάδες αυτές είναι ανοιχτή σε όποιον θέλει να συμμετάσχει με οποιονδήποτε ωφέλιμο τρόπο. Δεν επιτρέπεται σε εταιρείες να συμμετέχουν και μόνο μεμονωμένα πρόσωπα δύνανται να ψηφίσουν και να αποφασίσουν. Οι τελευταίοι προέρχονται συνήθως από τις ΗΠΑ, τον Καναδά, την Ευρώπη, την Ιαπωνία και την Αυστραλία. Τα πρωτόκολλα που προκύπτουν από τη μελέτη της ομάδας εργασίας πρώτα γίνονται πρωτόκολλα της IEEE και έπειτα προτείνονται στην επιτροπή της ISO/IEC για αναγνώριση ως παγκόσμιου πρωτοκόλλου. Η εμπορική επιτυχία των 802.11 και 802.15, όπως και οι εργασίες για το 802.16 έχουν αναδείξει την IEEE το πλέον αναγνωρίσιμο σώμα δημιουργίας ασύρματων πρωτοκόλλων.

Το ότι ένα παγκόσμιο πρωτόκολλο υπάρχει, δε σημαίνει απαραίτητα και ότι θα επιτύχει στην αγορά της τεχνολογίας. Η επιτυχία αυτή εξαρτάται όχι μόνο από την ποιότητα τα τεχνολογίας, αλλά επίσης και από εταιρικούς και πολιτικούς λόγους. Έτσι, πρέπει να υπάρχει μια συγκεκριμένη συμπίεση μεταξύ των ενδιαφερομένων εταιρειών και των αντίστοιχων πολιτικών θεμάτων ώστε να υπάρξει ευτυχής έκβαση. Στη βιομηχανία, η συμπίεση αυτή είναι ευκολότερο να επιτευχθεί. Για να γίνει λοιπόν πραγματικότητα η επιτυχία του πρωτοκόλλου, οι εταιρείες δημιουργούν άλλες μορφές βιομηχανικών, αυτή τη φορά, οργανισμών για τα πρωτόκολλα. Τέτοιοι οργανισμοί που είναι συνδεδεμένοι με τα πρωτόκολλα 802.11 και 802.16 είναι οι Wi-Fi και WiMAX. Το εγχείρημα των οργανισμών αυτών περιλαμβάνει δοκιμές για να διαπιστωθεί η διαλειτουργικότητα (interoperability) ανάμεσα στα προϊόντα από διαφορετικές εταιρείες και την προώθηση στην αγορά των προϊόντων που είναι τυποποιημένα κατά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Πιο συγκεκριμένα, θα εξετάσουμε το 802.16 Working Group της IEEE.

Η ομάδα εργασίας 802.16 της IEEE είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη πρωτοκόλλων και την πρόταση πρακτικών πάνω στα ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης. Η ομάδα αυτή δημιουργήθηκε το Μάρτιο του 1999 και έχει αναπτύξει αρκετές εργασίες:

1. Η διεπαφή αέρα (συμπεριλαμβανομένης της MAC και ενός PHY) για τη λειτουργία μεταξύ 10 και 66 GHz.
2. Μια τροποποίηση του IEEE 802.16 που διευκρινίζει τα πρόσθετα φυσικά στρώματα και τις κατάλληλες τροποποιήσεις της MAC για τη λειτουργία μεταξύ 2 και 11 GHz, συμπεριλαμβανομένων των αδειοδοτημένων και μη αδειοδοτημένων ζωνών συχνοτήτων.
3. Τα πρότυπα IEEE 802.16.2 και 802.16.2a, τα οποία παρέχουν μια συνιστώμενη πρακτική για τη συνύπαρξη.
4. Η ανάπτυξη του IEEE 802.16e, για να υποστηρίξει τους κινητούς συνδρομητές.

Επιπλέον, το IEEE 802.16 έχει αναπτύξει την τεκμηρίωση διαλειτουργικότητας, η οποία γίνεται κανονικά έξω από τα πρότυπα IEEE 802.

2.3. WiMAX Forum

Το WiMAX Forum είναι μια μη κερδοσκοπική οργάνωση που δημιουργήθηκε από κατασκευαστές του WiMAX καθώς και από παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με σκοπό να προωθήσει και να πιστοποιήσει την διαλειτουργικότητα ασύρματων ευρυζωνικών προϊόντων συμβατών με το IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN, πρότυπα για μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα (Wireless MAN) [37].

Με έτος έναρξης το 2003 και με ιδρυτικά μέλη τις Intel, Alvarion, ATT, Array Com, Nortel, Motorola, Samsung κ.α. σήμερα αριθμεί πάνω από 350 μέλη, στη λίστα των οποίων περιλαμβάνονται τα κορυφαία ονόματα στο χώρο των κατασκευαστών-τηλεπικοινωνιών-παρόχων δικτύων όπως Nokia, Vodafone, BellSouth, Cisco Systems, Verizon, China Telecom και πολλοί άλλοι [38].

2.3.1. Στόχος του WiMAX Forum

Στόχος του WiMAX Forum είναι να επιταχύνει την συνολική ανάπτυξη του και την επιτάχυνση της εισαγωγής στην αγορά των μητροπολιτικών ευρυζωνικών εφαρμογών για σταθερά, φορητά και κινητά συστήματα καθώς και την ανάπτυξη της αγοράς για πρότυπα, διαλειτουργικότητα και BWA λύσεις. Ο μόνος τρόπος για να επιτευχτεί αυτό είναι με την διεξαγωγή ελέγχων που γίνονται σε ανεξάρτητα εργαστήρια και με την πιστοποίηση από το Forum ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν με βάση τα πρότυπα και ότι είναι εγγυημένη η διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Το WiMAX Forum, βρίσκεται σε συνεργασία με εταιρείες-μέλη της για την ανάπτυξη τυποποιημένων προφίλ και διαλειτουργικών προϊόντων WiMAX γύρω από ειδικές ζώνες φάσματος, κυρίως 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz και 5.8 GHz [39]. Αξίζει να σημειωθεί ότι το εργαστήριο Cetecom στην Ισπανία ήταν το πρώτο που πραγματοποίησε ελέγχους σε εξοπλισμό WiMAX ενώ το εργαστήριο Telecommunications Technology Association (TTA) στην Κορέα λειτουργεί ως δεύτερο εργαστήριο πιστοποίησης. Σήμερα τα εργαστήρια πιστοποίησης που υπάρχουν είναι τα εξής [40]:

1. Spain - AT4wireless in Malaga
2. Korea - Telecommunications Technology Association
3. Taiwan – Bureau Veritas ADT, Taoyuan Branch

4. China - China Academy of Telecommunications Research in Beijing
5. Taiwan - (Telecom Technology Center / Compliance Certification Services in Taipei
6. U.S. - AT4wireless in Virginia, USA

2.3.2. WiMAX Forum Certified

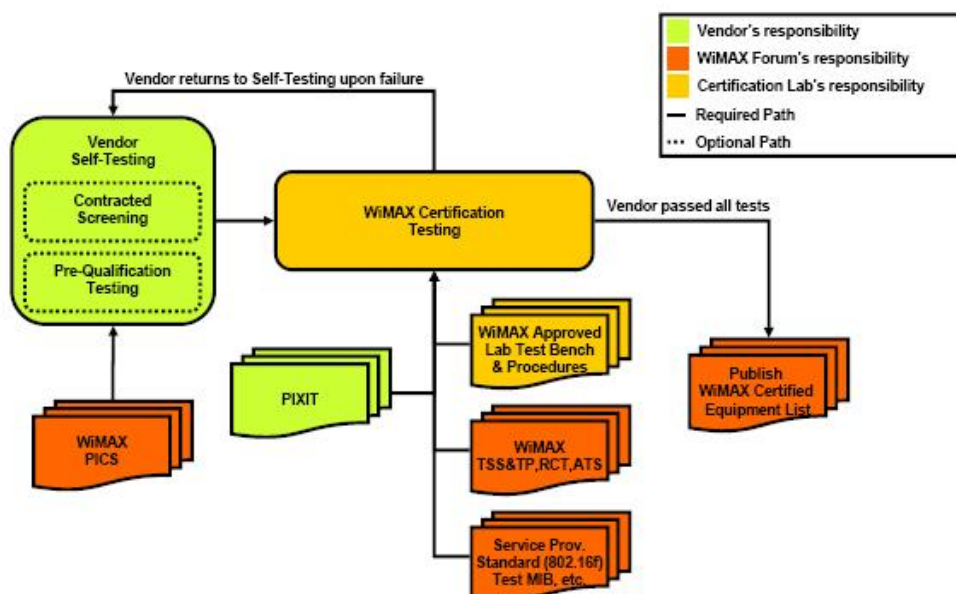
Το πρόγραμμα πιστοποίησης WiMAX Forum Certified ξεκίνησε στα μέσα του 2005. Το WiMAX Forum Certified για τον εξοπλισμό σχεδιάστηκε και είναι διαμορφωμένο για ένα εύρος σεναρίων που αφορούν την ανάπτυξη της ασύρματης ευζωνικής πρόσβασης [41]. Στα σενάρια αυτά περιλαμβάνεται η δυνατότητα για μεγαλύτερο εύρος (έως και 50 χιλιόμετρα), με χαμηλή πυκνότητα, Line-Of-Sight (LOS) υπαίθριες συνθήκες και σε μικρότερη κλίμακα για να Non-Line-Of-Sight (NLOS) αναπτύξεις σε γεμάτα αστικά περιβάλλοντα. Οι υπηρεσίες μπορεί να είναι σταθερές, φορητές ή κινητές ή κάποιος συνδυασμό αυτών. Μέσα σ 'αυτό το φάσμα των συνθηκών, το κοινό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα να παραδώσει αξιόπιστη ευρυζωνική σύνδεση σε επιχειρήσεις και οικιακούς χρήστες.

Τα πιστοποιημένα προϊόντα, τα οποία έχουν περάσει μέσα από το πρόγραμμα πιστοποίησης θα μειώσουν την επενδυτική αβεβαιότητα για όλα τα μέρη της αλυσίδας πρόσβασης στο δίκτυο, από τους παρόχους τεχνολογίας σε φορείς παροχής υπηρεσιών και σε τελικούς χρήστες. Οι φορείς δικτύων αποφέρουν περισσότερες επιλογές διαλειτουργικότητας όπως:

- Την ευελιξία ανάπτυξης των ασύρματων ευρυζωνικών συστημάτων από πολλαπλούς προμηθευτές.
- Την γνώση ότι όλα τα προϊόντα που αναπτύσσονται, εάν πιστοποιηθούν, θα συνεργάζονται αρμονικά μεταξύ τους, μειώνοντας έτσι το συνολικό επενδυτικό ρίσκο και δημιουργώντας έτσι μια ανταγωνιστική αγορά ως προς την τιμή [42].

Οι προμηθευτές που ισχυρίζονται ότι τα μηχανήματα τους είναι «όμοια με το WiMAX» ή «σύμφωνα με το WiMAX» ή απλά WiMAX, κ.τ.λ. δεν έχουν την πιστοποίηση του WiMAX Forum. Αυτό σημαίνει ότι ο εξοπλισμός τους δεν έχει καμία εγγύηση διαλειτουργικότητας με άλλους προμηθευτές εξοπλισμού. Ο

εξοπλισμός που έχει πιστοποίηση WiMAX Forum εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ του πιστοποιημένου εξοπλισμού WiMAX Forum. Αυτό δίνει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, την εμπιστοσύνη και την ευελιξία για την ανάπτυξη ασύρματων ευρυζωνικών υποδομών από πολλούς προμηθευτές, γεγονός που θα μειώσει το συνολικό επενδυτικό ρίσκο και συμβάλει στη δημιουργία μιας ανταγωνιστικής αγοράς ως προς την τιμή.



Εικόνα 2.2. Διαδικασία πιστοποίησης WiMAX [43]

2.3.3. Χαρακτηριστικά Πιστοποίησης

Οι απαιτήσεις για την εξέταση των προϊόντων WiMAX καθορίζονται από τα προφίλ του συστήματος και τα προφίλ πιστοποίησης. Τα IEEE πρότυπα αποτελούν τη βάση του WiMAX Forum για την διεπαφή αέρα του WiMAX στο PHY και MAC επίπεδο. Τα πρότυπα εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου για να υποστηρίξουν νέες δυνατότητες και να βελτιώσουν τις επιδόσεις. Υπάρχουν τρεις εκδόσεις του προτύπου IEEE 802.16 στο πρόγραμμα πιστοποίησης του WiMAX Forum:

- **Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 (ή 802.16d).** Το πρότυπο αυτό βασίζεται στην ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM) και υποστηρίζει σταθερή και νομαδική πρόσβαση. Ο πιστοποιημένος εξοπλισμός

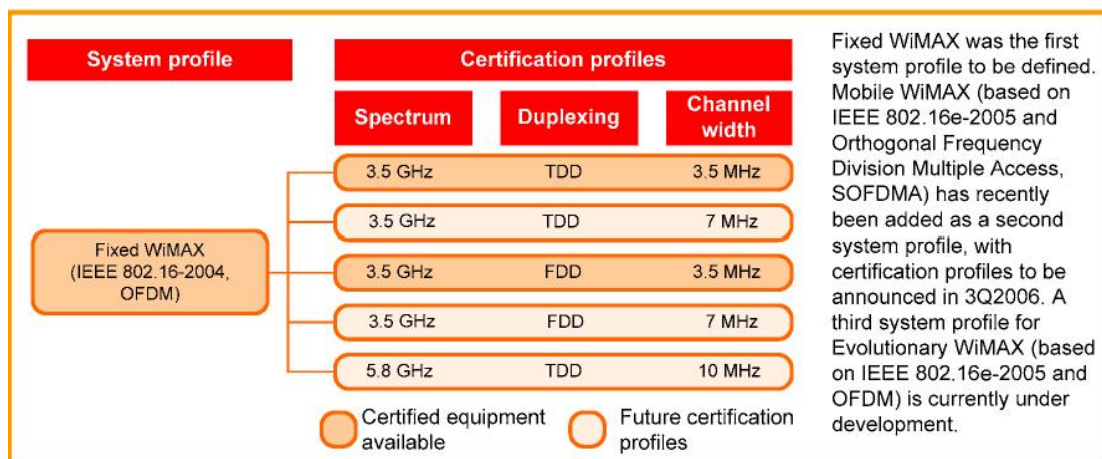
από το WiMAX Forum είχε πιστοποιηθεί για συμμόρφωση με μόνο αυτό το πρότυπο μέχρι τα μέσα του 2008.

- **Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 (ή 802.16e).** Η έκδοση του πρότυπου αυτού βασίζεται στην ορθογώνιας διαίρεση συχνότητας για πολλαπλή πρόσβαση (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - OFDMA) και υποστηρίζει σταθερή και νομαδική πρόσβαση, αλλά περιλαμβάνει επίσης επιπλέον δυνατότητες για την εξυπηρέτηση κινητής πρόσβασης. Το πρόγραμμα πιστοποίησης του WiMAX Forum εξέδωσε την πρώτη πιστοποίηση για την συχνότητα των 2.3GHz τον Απρίλιο του 2008 και για την συχνότητα των 2.5GHz τον Ιουνίου του 2008.
- **Το πρότυπο IEEE 802.16m.** Επί του παρόντος βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης. Η νέα έκδοση του προτύπου θα περιλαμβάνει βελτιωμένη κινητή πρόσβαση και παροχή υπηρεσιών φωνητικής τηλεφωνίας και είναι υποψήφιο για να αποτελέσει το μέλλον της ITU IMT-Advanced technologies. Το WiMAX Forum έχει δεσμευτεί για τη διατήρηση της συμβατότητας με το IEEE 802.16e-2005 πρότυπο, το οποίο θα επιτρέψει στους φορείς την ανάπτυξη του εξοπλισμού για το πρότυπο 802.16m μέσα στα δικά τους υπάρχοντα δίκτυα.

Με βάση το πρότυπο IEEE 802.16, το WiMAX Forum αναπτύσσει ένα σύστημα προφίλ, από το οποίο επιλέγεται ένα υποσύνολο των δυνατοτήτων που περιλαμβάνονται στο πρότυπο για τον καθορισμό των δυνατοτήτων που απαιτούνται για την υποστήριξη όλων των WiMAX προϊόντων. Προς το παρόν υπάρχουν δύο προφίλ συστήματος, ένα για σταθερό (IEEE 802.16d) και ένα για κινητό σύστημα WiMAX (IEEE 802.16e-2005). Το προφίλ σταθερού συστήματος υποστηρίζει πέντε προφίλ πιστοποίησης που καθορίζουν την κλάση των προϊόντων που διαλειτουργούν μεταξύ τους με βάση:

1. Τη συχνότητα λειτουργίας (<11GHz)
2. Το εύρος των καναλιών (1.75–10MHz)
3. Τη μέθοδο duplexing (TDD ή FDD)

Σήμερα έχουν οριστεί τα προφίλ πιστοποίησης στα 3.5GHz όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο η TDD όσο και η FDD καθώς και στα 5.8GHz με TDD.



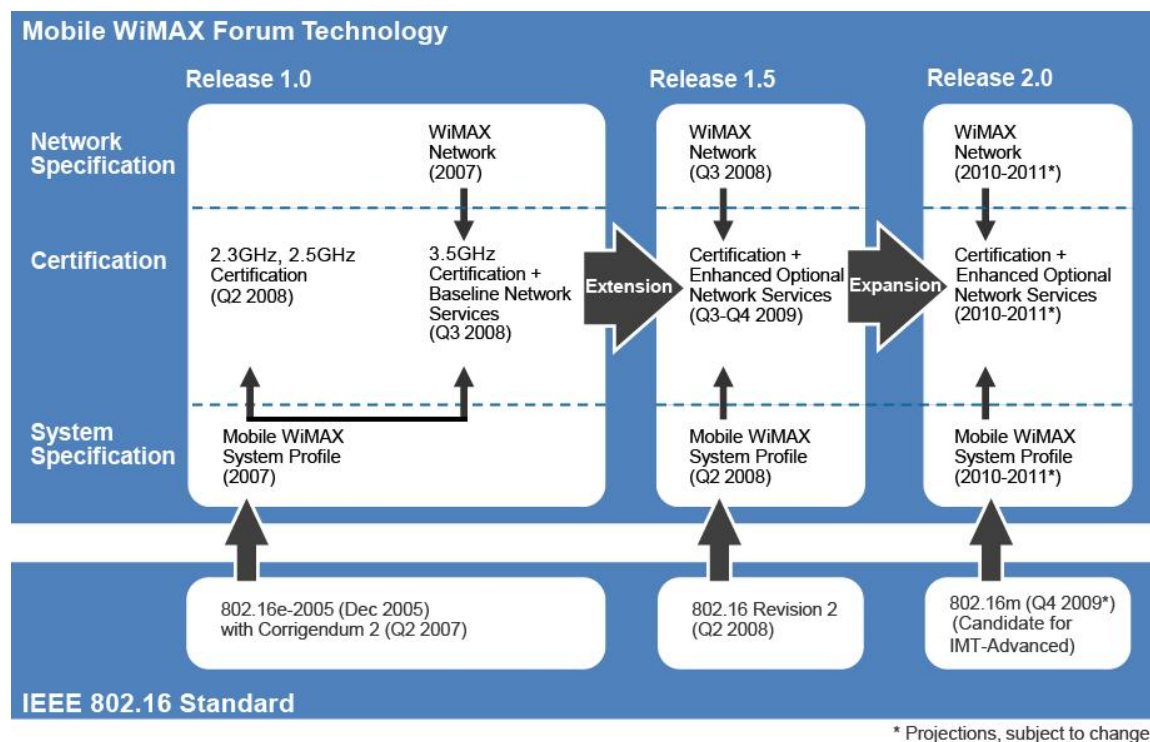
Εικόνα 2.3. Προφίλ συστήματος και πιστοποίησης [44]

Από το Μάιο του 2006 τα προϊόντα WiMAX πιστοποιούνται με βάση την 1^η έκδοση (Release 1) που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16e - 2005. Η 1^η έκδοση επικεντρώνεται αποκλειστικά στον υποχρεωτικό έλεγχο: του air interface, την είσοδο στο δίκτυο, τις δυναμικές υπηρεσίες και την κατανομή του εύρους ζώνης καθώς και σε δοκιμές για την έναρξη των υπηρεσιών δικτύου, με βάση τις προδιαγραφές του WiMAX δικτύου που αναπτύχτηκαν από την NWG (Network Working Group).

Η έκδοση 1.5 (Release 1.5) είναι η τρέχουσα έκδοση του WiMAX. Είναι μια επέκταση του Release 1.0 και δίνει αυξημένη έμφαση στις προδιαγραφές του WiMAX δικτύου. Τα πρωτόκολλα συμμόρφωσης και οι δοκιμές διαλειτουργικότητας θα βασίζονται στο IEEE 802.16e Revision 2 και στην αντίστοιχη ενημερωμένη έκδοση του προφίλ συστήματος για το κινητό WiMAX. Η έκδοση 1.5 (Release 1.5) περιλαμβάνει επίσης νέα πιστοποίηση των προφίλ που υποστηρίζει FDD αναπαραγωγή δύο όψεων ως απάντηση στην αυξανόμενη ζήτηση για FDD στις αγορές όπου το FDD λαμβάνει εντολές, ή πιο εύκολα υποστηρίζεται από τις ρυθμιστικές εντολές.

Η 2^η έκδοση (Release 2) αναμένεται το 2010 - 2011 και θα αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της τεχνολογίας WiMAX. Θα βασίζεται στην IEEE 802.16m έκδοση του προτύπου, που θα είναι υποψήφια για ένταξη ανάμεσα στις IMT-Advanced technologies. Το IEEE 802.16m θα έχει ως χαρακτηριστικό την υψηλότερη απόδοση, τα ευρύτερα κανάλια καθώς και την βελτιωμένη υποστήριξη για υπηρεσίες φωνής. Οι δοκιμές πιστοποίησης θα βασίζονται σε μια ενημερωμένη

έκδοση του προφίλ συστήματος για το κινητό WiMAX και σε μια ενημερωμένη έκδοση των προδιαγραφών του WiMAX δικτύου (NWIoT Release 2.0).



Εικόνα 2.4. Χάρτης πιστοποίησης κινητού WiMAX [45]

2.3.4. Δοκιμές Πιστοποίησης WiMAX Forum

Το πλαίσιο πιστοποίησης του WiMAX Forum περιλαμβάνει μια σουίτα δοκιμών για την πιστοποίηση από άκρο σε άκρο στα δίκτυα WiMAX.

- Οι σημερινές ενότητες δοκιμών είναι:
 1. **Radio Conformance Testing (RCT)**, αξιολογεί τη συμμόρφωση προς το PHY στρώμα.
 2. **Protocol Conformance Testing (PCT)**, αξιολογεί τη συμμόρφωση με το MAC στρώμα, συμπεριλαμβανομένου του υποεπίπεδου ασφάλειας, το Media Access Control Common Part υπόστρωμα, καθώς και Service Specific Convergence υπόστρωμα.
 3. **Οι δοκιμές διαλειτουργικότητας (Interoperability Testing - IOT) ή δοκιμές κινητής διαλειτουργικότητας (Mobile Interoperability Testing - MIOT)** επαληθεύουν την

διαλειτουργικότητα μέσα από ένα σετ δοκιμών, που περιλαμβάνουν τους σταθμούς βάσης και τις συνδρομητικές συσκευές από πολλούς προμηθευτές.

- Οι προβλεπόμενες ενότητες δοκιμών περιλαμβάνουν:
 1. **Radiated Performance Testing (RPT)**, προβλέπει μετρήσεις του PHY στρώματος για να προσδιορίσει τις επιδόσεις στον αέρα των ασύρματων συνδρομητικών σταθμών (αλλά όχι των σταθμών βάσης), κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του σε μια παρουσίαση του κοντινού πεδίου βλαβών που προκύπτουν λόγω αντικειμένων που βρίσκονται κοντά στη συσκευή. Αυτά τα τεστ απαιτούνται από τον Ιούλιο του 2009.
 2. **Network Conformance Testing (NCT)**, είναι ένα πρόγραμμα σχεδιαζόμενο για να δοκιμάζει την προσαρμογή πάνω από το MAC στρώμα και να δοκιμάζει την σηματοδότηση και τα μηνύματα του Internet Protocol (IP) στρώματος από και προς τις συνδρομητικές συσκευές.
 3. **Infrastructure Interoperability Testing (IIOT)**, θα επικεντρωθεί στην Access Service Network (ASN) και στα Connectivity Service Network (CSN) στοιχεία και θα δοκιμάσει την διαλειτουργικότητα σε καθορισμένα σημεία αναφοράς στο πλαίσιο του δικτύου για inter-ASN, intra-ASN, και ASN-to-CSN μηνύματα. Το πρόγραμμα πιστοποίησης IIOT είναι διαθέσιμο από το δεύτερο εξάμηνο του 2009.

Οι ενότητες δοκιμών RCT, PCT, RPT, IOT και MIIOT βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.16 και έχουν ως αποκλειστικό στόχο τις MAC και PHY δυνατότητες. Τα NCT και IIOT βασίζονται στις προδιαγραφές δικτύου του WiMAX Forum και έχουν ως στόχο τα ανώτερα στρώματα.

Open Systems Interconnection (OSI) model	WiMAX Specifications	Certification modules
Application layer	WiMAX Forum Network Specifications	NCT, IIOT
Presentation layer		
Session layer		
Transport layer		
Network layer		
Data link layer– Logical Link Sublayer	WiMAX Forum System Specifications (based on IEEE 802.16)	PCT, IOT, MIOT
Data link layer – Media Access Control (MAC) layer		
Physical (PHY) layer		

Εικόνα 2.5. Το πρότυπο OSI, προδιαγραφές WiMAX [45]

2.3.5. Pre-WiMAX Certified Modules

Το WiMAX θα προσφέρει ασύρματη σύνδεση με μια μεγάλη ποικιλία από συσκευές φορητών υπολογιστών και τηλεφώνων. Μια μεγάλη ποικιλία από CE συσκευές όπως κονσόλες παιχνιδιών, κάμερες, mp3 players και άλλες παρόμοιες συσκευές μπορεί πολύ σύντομα να έχουν ένα WiMAX module που θα τους παρέχει ευρυζωνική σύνδεση. Η διάδοση των συσκευών και ειδικά όταν πολλαπλά μοντέλα είναι διαθέσιμα, μπορεί να δημιουργήσει αδικαιολόγητη επιβάρυνση για τους πωλητές συσκευών, αν αυτές πρέπει να ακολουθήσουν την διαδικασία πιστοποίησης για κάθε μοντέλο.

Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, το WiMAX Forum έχει δημιουργήσει μια εκσυγχρονισμένη, χαμηλού κόστους διαδικασία πιστοποίησης για Pre-WiMAX Certified ενότητες. Οι αρχικές ενότητες που μπορούν να υποβληθούν για πιστοποίηση σε ένα λευκό κουτί συσκευής και στη συνέχεια μπορούν να ενταχθούν σε πολλαπλές WiMAX συσκευές, χωρίς να υποστούν περαιτέρω δοκιμές πιστοποίησης. Εάν η στέγαση ή η κεραία είναι διαφορετική, η Original Equipment Manufacturer (OEM) είναι υποχρεωμένη να υποβάλει το προϊόν για ένα περιορισμένο αριθμό από ασύρματες δοκιμές. Αυτό θα επιτρέψει στους OEM και Original Design Manufacturers (ODMs) να απλουστεύσουν την ανάπτυξη και την εισαγωγή στην αγορά των συσκευών συνδρομητών WiMAX, καθώς και να μειωθεί το κόστος και ο χρόνος διάθεσης στην αγορά νέων συσκευών.

2.4. WiMAX Spectrum Owners Alliance

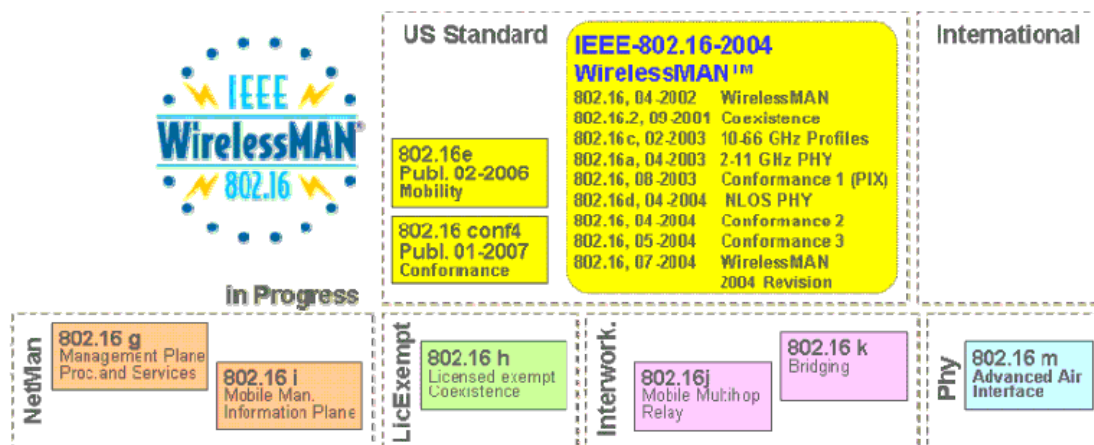
Η WiMAX Spectrum Owners Alliance (WiSOA) είναι η πρώτη παγκόσμια οργάνωση που αποτελείται αποκλειστικά από τους ιδιοκτήτες του ραδιοφάσματος του WiMAX [4]. Η WiSOA επικεντρώνεται σχετικά με τη ρύθμιση, εμπορευματοποίηση, και την ανάπτυξη του WiMAX στο φάσμα 2.3 – 2.5 GHz και στο 3.4 – 3.5 GHz. Η WiSOA είναι αφιερωμένη στην εκπαίδευση και ενημέρωση των μελών της, των εκπροσώπων της βιομηχανίας, των ρυθμιστικών αρχών και της κυβέρνησης για τη σημασία του φάσματος του WiMAX, τη χρήση του, και τις προοπτικές του WiMAX για να φέρει την επανάσταση στην ευρυζωνικότητα.

2.5. Πρότυπο IEEE 802.16

Το πρότυπο IEEE 802.16 για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN) είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον όρο WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Προορισμός του είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία αφού η βάση του αναγνωρίζεται ως πρότυπο αναφοράς από το ETSI (European Telecommunication and Standards Institute) για το αντίστοιχο ευρωπαϊκό HiperMAN (High Performance Radio MAN) αλλά και για το αντίστοιχο WiBro (Wireless Broadband) που αναπτύσσεται στην Κορέα.

Ιστορικά οι δραστηριότητες για το πρότυπο 802.16 ξεκίνησαν τον Αύγουστο του 1998 σε μια συνεδρίαση που κλήθηκε από το National Wireless Electronics Systems Testbed (N-WEST) του U.S. National Institute of Standards and Technology. Αυτή η προσπάθεια έγινε αποδεκτή από το IEEE 802, το οποίο ξεκίνησε μια ομάδα μελέτης για το πρότυπο 802.16. Η ομάδα μελέτης του προτύπου 802.16 ξεκίνησε από τον Ιούλιο του 1999 εβδομαδιαίες συνεδριάσεις τουλάχιστον κάθε 2 μήνες.

Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε για να εξελίσσεται ως μια σειρά από air interfaces βασισμένο στο κοινό MAC πρωτόκολλο αλλά με προδιαγραφές φυσικού στρώματος που εξαρτώνται από το φάσμα χρήσης και από σχετικούς κανονισμούς. Το πρότυπο που εγκρίθηκε το 2001 ασχολείται με συχνότητες από 10 έως 66 GHz και μετά ακολούθησε η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.16a που ασχολείται με συχνότητες από 2 έως 11GHz.



Εικόνα 2.6. Πρότυπα του IEEE 802.16 [46]

2.5.1. Πρότυπο IEEE 802.16-2001

Το πρώτο πρότυπο IEEE 802.16-2001 ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2001 και αργότερα στις 8 Απριλίου του 2002 έγινε η δημοσίευση του που περιλάμβανε τις προδιαγραφές για το WirelessMAN air interface για τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (MANs) [47]. Η ολοκλήρωση αυτού του προτύπου ανακοινώνει την είσοδο της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης ως σημαντικό νέο εργαλείο στην προσπάθεια να συνδεθούν τα σπίτια και οι επιχειρήσεις με τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών πυρήνων παγκοσμίως. Το πρότυπο αυτό αφορούσε τις συχνότητες 10 έως 66 GHz και μόνο για επικοινωνίες με οπτική επαφή (Line Of Sight-LOS) λόγω των μεγάλων απωλειών διάδοσης που οφείλονταν στα μικρά μήκη κύματος. Το πρότυπο προδιέγραφε air-interface μονού φέροντος (Single Carrier), εύρος καναλιών 25 και 28 MHz και ρυθμούς έως 120 Mbps σε κανάλι 25 MHz.

2.5.2. Πρότυπο IEEE 802.16.2-2001

Το πρότυπο 802.16.2-2001 εγκρίθηκε από τον IEEE τον Ιούλιο του 2001 και συνιστάται μια πρακτική για ζώνες των 10 - 66 GHz. Τροπολογίες που έγιναν στο Project 802.16.2a έγιναν για να παρέχουν μια συνιστώμενη πρακτική για τη συνύπαρξη στις ζώνες 2 έως 11 GHz. Η παρούσα συνιστώμενη πρακτική παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών στα συστήματα σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Ακόμα παρέχονται πρακτικές οδηγίες για το σύστημα σχεδιασμού, για την εγκατάσταση, το συντονισμό και τη συχνότητα

χρήσης του συστήματος. Το παρόν έγγραφο καλύπτει συχνότητες από 10 - 66 GHz, εν γένει, με ιδιαίτερη έμφαση στα 23.5 – 43.5 GHz ζώνες συχνοτήτων. Εάν ακολουθείται από τους κατασκευαστές και τους φορείς, θα πρέπει να επιτρέπει σε ένα ευρύ φάσμα του εξοπλισμού να συνυπάρξει σε ένα κοινό περιβάλλον με αμοιβαία αποδεκτή παρέμβαση.

2.5.3. Πρότυπο IEEE 802.16c-2002

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. Το 802.16c είναι μια σειρά από διευκρινίσεις και τροποποιήσεις για την 102.16 οικογένεια των προδιαγραφών ασύρματων επικοινωνιών για τα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (MAN's). Το 802.16c ξεκίνησε επίσημα το Μάιο του 2002, εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 2002 και κυκλοφόρησε τον Ιανουάριο του 2003 από την IEEE 802.16 Task Group C. Η τεκμηρίωση του 802.16c αναπτύχθηκε για ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν με άδεια ραδιοσυχνοτήτων (RF) στις ζώνες μεταξύ 10 GHz και 66 GHz. Περιέχει την λεπτομερή εξέταση των χαρακτηριστικών του συστήματος, την αξιολόγηση των επιδόσεων, και τις δοκιμές [48].

- Χρησιμοποιείται ως βάση για την συμμόρφωση και τον έλεγχο της διαλειτουργικότητας:
 - MAC Προφίλ: ATM και IP Packet και
 - PHY Προφίλ: 25 και 28 MHz TDD και FDD.

2.5.4. Πρότυπο IEEE 802.16a-2003

Τον Απρίλιο του 2003 εκδόθηκε το πρότυπο IEEE 802.16a που αφορούσε συχνότητες 2 - 11 GHz συμπεριλαμβάνοντας τις συχνότητες με ή χωρίς αδειοδότηση χρήσης τους, για επικοινωνίες μη οπτικής επαφής (Non-LOS) και επομένως σε περιβάλλον με ισχυρές απώλειες λόγω πολυδιαδρομικής παρεμβολής. Σε σύγκριση με το υψηλότερο φάσμα συχνοτήτων αυτές οι συχνότητες προσφέρουν την ευκαιρία να υπάρχουν

περισσότεροι χρήστες με λιγότερο κόστος αλλά με χαμηλότερες ταχύτητες. Αυτό υποδηλώνει ότι οι υπηρεσίες αυτές θα προσανατολίζονται σε μεμονωμένες κατοικίες ή μικρού έως μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις. Ο σχεδιασμός του 2 - 11 GHz φυσικού στρώματος οδηγείται από την ανάγκη για επικοινωνίες μη οπτικής επαφής (Non-LOS). Αυτό είναι απαραίτητο για την υποστήριξη μεμονωμένων κατοικιών αφού οι στέγες μπορεί να είναι πολύ χαμηλές για μια απευθείας οπτική επαφή με μια κεραία BS πιθανόν λόγω της παρεμπόδισης που υπάρχει από τα δέντρα. Τα συστήματα εφαρμόζουν μία από τις τρεις προδιαγραφές air interface καθεμιά από τις οποίες παρέχεται για τη διαλειτουργικότητα:

- WirelessMAN-SCA: Αυτό χρησιμοποιεί έναν ενιαίο φορέα διαφοροποίησης μορφής.
- WirelessMAN-OFDM: Αυτό χρησιμοποιεί Orthogonal Frequency Division Multiplexing με έναν μετασχηματισμό 256-σημείων. Η πρόσβαση είναι από TDMA.
- WirelessMAN-OFDMA: Αυτό χρησιμοποιεί Orthogonal Frequency Division Multiple Access, με μετατροπή 2048-σημείων και προβλέπει ρυθμούς έως 70Mbps σε κανάλι 14MHz και σε απόσταση μέχρι 50Km.

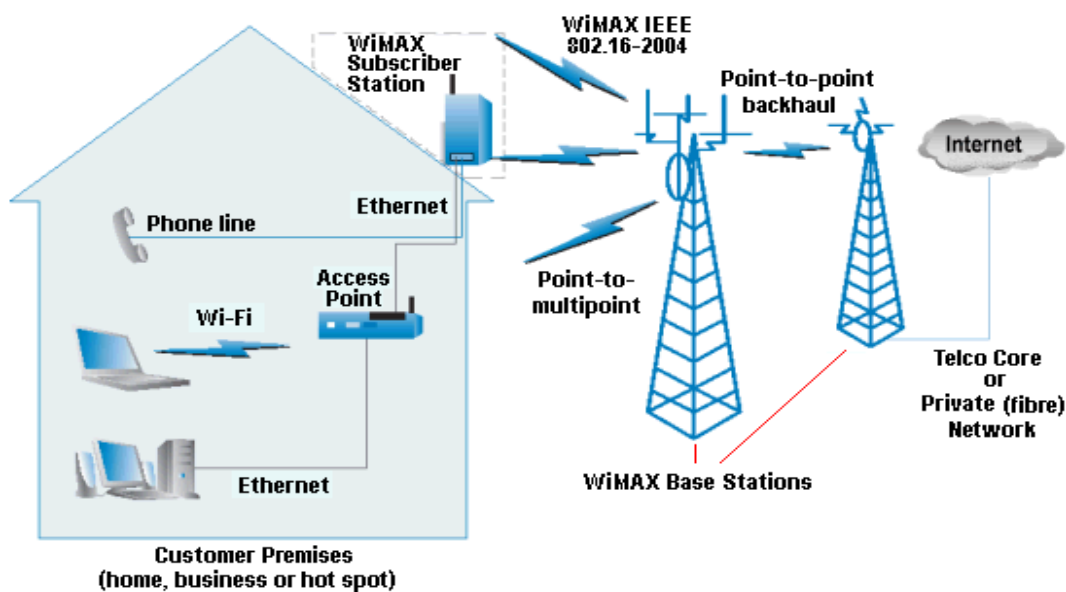
Λόγω του πολλαπλασιασμού απαιτήσεων, υποστηρίχτηκε η χρήση των προηγμένων συστημάτων κεραιών. Για να ληφθούν υπόψη τα πιο απαιτητικά φυσικά περιβάλλοντα και οι διαφορετικές ανάγκες των υπηρεσιών που βρίσκονται στις συχνότητες μεταξύ 2 και 11 GHz, το πρότυπο 802.16a αναβάθμισε την MAC για Automatic Repeat Request (ARQ). Επίσης προσδιορίστηκε μια προαιρετική τοπολογία πλέγματος για την επέκταση της βασικής point-to-multipoint αρχιτεκτονικής.

2.5.5. Πρότυπο IEEE 802.16-2004

Το 2004 εκδόθηκε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο βασίστηκε κυρίως στο παλαιότερο πρότυπο IEEE 802.16a, αλλά αναθεώρησε και αντικατέστησε όλα τα προηγούμενα και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για την παροχή υπηρεσιών WiMAX. Χρησιμοποιεί Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και υποστηρίζει σταθερή (fixed WiMAX) για επικοινωνίες με οπτική επαφή (LOS) και για επικοινωνίες μη οπτικής επαφής (NLOS), δηλαδή μπορεί να λειτουργήσει σε

συχνότητες 2 - 66 GHz. Κύρια εφαρμογή του όμως είναι οι συχνότητες 2 – 11 GHz, όπου δεν απαιτείται οπτική επαφή για την επικοινωνία. Σε σύγκριση με τα προηγούμενα πρότυπα, υποστηρίζει αρκετές επιλογές στο εύρος ζώνης καναλιού που ξεκινούν από 1.25 MHz και φτάνουν τα 20 MHz. Ο ρυθμός διαμεταγωγής που μπορεί να υποστηρίξει, φτάνει ακόμα και τα 75 Mbps στην κάτω ζεύξη για εύρος ζώνης καναλιού 20 MHz. Όπως είναι λογικό, για την καλύτερη κάλυψη σε περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής, οι ακτίνες των κυψελών μειώνονται με τυπικές τιμές 4.8 - 8 Km. Το πρότυπο προδιαγράφει πέντε air interfaces:

1. WirelessMAN-SC για συχνότητες 10-66GHz
2. WirelessMAN-SCa για αδειοδοτημένες συχνότητες <11GHz
3. WirelessMAN-OFDM για αδειοδοτημένες συχνότητες <11GHz
4. WirelessMAN-OFDMA για αδειοδοτημένες συχνότητες <11GHz
5. WirelessHUMAN για μη αδειοδοτημένες συχνότητες <11GHz



Εικόνα 2.7. IEEE 802.16-2004 [49]

2.5.6. Πρότυπο IEEE 802.16.2-2004

Στις 17 Μαρτίου του 2004, δημοσιεύτηκε το πρότυπο IEEE 802.16.2-2004 ("IEEE συνιστώμενη πρακτική για τοπικά μητροπολιτικά δίκτυα - Συνύπαρξη συστημάτων

σταθερή ασύρματη ευρυζωνικής πρόσβαση"). Πρόκειται για μια αναθεώρηση του IEEE Standard 802.16.2-2001. Η αναθεώρηση ενημερώνει το περιεχόμενο, προσθέτοντας νέου υλικό για την αντιμετώπιση της λειτουργίας στο φάσμα συχνοτήτων 2 - 11 GHz και για την συνύπαρξη με point-to-point συστήματα. Το περιεχόμενο ισχύει μόνο με άδεια για τη ζώνη λειτουργίας.

2.5.7. Πρότυπο IEEE 802.16e-2005

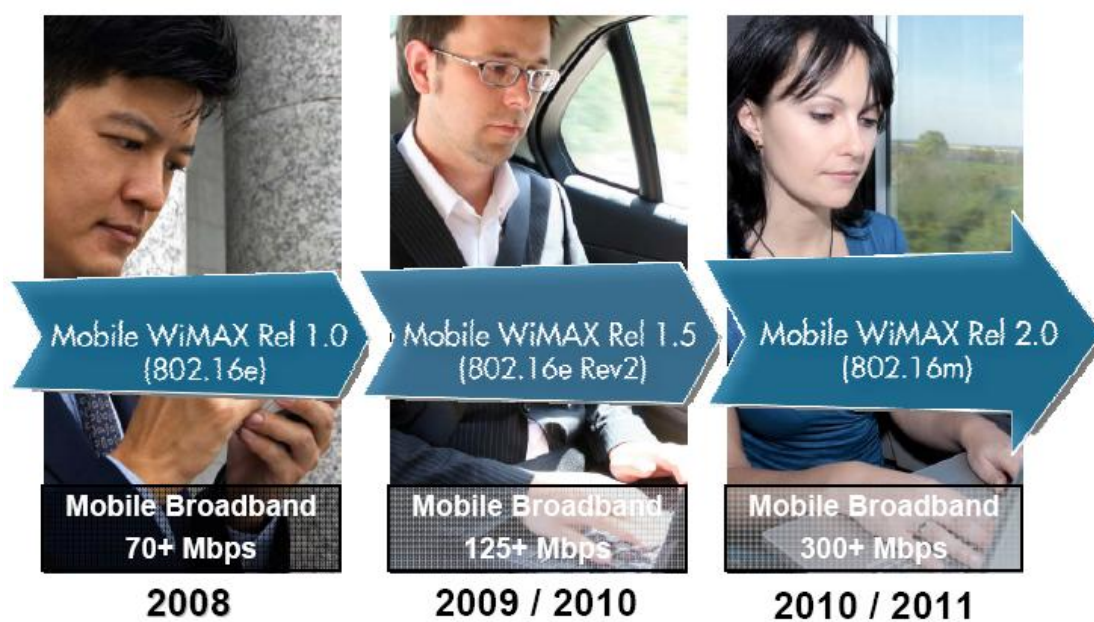
Το Δεκέμβριο του 2005 εκδόθηκε το IEEE 802.16e που αφορά την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητά συστήματα. Το IEEE 802.16e αποτελεί συμπλήρωση του βασικού προτύπου IEEE 802.16-2004 και έτσι το πραγματικό πρότυπο είναι το IEEE 802.16-2004, όπως αναθεωρήθηκε από το IEEE 802.16e. Προβλέπει λειτουργία στις συχνότητες 2-11 GHz για ακίνητους και χρήστες κινούμενους με χαμηλή ταχύτητα και στις συχνότητες 2-6 GHz για κινητούς χρήστες με ταχύτητες έως 125Km ανά ώρα. Το πρότυπο IEEE 802.16e αποτελεί ασύρματη ευζωνική λύση που επιτρέπει τη σύγκλιση των κινητών και σταθερών ευρυζωνικών δικτύων και ενός ευρύ τομέα από τεχνολογίες ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης και ευέλικτων αρχιτεκτονικών δικτύου. Το πρότυπο χρησιμοποιεί air interface Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) για τη βελτίωση της πολυδιαδρομικής απόδοσης σε περιβάλλοντα μη απ' ευθείας οπτικής επαφής (NLOS). Παρουσιάζεται ακόμα η κλιμακωτή Scalable OFDMA (SOFDMA) για την υποστήριξη κλιμακούμενου εύρους ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20 MHz. Η πρώτη έκδοση του προτύπου θα καλύψει 5, 7, 8.75, και 10 MHz εύρος ζώνης καναλιών για την άδεια χρήσης του ραδιοφάσματος σε παγκόσμιο επίπεδο στα 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz and 3.5 GHz [50]. Το πρότυπο 802.16e-2005 μπορεί να παρέχει υποστήριξη για handoffs και περιαγωγή. Για την υποστήριξη της κινητικότητας, προδιαγράφονται διαδικασίες μεταπομπών (handoff) μεταξύ κυψελών και διαδικασίες εξοικονόμησης ενέργειας στο φορητό εξοπλισμό (καταστάσεις αδράνειας ή απενεργοποίησης). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που υποστηρίζεται στην κάτω ζεύξη επιτυγχάνεται με την χρήση κεραιών MIMO και μπορεί να φτάσει τα 63 Mbps ανά τομέα στην άνω και 28 Mbps ανά τομέα στην κάτω ζεύξη. Οι τυπικές κυψέλες έχουν ακτίνα 2 - 4.8Km.

Το IEEE 802.16e-2005 βελτιώνει το IEEE 802.16-2004 στα εξής:

- Προσθέτει την υποστήριξη για την κινητικότητα (σκληρό ή μαλακό handover μεταξύ των σταθμών βάσεων). Αυτό φαίνεται να είναι μια από τις σημαντικότερες πτυχές του 802.16e-2005, και είναι η ίδια η βάση του κινητού WiMAX.
- Κλιμάκωση του γρήγορου μετασχηματισμού κατά Fourier (fast Fourier transform - FFT) για το εύρος ζώνης καναλιού, προκειμένου να διατηρηθεί το διάστημα συχνοτήτων σταθερό μεταξύ των διαφόρων εύρων ζώνης καναλιών (συνήθως 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz ή 20 MHz). Το σταθερό διάστημα συχνοτήτων έχει ως αποτέλεσμα μια υψηλότερη αποδοτικότητα του φάσματος σε επίπεδα κανάλια, καθώς και τη μείωση του κόστους στα στενά κανάλια. Επίσης γνωστό ως Scalable OFDMA (SOFDMA). Στο πρότυπο ορίζονται άλλες μπάντες οι οποίες δεν είναι πολλαπλάσια των 1.25 MHz, αλλά επειδή επιτρέπεται η χρήση μετασχηματισμού Fourier (FFT) με μεγέθη 128, 512, 1024 και 2048, άλλες ζώνες συχνοτήτων, δεν θα έχουν ακριβώς το ίδιο διάστημα συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να μην είναι το βέλτιστο για τις υλοποιήσεις. Το διάστημα συχνοτήτων είναι 10.94 kHz.
- Προηγμένα συστήματα διαφορισμού κεραίας και υβριδική αυτόματη αίτηση επανεκπομπής (Hybrid Automatic Repeat Request - HARQ).
- Συστήματα προσαρμοστικής κεραίας (Adaptive Antenna System - AAS) και τεχνολογία MIMO.
- Χρήση denser sub-channelization, με αποτέλεσμα να βελτιώνετε η διείσδυση σε εσωτερικούς χώρους.
- Παρουσίαση υψηλής απόδοσης κωδικοποιήσεων όπως Turbo Coding και Low-Density Parity Check (LDPC) καθώς και ενίσχυση της ασφάλειας και των επιδόσεων NLOS.
- Παρουσίαση downlink sub-channelization, που επιτρέπει στους διαχειριστές να ανταλλάσσουν την κάλυψη για χωρητικότητα και το αντίστροφο.
- Προσθήκη μιας πρόσθετης κατηγορίας QoS για τις εφαρμογές VoIP.
- Η εξάλειψη των εξαρτήσεων εύρος ζώνης καναλιού στο διάστημα υπομεταφορέων, επιτρέποντας έτσι την ίση απόδοση κάτω από οποιοδήποτε διάστημα καναλιών RF (1.25-14 MHz).

- Ο ενισχυμένος αλγόριθμος γρήγορου μετασχηματισμού κατά Φουριέ μπορεί να ανεχτεί μεγαλύτερη καθυστέρηση spreads, αυξάνοντας την αντίσταση στην πολλαπλών διαδρομών παρέμβαση.

Το SOFDMA (που χρησιμοποιείται στο IEEE 802.16e-2005) και το OFDM256 (που χρησιμοποιείται στο IEEE 802.16d) δεν είναι συμβατά έτσι ο εξοπλισμός θα πρέπει να αντικατασταθεί εάν ένας χειριστής πρόκειται να κινηθεί προς πιο πρόσφατα πρότυπα (π.χ., από σταθερό WiMAX σε κινητό WiMAX). Ωστόσο, ορισμένοι κατασκευαστές σχεδιάζουν να προσφέρει μια οδό μετάβασης για τον παλιό εξοπλισμό για να παρέχει συμβατότητα SOFDMA και έτσι θα διευκολύνουν τη μετάβαση των δικτύων εκείνων τα οποία έχουν ήδη προβεί στις επενδύσεις OFDMA256. Αυτό θα επηρεάσει ένα σχετικά μικρό αριθμό χρηστών και χειριστών.[51],[52]



Εικόνα 2.8. Ο χάρτης πορείας του Mobile WiMAX [53]

2.5.8. Πρότυπο IEEE 802.16k-2007

Το IEEE 802.16k (IEEE NETMAN-TG, 2006A) δημιουργήθηκε τον Μάρτιο του 2006 από την Network Management Study Group για την ανάπτυξη μιας σειράς προτύπων ως τροποποιήσεις του IEEE 802.16 και IEEE 802.1D για την γεφύρωση του 802.16 MAC στρώματος. Η 802.16k ομάδα μελέτης εργάζεται για να καθορίσει

τις απαιτούμενες διαδικασίες και τις αυξήσεις του MAC στρώματος ώστε να επιτρέψει στο 802.16-2004 την υποστήριξη γέφυρας λειτουργικότητας που ορίζεται στο 802.1D. Οι διαφανείς γέφυρες αναλάβουν LAN-like επικοινωνίες από όλες τις 802.x τεχνολογίες, όπου η μετάδοση ενός κόμβου ακούγεται από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στο ίδιο LAN. Ωστόσο, μπορεί οι συσκευές του 802.16-2004 να φιλτράρουν την μετάδοση από τη διεύθυνση, ώστε να αποτρέπουν τις επισυναπτόμενες γέφυρες από την γέφυρα διεύθυνσης μάθησης. Το 802.16k αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα μέσω της περιγραφής του τρόπου με τον οποίο η Internal Sublayer Service (ISS) χαρτογραφείται πάνω στο 802 υπόστρωμα σύγκλισης και με ποιο τρόπο τα πακέτα αντιμετωπίζονται ακολουθιακά έτσι ώστε να μπορεί να δουλεύει η γέφυρα. Εξάλλου, το 802.16k παρέχει ρητή υποστήριξη 802.1p end-to-end προτεραιότητας δεδομένων μέσω ρητής one-to-one χαρτογράφηση των προτεραιοτήτων του χρήστη.

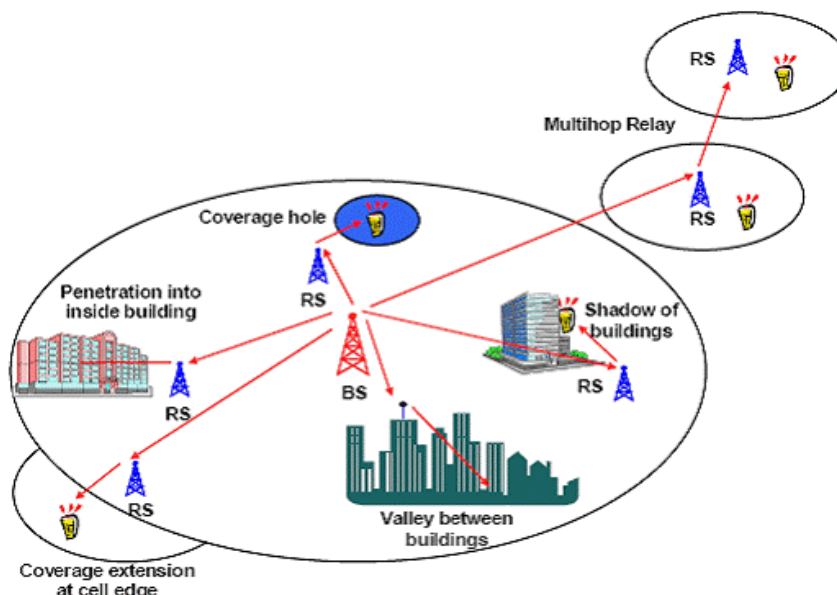
2.5.9. Πρότυπο IEEE 802.16g

Το IEEE 802.16g (IEEE NETMAN, 2005a) άρχισε τον Αύγουστο του 2004 από την στο Network Management Study Group. Το πρότυπο αυτό παρέχει βελτιώσεις στη διαχείριση των συσκευών WiMAX, με τη δημιουργία τυποποιημένων διαδικασιών και διασυνδέσεων για τη διαχείριση. Ουσιαστικά το 802.16g-2007 βασίζεται σε προηγούμενες WiMAX προδιαγραφές συμπληρώνοντας λεπτομέρειες για την διαχείριση και τις διαδικασίες που απαιτούνται για τη διαχείριση των συσκευών σε ένα δίκτυο WiMAX. Αν και το 802.16g-2007 ορίζει ένα δίκτυο ελέγχου και διαχείρισης του συστήματος (Network Control and Management System - NCMS) και διεπαφές για χρήση σε υψηλότερο επίπεδο δεν ορίζει NCMS πρωτόκολλα. Αυτή τη στιγμή τα NCMS πρωτοκόλλα είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής των προδιαγραφών [54].

2.5.10. Πρότυπο IEEE 802.16j

Η IEEE 802.16's Relay Task Group είναι επιφορτισμένη με την εργασία ανάπτυξης τροπολογιών για την επέκταση του IEEE 802.16e-2005 ώστε να υποστηρίζει λειτουργία multihop relay. Η ομάδα μελέτης IEEE 802.16 's Mobile Multihop Relay ήταν υπεύθυνη για την ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.16j από τον Ιούλιο του

2005. Η ομάδα μελέτης όμως διαλύθηκε το Μάρτιο του 2006 και το έργο ανατέθηκε στην Relay Task Group. Το 802.16j (IEEE-Relay TG, 2006) έχει ως στόχο να βελτιώσει την κληρονομιά του 802.16 ως προς την κάλυψη του δικτύου, την διακίνηση, και την ικανότητα του συστήματος. Ακόμα επεκτείνει την δικτυακή υποδομή που είχε το 802.16 ώστε να περιλαμβάνει τρεις τύπους αναμετάδοσης: σταθερή αναμετάδοση, νομαδική αναμετάδοση και κινητή αναμετάδοση. Το πρότυπο 802.16j είναι απαραίτητο ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία των κόμβων αναμετάδοσης πέρα από την αδειοδοτημένη ζώνη. Τα OFDMA PHY και air interface είναι οι προδιαγραφές του PHY στρώματος που έχουν επιλεγεί από την ομάδα για την λειτουργία του 802.16j. Η βασική ιδέα πίσω από το MMR (Mobile Multihop Relay) είναι να δοθεί η δυνατότητα στους σταθμούς βάσης WiMAX που δεν διαθέτουν σύνδεση backhaul να επικοινωνούν με άλλους σταθμούς βάσης. Από τη μία πλευρά, φυσικά, αυτό θα μειώσει το εύρος ζώνης που έχουν στη διάθεση τους οι χρήστες στις κυψέλες που εμπλέκονται στα πακέτα αναμετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, είναι ένας κομψός τρόπος για την εξοικονόμηση κόστους και την επέκταση της κάλυψης του δικτύου σε περιοχές όπου η σύνδεση ενός σταθμού βάσης απευθείας στο δίκτυο μέσω σύνδεσης σταθερής γραμμής είναι οικονομικά ή τεχνικά αδύνατο. Το 802.16j-2009 εγκρίθηκε από τον IEEE-SA Standards Board στις 13 Μαΐου του 2009 ως τροπολογία στο πρότυπο IEEE 802.16-2009 [20].



Εικόνα 2.9. IEEE 802.16j Mobile Multihop Relay (MMR) [55]

2.5.11. Πρότυπο IEEE 802.16h

Το IEEE 802.16's LETG (License-Exempt (LE) Task Group) ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2004, να αναπτύξει ένα πρότυπο για τη βελτίωση των μηχανισμών για τη συνύπαρξη license-exempt φάσματος λειτουργίας. Ο κύριος σκοπός του IEEE 802.16h (IEEE LETG, 2006) είναι η ανάπτυξη βελτιωμένων μηχανισμών MAC ώστε να καταστεί δυνατή η συνύπαρξη μεταξύ 802.16-2004 license-exempt συσκευών και να διευκολυνθεί η συνύπαρξη με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Η τροπολογία αυτή είναι στη διαδικασία παραγωγής μηχανισμών που ισχύουν για το σύνολο του ασυντόνιστου φάσματος συχνοτήτων που ορίζεται από το πρότυπο 802.16-2004. Το 802.16h σχεδιάζει ένα πρωτόκολλο συνύπαρξης, το οποίο ορίζεται σε επίπεδο IP και προορίζεται κυρίως για BS-BS επικοινωνία. Το πρωτόκολλο συνύπαρξης εισάγει μηχανισμούς για τη ενοικίαση και τη διαπραγματεύση του φάσματος ασύρματων πόρων μεταξύ σταθμών βάσης εντός του φάσματος παρεμβολών. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο συνύπαρξης για την ανάλυση των παρεμβολών βασίζονται στο διαχωρισμό των παρεμβολών σε τομέα συχνοτήτων και τομέα χρόνου. Ο διαχωρισμός των παρεμβολών σε τομέα συχνοτήτων είναι πρώτος και ακολουθεί ο διαχωρισμός των υπόλοιπων παρεμβάσεων στον τομέα χρόνου.

2.5.12. Πρότυπο IEEE 802.16m

Η IEEE έχει αρχίσει να εργάζεται για μια νέα έκδοση του προτύπου 802.16 που θα μπορούσε να ωθήσει τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι 1 Gbit/s, διατηρώντας παράλληλα την προς τα πίσω συμβατότητα με τα υφιστάμενα WiMAX συστήματα και προσφέροντας βελτίωση της εκπομπής και πολυεκπομπής καθώς και την βελτίωση της απόδοσης και της ικανότητας του VoIP. Ο μυσ πίσω από το πρότυπο 802.16m θα είναι τεχνολογία κεραίας multiple-input/multiple-output (MIMO), στην κορυφή ενός ασύρματου συστήματος βασισμένου στο OFDM [56],[57]. Η προδιαγραφή για το IEEE 802.16m δίνει 120Mbps downlink και 60Mbps uplink χρησιμοποιώντας κεραίες 4x2 MIMO (Multiple-Input Multiple Output) σε ένα κανάλι 20MHz. Η IEEE δηλώνει ότι θέλει να αναπτύξει μια "ανταγωνιστική" και "σημαντικά βελτιωμένη" τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης που είναι "συμβατή με την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU - R / IMT προηγμένες απαιτήσεις για 4G", διατηρώντας παράλληλα τη διαλειτουργικότητα με το κινητό WiMAX.

Το WiMAX Release 2.0 (IEEE 802.16m) αποτελεί μια σημαντική τροποποίηση (πλήρης συμβατότητα με παλαιότερες εκδόσεις) του προτύπου WiMAX Release 1.0. Το πρότυπο IEEE 802.16m θα προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερη κάλυψη, ταχύτητα, απόδοση και χαμηλότερη λανθάνουσα κατάσταση, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της ITU-R για μια IMT-Advanced 4G τεχνολογική λύση. Με την αξιοσημείωτη βελτίωση του σχεδιασμού στην προηγμένη αρχιτεκτονική διεπαφής αέρα (νέα μπλοκ μέσα στα Layer 1 και 2), το πρότυπο 802.16m θα είναι σε θέση να παρέχει την αναγκαία χωρητικότητα που οι φορείς εκμετάλλευσης θα ζητήσουν για περαιτέρω ανάπτυξη των αστικών τους δικτύων καθώς και να παρέχουν αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων στους χρήστες σε που υψηλές ταχύτητες (έως 120Mbps στο κατέβασμα και 60Mbps στο ανέβασμα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 4x2 MIMO/TDD 5:03).

Για παράδειγμα, σε σημερινές υλοποιήσεις του δικτύου WiMAX, οι συσκευές χρήστη συνδέονται με μια μόνο συχνότητα του καναλιού χρησιμοποιώντας μια 5msec δομή πλαισίου με Time-Division Duplexed (TDD) DL και UL πληροφορίες, χρησιμοποιώντας ένα εύρος ζώνης 10MHz. Με το πρότυπο 802.16m, οι συσκευές χρήστη θα μπορούν να συνδέονται με 2 συχνότητες καναλιού (multi-carrier) την ίδια στιγμή χρησιμοποιώντας τους παρακάτω πιθανούς συνδυασμούς:

1. Δύο ανεξάρτητα 20msec super-frames, που το καθένα χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης 10MHz.
2. Δυο ανεξάρτητα 20msec super-frames, που το καθένα χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης 20MHz.
3. Ένα 20msec super-frame που χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης 20MHz και το άλλο 20msec super-frame που χρησιμοποιεί ένα εύρος ζώνης 10MHz.

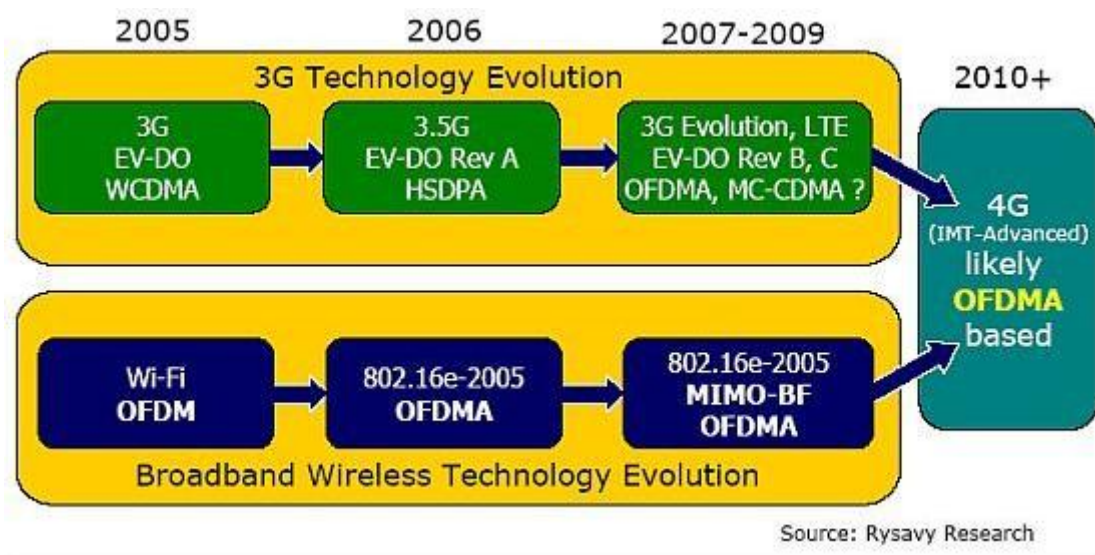
Ως εκ τούτου 20MHz (διπλασιάζει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων σήμερα), 40MHz (τετραπλασιάζει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων σήμερα), και 30MHz (τριπλασιάζει την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων σήμερα), αντίστοιχα.

Αξιοποιώντας τα κρίσιμα χαρακτηριστικά όπως αρχιτεκτονική multi-hop relay, λειτουργία multi-carrier, αυτορρύθμιση, συστήματα πολλαπλών κεραιών (Ενός χρήστη και πολλαπλών χρηστών MIMO), μετριάσμος παρεμβολών, ενισχυμένη πολλαπλής διανομής ραδιοφωνική μετάδοση, αυξημένη χωρητικότητα VoIP, αυξημένη ρυθμοαπόδοση cell-edge, αυξημένη ταχύτητα κίνησης (έως 500km/hr) και

ούτω καθεξής, το πρότυπο 802.16m θα αποτελέσει την επιλογή αυτής της δεκαετίας για ευρυζωνική τεχνολογία σύνδεσης στο Internet.[58]

Η ιαπωνική εταιρεία UQ Communications έκανε επίδειξη μεταφοράς δεδομένων μέσω WiMAX 2 που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16m με ταχύτητες 330Mbps. Η επίδειξη αφορούσε στην αναμετάδοση Full-HD 3D video σε τηλεοράσεις Large Format Display, με τη χρήση WiMAX 2. [59]

Η ολοκλήρωση των προδιαγραφών του WiMAX 2 αναμένεται να γίνει τον προσεχή Νοέμβριο, ενώ η Samsung προτίθεται να παρουσιάσει τα πρώτα προϊόντα WiMAX 2 στο τέλος του 2011.



Εικόνα 2.10. Οι κινητές τεχνολογίες συγκλίνουν [60]

Κεφάλαιο 3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά WiMAX

Λιγότερο από ένας στους πέντε ανθρώπους του ανεπτυγμένου κόσμου και ένα ακόμη μικρότερο, ασήμαντο ποσοστό των ανθρώπων σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν ευρυζωνική πρόσβαση σήμερα. Υφιστάμενες τεχνολογίες όπως DSL, καλωδιακή, και σταθερή ασύρματη σύνδεση μαστίζονται από ακριβές εγκαταστάσεις, προβλήματα με το μήκος των βρόχων, θέματα αναβάθμισης και ταχύτητας, line-of-sight περιορισμούς και φτώχη επεκτασιμότητα.

Το WiMAX είναι το επόμενο βήμα στην πορεία για την ευρυζωνικότητα καθώς στον ασύρματο κόσμο επεκτείνεται η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε νέες τοποθεσίες και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ παράλληλα έχουμε σημαντική μείωση του κόστους για να οδηγήσουμε την ευρυζωνικότητα σε νέες περιοχές. Η τεχνολογία WiMAX προσφέρει μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων και μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις άλλες διαθέσιμες ή σύντομα-διαθέσιμες τεχνολογίες ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, όπως οι Wireless Fidelity και Ultrawideband οικογένειες προτύπων και παρέχει μια ασύρματη εναλλακτική λύση για την ενσύρματη backhaul και last mile επέκταση που χρησιμοποιούν Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) καλωδιακά μόντεμ, τεχνολογίες Digital Subscriber Line (xDSL), συστήματα T-carrier και E-carrier (Tx / Ex) και τεχνολογίες Optical Carrier Level (OC-x). [4]

Η τεχνολογία WiMAX μπορεί να καταλήξει σε θεωρητική ακτίνα κάλυψης 30 μίλια και να πετύχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 75 Mbps, αν και σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις η απόδοση είναι πιο κοντά στο 1.5 Mbps σε τυπικές ευρυζωνικές υπηρεσίες (που αντιστοιχεί σε γραμμή T1), έτσι οι πάροχοι υπηρεσιών ενδέχεται να διατάξουν τα ποσοστά μετάδοσης βασιζόμενοι σε μια κλιμακωτή προσέγγιση τιμολόγησης, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για τις ενσύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Η γενική ιδέα της ασύρματης δικτύωσης μητροπολιτικής περιοχής, όπως διαμορφώθηκε με το 802.16, αρχίζει με το λεγόμενο fixed. Εδώ, ένας κύριος άξονας των σταθμών βάσης είναι συνδεδεμένος σε ένα δημόσιο δίκτυο, και κάθε σταθμός βάσης υποστηρίζει εκατοντάδες σταθερών συνδρομητικών σταθμών, τα οποία μπορεί να είναι δημόσια Wi-Fi hot spots και firewalled δίκτυα επιχειρήσεων. Με την ανάπτυξη, του προτύπου 802.16e, το WiMAX μπορεί να υποστηρίξει κινητή

ασύρματη τεχνολογία που θα παρέχει, ασύρματη μετάδοση απευθείας στο κινητό του τελικού χρήστη. Αυτό θα είναι παρόμοιο σε λειτουργία με το General Packet Radio Service και την τεχνολογία one times Radio Transmission (1 X RTT) που προσφέρουν οι εταιρείες τηλεφωνίας.

Νέες επιχειρήσεις καθώς και μεμονωμένα άτομα υιοθετούν όλο και περισσότερο την ευρυζωνική σύνδεση, ενώ εκείνοι που χρησιμοποιούν ήδη ευρυζωνικές συνδέσεις αρχίζουν να εξαρτώνται από αυτές και απαιτούν καλύτερες υπηρεσίες με προστιθέμενα οφέλη. Για να στηρίξει αυτή την άνευ προηγουμένου νέα ζήτηση, η ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση έχει αναδειχτεί ως βιώσιμη λύση. Το WiMAX, λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών του, χαρακτηρίζεται ως πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για το μέλλον των ευρυζωνικών επικοινωνιών.

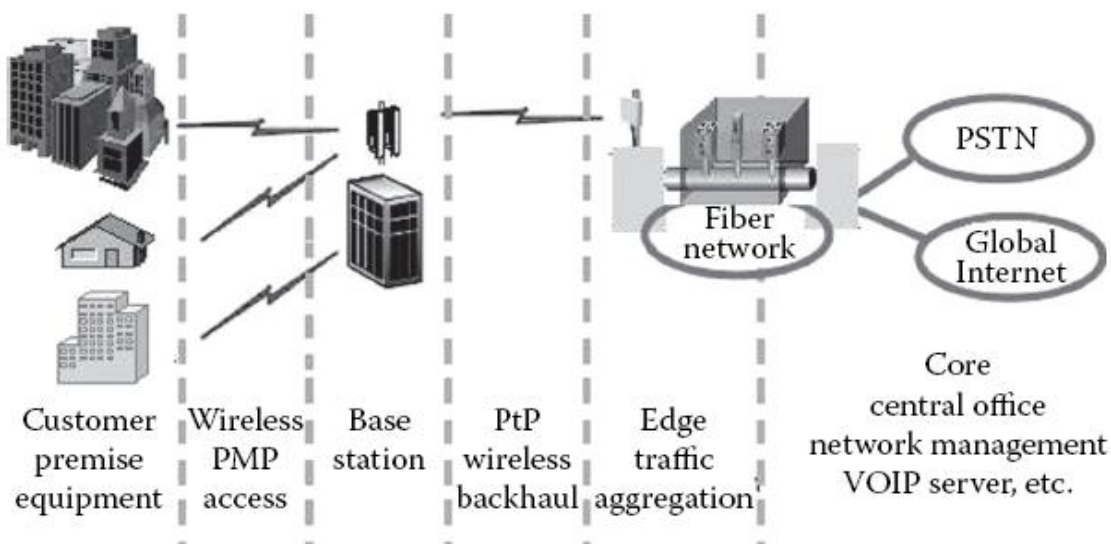
Υπήρξε μια μεγάλη διαφημιστική εκστρατεία για το WiMAX και τον αντίκτυπο που θα έχουν τα πρότυπα ασύρματης ευρυζωνικής τεχνολογίας δικτύου στην αγορά ευρυζωνικής πρόσβασης. Όλη αυτή η δημοσιότητα έχει προκαλέσει τεράστιες προσδοκίες και η βιομηχανία ανταποκρίθηκε σε αυτές με εξαιρετική επιθετικότητα και με τη δέσμευση να φέρουν τις ευρυζωνικές συνδέσεις στο επόμενο επίπεδο με το WiMAX.

3.1. Λειτουργία του WiMAX

Ας ρίξουμε μια γρήγορη ματιά στο χώρο εργασίας ενός βασικού συστήματος WiMAX. Ένας σταθμός βάσης WiMAX είναι συνδεδεμένος σε δημόσια δίκτυα με οπτικές ίνες, καλώδια, συνδέσεις μικροκυμάτων, ή με οποιαδήποτε άλλη υψηλής ταχύτητας point-to-point (P-P) σύνδεση, που αναφέρονται ως backhaul. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως mesh δίκτυα, point-to-multipoint (P-MP) συνδέσεις χρησιμοποιούνται επίσης ως backhaul. Στην ιδανική περίπτωση, το WiMAX θα πρέπει να χρησιμοποιεί point-to-point κεραιές ως backhaul για να συνδέει συνολικά τοποθεσίες συνδρομητών μεταξύ τους και με σταθμούς βάσης σε μεγάλες αποστάσεις.

Ένας σταθμός βάσης εξυπηρετεί σταθμούς συνδρομητών (που ονομάζονται επίσης Customer Premise Equipment - CPE για προφανείς λόγους) με τη χρήση NLOS ή LOS point-to-multipoint συνδέσεις και αυτή η σύνδεση αναφέρεται ως last mile. Στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να χρησιμοποιούν WiMAX NLOS point-to-multi-point

κεραίες για να συνδέσουν κατοικίες ή επιχειρήσεις συνδρομητών με το σταθμό βάσης (Εικόνα 3.1). Ένας σταθμός συνδρομητή εξυπηρετεί συνήθως ένα κτίριο (κατοικία ή επιχείρηση) χρησιμοποιώντας ενσύρματο ή ασύρματο LAN.



Εικόνα 3.1. Δίκτυο WiMAX [4]

- Backhaul:** Αναφέρεται στη σύνδεση από το AP πίσω στον πάροχο αλλά και στη σύνδεση από τον πάροχο στο δίκτυο κορμού. Τα backhaul μπορούν να αναπτύξουν οποιαδήποτε τεχνολογία και τα μέσα ενημέρωσης που συνδέουν το σύστημα για τη σπονδυλική στήλη. Στα περισσότερα από τα σενάρια ανάπτυξης του WiMAX είναι πιθανό να συνδέονται πολλοί σταθμοί βάσης μεταξύ τους με τη χρήση μιας υψηλής ταχύτητας backhaul μικροκομματικής ζεύξης. Αυτό θα επιτρέπει επίσης στους συνδρομητές WiMAX να χρησιμοποιούν την περιαγωγή από μια περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης σε μια άλλη, παρόμοια με την περιαγωγή που παρέχεται στους συνδρομητές από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας.
- Last Mile:** Η Last-mile τεχνολογία είναι κάθε τεχνολογία τηλεπικοινωνιών που φέρει τα σήματα από την ραχοκοκαλιά των τηλεπικοινωνιών κατά μήκος μιας σχετικά μικρής απόστασης (για αυτό και αναφέρεται ως "last mile") προς και από το σπίτι ή την επιχείρηση. Σε πολλές κοινότητες, η last-mile τεχνολογία συνιστά μείζονα πρόκληση γιατί το κόστος για την παροχή

υψηλής ταχύτητας, υψηλού εύρους ζώνης υπηρεσιών σε μεμονωμένους συνδρομητές και σε απομακρυσμένες περιοχές μπορεί να είναι υψηλότερο από ότι θα ήθελε ο φορέα παροχής υπηρεσιών να είναι. Τα σύρματα και τα καλώδια οπτικών ινών αυξάνουν κατά πολύ το κόστος και μπορεί να είναι περιβαλλοντικά απαιτητικά και να απαιτούν υψηλή συντήρηση. Εμπειρογνώμονες ελπίζουν ότι τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα θα δώσουν επιτέλους την λύση και θα ανταποκριθούν πλήρως στις ανάγκες του καθενός. Σήμερα οι last-mile τεχνολογίες περιλαμβάνουν:

1. plain old telephone systems .
2. ISDN, μια πιο γρήγορη τεχνολογία από ότι η κανονική υπηρεσία τηλεφωνίας.
3. Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή πάνω στις υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές συνεστραμμένου ζεύγους.
4. Καλώδια και τα καλωδιακά μόντεμ για δεδομένα, χρησιμοποιούν την ίδια εγκατάσταση ομοαξονικού καλωδίου που ήδη χρησιμοποιείται για την τηλεόραση.
5. Ασύρματες, συμπεριλαμβανομένων των δορυφορικών υπηρεσιών, όπως Δορυφορική TV.
6. Οπτικές ίνες και τις τεχνολογίες μετάδοσης τους.

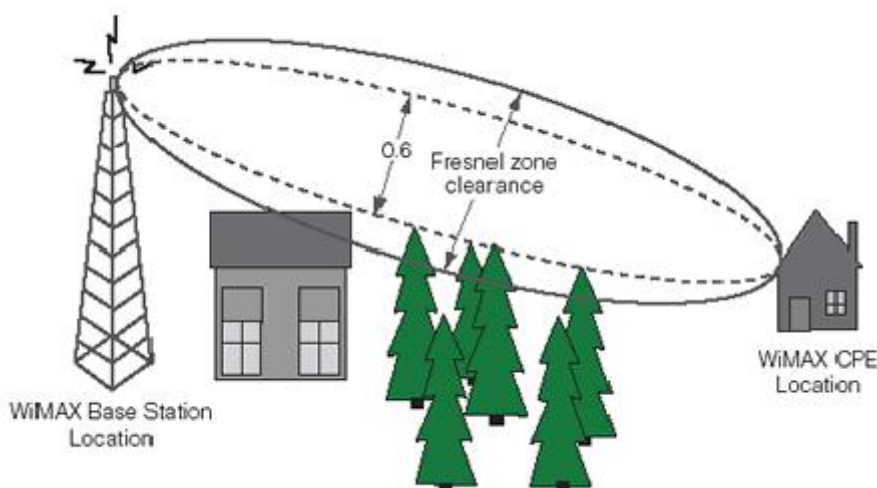
3.2. Line-of-Sight

Το αρχικό πρότυπο 802.16 λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 10 με 66 GHz και απαιτεί LOS πύργους. Line-of-sight είναι μια κατάσταση όπου ένα σήμα ταξιδεύει δια μέσου του αέρα απευθείας από ένα ασύρματο πομπό σε έναν ασύρματο δέκτη χωρίς να παρεμβάλεται κάποιο εμπόδιο στη διέλευση του. Σε περιβάλλον LOS, το σήμα μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερη απόσταση, με καλύτερη ισχύ σήματος και υψηλότερη απόδοση. Η υπηρεσία πρόσβασης LOS χρησιμοποιεί μια κεραία τύπου πιάτο η οποία δείχνει κατ 'ευθείαν στο πύργο WiMAX από μια ταράτσα ή κολόνα. Η σύνδεση LOS είναι ισχυρότερη και πιο σταθερή, έτσι ώστε να είναι σε θέση να στέλνει πολλά δεδομένα με λιγότερα λάθη. Οι LOS μεταδόσεις χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες, με το εύρος να φτάνει στην πιθανή τιμή των 66 GHz. Σε

υψηλότερες συχνότητες, υπάρχουν λιγότερες παρεμβάσεις και μεγαλύτερο εύρος ζώνης. [4], [61]

Διαμέσου των ισχυρότερων κεραιών LOS, ο σταθμό μετάδοσης WiMAX θα μπορεί να στέλνει δεδομένα σε υπολογιστές που είναι εξοπλισμένοι με την τεχνολογία WiMAX ή σε δρομολογητές που βρίσκονται μέσα σε ακτίνα μετάδοσης 30 μιλίων (3600 τετραγωνικά μίλια ή 9.300 τετραγωνικά χιλιόμετρα της κάλυψης). Αυτό είναι που επιτρέπει στο WiMAX να φτάσει το μέγιστο εύρος κάλυψης.

Μια σύνδεση LOS προϋποθέτει ότι το μεγαλύτερο μέρος της πρώτης ζώνης Fresnel είναι απαλλαγμένο από οποιοδήποτε εμπόδιο (εικόνα 3.2), αν αυτά τα κριτήρια δεν ικανοποιούνται τότε υπάρχει μια σημαντική μείωση της ισχύος του σήματος. Η εκκαθάριση ζώνης Fresnel προϋποθέτει εξαρτήσεις πάνω στη συχνότητα λειτουργίας και στην απόσταση μεταξύ των θέσεων του πομπού και του δέκτη.



Εικόνα 3.2. Ζώνη Fresnel [62]

3.3. Non-Line-of-Sight

Η επέκταση 802.16a, που επικυρώθηκε τον Ιανουάριο του 2003, χρησιμοποιεί χαμηλότερες συχνότητες από 2 έως 11 GHz, που επιτρέπουν NLOS συνδέσεις. Αυτό ήταν ένα σημαντικό επίτευγμα στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση, επειδή δεν χρειάζεται απευθείας οπτική επαφή (LOS) μεταξύ του σημείου μετάδοσης και της κεραία λήψης. Με την δυνατότητα του 802.16a, να συνδέει περισσότερους πελάτες με ένα μόνο πύργο μειώθηκε ουσιαστικά και το κόστους των υπηρεσιών.

Αντίθετα με την LOS κατάσταση η NLOS είναι μια κατάσταση όπου ένα σήμα από έναν ασύρματο πομπό περνάει αρκετά εμπόδια πριν καταλήξει σε έναν ασύρματο δέκτη. Το σήμα μπορεί να αντανακλάται, διαθλάται, απορροφάται ή διασπάται. Αυτά δημιουργούν πολλαπλά σήματα που θα καταλήξουν σε ένα δέκτη σε διαφορετικούς χρόνους, από διαφορετικές διαδρομές, και με διαφορετική περιεκτικότητα. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα συστήματα που αναπτύσσονται για NLOS περιβάλλοντα πρέπει να ενσωματώσουν μια σειρά από τεχνικές για να ξεπεράσουν αυτό το πρόβλημα και αυτό κάνει τα συστήματα αυτά πιο πολύπλοκα από εκείνα που αναπτύσσονται για LOS περιβάλλοντα. Ωστόσο τα συστήματα NLOS είναι ικανά να απλοποιήσουν τον σχεδιασμό ενός δικτύου. [61]

Το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών μπορεί να προκαλέσει την αλλαγή της πόλωσης του σήματος. Έτσι, η χρήση της πόλωσης ως μέσο για την επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας, όπως συνήθως γινόταν στις LOS αναπτύξεις μπορεί να είναι προβληματική για τις NLOS εφαρμογές. Το πως χρησιμοποιεί ένα ασύρματο σύστημα τα πολλαπλών διαδρομών σήματα, σαν πλεονέκτημα, αποτελεί το κλειδί για την παροχή υπηρεσιών σε NLOS συνθήκες.

Η υπηρεσία πρόσβασης NLOS είναι παρόμοια με το Wi-Fi, στο οποίο μια μικρή κεραία πάνω σε έναν υπολογιστή συνδέεται με τον πύργο. Χαμηλότερες συχνότητες μετάδοσης δεν μπορούν εύκολα να διαταραχθούν από φυσικά εμπόδια, όπως οι μεταδόσεις υψηλής συχνότητας, και είναι σε καλύτερη θέση να διαθλούν, ή να κάμπτουν, γύρω από τα εμπόδια. Με βάση αυτές τις αρχές, το WiMAX χρησιμοποιεί ένα χαμηλότερο φάσμα συχνοτήτων από 2 GHz έως 11 GHz (παρόμοιο με το Wi-Fi).

Το NLOS - στυλ πρόσβασης θα περιορίζεται σε μια ακτίνα μεταξύ 4 με 6 μίλια (ίσως και 25 τετραγωνικά μίλια ή 65 τετραγωνικά χιλιόμετρα κάλυψης, το οποίο είναι παρόμοιο με την ακτίνα κάλυψης ενός κινητού τηλεφώνου).

Το centimeter spectrum περιέχει τόσο tributary όσο και last mile δυναμική. Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 υποστηρίζει σταθερή NLOS BWA (Broadband Wireless Access) που μπορεί να υποκαθιστά ή να συμπληρώνει το DSL και την πρόσβαση με καλώδιο για last mile υπηρεσίες.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που κάνουν δημοφιλή τα συστήματα NLOS. Για παράδειγμα, οι αυστηρές απαιτήσεις σχεδιασμού και ο περιορισμός για το ύψος της κεραίας συχνά δεν επιτρέπουν να τοποθετηθεί η κεραία για LOS. Για μεγάλης κλίμακας συνεχόμενες κυψελοειδή αναπτύξεις, όπου η επαναχρησιμοποίηση της

συχνότητας είναι κρίσιμη, το χαμήλωμα της κεραίας αποτελεί πλεονέκτημα για τη μείωση των παρεμβολών στα κανάλια μεταξύ των γειτονικών cell sites. Αυτό συχνά αναγκάζει τους σταθμούς βάσης να λειτουργούν σε συνθήκες NLOS. Τα συστήματα LOS δεν μπορούν να μειώσουν το ύψος της κεραίας επειδή κάτι τέτοιο θα είχε επιπτώσεις στην απαιτούμενη άμεση οπτική επαφή του CPE με το σταθμό βάσης. [61], [62]

Η τεχνολογία NLOS και οι βελτιωμένες δυνατότητες του WiMax καθιστούν δυνατή τη χρήση εξοπλισμού που έχει επιλέξει ο πελάτης για εσωτερικούς χώρους (CPE). Αυτό έχει δύο βασικές προκλήσεις: Πρώτον, πρέπει να ξεπερνιούνται οι απώλειες από την διείσδυση στο κτίριο και δεύτερον, πρέπει να καλύπτονται λογικές αποστάσεις με τη χαμηλότερη ενέργεια μετάδοσης και κέρδος κεραίας που συνήθως συνδέονται με εσωτερικά CPEs. Το WiMAX παρέχει αυτή τη δυνατότητα, ενώ η κάλυψη NLOS μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με την μόχλευση μερικών προαιρετικών δυνατοτήτων του WiMAX.

Το WiMAX προσφέρει στους φορείς της λύσης για να αντιμετωπίσουν πολλές εφαρμογές με τις εξαιρετικές επιδόσεις του στο περιβάλλον NLOS. Το WiMAX είναι χτισμένο στο ισχυρό OFDM / OFDMA φυσικό επίπεδο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει με μεγαλύτερη εξάπλωση καθυστέρησης τυπικά σε περιβάλλον NLOS. Μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί η επιλεκτική παραμόρφωση στη συχνότητα με την εξίσωση στο επίπεδο sub-carrier.

Μια σειρά προηγμένων τεχνικών, όπως subchannelization, προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding - AMC), AAS και MIMO έχουν επίσης προσαρμοστεί στο WiMAX για να το κάνουν να έχει καλύτερη απόδοση σε NLOS περιβάλλοντα. Το subchannelization επιτρέπει στο WiMAX να επικεντρώσει την δύναμη μετάδοσης στα υποκανάλια, αυξάνοντας το βεληνεκές ενός σήματος. Το AMC τόσο στο downlink όσο και στο uplink επιτρέπει στο WiMAX να προσαρμόσει την διαμόρφωση και τον ρυθμό κωδικοποίησης δυναμικά με βάση τις συνθήκες σε κάθε sub-channel και την απαίτηση σε ρυθμό δεδομένων. Το AAS μπορεί να εστιάσει τον τομέα των ακτινών του σταθμού βάσης του WiMAX προς την κατεύθυνση μιας συσκευής χρήστη. Και το MIMO μπορεί να βελτιώσει την ισχύ του σήματος και τη ρυθμοαπόδοση σημαντικά με κάθε πρόσθετη κεραία στο BS και στο SS. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να βελτιώσουν συλλογικά τις επιδόσεις του WiMAX και την κάλυψη σε περιοχές με δύσκολα εδάφη (λοφώδεις), με πολλά εμπόδια (κτίρια και δέντρα) ή στο εσωτερικό ενός κτιρίου.



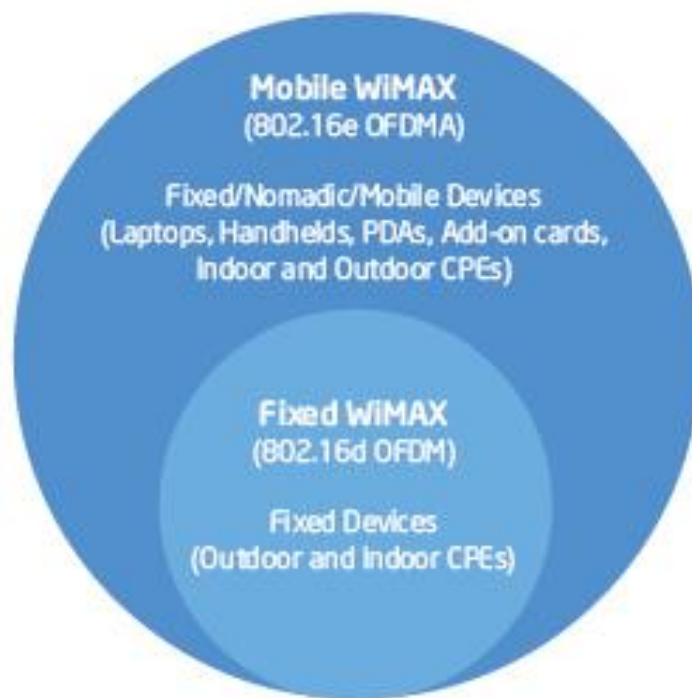
Εικόνα 3.3. NLOS και LOS περιβάλλον [61]

3.4. Τύποι Δικτύων WiMAX

Η οικογένεια των προτύπων WiMAX έχει επικεντρωθεί σε δύο τύπους μοντέλων χρήσης, το σταθερό μοντέλο χρήσης (IEEE 802.16-2004) και ένα κινητό μοντέλο χρήσης (IEEE 802.16e). Πριν συζητήσουμε περισσότερα για αυτά τα διαφορετικά είδη του WiMAX, είναι σημαντικό να κατανοήσουν και να εκτιμήσουν τις βασικές διαφορές μεταξύ των κινητών, νομαδικών, και των συστημάτων σταθερής ασύρματης πρόσβασης. Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τα συστήματα αυτά είναι η ταχύτητα εδάφους στην οποία είναι σχεδιασμένα τα συστήματα να λειτουργούν. Με βάση την κινητικότητα, τα συστήματα ασύρματης πρόσβασης είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε κίνηση χωρίς να υπάρχει καμία διαταραχή των υπηρεσιών τους. Η ασύρματη πρόσβαση μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: Στάσεις (0 km/h), πεζοί (μέχρι 10 km/h) και οχήματα (που υποκατηγοριοποιείται σε “τυπικό” που είναι μέχρι 100 km/h και σε “υψηλής ταχύτητας” που είναι μέχρι 500 km/h).

Ένα σύστημα κινητής ασύρματης πρόσβασης είναι αυτό που μπορεί να αντιμετωπίσει την κατηγορία των οχημάτων, ενώ τα συστήματα σταθερής ασύρματης πρόσβασης μπορούν να διαχειριστούν τις κατηγορίες των στάσεων και των πεζών. Αυτό εγείρει ερωτήματα σχετικά με τα συστήματα νομαδικής ασύρματης πρόσβασης, τα οποία αναφέρονται σαν ένα σύστημα που λειτουργεί όπως ένα σύστημα σταθερής ασύρματης πρόσβασης, αλλά παράλληλα μπορεί να αλλάξει τη θέση του. Ένα

παράδειγμα είναι ένας συνδρομητής WiMAX ο οποίος το λειτουργεί από μία θέση, παραδείγματος χάριν το γραφείο του κατά τη διάρκεια της ημέρας και μετακινείται το βράδυ σε μια άλλη τοποθεσία, παραδείγματος χάριν στο σπίτι του. Αν το σύστημα ασύρματης πρόσβασης λειτουργεί και στις δυο τοποθεσίες, μπορεί να αναφερθεί ως νομαδικό.



Εικόνα 3.4. Κινητό και σταθερό δίκτυο WiMAX [63]

3.4.1. Σταθερό μοντέλο χρήσης WiMAX

Η χρήση των υπηρεσιών και των πελατών του WiMAX για σταθερή πρόσβαση αναμένεται να αντικατοπτρίζει αυτή των σταθερών ενσύρματων υπηρεσιών. Επειδή οι επικοινωνίες γίνονται μέσω ασύρματων συνδέσεων από το CPE σε ένα απομακρυσμένο NLOS σταθμό βάσης για αυτό το λόγο οι απαιτήσεις για την ασφάλεια των συνδέσεων είναι μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτούνται για μια ασύρματη υπηρεσία. Οι μηχανισμοί ασφάλειας στα πρότυπα IEEE 802.16 είναι επαρκείς για την υπηρεσία σταθερής πρόσβασης.

Μια άλλη πρόκληση για την διεπαφή αέρα της σταθερής πρόσβασης είναι η ανάγκη για τη δημιουργία υψηλών αποδόσεων ασύρματων συνδέσεων που να μπορούν να έχουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων συγκρίσιμες με αυτές των ενσύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών, με εξοπλισμό που μπορεί να εγκατασταθεί από τους ίδιους τους χρήστες σε εσωτερικούς χώρους, όπως είναι η περίπτωση για την ψηφιακή συνδρομητική γραμμή DSL και για τα καλωδιακά μόντεμ. Τα πρότυπα IEEE 802.16 παρέχουν προηγμένες τεχνικές φυσικού (PHY) στρώματος για την επίτευξη των link margins, ικανών να υποστηρίξουν υψηλές αποδόσεις σε NLOS περιβάλλοντα. [4]

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 (που αναθεωρεί και αντικαθιστά τις εκδόσεις 802.16a και 802.16 REVD) σχεδιάστηκε για σταθερή (fixed) πρόσβαση. Είναι βασισμένο στην 802.16 έκδοση του προτύπου και στο ETSI HiperMAN. Το πρότυπο αυτό μπορεί να αναφερθεί και ως "fixed wireless" επειδή χρησιμοποιεί μια κεραία τοποθετημένη στο μέρος του συνδρομητή. Η κεραία είναι τοποθετημένη σε μια οροφή ή έναν ιστό, παρόμοια με ένα δορυφορικό πιάτο τηλεόρασης. Το IEEE 802.16-2004 εξετάζει τις εσωτερικές εγκαταστάσεις, οπότε μπορεί να μην είναι σταθερό σε υπαίθριες εγκαταστάσεις. Το πρότυπο 802.16-2004 είναι μια ασύρματη λύση για σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο και παρέχει διαλειτουργικές λύσεις για το last mile όπως:

- Παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών (Multi-path interference)
- Καθυστέρηση διάδοσης (Delay spread)
- Ανθεκτικότητα (Robustness)

Η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών και η καθυστέρηση διάδοσης βελτιώνουν τις επιδόσεις σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή της διαδρομής μεταξύ του σταθμού βάσης και της συσκευής του συνδρομητή. Το αναπτυσσόμενο MAC στρώμα του 802.16-2004 έχει βελτιστοποιηθεί για συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, διότι έχει σχεδιαστεί για να ανέχεται μεγαλύτερες καθυστερήσεις και παραλλαγές καθυστερήσεων. Οι προδιαγραφές του 802.16 φιλοξενούν μηνύματα διαχείρισης MAC που επιτρέπουν στον σταθμό βάσης να αναζητά την συσκευή του συνδρομητή, αλλά υπάρχει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα καθυστέρησης.

Οι εξοπλισμοί WiMAX που λειτουργεί σε μη - αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί Time-Division Duplexing ενώ ο εξοπλισμός που θα λειτουργεί σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί είτε TDD είτε Frequency-Division Duplexing.

Συστήματα που βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16-2004 είναι τα μόνα τυποποιημένα OFDM based συστήματα ασύρματων δικτύων μητροπολιτικής περιοχής. Στο πρότυπο 802.16-2004 το σήμα OFDM διαιρείται σε 256 φέροντα αντί των 64 που έχει το πρότυπο 802.11. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο μεγαλύτερος αριθμός φερόντων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων καταλήγει σε στενότερα υποφέροντα το οποίο ισοδυναμεί με μεγαλύτερες περιόδους συμβόλων. Το ίδιο ποσοστό του χρόνου φύλαξης ή του κυκλικού προθέματος (Cyclic Prefix - CP) προβλέπουν μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στη μεγαλύτερη καθυστέρηση διάδοσης και αντοχή στην παρεμβολή πολλαπλών μονοπατιών. [64]

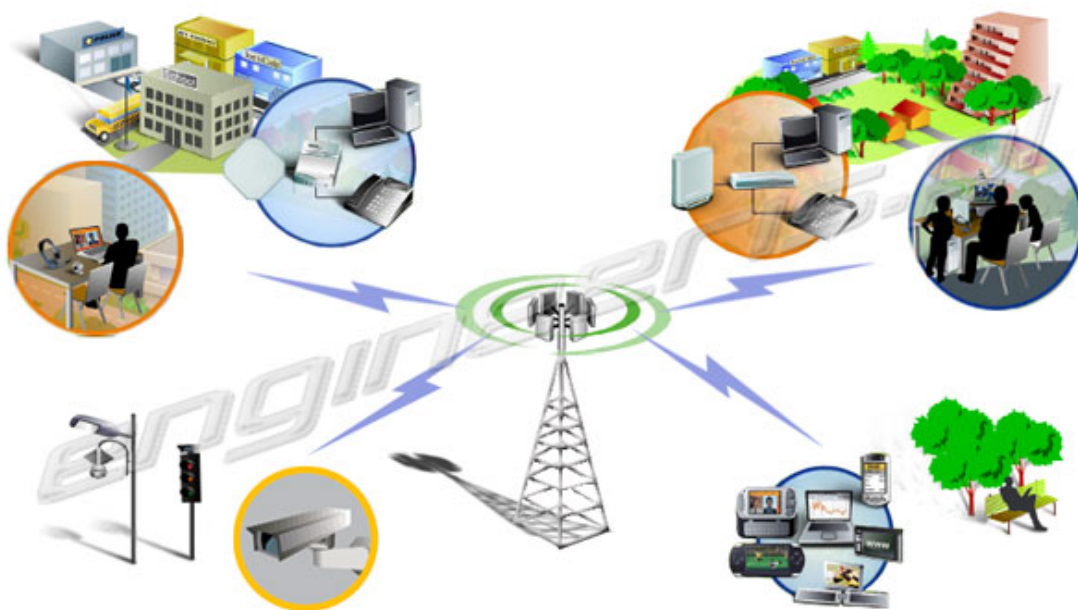
Το φυσικό στρώμα για το 802.11 αλλά και για το 802.16-2004 έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντέχει την καθυστέρηση διάδοσης. Επειδή το πρότυπο 802.11 σχεδιάστηκε για 100 μετρά μπορεί να ανεχτεί μόνο 900 nanoseconds καθυστέρηση διάδοσης. Το πρότυπο 802.16-2004 μπορεί να ανεχτεί έως και 10 microseconds καθυστέρηση διάδοσης δηλαδή 1000 φορές μεγαλύτερη από το πρότυπο 802.11.

Το πρότυπο 802.16-2004 βασίζεται στην πρόσβαση αιτήματος - χορήγησης και σε αντίθεση με την πρόσβαση contention-based που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11, δεν επιτρέπει συγκρούσεις δεδομένων και ως εκ τούτου, χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης πιο αποτελεσματικά. Καμία σύγκρουση σημαίνει καμία απώλεια του εύρους ζώνης λόγω αναμετάδοσης των δεδομένων. Όλες οι επικοινωνίες συντονίζονται από το σταθμό βάσης. Άλλα χαρακτηριστικά του 802.16-2004 προτύπου είναι τα εξής:

- **Βελτίωση της διασύνδεσης χρήστη:** Το πρότυπο 802.16-2004 κρατά περισσότερο συνδεδεμένους, εξαιτίας του ευέλικτου πλάτους καναλιού και της προσαρμοστικής διαμόρφωσης. Επειδή χρησιμοποιεί στενότερα κανάλια από αυτά των 20MHz που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11, το 802.16-2004 μπορεί να εξυπηρετήσει συνδρομητές με λιγότερες απαιτήσεις χωρίς να σπαταλήσει το εύρος ζώνης. Όταν οι συνδρομητές αντιμετωπίζουν συνθήκες θορύβου ή ασθενούς σήματος το προσαρμοστικό σχέδιο διαμόρφωσης τους κρατά συνδεδεμένους ενώ σε άλλη περίπτωση θα είχε διακοπή η σύνδεση.
- **Υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών:** Το πρότυπο αυτό δίνει την δυνατότητα στους Wireless Internet Service Providers να εξασφαλίσουν QoS για τους πελάτες που την απαιτούν και να προσαρμόσουν τα επίπεδα υπηρεσιών για να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές ανάγκες των πελατών. Για παράδειγμα, το

πρότυπο 802.16-2004 μπορεί να εγγυηθεί υψηλό εύρος ζώνης για τους επαγγελματικούς πελάτες ή χαμηλή καθυστέρηση για υπηρεσίες φωνής και βίντεο, ενώ παράλληλα παρέχει μόνο υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας και χαμηλότερου κόστους σε οικιακούς χρήστες του Διαδικτύου.

- **Πλήρης υποστήριξη για WMAN υπηρεσίες:** Από την αρχή, το πρότυπο 802.16-2004 σχεδιάστηκε για να παρέχει WMAN υπηρεσίες. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και σε μεγαλύτερες αποστάσεις από ότι οι last-mile εφαρμογές που βασίζονται στο πρότυπο 802.11g.
- **Robust carrier-class operation:** Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε για carrier-class λειτουργία. Όσο περισσότεροι χρήστες μπαίνουν στο δίκτυο πρέπει να μοιράζονται το συνολικό εύρος ζώνης και ο ρυθμός μετάδοσης του καθενός μειώνετε γραμμικά. Η μείωση, ωστόσο, είναι λιγότερο δραματική από ό, τι είναι στο πρότυπο 802.11. Αυτή η δυνατότητα ονομάζεται "αποτελεσματική πολλαπλή πρόσβαση".



Εικόνα 3.5. Σταθερό WiMAX [65]

3.4.2. Κινητό μοντέλο χρήσης WiMAX

Η επέκταση 802.16a, που επικυρώθηκε τον Ιανουάριο του 2003, χρησιμοποιεί μια χαμηλότερη συχνότητα από 2 έως 11 GHz, που επιτρέπει NLOS συνδέσεις. Η πιο πρόσφατη ομάδα εργασίας του προτύπου 802.16e αξιοποιεί τις νέες δυνατότητες του με το να εργάζεται στην ανάπτυξη προδιαγραφών για τους χρήστες κινητών υπηρεσιών. Το πρότυπο 802.16e είναι μια τροποποίηση της βασικής προδιαγραφής 802.16-2004 και παρέχει την δυνατότητα σε αυτούς τους πελάτες για διαπομπές (handoffs) μεταξύ των 802.16 σταθμών βάσεων, επιτρέποντας στους πελάτες να κινούνται ελεύθερα μεταξύ των τομέων που παρέχεται κάλυψη για κινητές υπηρεσίες χωρίς να διακοπή η σύνδεση τους.

Μπορούν να υπάρξουν δύο περιπτώσεις φορητότητας: Η πλήρης ή περιορισμένη κινητικότητα. Η απλούστερη περίπτωση των φορητών υπηρεσιών περιλαμβάνει έναν χρήστη ο οποίος μεταφέρει ένα μόντεμ σε διαφορετική τοποθεσία. Υπό την προϋπόθεση ότι αυτή η τοποθεσία που επισκέφτηκε εξυπηρετείται από ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, σε αυτό το σενάριο ο χρήστης εκ νέου πιστοποιεί και χειροκίνητα επανεγκαθιδρύει νέα IP σύνδεση και έτσι του παρέχονται ευρυζωνικές υπηρεσίες στην τοποθεσία που έχει επισκεφτεί.

Στο σενάριο της πλήρους κινητικότητας, οι προσδοκίες των χρηστών για τη σύνδεση είναι συγκρίσιμες με τις εγκαταστάσεις που είναι διαθέσιμες σε συστήματα τρίτης γενιάς (3G) φωνής / δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν ευρυζωνικές υπηρεσίες. Τα συστήματα κινητής ασύρματης πρόσβασης πρέπει να είναι ανθεκτικά στην ταχεία μεταβολή των καναλιών για να υποστηρίζουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε κινούμενα οχήματα.

Υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις της κινητικότητας για το στρώμα IP λόγω της ανάγκης να διατηρηθεί η ικανότητα δρομολόγησης των host διευθύνσεων IP για την διαφύλαξη των in-flight πακέτων κατά την διάρκεια των IP διαπομπών (handoff). Αυτό μπορεί να απαιτεί έλεγχο ταυτότητας, και handoffs για uplink και downlink πακέτα IP και πλαίσια MAC. Η ανάγκη για την υποστήριξη χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης και χαμηλής απώλειας πακέτων των μεταβιβάσεων των ροών δεδομένων καθώς ο χρήστης μεταδίδει από τον ένα σταθμό βάσης σε άλλο, είναι ένα πολύ δύσκολο έργο. Για τις κινητές υπηρεσίες δεδομένων, οι χρήστες δεν θα προσαρμόζονται εύκολα στις προσδοκίες των υπηρεσιών τους, λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών που από τεχνική άποψη είναι απαιτητικοί, αλλά δεν

έχουν άμεση σχέση με την διαχείριση του χρήστη (όπως αν είναι εν στάση ή εν κίνηση). Για αυτούς τους λόγους, το δίκτυο και το air interface πρέπει να είναι σχεδιασμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προβλέψουν αυτές τις προσδοκίες των χρηστών.

Το πρότυπο IEEE 802.16e προσθέτει την κινητικότητα και τη δυνατότητα μεταφοράς σε εφαρμογές όπως είναι τα notebooks και τα PDAs. Σε αυτή την επέκταση υποστηρίζεται και το αδειοδοτημένο (licensed bands) αλλά και το μη αδειοδοτημένο (license-exempt band) φάσμα συχνοτήτων. Το κινητό WiMAX ή αλλιώς πρότυπο 802.16e επικυρώθηκε από τον IEEE τον Δεκέμβριο του 2005 με την προοπτική να αναδειχτεί πραγματικός ανταγωνιστής της υφιστάμενης τεχνολογίας 3G. Αυτή η προοπτική αναπτύχθηκε όταν η Νότια Κορέα αποφάσισε να φέρει στην αγορά ένα συμβατό πρότυπο κινητού WiMAX το WiBro (Wireless Broadband).

Το 802.16e χρησιμοποιεί OFDMA που ονομάζεται 1K-FFT, το οποίο είναι παρόμοιο με το OFDM, εφόσον διαιρεί τα carriers σε πολλαπλά subcarriers. Ωστόσο το OFDMA πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα ομαδοποιώντας τα πολλαπλά subcarriers μέσα σε sub-channels. Ένας μόνο σταθμός πελάτη ή συνδρομητή μπορεί να μεταδώσει χρησιμοποιώντας όλα τα sub-channels μέσα στο χώρο του carrier ή πολλαπλοί πελάτες μπορούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας ο καθένας ένα μέρος από το συνολικό αριθμό των sub-channels. Παρουσιάζεται ακόμα η κλιμακωτή SOFDMA για την υποστήριξη κλιμακούμενου εύρους ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20 MHz.

Το κινητό μοντέλο χρήσης WiMAX έχει πολλά πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- **Βελτίωση του Air Interface:** Το Air Interface του κινητού WiMAX χρησιμοποιεί OFDMA για τη βελτίωση των επιδόσεων των πολλαπλών διαδρομών σε NLOS περιβάλλοντα και για υψηλή ευελιξία στην κατανομή των πόρων σε χρήστες με διαφορετικές απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.
- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων:** Μια ποικιλία από τεχνικές κεραιών υποστηρίζονται από το κινητό δίκτυο WiMAX για να αυξήσουν τον ρυθμό μετάδοσης και κυρίως στις άκρες των κυττάρων. Για παράδειγμα με την χρήση της τεχνικής κεραιών Multiple-Input και Multiple-Output (MIMO) σε συνδυασμό με την ευέλικτη υποκαναλοποίηση, την προσαρμοστική

διαμόρφωση και μια ποικιλία κωδικοποιήσεων ,επιτρέπουν στο κινητό δίκτυο WiMAX να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε downlink (DL) έως 46 Mbps ανά τομέα και σε uplink (UL) έως 14 Mbps ανά τομέα σε ένα κανάλι 10 MHz.

- **Quality of Service (QoS):** Το βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής του IEEE 802.16e MAC είναι το QoS. Το χαρακτηριστικό QoS του κινητού δικτύου WiMAX δίνει την δυνατότητα στον διαχειριστή να βελτιστοποιεί την απόδοση του δικτύου ανάλογα με τον τύπο των υπηρεσιών (π.χ., φωνή, βίντεο, παιχνίδια) και το επίπεδο των υπηρεσιών του χρήστη.
- **Επεκτασιμότητα:** Η τεχνολογία του κινητού δικτύου WiMAX χρησιμοποιεί SOFDMA και σύμφωνα με το αρχικό σύστημα προφίλ του κινητού δικτύου WiMAX έχει την ικανότητα να λειτουργεί σε μεγέθη καναλιών 5, 7, 8.75, και 10 MHz για να συμμορφώνεται με τις διάφορες κατανομές φάσματος σε όλο το κόσμο.
- **Ασφάλεια:** Η τεχνολογία του κινητού δικτύου WiMAX ενσωματώνει τα πλέον προηγμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας που χρησιμοποιούνται σήμερα στα IEEE 802 συστήματα ασύρματης πρόσβασης. Αυτά περιλαμβάνουν Extensible Authentication Protocol (EAP) που βασίζεται στον έλεγχο ταυτότητας και στο Advanced Encryption Standard (AES) ,το οποίο με την σειρά του βασίζεται στην γνησιότητα κρυπτογράφησης, στο Cipher-based Message Authentication Code (CMAC) και στο Hashed Message Authentication Code (HMAC) που περιλαμβάνετε στα σχέδια ελέγχου προστασίας μηνυμάτων.
- **Κινητικότητα:** Η τεχνολογία του κινητού δικτύου WiMAX υποστηρίζει διαπομπή (handover) και περιαγωγή με λανθάνουσες καταστάσεις κάτω από 50 ms, για να βοηθήσουν να διασφαλιστεί ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως Voice over Internet Protocol θα υποστηρίζονται αποτελεσματικά χωρίς να υποβαθμίζονται οι υπηρεσίες. Τα ευέλικτα συστήματα διαχείρισης κλειδιών βοηθούν ώστε να διασφαλιστεί ότι η ασφάλεια παραμένει κατά την διάρκεια της διαπομπής.

Όπως έχουν τα πράγματα σήμερα η τεχνολογία κινητού WiMAX φαίνεται να είναι ο αδιαφιλονίκητος νικητής μεταξύ των προτύπων και θα χρησιμοποιηθεί για κινητά δίκτυα WiMAX αλλά θα προσαρμοστεί και για σταθερά δίκτυα ανάλογα με τις

ανάγκες. Η επόμενη έκδοση του WiMAX το πρότυπο 802.11m θα ενσωματώνει ακόμη περισσότερες δυνατότητες κινητικότητας, ευρυζωνικής χωρητικότητας αλλά και άλλες τεχνολογικές αλλαγές για να βελτιωθεί η ικανότητα μεταφοράς του δικτύου.

3.5. Αδειοδοτημένες και μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων

Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο έχουν καθιερώσει ζώνες συχνοτήτων διαθέσιμες για χρήση από τεχνολογίες WiMAX με άδεια και χωρίς άδεια. Κάθε γεωγραφική περιοχή καθορίζει και ρυθμίζει το δικό της σύνολο από αδειοδοτημένες και μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων. Για να συμφωνεί με τις παγκόσμιες απαιτήσεις και να επιτρέπεται στους παρόχους να χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα φάσματα συχνοτήτων εντός αυτών των ζωνών, το πρότυπο 802.16-2004 υποστηρίζει κανάλι μεγέθους μεταξύ 1.5 και 20 MHz.

Αυτό που μερικές φορές παραβλέπεται είναι ότι κάθε ζώνη συχνοτήτων προσφέρει ένα διαφορετικό σύνολο πλεονεκτημάτων για διάφορα μοντέλα χρήσης. Το καθένα εξυπηρετεί μια διαφορετική ανάγκη της αγοράς βασιζόμενο σε συμβιβασμούς μεταξύ του κόστους και του QoS. Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις και οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα στους παρόχους. Η διαθεσιμότητα των δύο επιτρέπει στους παρόχους και σε αναδυόμενες αγορές να εκπληρώσουν μια σειρά από ανάγκες χρήσης.

3.5.1. Αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων

Η ζώνη των 2.5 GHz, έχει υιοθετηθεί από το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, συμπεριλαμβανομένων την Βόρεια Αμερική, Λατινική Αμερική, Δυτική και Ανατολική Ευρώπη, και τα μέρη της Ασίας, ως αδειοδοτημένη ζώνη για το WiMAX. Κάθε χώρα διαθέτει τη ζώνη συχνοτήτων με διαφορετικό τρόπο, έτσι ώστε το φάσμα συχνοτήτων που έχει παραχωρηθεί σε διάφορες περιοχές μπορεί να κυμαίνεται από 2.6 έως 4.2 GHz.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η FCC έχει δημιουργήσει το Broadband Radio Service (BRS), που παλαιότερα ονομαζόταν Multi-Channel Multi-Point Distribution System (MMDS), για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Η αναδιάρθρωση που ακολουθήθηκε

επέτρεψε το άνοιγμα των ζωνών συχνοτήτων 2,495 με 2,690 GHz για αδειοδοτημένες λύσεις όπως η ζώνη 2.5GHz στο WiMAX. Στην Ευρώπη, ο ETSI παραχώρησε τη ζώνη των 3.5 GHz, που αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί για ασύρματο τοπικό βρόχο (Wireless Local Loop - WLL), για αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX.

Για να αποκτηθεί μία αδειοδοτημένη λύση, ένας φορέας ή ένας πάροχος υπηρεσιών πρέπει να αποκτήσει ένα φάσμα συχνοτήτων. Η απόκτηση του φάσματος συχνοτήτων είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Σε ορισμένες χώρες, η υποβολή των κατάλληλων αδειών για την απόκτηση δικαιωμάτων αδειοδότησης μπορεί να πάρει μήνες, ενώ σε άλλες χώρες, ο πλειστηριασμός του φάσματος συχνοτήτων μπορεί να αυξήσει τις τιμές και να οδηγήσει σε καθυστερήσεις για την απόκτηση του φάσματος.

3.5.1.1. Πλεονεκτήματα αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX

Ένα σύστημα WiMAX που λειτουργεί στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα έναντι ενός συστήματος WiMAX που λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων όσον αφορά τον πιο γενναιόδωρο προϋπολογισμό δύναμης downlink και το ότι μπορεί να υποστηρίξει καλύτερα κεραιές εσωτερικών χώρων. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι οι χαμηλότερες συχνότητες που συνδέονται με τις αδειοδοτημένες ζώνες (2.5 GHz και 3.5 GHz) επιτρέπουν καλύτερη NLOS και RF διείσδυση.

Το υψηλότερο κόστος και τα αποκλειστικά δικαιώματα του φάσματος συχνοτήτων επιτρέπουν μια πιο προβλέψιμη και σταθερή λύση για μεγάλες μητροπολιτικές επεκτάσεις και για κινητή χρήση. Τα αποκλειστικά δικαιώματα σε μια ζώνη συχνοτήτων, δίνουν τη δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας των υπηρεσιών και μείωσης των παρεμβολών.

Όστόσο, οι αδειοδοτημένες ζώνες δεν είναι χωρίς θέματα παρεμβολών. Όσο οι πάροχοι υπηρεσιών αναπτύσσουν περισσότερα δίκτυα, θα πρέπει να αντιμετωπίσουν τις αμοιβαίες παρεμβολές που προέρχονται από μέσα από τα ίδια τους τα δίκτυα. Με κατάλληλο σχεδιασμό και εκτέλεση μπορούν να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα. Εν ολίγοις, οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν βελτιωμένα πλεονεκτήματα QoS σε σχέση με τις μη αδειοδοτημένες λύσεις.

3.5.1.2. Εφαρμογές των αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX

Οι αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX προσφέρουν καλύτερο έλεγχο σε μεγάλες περιοχές, ενισχυμένη επεκτασιμότητα, QoS, και ευελιξία για τους χρήστες σε σχέση με την κίνηση. Ακόμα θέματα που σχετίζονται με την κινητικότητα όπως η μετάδοση σημάτων RF προς και από το κινούμενο στόχο αντιμετωπίζονται πιο εύκολα. Επιπλέον, οι αδειοδοτημένες λύσεις χρησιμοποιούν FDD. Οι αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX είναι κατάλληλες για τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Μεγάλη κάλυψη, Point to Multipoint εφαρμογές.
- Πανταχού παρούσες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες.
- Κατά την αδειοδότηση όταν ενεργοποιείται ο έλεγχος της χρήσης του φάσματος συχνοτήτων και των παρεμβολών.
- Όταν το κόστος δεν είναι το πρωταρχικό ζήτημα για την επιλογή της τεχνολογίας, επειδή η τεχνολογία έχει βελτιστοποιηθεί για αυτή την εφαρμογή (άλλες τεχνολογίες όπως 3G data overlays θα κοστίσουν περισσότερο και θα έχουν χειρότερες επιδόσεις).
- Όταν οι υπηρεσίες και ο εξοπλισμός του σταθμού βάσης μπορεί μόνο να είναι μισθωμένος από έναν φορέα ή ένα πάροχο υπηρεσιών.

3.5.2. Μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων

Οι μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, που διατίθεται σχεδόν σε όλο τον κόσμο σήμερα, βρίσκονται στην περιοχή των 2.4 GHz. Αυτή η ζώνη συχνοτήτων συχνά καλείται και ως βιομηχανική, επιστημονική, ιατρική (ISM) ζώνη συχνοτήτων, επειδή ο αρχικός της σχεδιασμός ήταν για να επιτρέψει τις ραδιοεκπομπές από διάφορα είδη εξοπλισμού. Αυτή είναι η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται σήμερα για WLANs σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE 802.11b / g και η οποία έχει επωνομαστεί από μια βιομηχανική ομάδα ως Wi-Fi.

Ένα άλλο πολυσυζητημένο σετ ζωνών συχνοτήτων είναι ο χώρος ανάμεσα στα 5 GHz και 6 GHz, όπου το πρότυπο IEEE 802.11a είναι καθορισμένο να λειτουργεί. Οι μη αδειοδοτημένες κατανομές σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων έχουν αποτελέσει αντικείμενο των πρόσφατων διεθνών προσπαθειών εναρμόνισης δια μέσου της ITU

το 2003 στη Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών (World Radiocommunication Conference 2003 - WRC03).

Η πλειοψηφία των χωρών σε όλο τον κόσμο έχουν υιοθετήσει το φάσμα των 5 GHz για τις μη αδειοδοτημένες επικοινωνίες. Οι ζώνες συχνοτήτων 5.15 GHz και 5.85 GHz έχουν χαρακτηριστεί ως μη αδειοδοτημένες σε μεγάλο μέρος του κόσμου. Περίπου 300 MHz του φάσματος συχνοτήτων είναι διαθέσιμο σε πολλές αγορές παγκοσμίως, και ένα επιπλέον 255 MHz του μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων των 5GHz είναι διαθέσιμο σε πυκνοκατοικημένες αγορές, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες.

Ορισμένες κυβερνήσεις και φορείς παροχής υπηρεσιών ανησυχούν ότι οι παρεμβολές που προκύπτουν από τη διαθεσιμότητα των πάρα πολλών μη αδειοδοτημένων ζωνών συχνοτήτων θα μπορούσαν να επηρεάσουν σημαντικά, δημόσια και κυβερνητικά δίκτυα επικοινωνιών, όπως τα συστήματα ραντάρ. Αυτές οι χώρες και οι οντότητες έχουν δραστηριοποιηθεί για τη δημιουργία περιορισμένων απαιτήσεων ελέγχου για το φάσμα των 5GHz. Για παράδειγμα, το Ηνωμένο Βασίλειο πρόσφατα έχει εισάγει περιορισμούς για ορισμένα κανάλια των 5 GHz, και εξετάζει το ενδεχόμενο επιβολής της χρήσης της DFS (Dynamic Frequency Select) λειτουργίας.

Ένα βασικό σημείο που χρειάζεται έμφαση είναι ότι χωρίς άδεια δεν σημαίνει ανεξέλεγκτη, καθώς και ότι οι διάφοροι φορείς που παρέχουν ασύρματες υπηρεσίες εξακολουθούν να έχουν την ανάγκη να διατηρούν ένα χωρίς-παρέμβαση πλάνο εργασίας και μια στάση “καλής γειτονίας”, μαζί με τη διασφάλιση της αποτελεσματικής χρήσης του φάσματος συχνοτήτων.

3.5.2.1. Πλεονεκτήματα μη αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX

Το κόστος που συνδέεται με την απόκτηση άδειας ζωνών συχνοτήτων οδηγεί πολλούς WISPs και κάθετες αγορές να επιλέγουν μη αδειοδοτημένες λύσεις για εξειδικευμένες αγορές, όπως οι αγροτικές περιοχές και οι αναδυόμενες αγορές.

Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις παρέχουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις αδειοδοτημένες, συμπεριλαμβανομένου του χαμηλότερου αρχικού κόστους, την ταχύτερη εγκατάσταση, και μια κοινή ζώνη συχνοτήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο μέρος του κόσμου. Τα οφέλη αυτά τροφοδοτούν το ενδιαφέρον και δίνουν την δυνατότητα να επιταχυνθεί η υιοθέτηση της

ευρυζωνικότητας. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών σε αναδυόμενες αγορές, όπως αναπτυσσόμενες χώρες ή ώριμες χώρες με υπανάπτυκτες περιοχές, μπορούν να μειώσουν το χρόνο εισαγωγής στην αγορά και το αρχικό κόστος με την ταχεία ανάπτυξη μιας μη αδειοδοτημένης λύσης χωρίς χρονοβόρες άδειες ή δημοπρασίες. Ακόμη και ώριμες περιοχές μπορούν να επωφεληθούν από τις μη αδειοδοτημένες λύσεις.

Ορισμένοι φορείς παροχής υπηρεσιών μπορούν να χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένες λύσεις για την παροχή last mile πρόσβασης σε σπίτια, επιχειρήσεις, ή backhaul ή σαν ένα συμπληρωματικό backup δίκτυο για τα αδειοδοτημένα ή ενσύρματα δίκτυα τους. Μια μη αδειοδοτημένη λύση είναι ρυθμισμένη όσον αφορά την ισχύ εξόδου, παρόλο που συνήθως δεν απαιτείται κάποια άδεια. Μια συσκευή ή μια υπηρεσία μπορεί να χρησιμοποιήσει τη ζώνη συχνοτήτων ανά πάσα στιγμή, όσο ελέγχεται επαρκώς η ισχύς εξόδου.

Μερικοί πάροχοι είναι ιδιαίτερα ανήσυχοι όσον αφορά το QoS, για παράδειγμα, μπορεί να διαπιστώσουν ότι μια αδειοδοτημένη λύση τους παρέχει περισσότερο έλεγχο πάνω στις υπηρεσίες. Ένας πάροχος υπηρεσιών που επιθυμεί να εξυπηρετήσει μια αναδυόμενη ή μια υπανάπτυκτη αγορά με την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών μπορεί να χρησιμοποιήσει μια μη αδειοδοτημένη λύση, με ορθή σχεδίαση του δικτύου, με έρευνες περιοχών και εξειδικευμένες λύσεις κεραιών, για να προσφέρει ορισμένες συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreements - SLAs) για αυτές τις εξειδικευμένες αγορές που απευθύνετε.

3.5.1.2. Εφαρμογές των μη αδειοδοτημένων συστημάτων WiMAX

Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX, έχουν επικεντρωθεί σε αγροτικές περιοχές, σε αναδυόμενες αγορές, σε υποανάπτυκτες περιοχές ή υποεξυπηρετούμενες περιοχές, όπως είναι μια απομονωμένη πανεπιστημιούπολη κολλεγίων ή ένα αγρόκτημα. Επιπλέον χρησιμοποιούν TDD. Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX είναι κατάλληλες για τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Point to Point (PTP) μακρινών αποστάσεων λύσεις σε αραιοκατοικημένα περιβάλλοντα.
- Point to Multipoint (PMP) λύσεις σε αγροτικές κοινότητες (συμπεριλαμβανομένων ορισμένων αναπτυσσόμενων χωρών).

- Σε περιοχές με μικρό RF θορύβου κατά συχνότητα ή σε περιοχές όπου οι παρεμβολές στην μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων μπορούν να ελεγχτούν σε ένα γεωγραφικό χώρο, όπως είναι μεγάλες πανεπιστημιούπολεις, στρατώνες, και ναυπηγεία.
- Όταν το κόστος είναι ο βασικός παράγοντας που κρίνει μια απόφαση μεταξύ ανταγωνιστικών ασύρματων τεχνολογιών.
- Όταν η κυριότητα του εξοπλισμού είναι επιλογή του τελικού χρήστη.

3.6. Τοπολογίες WiMAX

Στο πρότυπο IEEE 802.16 ορίζονται τρεις τοπολογίες ασύρματων δικτύων οι (1) σημείου προς σημείο (Point-to-Point - PTP), (2) σημείου προς πολλαπλούς αποδέκτες (Point-to-Multipoint - PMP) και (3) τοπολογία δικτύου πλέγματος (Mesh Topology).

Μια σύνδεση PTP είναι μια σύνδεση δυο σημείων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου η απαίτηση για εύρος ζώνης είναι μεγάλη (π.χ. οργανισμοί και ιδρύματα) ή αν θέλουμε να συνδέσουμε ασύρματα σταθμούς βάσης μεταξύ τους. Υλοποιείται με κεραίες υψηλού κέρδους και κατευθυντικότητας και έχει υψηλό κόστος. Λέγεται και σύνδεση backhaul.

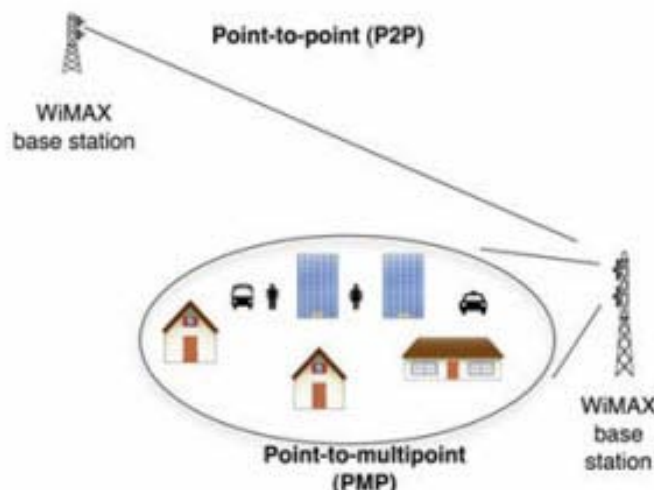
Από την άλλη μεριά μια σύνδεση PMP χρησιμοποιείται για να συνδέσει επαγγελματικούς ή οικιακούς συνδρομητές με το σταθμό βάσης. Το κόστος χρήσης της είναι μειωμένο και δεν έχει μεγάλη απαίτηση σε εύρος ζώνης. Λέγεται και σύνδεση last-mile. Η τοπολογία PMP είναι μια πολύ συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή δικτύου που εμφανίζεται στα κυψελωτά δίκτυα, ενώ τα Ad-hoc Wi-Fi δίκτυα αποτελούν ένα παράδειγμα mesh τοπολογίας.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο λειτουργιών, PMP και mesh είναι η εξής: στη λειτουργία PMP, η κίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μεταξύ BS και των SS του, ενώ στη Mesh λειτουργία η κίνηση μπορεί να δρομολογηθεί μέσω άλλων SS μέχρι τον BS και μπορεί να συμβαίνει ακόμα και μόνο μεταξύ των SS. Η PMP είναι μια συγκεντρωτική τοπολογία όπου ο BS είναι το κέντρο του συστήματος, ενώ στην τοπολογία Mesh δεν είναι. Τα στοιχεία ενός Mesh δικτύου ονομάζονται κόμβοι, π.χ. ένα Mesh SS είναι ένας κόμβος.

3.6.1. Τοπολογία Point-to-Point (PTP)

Η τοπολογία Point-to-Point χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν δυο σημεία ενδιαφέροντος: ένας αποστολέας και ένας δέκτης. Αυτό είναι επίσης ένα σενάριο για backhaul ή για μεταφορά από την προέλευσης των δεδομένων σε ένα συνδρομητή ή για ένα σημείο για διανομή χρησιμοποιώντας Point to Multipoint αρχιτεκτονική. Τα ασύρματα backhaul συνθέτουν μια βιομηχανία από μόνα τους μέσα στην ασύρματη βιομηχανία. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, ένα Point-to-Point ασύρματο δίκτυο είναι μια άμεση σύνδεση μεταξύ δύο διαφορετικών θέσεων.

Τα πλεονεκτήματα των point-to-point δικτύων περιλαμβάνουν μια αφιερωμένη σύνδεση σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία καθώς και υψηλότερες δυνατότητες από μια κοινόχρηστη τοπολογία όπως μια multipoint η μια mesh. Τα Point-to-Point δίκτυα περιλαμβάνουν ένα ζευγάρι ασύρματων συνδέσεων οι οποίες μπορεί να εγκατασταθούν από έναν επαγγελματία ή έναν έμπειρο τεχνικό πληροφορικής. Σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπως πυρκαγιές, όπου τα καλώδια χαλκού και οι οπτικές ίνες είναι ακατάλληλα για χρήση τότε καλούνται να λάβουν δράση ως εφεδρικά δίκτυα οι κυψελοειδή backhaul μικροκομματικές Point-to-Point ασύρματες συνδέσεις. Οι περισσότεροι διαχειριστές των κυψελοειδών δικτύων έχουν εγκαταστήσει πάνω σε οχήματα σταθμούς βάσης που ονομάζονται COW (Cellular On Wheels), τα οποία παρέχουν στοιχειώδη κάλυψη ή ανάκτηση κάλυψης του δικτύου και χρησιμοποιούν μια ασύρματη Point-to-Point σύνδεση από το COW πίσω στο κέντρο διαχείρισης του δικτύου. Επιπλέον η τεχνολογία Point-to-Point μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει μια σύνδεση υψηλής χωρητικότητας σε ένα δίκτυο ευρύτερης περιοχής ή σε έναν μόνο χρήστη (όπως μια μεγάλη επιχείρηση) όπου η χωρητικότητα του WiMAX CPE είναι ανεπαρκής. [66], [67]

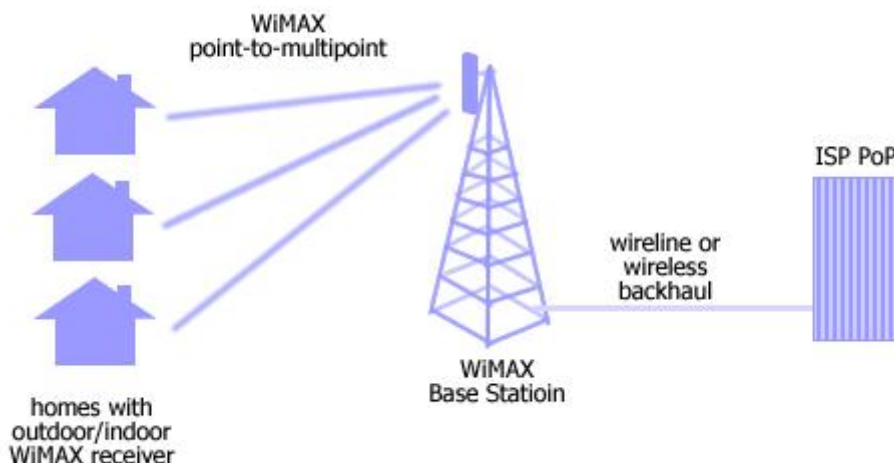


Εικόνα 3.6. WiMAX PTP και PMP τοπολογία [67]

3.6.2. Τοπολογία Point-to-Multipoint (PMP)

Η τοπολογία Point-to-Multipoint είναι συνώνυμη με την διανομή. Ένας σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει εκατοντάδες ανόμοιους συνδρομητές από την άποψη του εύρους ζώνης και των υπηρεσιών που προσφέρονται. Το WiMAX συχνά συνδέεται με την Point-to-Multipoint τοπολογία. Τα multipoint δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν ως ένας συνδυασμός hub και spoke. Χρησιμοποιούν σταθμούς βάσης σαν "hub" και συνδρομητικές μονάδες σαν το σημείο σύνδεσης στο άλλο άκρο με το σταθμό βάσης. Τα κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα είναι άλλο ένα παράδειγμα ενός multipoint δικτύου, όπου οι συνδρομητικοί σταθμοί είναι τα κινητά τηλέφωνα.

Ένα multipoint δίκτυο μπορεί να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις για ευρυζωνική πρόσβαση σε περισσότερους χρήστες από ότι μπορεί να αντέξει μια Point-to-Point λύση. Στην απλούστερη μορφή του, ένας σταθμός βάσης και ένας συνδρομητικός θα ήταν κυριολεκτικά ένα Point-to-Point δίκτυο, αν και δεν αποτελεί μια συμφέρουσα λύση από άποψη κόστους. Οι ευρυζωνικές δυνατότητες είναι κοινές μεταξύ όλων των συνδρομητών που είναι συνδεδεμένοι με το σταθμό βάσης.



Εικόνα 3.7. WiMAX Point-To-Multipoint (PMP) [68]

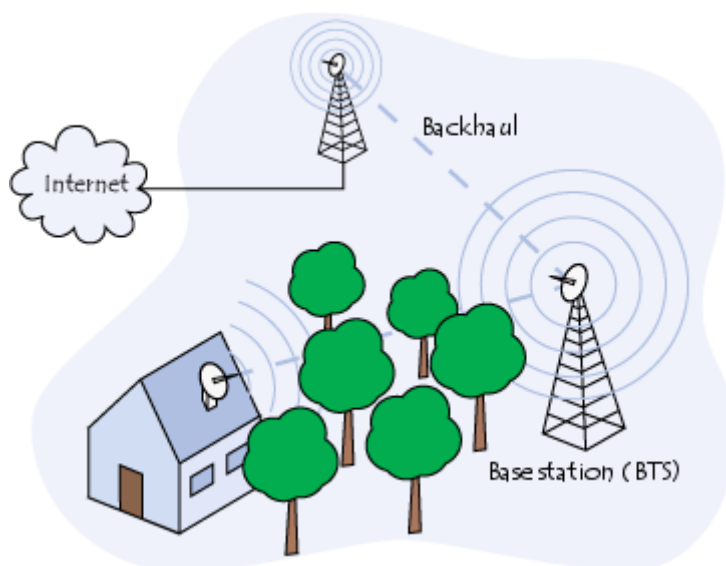
3.6.3. Τοπολογία Mesh

Μια πιο πρόσφατη τοπολογία ασύρματου δικτύου που έχει εφαρμοστεί για τα δημοτικά δίκτυα Wi-Fi είναι η δικτύωση Mesh. Η τοπολογία Mesh προσφέρει ένα συνδυασμό Point-to-Point και Point-to-Multipoint δυνατοτήτων με το να επιτρέπει στο καθένα από τους κόμβους συνδρομητών να μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με τους άλλους κόμβους.

Στη Mesh τοπολογία, κάθε σταθμός μπορεί να δημιουργήσει δικά του συστήματα επικοινωνίας με οποιονδήποτε άλλο σταθμό στο δίκτυο και έτσι δεν περιορίζετε να επικοινωνεί μόνο με τον BS. Έτσι, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της λειτουργίας Mesh είναι ότι η εμβέλεια του κάθε Base Station μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη, ανάλογα με τον αριθμό των hops, μέχρι τον πιο απομακρυσμένο Subscriber Station. Από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιώντας την Mesh λειτουργία φέρνει στην επιφάνεια τις μέχρι τώρα ενδεδειγμένες εξετάσεις πάνω στην έρευνα των ad hoc δικτύων δρομολόγησης.

Όταν επιτρέπεται σε ένα Mesh δίκτυο, ένας υποψήφιος SS κόμβος λαμβάνει ένα 16-bit Node ID (αναγνωριστικό) κατόπιν αιτήματος σε SS αναγνωρίζεται ως ο Mesh BS. Το Node ID είναι η βάση της αναγνώρισης του κόμβου. Το Node ID μεταφέρεται μέσα σε ένα Mesh subheader ενός γενικού πλαισίου MAC, τόσο στα μηνύματα unicast όσο και στα μηνύματα broadcast. [25]

Η πιο επιτυχημένες υλοποιήσεις της Mesh τοπολογίας είναι όταν μια οντότητα έχει πρόσβαση στους κόμβους (δηλαδή μια επιχείρηση σε ένα δημοτικό δίκτυο). Ανακαλύφθηκε ότι η παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε mesh nodes αποτελεί μια πρόκληση, διότι εάν ένας χρήστης χαλάσει τον κόμβο του αυτό αυτόματα θα επηρεάσει την λειτουργία και την απόδοση των άλλων κόμβων που βασίζονται σε αυτή την συσκευή για σύνδεση. Οι αντίπαλοι της τοπολογίας mesh επισημαίνουν ότι η λανθάνουσα κατάσταση (με τη μορφή της καθυστέρησης του σήματος) μπορεί να γίνει ο προάγγελος μετά από πολλαπλά hops (multiple hop), της αναξιοπιστίας της απόδοσης των εφαρμογών δημιουργίας βίντεο και audio streaming. [66]



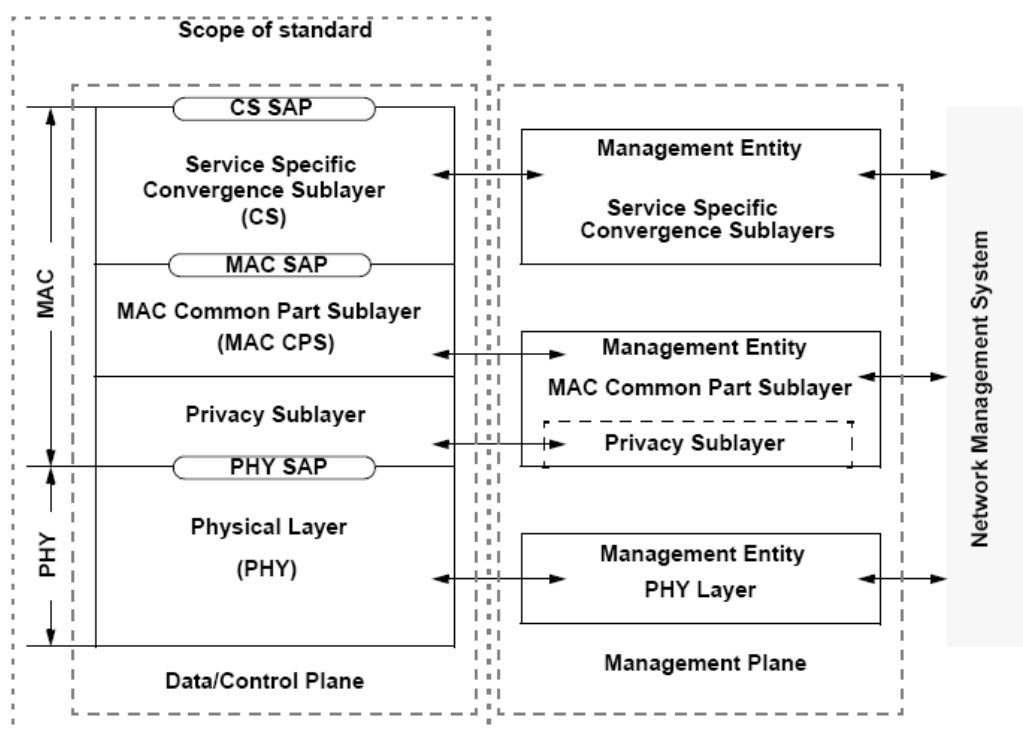
Εικόνα 3.8. Mesh δίκτυο [69]

3.7. Επίπεδα του WiMax

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

Πριν αρχίσουμε να περιγράψουμε τη στοίβα πρωτοκόλλων του 802.16 πρέπει να πούμε ότι το πρότυπο λειτουργεί στο συχνοτικό φάσμα των 10-66 GHz. Αυτή η συχνοτική μάντα δημιουργεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος η επίτευξη επικοινωνίας απαιτεί οπτική επαφή (line of sight ή LOS), αλλά όμως η λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι αμελητέα. Τα κανάλια του φυσικού περιβάλλοντος του πρότυπου είναι μεγάλα. Με ιδανικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερο από 120 Mbps το περιβάλλον που δημιουργείται είναι κατάλληλο Point-to-Multipoint εφαρμογές είτε αυτές είναι SOHO (Small Office/Home Office) είτε είναι μεγαλύτερου εύρους εφαρμογές.

Η στοίβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16 πρότυπου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Το SAP (Service Access Point) αποτελεί το σημείο επικοινωνίας ενός υποεπιπέδου με το άλλο και είναι ουσιαστικά ότι είναι το port για το TCP/IP (Transmission Control Program/Internet Protocol - Πρόγραμμα Ελέγχου Μετάδοσης και πρωτόκολλο του Internet).



Εικόνα 3.9. Στοίβα πρωτοκόλλων του 802.16 [70]

Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω παρατηρούμε ότι το Medium Access Control αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) ή διαφορετικά «υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία». Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) ή διαφορετικά «κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC». Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού. Το μοντέλο είναι ότι ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα.. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή διαφορετικά «υποεπίπεδο ασφάλειας». Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφησης. Τέλος το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται και με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Στη συνέχεια γίνεται εκτενέστερη ανάλυση για το επίπεδο MAC και το επίπεδο PHY.

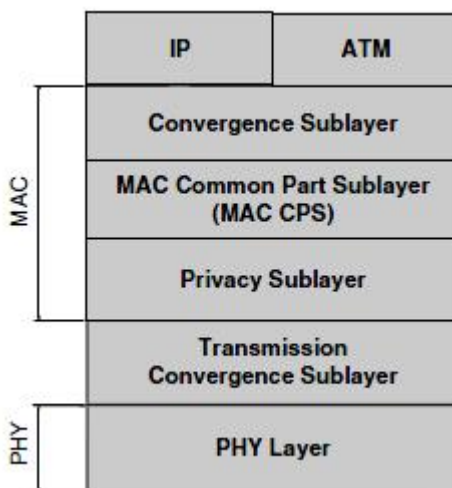
3.7.1. Το MAC στρώμα του WiMAX

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

Το κατέβασμα δεδομένων από το σταθμό βάσης στο χρήστη γίνεται με μία Point to Multipoint λογική. Έτσι το πρότυπο 802.16 λειτουργεί με ένα κεντρικό σταθμό βάσης και μία κεραία πολλαπλών τομέων η οποία έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται αυτούς τους πολλαπλούς τομείς παράλληλα. Για μία συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και ένα συγκεκριμένο τομέα, όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα. Για αυτό ακριβώς το λόγο ένα σταθμός βάσης εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο τομέα (με συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού) και στα μηνύματα απάντησης συγκερατεί τις διευθύνσεις των χρηστών του τομέα για μελλοντική επικοινωνία. Στην αντίθετη κατεύθυνση οι σταθμοί χρηστών, μοιράζονται το κανάλι επικοινωνίας με το σταθμό

βάσης, με βάση τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Βασικός παράγοντας βέβαια είναι και οι υπηρεσίες που ζητούν.

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



Εικόνα 3.10. Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου IEE 802.16 [71]

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

Σε ένα πρωτόκολλο δομημένο σε πολλά επίπεδα, η ροή της πληροφορία μεταξύ των επιπέδων μπορεί να οριστεί με τα primitives που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά είδη πληροφορίας και έτσι κάνουν πιο ξεκάθαρες τις σχέσεις μεταξύ επιπέδων του πρωτοκόλλου. Τα primitives μπορούμε να τα φανταστούμε σαν όρους επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων. Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC είναι αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω: [72]

MAC_CREATE_CONNECTION.request

MAC_CREATE_CONNECTION.indication

MAC_CREATE_CONNECTION.response

MAC_CREATE_CONNECTION.confirmation

MAC_CHANGE_CONNECTION.request

MAC_CHANGE_CONNECTION.indication

MAC_CHANGE_CONNECTION.response

MAC_CHANGE_CONNECTION.confirmation

MAC_TERMINATE_CONNECTION.request

MAC_TERMINATE_CONNECTION.indication

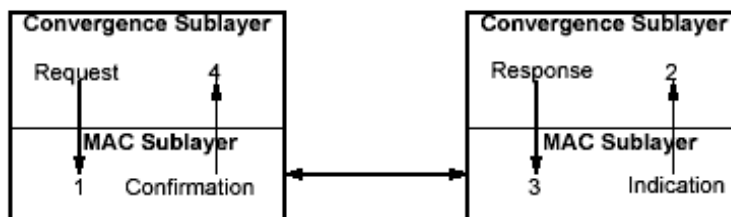
MAC_TERMINATE_CONNECTION.response

MAC_TERMINATE_CONNECTION.confirmation

MAC_DATA.request

MAC_DATA.indication

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



Εικόνα 3.11. Λειτουργία MAC [72]

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

Για να επιτευχθεί η σύνδεση κάθε SS έχει μια 48-bit καθολική διεύθυνση όπως ορίζεται από την IEEE για το πρότυπο 802.16. Αυτή η διεύθυνση ορίζει μονοσήμαντα το SS από ένα σύνολο προϊόντων διαφορετικών εταιριών. Επίσης η εγγραφή αυτής της διεύθυνσης γίνεται κατά τη εγκατάσταση μιας σύνδεσης και χρησιμοποιείται στη διαδικασία επικύρωσης μεταξύ BS και SS.

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

μηνυμάτων. Ενώ η δευτερεύουσα σύνδεση αναφέρεται σε μηνύματα ακόμα πιο ανθεκτικά στο χρόνο.

3.7.2. Το φυσικό (PHY) στρώμα του WiMAX

Το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι μια κληρονομιά διάφορων τεχνολογικών εξελίξεων οι οποίες είναι το Sc, SCa, OFDM, OFDMA και Mobility Addendum (802.16e). Λειτουργεί σε μια μεγάλη ζώνη συχνοτήτων των 40 GHz, η οποία προσφέρει πολλές δυνατότητες.

Το φυσικό επίπεδο αναφέρεται στο κομμάτι της μετάδοσης της πληροφορίας για την οποία χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης.

Οι υπηρεσίες του φυσικού επιπέδου παρέχονται στο MAC υποεπίπεδο μέσω του PHY SAP (Service Access Point). Η λειτουργία του PHY επιπέδου όπως συνέβαινε και με το MAC CPS (Common Part Sublayer) μπορεί να περιγραφεί μέσω primitives. Αυτά χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής: [72]

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

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι φυσικού επιπέδου: το OFDM φυσικό επίπεδο και το OFDMA φυσικό επίπεδο.

3.7.2.1. OFDM Φυσικό επίπεδο

Το OFDM φυσικό επίπεδο βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση. Η OFDM διαμόρφωση αναφέρεται σε μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο αναφέρεται κυρίως στη περίπτωση όπου τα

SS είναι πύλες και επεκτείνονται με πολλά κανάλια σε σπίτια και επιχειρήσεις. Είναι δηλαδή η λογική των Modem που επεκτείνονται μέσα στο ενσύρματο δίκτυο. Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά το uplink δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS στο σταθμό βάσης. Για το Uplink συγκεκριμένα υπάρχουν 16 υποκανάλια. Επίσης να πούμε ότι το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing και Frequency Division Duplexing εργασίες, τόσο για FDD όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD Subscriber Stations (SSs). Για να γίνουν τα παραπάνω περισσότερο κατανοητά να πούμε ότι το TDD έχει την έννοια της τοποθέτησης δύο ροών δεδομένων μέσα σε ένα σήμα χωρίζοντας το σήμα σε τμήματα με το καθένα να έχει πολύ μικρή διάρκεια. Τα τμήματα αυτά συγκεντρώνονται ξανά στο δέκτη. Επίσης το FDD αναφέρεται στη μέθοδο εκείνη όπου δύο διαφορετικά σήματα συνδυάζονται όταν είναι να μεταβιβαστούν σε μία γραμμή ή κανάλι επικοινωνίας.

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

3.7.2.2. OFDMA Φυσικό επίπεδο

Αρχικά να πούμε ότι το OFDMA το οποίο αναφέρεται και ως «πολλαπλών χρηστών OFDM», θεωρείτε ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι το OFDMA PHY χρησιμοποιείται όχι μόνο στο πρότυπο 802.16 αλλά και σε κάποια υποπρότυπα του 802.11.

Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού σε υπό-κανάλια.

3.8. CIR και MIR

Δύο βασικοί παράμετροι χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της διαφοροποίησης των υπηρεσιών στα υψηλότερα επίπεδα: το Committed Information Rate (CIR) και το Maximum Information Rate (MIR), που κληρονομήθηκαν από άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες. Και οι δύο παράμετροι καθορίζονται για μια ορισμένη κατηγορία υπηρεσιών και ρυθμίζουν ολόκληρο το συνολικό των ροών downlink και uplink μιας συγκεκριμένης σύνδεσης SS. [73]

Η παράμετρος CIR για ένα σύστημα WiMAX είναι το bitrate που το δίκτυο συμφωνεί να δεχθεί από τον χρήστη. Σε περίπτωση συμφόρησης, η μείωση της απόδοσης μπορεί να προκύψει κάτω από το CIR. Μια ορθή σχεδίαση του δικτύου των χρηστών, οπωσδήποτε, θα κάνει αυτό το γεγονός αρκετά σπάνιο.

Οι ροές που υπερβαίνουν το CIR είναι ευάλωτες σε πολιτικές απόρριψης πακέτων. Εάν το δίκτυο WiMAX είναι κορεσμένο, ο BS κατά κανόνα θα απορρίψει τα πλαίσια στις συνδέσεις που υπερβαίνουν το CIR πριν από τα πλαίσια στις συνδέσεις που βρίσκονται εντός του CIR τους. Έτσι, το CIR παρέχει μια αργή μέθοδος για να είναι δίκαιη η κατανομή της περιορισμένης χωρητικότητας.

Η δεύτερη παράμετρος, το MIR, ρυθμίζει το μέγιστο επιτρεπόμενο ρυθμό μιας σύνδεσης. Αν ο ρυθμός μετάδοσης υπερβαίνει το MIR, όλα τα πλαίσια MAC που παραβιάζουν το MIR θα πρέπει να απορρίπτονται αυτόματα. Συνήθως, οι ακριβείς λεπτομέρειες σχετικά με τις πολιτικές απόρριψης του BS ανήκουν στην ιδιοκτησία του προμηθευτή υλικού.

3.9. Quality of Service (QoS) στο WiMAX

Κατά τα τελευταία χρόνια, έχουμε δει μια συνεχή ανάπτυξη και ζήτηση για την ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση για τις κατοικίες, επιχειρήσεις, και τα κινητούς πελάτες. Με την τυποποίηση του IEEE 802.16-2004, η βιομηχανία διαμόρφωσε το WiMAX Forum για την υποστήριξη της πιστοποίησης των προϊόντων και της συμμόρφωσης με το πρότυπο καθώς και για την προώθηση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των προϊόντων διαφορετικών προμηθευτών. Μια παλαιότερη έρευνα που απεικόνιζε την τεράστια απήγηση που έχει το WiMAX στην αγορά έδειχνε ότι υπήρχε 48% αύξηση του εξοπλισμού WiMAX στην αγορά, από 45 εκατ. δολάρια στο τέταρτο τρίμηνο του 2005 σε 70 εκατ. δολάρια στο πρώτο τρίμηνο του έτους 2006. Η

ίδια έρευνα προέβλεπε ότι η αγορά WiMAX θα αυξηθεί σε περισσότερα από 1 δισ. δολάρια μέχρι το 2009. [74] Η επιτυχία του Wi-Fi (όπως ορίζεται στο 802.11) είναι εμφανής στο ασύρματο τοπικό δίκτυο και πολλοί άνθρωποι αναμένουν να δουν την ίδια ανάπτυξη για την τεχνολογία WiMAX στα δίκτυο ευρείας περιοχής.

Το WiMAX φαίνεται να είναι μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες των τελευταίων ετών και ιδιαίτερα στην πιο πρόσφατη εκδοχή της, το οποίο παρέχει υποστήριξη για την κινητικότητα του χρήστη και επιτρέπει τις ασύρματες υπηρεσίες πολυμέσων να παρέχονται σε μια ευρεία περιοχή. Ο όρος «ευρεία» έχει πολλά πλεονεκτήματα, τόσο οικονομικά όσο και πρακτικά. Για παράδειγμα, σκεφτείτε το ενδεχόμενο της εγκατάστασης μιας ασύρματης υποδομής WiMAX σε μια περιοχή χαμηλής πυκνότητας πληθυσμού όπως είναι μια μικρή πόλη ή μια αγροτική περιοχή, αντί να δημιουργηθεί μια νέα σταθερή και καλωδιακή υποδομή από την αρχή.

Ο ασύρματος ευρυζωνικός κόσμος κινείται προς την υιοθέτηση του WiMAX ως το πρότυπο για την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet. Αυτό θα ανοίξει μια πολύ μεγάλη αγορά για τη βιομηχανία και τις επιχειρήσεις, με σημαντικό αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο συνδεόμαστε στο Internet μέχρι σήμερα. Από την άλλη μεριά, η ανάπτυξη των καινοτόμων ευρυζωνικών υπηρεσιών πρόκειται να επιβάλει σοβαρούς περιορισμούς όσον αφορά την ποιότητα της υπηρεσίας στις βασικές τεχνολογίες των δικτύων.

Αρκετά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων του WiMAX εξασφαλίζουν QoS προστασία για υπηρεσίες όπως streaming audio και video. Όπως με οποιοδήποτε άλλο τύπο δικτύου, οι χρήστες πρέπει να μοιράζονται την χωρητικότητα δεδομένων ενός δικτύου WiMAX αλλά τα χαρακτηριστικά QoS του WiMAX επιτρέπουν στους παρόχους υπηρεσιών να διαχειρίζονται την κυκλοφορία βασισμένοι σε συμφωνίες παροχής υπηρεσιών σε κάθε συνδρομητή σε μια link-by-link βάση. Οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν επομένως να χρεώνουν ένα επιπλέον ασφάλιστρο για την παροχή εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών audio / video, πέρα από την χρέωση για την μέση ταχύτητα της γραμμής του κάθε συνδρομητή. [4]

Η υποστήριξη της ποιότητας των υπηρεσιών είναι απαραίτητη για τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN), γιατί επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών την πιο αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου για να ανταποκριθούν στις διάφορες απαιτήσεις των πελατών. Ένας πάροχος υπηρεσιών μπορεί να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες με συγκεκριμένο Service Level Agreement και ανάλογη χρέωση των υπηρεσιών. Το

πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει QoS με βάση την κάθε σύνδεση, όταν μια σύνδεση ορίζεται μεταξύ του σταθμού βάσης (BS) και ενός σταθμού συνδρομητή (SS). Η σύνδεση θα μπορούσε να είναι είτε από τον BS στον SS (downlink ή DL σύνδεση) ή από τον SS στον BS (uplink ή UL σύνδεση). Ένας SS μπορεί καθιερώσει πολλαπλές συνδέσεις με τον BS, όπου κάθε σχέση έχει το δικό της QoS. Όταν γίνεται μια αίτηση SS για την κατανομή του εύρους ζώνης σε ένα κανάλι DL ή UL, ο BS διαθέτει το εύρος ζώνης στον SS με βάση τους διαθέσιμους πόρους, οι οποίοι είναι μέσα στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων. Μετά τη χορήγηση του εύρους ζώνης, ο BS θέτει το αίτημα σε μια ουρά προτεραιότητας με βάση το δικό του QoS. Ο BS τότε εφαρμόζει αλγόριθμο προγραμματισμού για να καθορίσει πότε και πώς θα εξυπηρετήσει τις εργασίες στις ουρές.

Η πραγματική πηγή της επιτυχίας θα είναι η παροχή υπηρεσιών που ικανοποιούν τις ανάγκες του χρήστη, καθιστώντας έτσι την τεχνολογία ακόμη πιο κοντά στην απλότητα και την ποιότητα που κάθε χρήστης περιμένει. Για να χαρακτηρίσουμε τις υπηρεσίες που παρέχονται με το QoS, το πρωτόκολλο IEEE 802.16 περιγράφει διάφορους μηχανισμούς που σχετίζονται με την τοπολογία του δικτύου. Κάθε είδος τοπολογίας δεν παρουσιάζει μόνο έναν διαφορετικό τρόπο για να αποκτήσει QoS, αλλά και άλλες σημαντικές πτυχές όπως είναι ο προγραμματισμός της κατανομής του εύρους ζώνης και οι αλγόριθμοι ελέγχου αποδοχής κλήσεων, τα οποία αφήνονται στην εφαρμογή του παρόχου. [70]

Οι βασικές απαιτήσεις για το WiMAX για να αυτοπροσδιοριστεί ως η πιθανή νικήτρια τεχνολογία είναι η αξιοπιστία των δεδομένων και η ικανότητα να παραδίδει περιεχόμενα πολυμέσων. Η παροχή QoS εγγυήσεων θα είναι μια πειστική ανάγκη για την επόμενη γενιά του Internet για να καταστήσει ικανή την εισαγωγή των ευρυζωνικών πολυμεσικών υπηρεσιών. Οι χρήστες στην πραγματικότητα αποκτούν όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για ευρυζωνικές εφαρμογές (π.χ. video streaming, video conferencing, online gaming) που απαιτούν εγγυήσεις από πλευράς απόδοσης, καθυστέρησης πακέτων και jitter, για να αποδίδουν καλά. Αυτό ισχύει και για δίκτυα WiMAX, τα οποία έχουν επίσης να αντιμετωπίσουν όλα τα προβλήματα που σχετίζονται με το εχθρικό ασύρματο περιβάλλον, όπου χρονικά μεταβαλλόμενα κανάλια και οι περιορισμοί στην ισχύς εκπομπής καθιστούν δύσκολη την παροχή σκληρών εγγυήσεων QoS. Αυτό συνεπάγεται τον ορισμό του πρωτοκόλλου MAC το οποίο είναι σε θέση να υποστηρίξει αποτελεσματικά τέτοιες εφαρμογές πολυμέσων, ενώ από την άλλη πλευρά, αξιοποιεί αποδοτικά τους διαθέσιμους πόρους του

ραδιοφάσματος. Το πρότυπο IEEE 802.16 περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες υπηρεσιών, με διαφορετικές απαιτήσεις QoS και παρέχει την βασική σηματοδότηση μεταξύ BS και SS για να υποστηρίξει σήματα διαιτησίας requests/grants. Ωστόσο οι αλγόριθμοι προγραμματισμού που θα υιοθετηθούν μέσα στον BS και στον SS δεν διευκρινίζονται και μένουν ανοικτοί για τους κατασκευαστές για να ανταγωνίζονται μεταξύ τους.

3.9.1. Ορισμός του QoS

Για να γίνει κατανοητή η έννοια του QoS, πρέπει να το εξετάσει από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Η οπτική γωνία του χρήστη είναι η πιο αφηρημένη: ένας γενικός χρήστης θέτει μια ετικέτα σε μια υπηρεσία ως ποιοτικός ικανοποιητική εξυπηρέτηση, εφόσον πληροί τις αφηρημένες ποιοτικά προσδοκίες του. Για παράδειγμα, όσον αφορά μια υπηρεσία Video on Demand, ο χρήστης θα είναι ικανοποιημένος εάν το βίντεο εμφανίζεται με μη εμφανή προβλήματα επιβράδυνσης ή διαστρεβλωμένες εικόνες. Ο χρήστης δεν γνωρίζει τις λεπτομέρειες για την μετάδοση του βίντεο και τα πρωτόκολλα δικτύου, αλλά είναι ικανοποιημένος εάν το βίντεο έχει ληφθεί με το σωστό τρόπο. Ο χρήστης και οι αιτούμενες εφαρμογές είναι οι πιο προφανείς πλευρές ενός σεναρίου επικοινωνίας, αλλά δεν είναι οι μόνες πλευρές. Τα συστατικά που έχουν κάποιο ρόλο είναι τα εξής:

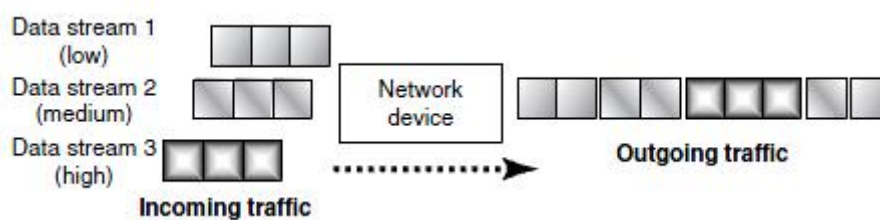
- Χρήστης
- Εφαρμογή
- Δίκτυο
- Πρωτόκολλο

Κάθε ένα από αυτά τα συστατικά παρέχει διαφορετικές οπτικές γωνίες και εξαιρώντας τον χρήστη, κάθε στοιχείο έχει σχέση με διαφορετικές τεχνικές πλευρές και παρέχει ένα συγκεκριμένο ορισμό της ποιότητας. Η συγκεκριμένη εφαρμογή προσδιορίζει τις προσδοκίες της όσον αφορά τους σαφώς καθορισμένους περιορισμούς. Το δίκτυο επηρεάζει το σενάριο με την ιδιαίτερη αρχιτεκτονική του και τους φυσικούς περιορισμούς. Τέλος, το πρωτόκολλο συμβάλλει με τον ορισμό των «κανόνων» και με μηχανισμούς που διατίθενται προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι μπορεί να επιτευχθούν τα απαιτούμενα επίπεδα ποιότητας. Ένα παράδειγμα περιορισμών QoS μπορεί να είναι τα ακόλουθα: [70]

- Από-άκρο-σε-άκρο καθυστέρηση: Η μέση καθυστέρηση πακέτων από την πηγή στον προορισμό.
- Καθυστέρηση jitter: Από-άκρο-σε-άκρο η διακύμανση καθυστέρησης των πακέτων.
- Ρυθμός λανθασμένων πακέτων (Packet Error Rate - PER) / ρυθμός λανθασμένων Bit (Bit Error Rate - BER): ποσοστό επί της αξίας των πακέτων / bits που έχουν χαθεί.
- Ρυθμοαπόδοση: Το ποσοστό των απεσταλμένων πακέτων που έχουν φτάσει σωστά στον προορισμό.

Άλλοι παράμετροι μπορούν να οριστούν ανάλογα με τον τύπο της εξεταζόμενης υπηρεσίας και της αρχιτεκτονικής του δικτύου.

Το QoS είναι η εγγύηση των επιδόσεων του επιπέδου των υπηρεσιών για ένα ρεύμα δεδομένων από μια πηγή προς έναν προορισμό. Μια τέτοια διαβεβαίωση, φυσικά, δεν πρέπει να υπερβαίνει τη φυσική ικανότητα των μέσων μεταφοράς. Για παράδειγμα δεν μπορούμε να εγγυηθούμε ρυθμοαπόδοση 100 Mbps σε ένα καλώδιο Cat-3 που υποστηρίζει μόνο 10 Mbps. Επίσης, δεν μπορούμε να εγγυηθούμε καθυστέρηση προς μία μόνο κατεύθυνση, γρηγορότερη από την ταχύτητα του φωτός σε οποιοδήποτε δίκτυο μακρινών διαδρομών. Η ανάγκη για QoS προκύπτει όταν υπάρχουν πολλαπλές ροές δεδομένων που ανταγωνίζονται για την περιορισμένη φυσική ικανότητα του συστήματος μετάδοσης και των συσκευών δικτύου (εικόνα 3.12). Στην περίπτωση του WiMAX, οι περιορισμένοι πόροι είναι το εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων. Όταν υπάρχουν πολλαπλές ροές δεδομένων ανταγωνίζονται για να χρησιμοποιήσουν το ίδιο εύρος ζώνης συχνοτήτων, τότε μια πολιτική QoS είναι απαραίτητη για να καθορίσει ποιο ρεύμα δεδομένων έχει την προτεραιότητα να χρησιμοποιήσει τη διεπαφή αέρα. Αυτές πολιτικές QoS εξαρτώνται από τις εφαρμογές του χρήστη οι οποίες χαρακτηρίζονται από QoS μετρήσεις απόδοσης. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή e-mail δεν χρειάζεται καμία εγγύηση εκτός από την αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων. Μια εφαρμογή VoIP έχει την ανάγκη για εγγύηση χαμηλής καθυστέρησης. Μια εφαρμογή video-streaming μπορεί να αντέξει μια μακρά καθυστέρηση, αλλά απαιτεί σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης. Τα ακόλουθα στοιχεία απαιτούνται για την υλοποίηση του QoS σε ένα δίκτυο: [74]



Εικόνα 3.12. Ανάγκη για QoS [74]

1. **QoS μετρήσεις απόδοσης:** Το QoS είναι ένας μηχανισμός για την εξασφάλιση των επιδόσεων του δικτύου, όπως ορίζεται από ένα σύνολο μετρήσεων που συνδέονται με κάθε ρεύμα δεδομένων. Παραδείγματα μετρήσεων απόδοσης είναι η καθυστέρηση, η ρυθμοαπόδοση, jitter και η απώλεια πακέτων.
2. **Αίτηση και χορήγηση:** Αυτό είναι επίσης γνωστό και ως έλεγχος εισόδου. Στην περίπτωση του WiMAX, ο BS είναι το κεντρικό σημείο ελέγχου. Ένα αίτημα SS είναι μια σύνδεση με ορισμένες παραμέτρους QoS. Αν το δίκτυο δεν έχει πόρους, η αίτηση θα απορρίπτεται. Εάν το δίκτυο έχει επαρκείς πόρους, ο BS θα ελέγξει αν ο SS είναι εξουσιοδοτημένος να χρησιμοποιεί τους πόρους. Μετά τη χορήγηση της άδειας, ο BS θα εγγυάται την ρυθμοαπόδοση της σύνδεσης.
3. **Διαμόρφωση κυκλοφορίας:** Για ένα εισερχόμενο πακέτο, η συσκευή δικτύου χρειάζεται να καθορίσει το πως θα χαρακτηρίσει το πακέτο και αν θα στείλει το πακέτο. Εάν η παράδοση πακέτων δεν είναι εγγυημένη και το δίκτυο είναι κορεσμένο, το πακέτο θα χαθεί. Διαφορετικά, το πακέτο εισέρχεται σε μια ουρά προτεραιότητας και περιμένει το χρονοδιάγραμμα για τον καθορισμό παράδοσής του. Το πρότυπο IEEE 802.16 δεν απαιτεί διαμόρφωση κυκλοφορίας γιατί η διεπαφή αέρα δεν έχει απώλεια πακέτων. Η διαμόρφωση κυκλοφορίας στην ενσύρματη πλευρά της συσκευής είναι εκτός πεδίου εφαρμογής του προτύπου.
4. **Πολιτική προγραμματισμού:** Μια QoS-enabled συσκευή έχει ουρές πολλαπλής προτεραιότητας και για διάφορες κατηγορίες υπηρεσιών. Η πολιτική προγραμματισμού είναι για να καθορίζεται πώς και πότε θα γίνεται η επεξεργασία των πακέτων στις ουρές προτεραιότητας. Μια πολιτική προγραμματισμού θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια μέθοδο round-robin

για την επεξεργασία των πακέτων σε κάθε ουρά προτεραιότητας και για να διατεθούν περισσότεροι πόροι για τις ουρές υψηλής προτεραιότητας. Μια άλλη πολιτική για τον προγραμματισμό θα μπορούσε να είναι η επεξεργασία των πακέτων σε χαμηλής προτεραιότητας ουρά όταν οι υψηλής προτεραιότητας ουρές είναι άδειες.

3.9.2. Εφαρμογές που απαιτούν Quality of Service

Το QoS αφορά τις υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που είναι μη ανεκτικές στις διακυμάνσεις του συντελεστή απόδοσης και διαθεσιμότητας. Κατά το μεγαλύτερο μέρος τους αυτές περιλαμβάνουν πολυμέσα όπως φωνή ή βίντεο αλλά μπορεί να συμπεριλαμβάνουν επίσης επιστημονικούς υπολογισμούς σε πραγματικό χρόνο, παιχνίδια, white boarding, voice-over επαγγελματικές παρουσιάσεις, εκπαίδευση εξ αποστάσεως, χρηματοοικονομικές αναφορές, και μάλιστα κάθε εφαρμογή που είναι κυριαρχούμενη από δεδομένα (data-intensive) αλλά εξαρτάται και από μια ομαλή και προβλέψιμη διαδοχή των δεδομένων.

Οι εφαρμογές αυτές θα βρουν μεγαλύτερη ανταπόκριση στο μέλλον αλλά η ταχύτητα με την οποία θα εξαπλωθούν δεν μπορεί να προβλεφτεί. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990, πολλοί βιομηχανικοί αναλυτές υπέθεσαν ότι τα πολυμέσα και η διαδραστική "εικονική πραγματικότητα" θα χαρακτηρίζουν τις διαδικτυακές εφαρμογές από τα τέλη του αιώνα και μετά, κάτι που φυσικά δεν έγινε. Τα διαδικτυακά πολυμέσα τα οποία αποτελούνταν κατά κύριο μέρος από μικρά βίντεο φτωχής έως μέτριας ποιότητας, από ήχους σε πραγματικό χρόνο με την μορφή ιδιωτικών συσκέψεων και από το διαδικτυακό ραδιόφωνο, έγιναν πραγματικότητα με την βοήθεια των Java Applets. [75]

Τα διαδικτυακά πολυμέσα άργησαν πολύ να γίνουν ευρέως αποδεκτά και αυτό οφείλεται στο ότι έπρεπε να παρουσιάσουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε ορισμένους τομείς έναντι των παραδοσιακών τηλεοπτικών μεταδόσεων και πολυμέσων. Για παράδειγμα το διαδικτυακό ραδιόφωνο και η τηλεόραση υστερούν κατά πολύ ποιοτικά σε σχέση με το παραδοσιακό αναλογικό ραδιόφωνο και τηλεόραση και έτσι είναι δύσκολο να ανταγωνιστούν τα συμβατικά εσωτερικά και φορητά συστήματα διασκέδασης. Επιπλέον το διαδικτυακό ραδιόφωνο υστερεί στο κινητό περιβάλλον όπου υπάρχουν και οι περισσότεροι ακροατές του ραδιοφώνου. Τα διαδικτυακά πολυμέσα δεν μπορούν να ανταγωνιστούν αποτελεσματικά τα παλαιότερα συστήματα

και δεν θα είναι σε θέση να το πράξουν μέχρι η τεχνολογία στην οποία βασίζονται να βελτιωθεί κατά πολύ. Πράγματι, μόνο στους τομείς της σύσκεψης, της εκπαίδευσης εξ αποστάσεως και των διαδικτυακών παιχνιδιών η διαδραστική διάσταση που προσφέρει η αμφίδρομη ευρυζωνική σύνδεση έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Αυτές οι εφαρμογές είναι που δείχνουν να έχουν έναν πολλά υποσχόμενο αριθμό συνδρομητών μεσοπρόθεσμα.

Το QoS είναι μια μάλλον ένας ασαφής όρος, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε δίκτυα πακέτων. Κατ'εξοχήν, το QoS είναι ένα τελικό αποτέλεσμα, αυτού που μπορεί να επιτευχθεί μέσα από έναν αριθμό διαφορετικών τεχνολογιών μεταφοράς.

Σε γενικές γραμμές, ο όρος αναφέρεται σε συνθήκες εντός του δικτύου που θα υποστηρίξουν την παράδοση, ευαίσθητων στον παράγοντα χρόνο ή χαμηλού πλεονασμού υπηρεσιών με την ελάχιστη αισθητή υποβάθμιση. Ειδικότερα, το QoS περιλαμβάνει τα ακόλουθα: έλεγχος του ποσοστού ρυθμοαπόδοσης, ειδικά το ελάχιστο ποσοστό, έλεγχος της συνολικής καθυστέρησης ή της λανθάνουσας κατάστασης, έλεγχο της καθυστέρησης από πακέτο σε πακέτο, γνωστό και ως jitter και τον έλεγχο της απώλειας πακέτων ή του ποσοστού των λανθασμένων bit. Κάποιοι θα περιλάμβαναν επίσης τη διαθεσιμότητα και την πιθανότητα απόφραξης κλήσης ή συνόδου, καθώς και υποκειμενικές εντυπώσεις από την ποιότητα παρουσίασης που πρέπει να αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα, όταν ο φορέας εκμετάλλευσης του δικτύου χρησιμοποιεί τεχνολογίες συμπίεσης δεδομένων

Παρακάτω παρουσιάζονται αυτά τα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις διάφορες υπηρεσίες που ο φορέας εκμετάλλευσης του ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου είναι ικανός να προσφέρει.

Το ποσοστό ρυθμοαπόδοσης (throughput rate) αναφέρεται στον αριθμό των bits ανά δευτερόλεπτο σε ένα ψηφιακό δίκτυο. Πρόκειται για μια αρκετά σημαντική μετρική στην παροχή των περισσότερων υπηρεσιών, αλλά είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την παροχή υπηρεσιών όπως είναι η υψηλής ανάλυσης βίντεο που απαιτούν να παραδοθούν συνεχόμενα μεγάλες ποσότητες δεδομένων.

Η λανθάνουσα κατάσταση (latency) ή συνολική καθυστέρηση (overall delay) τείνει να είναι ιδιαίτερα σημαντική για διαδραστικές εφαρμογές όπως είναι η φωνητική τηλεφωνία, οι διασκεύσεις, τα παιχνίδια, και ορισμένες εκπαιδευτικές εφαρμογές όπου τα άτομα καθοδηγούνται μέσω μιας διαδικασίας από έναν ανθρώπινο εκπαιδευτή ή από πληροφορίες που καλούνται από μια βάση δεδομένων. Η λανθάνουσα

κατάσταση είναι επίσης σημαντική για τη διαβίβαση των πρωτοκόλλων όπως είναι το Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP / IP) που εξαρτώνται από τις συχνές αναγνώσεις.

Είναι απόλυτα εφικτό να έχουμε άφθονο εύρος ζώνης και ρυθμοαπόδοση αλλά ταυτόχρονα, να υφιστάμεθα σημαντική λανθάνουσα κατάσταση. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα είναι οι υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες γεωσύγχρονων δορυφόρων όπου έχουμε μετ' επιστροφής καθυστερήσεις που προκαλούνται από τις δύο διαδρομές 24,000 μιλίων από το uplink στο downlink για κάθε πακέτο με αποτέλεσμα οι συνολικές καθυστερήσεις που είναι για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου να είναι άμεσα ορατές στις τηλεφωνικές συνομιλίες. Σημαντική καθυστέρηση μπορεί επίσης να προκύψει από ένα πακέτο που έχει να περάσει μέσα από ένα μεγάλο αριθμό switches ή routers μέσα σε ένα επίγειο δίκτυο ακόμη και όταν η ρυθμοαπόδοση παραμένει αρκετά υψηλή.

Το Jitter είναι μια ιδιομορφία του δρομολογημένου δικτύου πακέτων που προκύπτει όταν ο χρόνος που απαιτείται για ένα πακέτο να διέλθει από το δίκτυο διαφέρει από στιγμή σε στιγμή. Το Jitter είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για τα realtime διαδραστικά πολυμέσα, όπως είναι η κοινή φωνητική τηλεφωνία. Ακόμα μπορεί να διαχειριστή την καθυστέρηση με το να αποθηκεύει πακέτα σε έναν buffer και στη συνέχεια να τα απελευθερώνει με ίσα χρονικά διαστήματα μεταξύ τους.

Η απώλεια πακέτων (packet loss) ή ποσοστό σφάλματος (error rate) αντιπροσωπεύει την αποτυχία του δικτύου να παραδώσει όλα τα πακέτα που μεταδίδει στον παραλήπτη. Κανονικά μερική απώλεια πακέτων συμβαίνει σε οποιοδήποτε δίκτυο, αλλά στον τομέα των ασύρματων δικτύων η συχνότητα απώλειας πακέτου τείνει να είναι υψηλότερη από ότι στα ενσύρματα δίκτυα, λόγω της διακύμανσης του επιπέδου των μεταβολών, των ξαφνικών εξασθενίσεων λόγω των πολλαπλών μονοπατιών και των μεταβλητών εξασθενίσεων του σήματος με την αλλαγή των καιρικών συνθηκών. Οι buffers χάνουν και αυτοί επίσης πακέτα όταν γεμίζουν τελείως και ως εκ τούτου η απώλεια πακέτων είναι φυσικό επακόλουθο του σοβαρού jitter.

Πολλά πρωτόκολλα πακέτων περιέχουν διατάξεις για τον έλεγχο της ακεραιότητας των δεδομένων στο σημείο παραλαβής και για την αναμετάδοση σε περίπτωση σοβαρών απωλειών πακέτων. Το πρόβλημα με αυτήν την στρατηγική ωστόσο, ιδίως σε ένα ασύρματο δίκτυο, είναι ότι το ποσό της ακτινοβολούμενης ενέργειας και των απαιτήσεων πάνω στο εύρος ζώνης κατ' ανάγκη αυξάνει την παρουσία των

αναμεταδόσεων και τα αναμεταδιδόμενα πακέτα καθυστερούν σε σχέση με εκείνα που δεν απαιτούν αναμεταδόσεις, μια κατάσταση πραγμάτων που θα αυξήσει σημαντικά την καθυστέρηση ή το jitter, ή και τα δύο.

Η απώλεια πακέτων είναι προβληματική για κάθε μετάδοση δεδομένων, αλλά κατά ένα ενδιαφέροντα τρόπο, έχει λιγότερη επίδραση στα πολυμέσα παρά σε δεδομένα κειμένου. Οι άνθρωποι μπορούν να διαχειριστούν τις μεταδόσεις εικόνας και ήχου με το να μειώσουν σημαντικά την πυκνότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται ή με την παρουσία ψευδών στοιχείων μόνο και μόνο επειδή οι ήχοι και οι εικόνες περιέχουν πολύ πλεονασμό (redundancy). Αλλά στην περίπτωση των δεδομένων κειμένου, η απώλεια ή η αλλοίωση των μεμονωμένων συμβόλων μπορεί να είναι κρίσιμη για την κατανόηση του κειμένου. Από την άλλη πλευρά, η καθυστέρηση και το jitter δημιουργούν πολλά προβλήματα για τις μεταδόσεις κειμένου, έτσι ώστε ο αποστολέας μπορεί να αναμεταδίδει σχετικά ελεύθερα έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό σφάλματος, χωρίς να ανησυχούμε πολύ για τη σειρά με την οποία θα φθάσουν τα πακέτα ή για το πια θα είναι η ώρα άφιξής τους.

Η διαθεσιμότητα (availability) μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου καλά στις υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) και όχι μόνο σε υπηρεσίες που ανταποκρίνονται στις γενικότερες συνθήκες που ορίζονται από QoS. Σίγουρα η διαθεσιμότητα φέρει την υποδήλωση της ποιότητας, αλλά ο ίδιος ο όρος αναφέρεται σε μη συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, τα οποία είναι γενικά αυτά έχει κανείς στο μυαλό όταν συζητά για το QoS.

Οι υποκειμενικές εκτιμήσεις της ποιότητας ή η πρόσθετη διάσταση του QoS, εφαρμόζονται εν γένει στις παρουσιάσεις με την χρήση ήχου ή βίντεο. Εδώ ο χρήστης πρέπει να εστιάσει στα αποτελέσματα τα οποία είναι οι αποκλίσεις από την πιστότητα, λόγω της απώλειας δεδομένων ή η ατελής λειτουργία των αλγορίθμων συμπίεσης. Αυτές οι αποκλίσεις δεν είναι κατάλληλες για εύκολη ποσοτικοποίηση ή για την ανάθεση μονοδιάστατων μετρήσεων και η ευαισθησία μεμονωμένων χρηστών σε τέτοιες παρεκκλίσεις μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Ένα μεμονωμένο, αρχείο ήχου MP3 με αναλογία συμπίεσης 11 προς 1 μπορεί να είναι απόλυτα διαφανής, ενώ σε άλλον ενδέχεται να είναι μη αποδεκτή όσον αφορά την ποιότητα του ήχου και αυτός είναι ο λόγος που τέτοιες αξιολογήσεις θεωρούνται υποκειμενικές.



Εικόνα 3.13. Ηλεκτρονική Μάθηση (E-learning) [76]

3.9.3. Κληροδοτημένοι μηχανισμοί QoS

Οι μηχανισμοί στο επίπεδο MAC του WiMAX προβλέπουν διαφοροποιημένο QoS για να στηρίξουν τις διαφορετικές ανάγκες των διαφορετικών εφαρμογών. Για παράδειγμα η φωνή και το βίντεο απαιτούν χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, αλλά ανέχονται κάποιο ποσοστό σφάλματος. Σε αντίθεση, οι γενικές εφαρμογές δεδομένων δεν μπορούν να ανεχτούν λάθος αλλά η λανθάνουσα κατάσταση δεν είναι κρίσιμη. Το πρότυπο μπορεί να φιλοξενήσει φωνή, βίντεο και άλλες μεταδόσεις δεδομένων χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα χαρακτηριστικά στο επίπεδο MAC. Εν ολίγοις, εφαρμόζοντας μεγαλύτερο εύρος ζώνης στο σωστό κανάλι, στο σωστό χρόνο μειώνετε η λανθάνουσα κατάσταση και βελτιώνετε το QoS. [77]

Το πρότυπο WiMAX υποστηρίζει προσαρμοστική διαμόρφωση, την αποτελεσματική εξισορρόπηση των διαφορετικών ταχυτήτων των δεδομένων και της ποιότητας των συνδέσεων. Η μέθοδος διαμόρφωσης μπορεί να προσαρμοστεί σχεδόν ακαριαία για την καλύτερη δυνατή μεταφορά δεδομένων. Το WiMAX είναι σε θέση να αλλάζει δυναμικά διαμόρφωση από 64-QAM σε QPSK μέσω του 16-QAM, επιδεικνύοντας έτσι την ικανότητά του να ξεπεράσει ζητήματα QoS με δυναμική κατανομή εύρους ζώνης πάνω από την απόσταση ανάμεσα στον BS και στον SS.

Η προσαρμοστική διαμόρφωση επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης και μιας ευρύτερης πελατειακής βάσης. Το πρότυπο υποστηρίζει επίσης, τόσο

FDD όσο και TDD. Το FDD, η κληρονομική μέθοδος duplexing, έχει αναπτυχθεί ευρέως στη κινητή τηλεφωνία. Απαιτεί δύο ζεύγη καναλιών, ένα για τη μετάδοση και ένα για την λήψη, με κάποιο διαχωρισμό των συχνοτήτων μεταξύ τους για την άμβλυνση των αυτό-παρεμβολών. Ένα σύστημα TDD μπορεί να κατανέμει δυναμικά το εύρος ζώνης του upstream και του downstream, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας.

3.9.3.1. FDD/TDD/OFDM

Το WiMAX ενσωματώνει ορισμένους μηχανισμούς για να εξασφαλίσει την καλή ποιότητα των υπηρεσιών. Οι πλέον αξιοσημείωτοι μηχανισμοί είναι οι TDD (Time Division Duplexing), FDD (Frequency-Division Duplexing), FEC (Forward Error Correction), FFT (Fast Fourier Transform) και OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Το πρότυπο WiMAX παρέχει ευελιξία στη χρήση του ραδιοφάσματος με την υποστήριξη τόσο FDD όσο και TDD. Έτσι, μπορεί να λειτουργεί και με τους δυο τρόπους, δηλαδή με FDD/OFDM αλλά και με TDD/OFDM. Υποστηρίζει δύο τύπους FDD: συνεχή FDD και ριπή FDD.

Στο συνεχή FDD τα κανάλια upstream και downstream βρίσκονται σε χωριστές συχνότητες και όλοι οι σταθμοί CPE μπορούν να μεταδώσουν και να λάβουν ταυτόχρονα. Το κανάλι downstream είναι πάντα ανοιχτό και όλοι οι σταθμοί ακούνε πάντα σε αυτό. Η κίνηση στέλνεται σε αυτό το κανάλι με την μορφή μετάδοσης χρησιμοποιώντας TDM. Το κανάλι upstream μοιράζεται χρησιμοποιώντας TDMA και ο BS είναι υπεύθυνος για τη δέσμευση του εύρους ζώνης στους σταθμούς.

Στην ριπή FDD, τα κανάλια upstream και downstream βρίσκονται σε χωριστές συχνότητες. Σε αντίθεση με τη συνεχή FDD, δεν μπορούν όλοι οι σταθμοί να μεταδώσουν και να λάβουν ταυτόχρονα. Εκείνοι που μπορούν να μεταδώσουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα αναφέρονται ως full-duplex capable σταθμοί, ενώ εκείνοι που δεν μπορούν αναφέρονται ως half-duplex capable σταθμοί.

Ένα πλαίσιο TDD έχει καθορισμένη διάρκεια και περιλαμβάνει ένα υποπλαίσιο downstream και ένα υποπλαίσιο upstream. Τα δυο υποπλαίσια χωρίζονται μεταξύ τους από έναν guard time που ονομάζεται Transition Gap (TG) και το εύρος ζώνης που κατανέμεται σε κάθε υποπλαίσιο είναι προσαρμοστικό.

Μέσα σε ένα TDD υποπλαίσιο downlink, οι μεταδόσεις που προέρχονται από τον BS είναι οργανωμένες σε διαφορετικές διαμορφώσεις και σε ομάδες FEC. Η κεφαλίδα του υποπλαισίου, που ονομάζεται FCH αποτελείται από ένα εισαγωγικό πεδίο, ένα PHY πεδίο ελέγχου και ένα MAC πεδίο ελέγχου. Το PHY πεδίο ελέγχου χρησιμοποιείται για φυσικές πληροφορίες, όπως τα όρια του slot που προορίζετε για όλους τους σταθμούς. Περιέχει ένα χάρτη που καθορίζει, που αρχίζουν τα φυσικά slots για τις διαφορετικές διαμορφώσεις / ομάδες FEC.

Οι ομάδες απαριθμούνται με βάση την διαμόρφωση κατά αύξουσα σειρά, με πρώτη την QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), ακολουθούμενη από την 16-QAM και στη συνέχεια την 64-QAM. Κάθε σταθμός CPE λαμβάνει ολόκληρο το πλαίσιο DL, αποκωδικοποιεί το υποπλαίσιο και αναζητά MAC κεφαλίδες που περιέχουν δεδομένα για τον σταθμό. Τα δεδομένα DL είναι πάντα FEC κωδικοποιημένα. Το ωφέλιμο φορτίο δεδομένων είναι κρυπτογραφημένο αλλά οι κεφαλίδες των μηνυμάτων είναι χωρίς κρυπτογράφηση. Ο έλεγχος MAC χρησιμοποιείται για τα MAC μηνύματα που προορίζονται για πολλαπλούς σταθμούς.

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί ριπή Single-Carrier modulation με προσαρμοστικό προφίλ ριπής κατά την οποία οι παράμετροι μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων των διαμορφώσεων και των συστημάτων κωδικοποίησης, μπορούν να ρυθμίζονται ανάλογα με το κάθε SS σε μια frame-by-frame βάση. Το εύρος ζώνης καναλιού των 20 ή 25 MHz (χαρακτηριστικό των Ηνωμένων Πολιτειών) ή 28 MHz (Ευρωπαϊκό χαρακτηριστικό). [77]

3.9.3.2. Forward Error Correction (FEC)

Το WiMAX χρησιμοποιεί FEC, μια τεχνική που δεν απαιτεί ο πομπός να διαβιβάσει εκ νέου κάθε πληροφορία που ένας δέκτης χρησιμοποιεί για τη διόρθωση λαθών που προκύπτουν στον τομέα της μετάδοσης σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Ο πομπός χρησιμοποιεί συνήθως έναν κοινό αλγόριθμο και ενσωματώνει επαρκή ποσότητα περιττών πληροφοριών στα μπλοκ δεδομένων, ώστε να επιτρέψει στο δέκτη να διορθώσει. Χωρίς το FEC, η διόρθωση των λαθών θα απαιτούσε την αναμετάδοση του συνόλου των μπλοκ ή του πλαισίου δεδομένων, με αποτέλεσμα να προστεθεί και μια λανθάνουσα επακόλουθη μείωση του QoS.

Η ρυθμοαπόδοση και η λανθάνουσα κατάσταση είναι δύο βασικά στοιχεία για την απόδοση του δικτύου. Αν τα βάλεις μαζί, αυτά τα στοιχεία καθορίζουν την «ταχύτητα» του δικτύου. Ενώ η ρυθμοαπόδοση είναι η ποσότητα των δεδομένων που μπορεί να περάσει από την πηγή στον προορισμό σε μια συγκεκριμένη ώρα, η μετ' επιστροφής λανθάνουσα κατάσταση είναι ο χρόνος που χρειάζεται για μια γίνει μια μόνο συναλλαγή δεδομένων (ο χρόνος μεταξύ της ζήτησης της πληροφορίας και της παραλαβή της). Ως εκ τούτου, όσο καλύτερη είναι η διαχείριση της ρυθμοαπόδοσης (bandwidth), τόσο καλύτερο είναι το QoS.

3.9.4. Χαρακτηριστικά του QoS στο IEEE 802.16

Το πρότυπο IEEE 802.16 για FBWA συστήματα υποστηρίζει αρχιτεκτονική δικτύων μητροπολιτικής περιοχής. Αυτή περιλαμβάνει μια τοπολογία PMP με έναν BS και αρκετούς SS. Ο BS ελέγχει και διαχειρίζεται ολόκληρο το σύστημα και οι SS εκτελούν ως διεπαφές μεταξύ των τελικών χρηστών και του BS. Στο κανάλι downlink στο οποίο η ροή δεδομένων κατευθύνεται από τον BS στους SS χρησιμοποιεί TDM σύστημα και το κανάλι uplink χρησιμοποιεί TDMA σύστημα. [20]

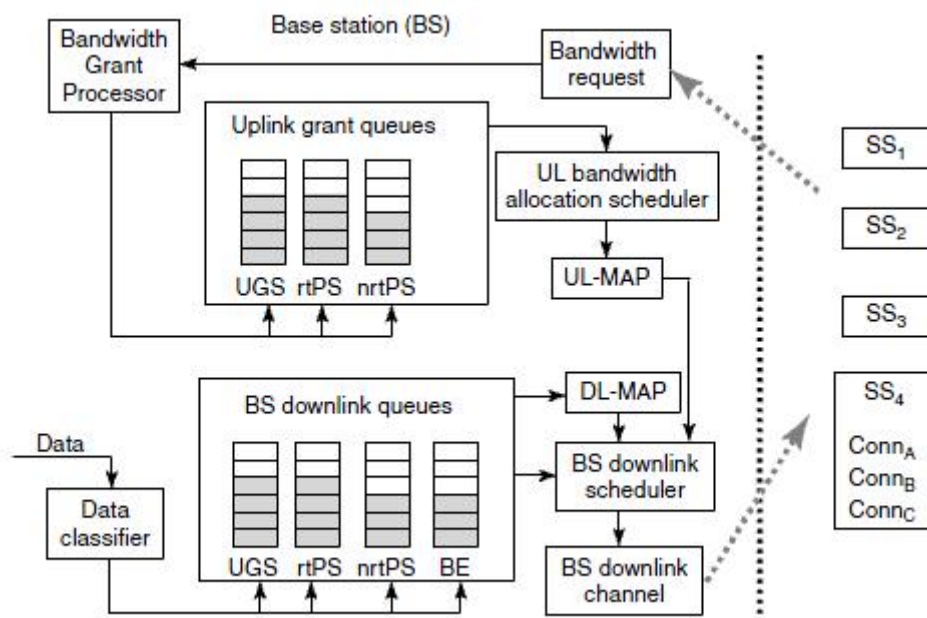
Τα πακέτα δεδομένων που εισέρχονται σε ένα δίκτυο IEEE 802.16 χαρτογραφούνται σε μια σύνδεση και μια ροή υπηρεσιών βασίζετε σε ένα σύνολο συγκεκριμένων κριτηρίων. Αυτά τα ταξινομημένα πακέτα δεδομένων στη συνέχεια συσχετίζονται με ένα συγκεκριμένο επίπεδο QoS, με βάση τις παραμέτρους QoS της ροής υπηρεσιών (Service Flow - SF) στην οποία ανήκουν. Το Quality of Service (QoS) μπορεί να διασφαλιστεί από την διαμόρφωση, την ασφάλεια και την ιεράρχηση των πακέτων δεδομένων στα άκρα τόσο των SS όσο και των BS. Ο BS κατανέμει το upstream εύρος ζώνης για μια συγκεκριμένη upstream ροή υπηρεσίας με βάση τις παραμέτρους και τις προδιαγραφές της υπηρεσίας της αντίστοιχης κατηγορίας προγραμματισμού υπηρεσίας που καθορίστηκε κατά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης.

3.9.4.1. Κατηγορίες υπηρεσιών και QoS

Το πρότυπο IEEE 802.16 ορίζει τέσσερις κατηγορίες υπηρεσιών, ο καθμία με διαφορετικές απαιτήσεις QoS: Unsolicited Grant Service (UGS), Real-Time Polling Service (rtPS), Non-Real-Time Polling Service (nrtPS), and Best Effort (BE). Αυτές οι τέσσερις κατηγορίες χαρακτηρίζονται ως ακολούθως:

- Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Service - UGS):**
 Οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη αμετάβλητου ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση υπηρεσιών κυκλωματομεταγωγής DS0, $n \times DS0$, T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής. Σε αυτή την κατηγορία υπηρεσίας οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου έχουν αντιστοιχηθεί με την δημιουργία πακέτων σταθερού μεγέθους σε περιοδική βάση. Ένα παράδειγμα αυτών των εφαρμογών είναι οι κλήσεις VoIP όπου η ροή δεδομένων φωνής παράγει περιοδικά και σταθερού μεγέθους πακέτα το οποίο περιορίζει τον συνωστισμό και την καθυστέρηση των SS αιτήσεων και διασφαλίζει την διαθεσιμότητα των παραχωρήσεων για να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες των flow σε πραγματικό χρόνο. Ο BS θα παρέχει Data Grant Burst IE's στον SS σε περιοδικές παύσεις βασισμένα στο μέγιστο υποστηριζόμενο ρυθμό κίνησης (Maximum Sustained Traffic Rate) του service flow. Το μέγεθος αυτών των παραχωρήσεων θα πρέπει να επαρκούν για να κρατήσουν τα δεδομένα σταθερού μεγέθους που συσχετίζονται με το service flow, αλλά μπορεί να είναι μεγαλύτερες από την διακριτική του BS προγραμματιστή. Για την σωστή λειτουργία αυτής της υπηρεσίας, η πολιτική αίτησης/μετάδοσης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο SS να εμποδίζει την χρήση κάθε πιθανότητας ανταγωνισμού αιτήσεων για αυτή τη σύνδεση. Οι υπηρεσίες IE's κλειδιά είναι οι μέγιστη υποστηριζόμενη κίνηση (Maximum Sustained Traffic), μέγιστη καθυστέρηση (Maximum Latency), ανεχόμενος θόρυβος (Tolerated Jitter) και η πολιτική αίτησης μετάδοσης (Request/Transmission Policy). Μόλις ο BS χορηγήσει εύρος ζώνης για μια σύνδεση που ανήκει σε αυτή την κατηγορία υπηρεσιών, ο SS διατηρεί αυτή την κατανομή για όλη την διάρκεια της σύνδεσης. Ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει την UGS σύνδεση για να απαιτήσει εύρος ζώνης για άλλες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το poll-me bit της υπό-κεφαλίδας επιχορήγησης διαχείρισης. Με αυτό τον τρόπο ο SS ενεργοποιεί την διεργασία polling που επιτρέπει την βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης και με αυτό τον τρόπο δεν υπάρχει σπατάλη εύρους ζώνης για να σταλεί ένα αίτημα. Ακόμα η αυτόκλητη αίτηση επιτρέπει στους SS να διαβάζουν τα PDU (protocol data unit) τους χωρίς να ζητείται εύρος ζώνης για κάθε πλαίσιο. Επειδή το εύρος ζώνης κατανέμετε χωρίς αιτήσεις

οι UGS προσφέρουν δυνατές εγγυήσεις από πλευράς τόσο εύρους ζώνης όσο και καθυστέρησης πρόσβασης. [20], [70], [71], [74]



Εικόνα 3.14. Χρονοπρογραμματισμός του UP και DL στον σταθμό βάσης [74]

- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services - rtPS):** Αυτή η υπηρεσία προορίζεται για συμπιεσμένα πολυμέσα (όπως το video streaming), καθώς και άλλες εφαρμογές πραγματικού χρόνου όταν το ποσό του απαιτούμενου εύρους ζώνης μπορεί να ποικίλλει σε κάθε στιγμή. Οι rtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με καταστολή σιωπής. Σε αυτή την κατηγορία υπηρεσίας οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου έχουν αντιστοιχηθεί με την αποστολή μεταβλητού μήκους πακέτων σε τακτά διαστήματα. Ένα παράδειγμα της υπηρεσίας αυτής είναι το βίντεο MPEG. Στην περίπτωση αυτή, ο SS ελέγχει την ύπαρξη αυτής της σύνδεσης. Σε περίπτωση που δεν υφίσταται, μπορεί να δημιουργήσει μια νέα σύνδεση για την υπηρεσία αυτή και στη συνέχεια να ζητήσει εύρος ζώνης για αυτήν. Η αίτηση εύρους ζώνης, για αυτή την κατηγορία υπηρεσιών, μπορεί να γίνει με unicast polling μηχανισμούς δηλαδή ο BS

χορηγεί στον SS μεγάλο εύρος ζώνης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει ο SS για να στείλει τις αιτήσεις του. Ένας άλλος τρόπος για να ζητήσει εύρος ζώνης είναι να εισάγει το αίτημα σε ένα data PDU. Αυτό είναι για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης του εύρους ζώνης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται piggybacking αίτημα. Ακόμα η υπηρεσία προσφέρει δυνατότητες περιοδικών αιτήσεων πραγματικού χρόνου, οι οποίες ικανοποιούν τις ανάγκες πραγματικού χρόνου του flow και επιτρέπουν στο SS να προσδιορίσει το μέγεθος της επιθυμητής παραχώρησης. Αυτή η υπηρεσία απαιτεί μεγαλύτερη λίστα αιτήσεων από το UGS, αλλά υποστηρίζει παραχωρήσεις πολλαπλών μεγεθών για την ευνοϊκότερη επάρκεια μετάδοσης δεδομένων.

- **Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services - nrtPS):** Οι nrtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων. Αυτή η κατηγορία υπηρεσίας είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου όπως είναι η κίνηση FTP. Στις υπηρεσίες σε αυτή την κλάση παράγονται πακέτα μεταβλητού μεγέθους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όπως και στην προηγούμενη κατηγορία υπηρεσίας για να γίνει αίτηση για εύρος ζώνης για αυτή την υπηρεσία ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει piggybacking και μηχανισμούς polling. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί unicast και broadcast polling, με την διαφορά ότι το broadcast polling μπορεί να προκαλέσει συγκρούσεις και οι συγκρούσεις μπορούν να επιλυθούν με μια εκθετική backoff διεργασία. Οι nrtPS είναι παρόμοιας φύσης με τις rtPS αλλά διαφέρουν στο ότι το διάστημα μεταξύ των σταθμοσκοπήσεων δεν είναι καθορισμένο αλλά μπορεί να εξαρτάτε από το ωφέλιμο φορτίο του δικτύου. Σε σύγκριση με τις rtPS, οι ροές nrtPS έχουν λιγότερες δυνατότητες σταθμοσκόπησης κατά την διάρκεια μιας συμφόρησης του δικτύου, ενώ οι ροές rtPS σταθμοσκοπούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανεξάρτητα από το φόρτο του δικτύου. Οι nrtPS απαιτούν ο BS να σταθμοσκοπήσει τους SS σε ένα σταθερό χρονικό διάστημα, αλλά όχι σε ένα άκαμπτο χρονικό διάστημα όπως οι rtPS. Εάν ένας SS δεν ανταποκρίνεται στη σταθμοσκόπηση, μετά από n φορές στη σειρά, ο BS θα θέσει τον SS σε μια ομάδα αναμονής. Όταν η ομάδα αναμονής σταθμοσκοπηθεί, όλοι οι

SS στην ομάδα θα τεθούν για πρόσβαση στο δίκτυο. Αυτός ο μηχανισμός αποτρέπει τους σταθμούς με μικρή κίνηση να σπαταλούν τις πολύτιμες σταθμοσκοπήσεις.

- **Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης εκτεταμένου πραγματικού χρόνου (Extended Real-Time Polling Service - ertPS):** Αυτή η κατηγορία QoS του WiMAX αναφέρεται ως Enhanced Real Time Variable Rate ή Extended Real Time Packet Services και βασίζεται στην αποτελεσματικότητα των δυο κατηγοριών υπηρεσιών QoS την UGS και την rtPS. Η υπηρεσία ertPS χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που χρησιμοποιούνται μεταβλητού μεγέθους πακέτα - συχνά όταν υλοποιείται η καταστολή σιωπής σε VoIP. Ένα τέτοιο τυπικό σύστημα είναι το Skype [78]. Ο αλγόριθμος ertPS προτάθηκε και έγινε δεκτός στο πρότυπο IEEE 802.16e και μειώνει το MAC overhead και την καθυστέρηση πρόσβασης του rtPS αλγορίθμου και εμποδίζει την σπατάλη των UL πόρων από τον αλγόριθμο UGS. Η υπηρεσία ertPS αναθέτει πόρους UL σύμφωνα με την κατάσταση των (φωνή) χρηστών χωρίς MAC overhead. Στον αλγόριθμο ertPS ο BS πρέπει να αλλάξει το μέγεθος της σταθμοσκόπησης σύμφωνα με το μέγεθος του εύρους ζώνης που ζητά ο χρήστης. Ο χρήστης χρησιμοποιεί το extended PBR (Peak Bit Rate) bits της υπό-κεφαλίδας επιχορήγησης διαχείρισης (Grant Management Sub-header) για να ζητήσει εύρος ζώνης. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ertPS επιτυγχάνετε καλύτερη μεταφορά δεδομένων στο uplink σε σχέση με το rtPS / UGS. [79]
- **Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services - BE):** Οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το διαδίκτυο σήμερα για περιήγηση στο δίκτυο (web surfing). Σκοπός της υπηρεσία best effort είναι να παρέχει επαρκή υπηρεσία για κίνηση best effort. Για να λειτουργήσει σωστά αυτή η υπηρεσία θα πρέπει η πολιτική αίτησης/μετάδοσης να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπεται στο SS να χρησιμοποιήσει περιπτώσεις ανταγωνιστικών αιτήσεων. Αυτή η κατηγορία υπηρεσίας μπορεί να αντιστοιχεί τις ροές δεδομένων χωρίς περιορισμούς QoS. Για να γίνει αίτηση για εύρος ζώνης σε αυτή την κατηγορία ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει όλους τους προαναφερθέντες μηχανισμούς, αλλά κανονικά ο BS προγραμματιστής αγνοεί τις BE συνδέσεις. Στην πραγματικότητα, μια BE σύνδεσης

λαμβάνει το υπόλοιπο ποσό του εύρους ζώνης αφού ο BS έχει εξυπηρετήσει όλες τις σημαντικότερες κατηγορίες υπηρεσιών. Για την BE κίνηση προγραμματίζονται από τον BS μη περιοδικές unicast αιτήσεις. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν εγγυήσεις όσον αφορά την ρυθμοαπόδοση ή στην καθυστέρηση πακέτων. Η κατηγορία BE έχει θεσπιστεί για να παρέχει αποτελεσματική χρησιμοποίηση των πόρων για χαμηλής ποιότητας ελαστική κίνηση όπως το telnet ή το HTTP. Αυτή η υπηρεσία δεν απαιτεί σταθμοσκόπηση. Ένας SS πρέπει να επικοινωνεί με άλλους SS για εύρος ζώνης και για πρόσβαση στο δίκτυο. Οι αιτήσεις για εύρος ζώνης είναι σε time slots που είναι σημειωμένες στον ULMAP ως διαθέσιμες. Εάν η αίτηση είναι επιτυχής, θα αναγράφεται στον επόμενο DL-MAP και ο SS μπορεί να μεταδώσει τα δεδομένα. Εάν δεν είναι επιτυχής, ο SS πρέπει να προσπαθήσει ξανά αργότερα. Είναι πιθανό να υπάρχουν συγκρούσεις για την αίτηση και τότε εφαρμόζετε ο ίδιος back-off αλγόριθμος που εφαρμόζετε και στο Ethernet.

Ο BS έχει την δυνατότητα να διαθέσει το εύρος ζώνης κατά τους εξής δυο τρόπους:

1. Επιχορήγηση ανά σύνδεση (Grand Per Connection, GPC), κατά τον οποίο το εύρος ζώνης έχει εκχωρηθεί σε κάθε σύνδεση, και
2. Επιχορήγηση ανά συνδρομητικό σταθμό (Grant Per Subscriber Station, GPSS), κατά τον οποίο γίνεται μια αίτηση SS για δυνατότητα μετάδοσης για όλες τις συνδέσεις του και αναδιανέμει το εύρος ζώνης μεταξύ τους.

Ο τελευταίος τρόπος είναι πιο κατάλληλη όταν υπάρχουν πολλές συνδέσεις ανά τερματικό και είναι υποχρεωτικός για συστήματα που χρησιμοποιούν τις προδιαγραφές 10 - 66 GHz PHY. Με την κατηγορία GPSS, στους SS έχει χορηγηθεί το εύρος ζώνης συγκεντρωτικά σε μία ενιαία επιδότηση για τον ίδιο τον SS. Στο GPSS ο SS πρέπει να είναι πιο ευφυείς όσον αφορά το χειρισμό του QoS. Θα χρησιμοποιεί συνήθως το εύρος ζώνης για τη σύνδεση που το ζήτησε αλλά δεν το χρειάστηκε. Για παράδειγμα, αν μια κατάσταση QoS στον SS έχει αλλάξει από την τελευταία αίτηση, ο SS έχει τη δυνατότητα να διαβιβάσει τα υψηλότερα QoS δεδομένα μαζί με μια αίτηση για την αντικατάσταση αυτού του εύρους ζώνης που έχει κλαπεί από μια χαμηλότερη σύνδεση QoS. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να υπάρχει ένα κατάλληλο σύστημα ελέγχου εισόδου έτσι ώστε η ρυθμοαπόδοση ολόκληρου του συστήματος να είναι αυξημένη και το κανάλι θα πρέπει να αξιοποιηθεί κατάλληλα.

Πολύ λίγα αναλυτικά μοντέλα έχουν προταθεί για συστήματα εργασίας σε κατάσταση λειτουργίας GPSS.

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 θεματικό πλαίσιο 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 σχέδια 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, 39 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 δεν

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.

3.9.4.2. Παράμετροι QoS

Για να υπάρχει μια αντικειμενική αξιολόγηση του QoS πρέπει να οριστούν κάποιοι παράμετροι που θα αποτελούν το κριτήριο αξιολόγησης των ροών πακέτων. Παρακάτω παρατίθεται ένα σύνολο παραμέτρων για τη στήριξη των παραπάνω κατηγοριών υπηρεσιών QoS καθώς και εφαρμογές αυτών, για να προσδιορίσουν τα συστήματα QoS που παρατίθενται στον πίνακα 3.1: [74]

- **Μέγιστος διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης (Maximum sustained traffic rate - MSTR):** Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (σε bps) μιας ροής υπηρεσίας, χωρίς να περιλαμβάνει τα πρόσθετα bits που εισάγει το στρώμα MAC. Το συγκεκριμένο πεδίο είναι απλώς ένα όριο, χωρίς να εξασφαλίζεται ότι ο συγκεκριμένος ρυθμός είναι διαθέσιμος. Αυτή η παράμετρος είναι συγκρίσιμη με το ATM-PCR (ATM - Peak Cell Rate). Αυτός ο ρυθμός εξυπηρέτησης πρέπει να εποπτεύεται για την ασύρματη σύνδεση ώστε να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση της, όπως υπολογίστηκε κατά μέσο όρο με την πάροδο του χρόνου. Στο πρότυπο IEEE 802.16e προστίθεται το γεγονός ότι σε περίπτωση που ορισμένα πακέτα φαίνονται να υπερβαίνουν τον μέγιστο διατηρούμενο ρυθμό μετάδοσης μπορούν να καθυστερήσουν ή να απορριφθούν, ανάλογα με την επιλογή του κατασκευαστή. Επιπλέον, ορίζεται ότι ο συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης μετράται στην είσοδο του υποστρώματος σύγκλισης, ενώ παλαιότερα η εν λόγω μέτρηση γινόταν στην είσοδο του συστήματος.
- **Ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός μετάδοσης (Minimum reserved traffic rate - MRTR):** Αυτή η παράμετρος καθορίζει το ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων (σε bps) που δεσμεύεται για αυτή την ροή υπηρεσίας. Αυτός ο

ρυθμός μετάδοσης είναι εγγυημένος για την υπηρεσία. Αυτή η παράμετρος είναι συγκρίσιμη με το ATM-SCR (ATM - Sustainable Cell Rate). Για παράδειγμα, ένας χρήστης εγγράφεται σε μια υπηρεσία του MRTR των 768 Kbps με ένα MSTR να διπλασιάζει τον ρυθμό μετάδοσης στα 1.544 Mbps. Ο χρήστης έχει εγγυημένα 768 Kbps για την ρυθμοαπόδοση, καθώς και άλλες συμβατικές υπηρεσίες της καθυστέρησης και jitter. Αν ο παροχέας υπηρεσιών δικτύου έχει εύρος ζώνης διαθέσιμο πέρα του MRTR, ο πάροχος των υπηρεσιών θα επιτρέψει στο χρήστη να συνεχίσει την κυκλοφορία μέχρι του προβλεπόμενου MSTR. Ο χρήστης δεν πρέπει να αποστέλλει τα δεδομένα πέραν του επιπέδου MSTR.

- **Μέγιστο μέγεθος ριπής (Maximum traffic burst):** Το μέγιστο μέγεθος ριπής (σε bytes) για μια υπηρεσία ροής. Ουσιαστικά εκφράζει το μέγεθος της μέγιστης συνεχούς ριπής που θα παρέχει το δίκτυο σε μια υπηρεσία, υποθέτοντας ότι η υπηρεσία δεν χρησιμοποιεί αυτή την στιγμή κάποιους από τους διαθέσιμους πόρους. Αυτή η παράμετρος είναι συγκρίσιμη με το ATM-MBS (ATM - Maximum Burst Size).
- **Μέγιστη διάρκεια λανθάνουσας κατάστασης (Maximum latency):** Η τιμή αυτής της παραμέτρου ορίζει το μέγιστο χρονικό διάστημα (σε χιλιοστά του δευτερολέπτου) που μπορεί να μεσολαβεί μεταξύ της λήψης ενός πακέτου (από το σταθμό βάσης ή το σταθμό συνδρομητή) στη διεπαφή δικτύου και της αποστολής τους στη ραδιοεπαφή (RF interface). Η έλευση του προτύπου IEEE 802.16e τροποποίησε την συγκεκριμένη παράμετρο, ως το μέγιστο χρονικό διάστημα μεταξύ της εισόδου ενός πακέτου στο υπόστρωμα σύγκλισης και της προώθησης της SDU (Service Data Units) στη ραδιοεπαφή (air interface).
- **Ανεκτή μεταβλητότητα (Tolerated jitter):** Είναι η μέγιστη διακύμανση της καθυστέρησης (σε χιλιοστά του δευτερολέπτου) που μπορεί να γίνει ανεκτή από μια σύνδεση.

Κατηγορίες QoS και παράμετροι				
	UGS	rtPS	nrtPS	BE
Ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός μετάδοσης		X	X	
Μέγιστος διατηρούμενος ρυθμός μετάδοσης	X	X	X	X
Μέγιστο μέγεθος ριπής		X	X	
Ανεκτή μεταβλητότητα	X			
Μέγιστη διάρκεια λανθάνουσας κατάστασης	X	X		

Πίνακας 3.1. Κατηγορίες QoS και παράμετροι [74]

3.9.5. Voice Over IP

Το Voice over IP ή VoIP ή τηλεφωνία μέσω διαδικτύου ή σωστότερα ΦεΔΠ δηλαδή "Φωνή επί διαδικτυακού πρωτοκόλλου", χαρακτηρίζει μια ομάδα πρωτοκόλλων τεχνολογιών (H.323, SIP), η οποία προσφέρει φωνητική συνομιλία σε πραγματικό χρόνο με σχετικά καλή ποιότητα πλέον και στην ουσία χωρίς κόστος. Άλλοι όροι που συναντώνται συχνά και χρησιμοποιούνται ως συνώνυμο του VoIP είναι η τηλεφωνία IP (IP telephony), τηλεφωνία μέσω του Διαδικτύου (Internet telephony), φωνή μέσω ευρυζωνικής σύνδεσης (Voice over Broadband - VoBB), η ευρυζωνική τηλεφωνία (broadband telephony) και ευρυζωνικό τηλέφωνο (broadband phone). Οι συνομιλίες αυτές παραδοσιακά γίνονταν αποκλειστικά μέσω PC που ήταν συνδεδεμένο με το Διαδίκτυο (Internet) και διέθετε μικρόφωνο, ακουστικά και το κατάλληλο λογισμικό. Η κλήση κατέληγε σε ένα άλλο, ανάλογα εξοπλισμένο, PC χωρίς να υπάρχει κάποια επιπλέον χρέωση, εκτός από αυτή της πρόσβασης στο Διαδίκτυο, αφού στη συγκεκριμένη επικοινωνία δεν μεσολαβεί κάποιος παραδοσιακός φορέας τηλεπικοινωνιών (π.χ. ΟΤΕ) παρά μόνο το Διαδίκτυο.

Η τηλεφωνία μέσω του Διαδικτύου αναφέρεται στις υπηρεσίες επικοινωνιών - φωνής, fax, SMS ή/και σε εφαρμογές φωνή-μηνυμάτων που μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου. Τα βήματα που εμπλέκονται στην δημιουργία μιας τηλεφωνικής κλήσης VoIP είναι η σηματοδότηση, η ρύθμιση του media channel, η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος φωνής, η κωδικοποίηση, η πακετοποίηση και η μετάδοση ως πακέτων IP (Internet Protocol) μέσω ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων. Από την

πλευρά του παραλήπτη, λαμβάνονται παρόμοιες ενέργειες (συνήθως με την αντίστροφη σειρά), όπως παραλαβή των πακέτων IP, αποκωδικοποίηση των πακέτων, μετατροπή του ψηφιακού σε αναλογικό σήμα και αναπαραγωγή του αρχικού ρεύματος φωνής. [80]

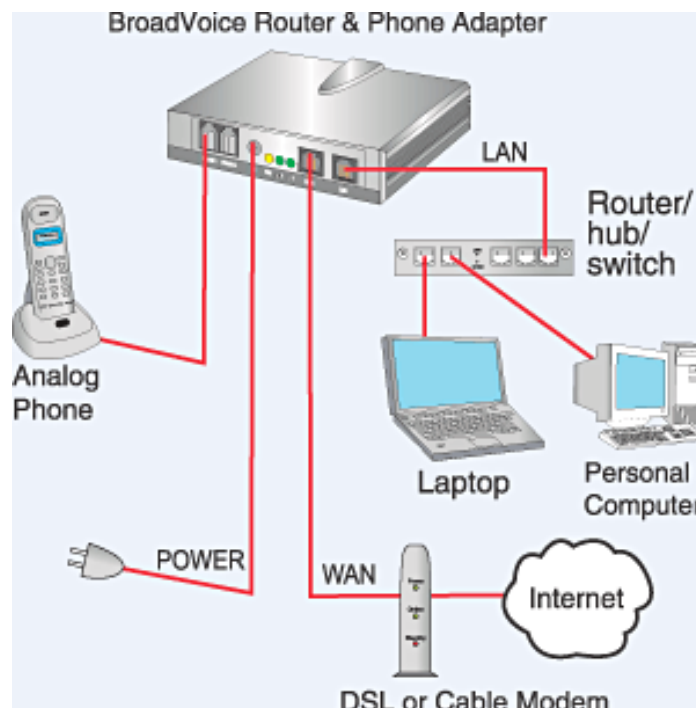
Τα VoIP συστήματα χρησιμοποιούν πρωτόκολλα ελέγχου συνόδου για τον έλεγχο των set-up και tear-down των κλήσεων καθώς και κωδικοποιητές ήχου που κωδικοποιούν την ομιλία επιτρέποντας έτσι την μετάδοση μέσω ενός δικτύου IP, ως ψηφιακό ήχο μέσω μίας ροής ήχου. Ο κωδικοποιητής που χρησιμοποιείται διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών υλοποιήσεων του VoIP (και συχνά χρησιμοποιείται μια σειρά από κωδικοποιητές). Ορισμένες υλοποιήσεις βασίζονται σε στενής ζώνης (narrowband) και συμπιεσμένη ομιλία, ενώ άλλοι υποστηρίζουν υψηλής πιστότητας κωδικοποιητές stereo.

Τον τελευταίο καιρό έχουν εμφανιστεί οι λεγόμενοι εναλλακτικοί τηλεπικοινωνιακοί φορείς, οι οποίοι προσφέρουν προώθηση των κλήσεων VoIP σε σταθερά δίκτυα τηλεπικοινωνιών σε εξαιρετικά χαμηλό κόστος, αλλά όχι το αντίστροφο. Μερικοί εξ αυτών έχουν παρουσιάσει και ειδικές τηλεφωνικές συσκευές USB VoIP, οι οποίες συνεργάζονται με το αντίστοιχο λογισμικό στον Η/Υ και καθιστούν τις κλήσεις μέσω Διαδικτύου σαφώς πιο λειτουργικές. Υπάρχουν για παράδειγμα, το δικτυακό τηλέφωνο Taichi, το Cyberphonek, η υπηρεσία FWD (FreeWorldDialup), το e-Voice της HOL ή το Voice@net του OTEnet. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης αγοράζει χρόνο ομιλίας, μέσω πιστωτικής κάρτας, για παράδειγμα, και τον χρησιμοποιεί κατά βούληση.



Εικόνα 3.15. Εξοπλισμός VoIP [81]

Μέσα στο 2009 έκαναν την εμφάνιση τους και οι πρώτες ελληνικές εταιρείες που παρέχουν ελληνικά νούμερα για χρήση με VoIP υπηρεσίες, που εκτός από εξερχόμενες κλήσεις δέχονται και εισερχόμενες από όλους σχεδόν τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Παραδείγματα τέτοιων εταιρειών είναι η Νίνα και η Ομπνιόισε. Υπάρχει ειδική σειρά ελληνικών αριθμών που προορίζονται ειδικά για χρήση VoIP και δεν έχουν γεωγραφικό περιορισμό (μπορούν να κληθούν από οπουδήποτε). Τα νούμερα αυτά ξεκινάνε από 70.



Εικόνα 3.16. Δίκτυο VoIP [80]

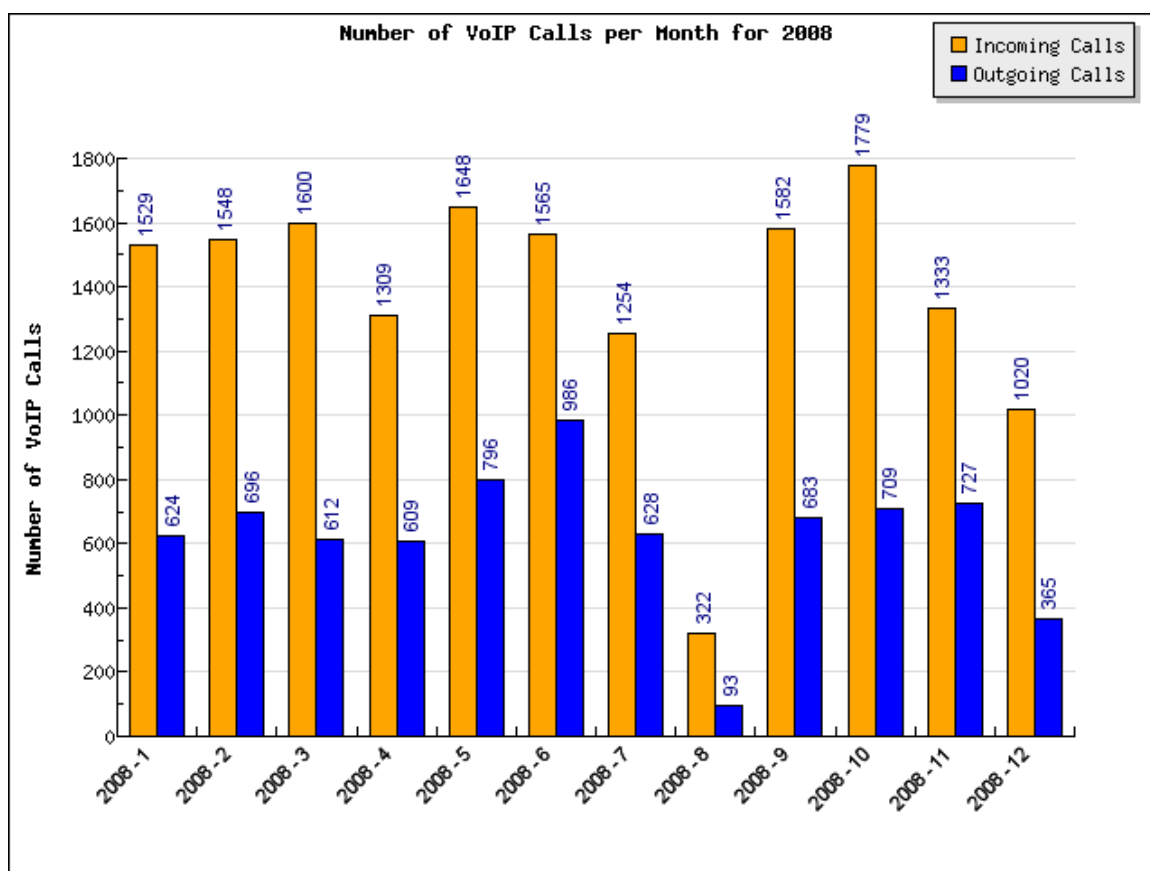
Σήμερα υπάρχει πληθώρα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των Asterisk, Voipbuster, ICQ, MSN Messenger, Skype, VoipDiscount κ.ά., οι οποίες προσφέρουν τηλεφωνία μέσω διαδικτύου καθώς και αποστολή μηνυμάτων. Το πιο ευρέως διαδεδομένο από τα παραπάνω είναι το Skype. Τα τηλεφωνικά κέντρα αυτά αναλαμβάνουν να μετατρέψουν την τηλεφωνία σε μια τηλεφωνία χωρίς κόστος χρήσης.

Το Skype είναι με εξαιρετικά δημοφιλής εφαρμογή-υπηρεσία τηλεφωνία μέσω διαδικτύου με εκατομμύρια χρήστες ανά τον κόσμο. Αρχικά ακολούθησε το μοντέλο φωνητικής επικοινωνίας VoIP από H/Y σε H/Y. Πλέον προσφέρει κλήσεις σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, σε οποιοδήποτε δίκτυο τηλεφωνίας, σταθερής και κινητής, με χαμηλές χρεώσεις.

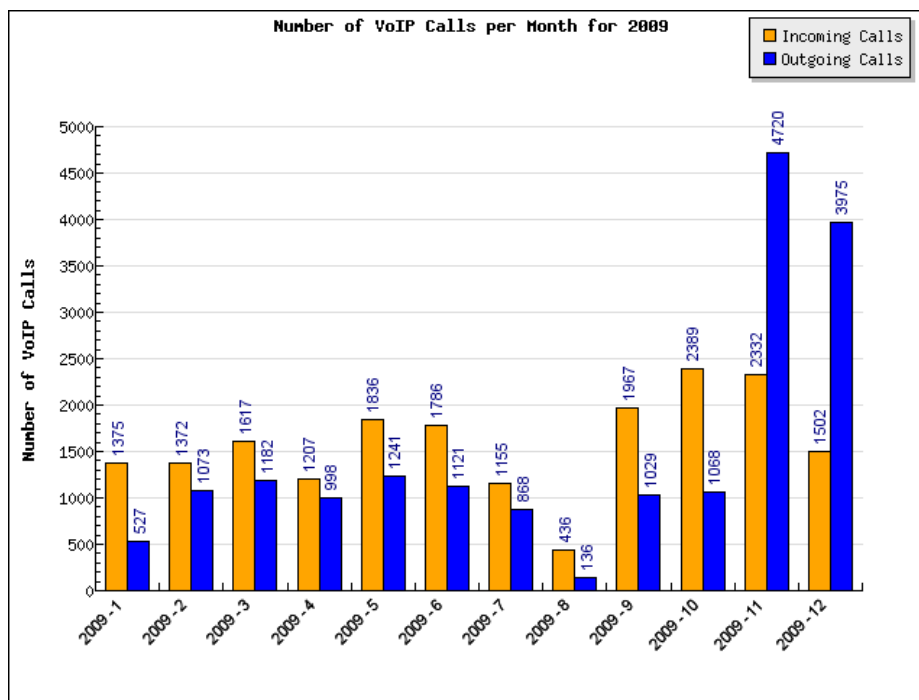
Μια άλλη πλευρά των εφαρμογών VoIP αναφέρετε αποκλειστικά στη χρήση στο διαδίκτυο. Δηλαδή στις κλήσεις που γίνονται μόνο από PC σε PC και ο ένας παίρνει το ρόλο του εξυπηρετητή (server) ενώ όλοι οι άλλοι είναι σε κατάσταση πελάτη (client). Τέτοιες εφαρμογές είναι το TeamSpeak, το RogerWilco κ.ά. Αυτές, οι κλήσεις δεν περνάνε μέσα από τον server κάποιου επίσημου φορέα, αλλά μέσα από

τον εκάστοτε τοπικό server του δικτύου (PC), είναι χωρίς χρέωση και περιορίζονται στο τοπικό δίκτυο.

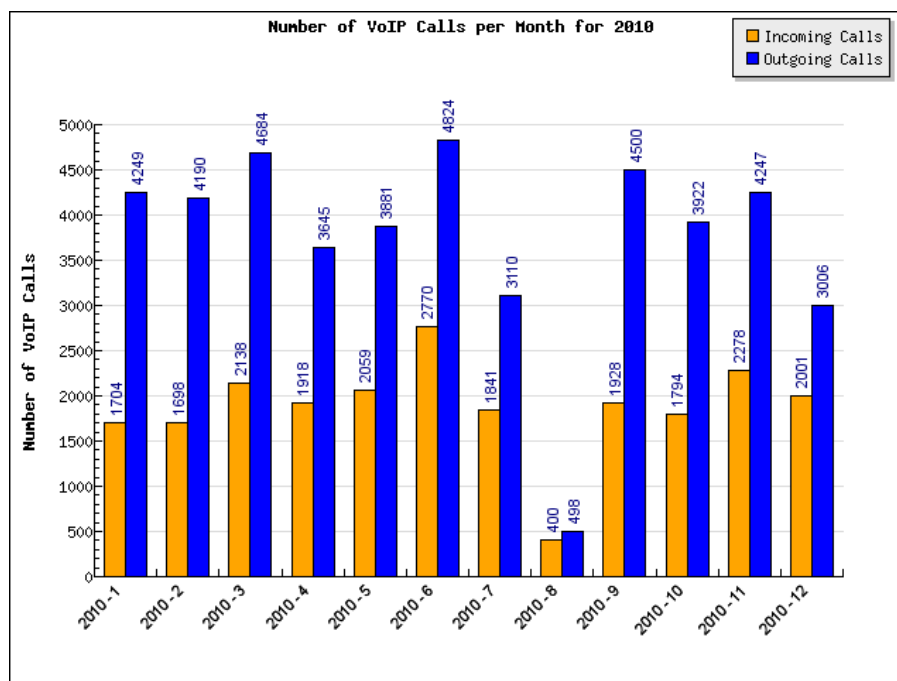
Παρακάτω παρατίθενται κάποια στατιστικά χρήσης της Υπηρεσίας Voice over IP που παρέχονται από το Κέντρο Λειτουργίας και Διαχείρισης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και αφορούν τον αριθμό των κλήσεων εισερχόμενων και εξερχόμενων ανά έτος και ανά μήνα και συγκεκριμένα για τα έτη 2008, 2009 και 2010.



Εικόνα 3.17. Κλήσεις VoIP το 2008 [82]



Εικόνα 3.18. Κλήσεις VoIP το 2009 [82]



Εικόνα 3.19. Κλήσεις VoIP το 2010 [82]

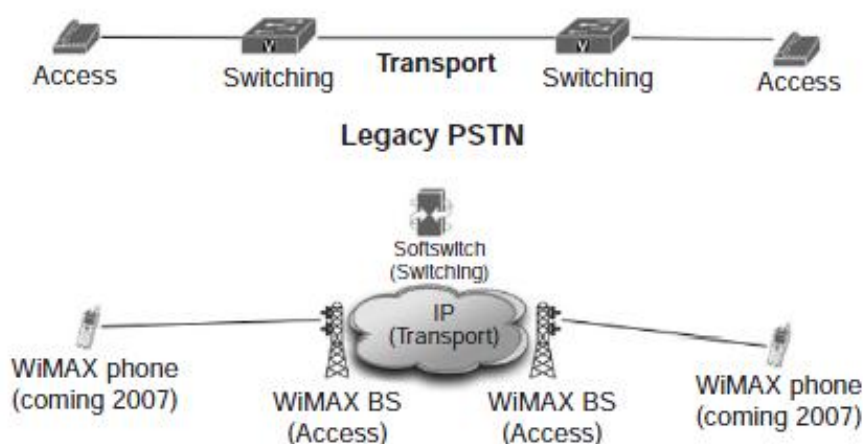
Από τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μεγάλη αύξηση των κλήσεων VoIP από το 2008 έως το 2010 και αυτό μας δίνει να καταλάβουμε την

ραγδαία ανταπόκριση του κοινού σε μια τεχνολογία που παρέχει αξιόπιστες λύσεις όσων αφορά την επικοινωνία με πολύ χαμηλότερο κόστος έναντι του κλασικού τηλεφωνικού δικτύου.

3.9.5.1. Voice Over IP σε δίκτυα WiMAX

Με το VoIP οι τηλεφωνικές εταιρείες απειλούνται επειδή είναι απείρως φθηνότερο σε δεδομένα δέσμης (και φωνή) για έναν πελάτη από ότι είναι με την χρήση ενός καλωδίου χαλκού ή ομοαξονικού καλωδίου για την μεταφορά των δεδομένων. Επιπλέον, με την χρήση του WiMAX αυξάνεται εκθετικά η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων σε σχέση με τα υπάρχοντα δίκτυα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας Softswitch, ως εναλλακτική λύση για τη μετάβαση στην Class 4 και Class 5 των switches καθιστά ακόμη πιο εφικτό για τους παροχείς υπηρεσιών WiMAX να παρέχουν υπηρεσίες φωνής ανεξάρτητα από την τηλεφωνική εταιρεία ή για τους συνδρομητές (κυρίως επιχειρήσεις) να είναι οι ίδιοι εταιρεία τηλεφωνίας και αποτελεσματικά παρακάμπτοντας εντελώς το PSTN.

- **Softswitch.** Ονομάζεται επίσης a Proxy Gatekeeper, Call Server, Call Agent, Media Gateway Controller, ή Switch Controller. Στην πραγματικότητα είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείτε για να την διασύνδεση ενός δικτύου τηλεφωνίας με το VoIP δίκτυο. Αυτό επιταχύνετε μέσω του διαχωρισμού των λειτουργιών ενός τηλεφωνήματος έτσι ώστε να το λογισμικό να μπορεί να διαχειρίζεται το "μέσο". Ένα softswitch εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης κλήσεων όπως: Την μετατροπή των πρωτοκόλλων επικοινωνίας για τα αντίστοιχα τηλεφωνικά δίκτυα, την ταυτοποίηση της κλήσης, τη χρέωση (λογαριασμοί) αλλά και λειτουργίες διαχείρισης. [83]



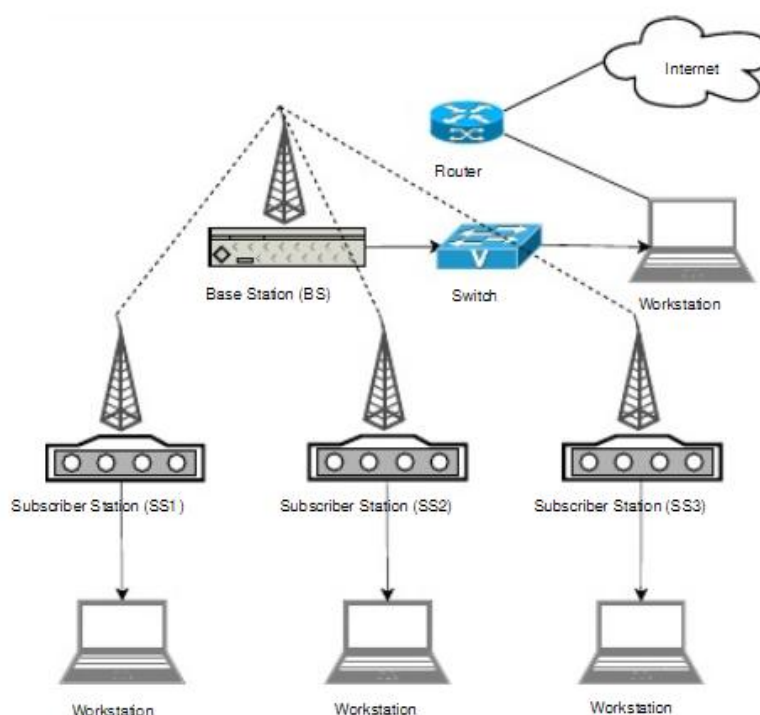
Εικόνα 3.20. Παράκαμψη του PSTN με το WiMAX και το VoIP [77]

Έχουν γίνει ορισμένες προσπάθειες για την ανάπτυξη υπηρεσιών φωνής μέσω ασύρματου τοπικού βρόχου (Wireless Local Loop - WLL). Για παράδειγμα με τη χρήση ασύρματων τεχνολογιών για την παροχή τηλεφωνικής υπηρεσίας σε υποεξυπηρετούμενες ή τρίτου κόσμου αγορές. Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες αυτές περιορίζονται σε φωνητικές υπηρεσίες, δεν έχουν υιοθετηθεί από το σύνολο της αγοράς. Το WiMAX όμως είναι διαφορετικό, δεδομένου ότι είναι ένα πρωτόκολλο για Ethernet πάνω σε ένα ασύρματο μέσο. Τα συστατικά στοιχεία του WiMAX αποτελούν πλέον μια πιθανή εναλλακτική λύση σε σχέση με το PSTN (Public Switched Telephone Network). Το δίκτυο WiMAX δεν προσφέρει μόνο δυνατότητες παράκαμψης του PSTN για τις φωνητικές υπηρεσίες, αλλά προσφέρει επίσης ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο, καθώς και μια δική της επιβεβλημένη σουίτα από υπηρεσίες.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια προκαταρκτικά αποτελέσματα, που προήρθαν από μια πειραματική δοκιμή, σχετικά με την ικανότητα των συστημάτων WiMAX να υποστηρίξουν Voice-over-IP εφαρμογές (VoIP). Οι μετρήσεις που αναφέρονται, αξιολογούν την δυνατότητα του WiMAX να υποστηρίζει VoIP ροές. Ειδικότερα, η ποιότητα φωνής αξιολογήθηκε μέσω του E-Model χρησιμοποιώντας του R-factor.

3.9.5.2. Μετρήσεις επιδόσεων και ανάπτυξη του πεδίου δοκιμών

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται μερικές μετρήσεις απόδοσης που έχουν προκύψει από την εκμετάλλευση μιας πλατφόρμας δοκιμών του WiMAX στο Τορίνο, Πιεμόντε, στην Ιταλία στο πλαίσιο του εθνικού πειραματισμού πάνω στο WiMAX που συντονίζεται από το Fondazione Ugo Bordoni (FUB) [20]. Η πλατφόρμα έχει αναπτυχθεί σε ένα αγροτικό περιβάλλον στην Canavese που καλύπτει έκταση 300 τετρ. χιλ. περίπου, με τον BS να βρίσκεται στην Castellamonte και να συνδέει, με τοπολογία PMP, τρεις SS όπως φαίνεται στην εικόνα 3.21 παρακάτω. Για τον πειραματισμό, υιοθετήθηκε το πρότυπο IEEE 802.16d το οποίο συμμορφώνεται με τον εξοπλισμό Alvarion BreezeMAX που λειτουργεί στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων των 3.5 GHz. Πλατφόρμα δοκιμών του WiMAX στο Τορίνο, Πιεμόντε, Ιταλία



Εικόνα 3.21. Πλατφόρμα δοκιμών του WiMAX στην Ιταλία [73]

Οι δοκιμές στοχεύουν στο να χαρακτηρίσουν την ικανότητα των σημερινών τεχνολογιών WiMAX να υποστηρίζουν Voice over IP (VoIP) ροές που αντιστοιχίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών QoS και με διαφορετικό

υπόβαθρο συνδυασμού κυκλοφορίας. Η ποιότητα φωνής έχει αξιολογηθεί με την χρήση υπολογιστικών συστημάτων που παρέχονται από το E-Model [80]. Αυτά τα συστήματα λαμβάνουν υπόψη διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την ποιότητα μιας συνομιλίας και μπορεί να σχετίζονται με το Mean Opinion Score (MOS). Το MOS είναι το ευρέως αποδεκτό πρότυπο για την αξιολόγηση της ποιότητας της ομιλίας).

3.9.5.2.1. E-Model

Η ποιότητα της συνομιλίας σε συστήματα VoIP παραδοσιακά αξιολογείται με μέση τιμή του MOS. Το MOS είναι ένα αριθμητικό μέτρο και εκφράζεται ως ενιαίος αριθμός του εύρους από 1 έως 5, όπου το 1 είναι η χαμηλότερη αντιληπτή ποιότητα, και 5 είναι η υψηλότερη αντιληπτή ποιότητα. Δεδομένου ότι στηριζόταν σε δοκιμές ακρόασης, η αξιολόγηση του συντελεστή MOS για μια λύση VoIP μπορεί να είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Για το λόγο αυτό, έκαναν τους έλεγχους μέσω συνθετικής παραγωγής κίνησης, και κατέφυγαν στο E-Model, το οποίο παρέχει μια αντικειμενική μέθοδος για την αξιολόγηση της ποιότητας της ομιλίας στα συστήματα VoIP. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης E-Model ονομάζεται R-factor (R). Το R-factor είναι ένα αριθμητικό μέτρο της ποιότητας φωνής, που κυμαίνεται από 0 έως 100. Οι τιμές αναφοράς του R-factor κατηγοριοποιούνται, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2. [73]

R-factor	Διατίμηση της ποιότητας της φωνής	MOS
$90 < R \leq 100$	Βέλτιστη	4.34 – 4.5
$80 < R \leq 90$	Υψηλή	4.03 – 4.34
$70 < R \leq 80$	Μεσαία	3.60 – 4.03
$60 < R \leq 70$	Χαμηλή	3.10 – 3.60
$50 < R \leq 60$	Φτωχή	2.58 – 3.10

Πίνακας 3.2. R-factors, διατίμηση ποιότητας και σύνδεση με MOS [73]

Σενάριο	R
PSTN/PSTN	82
ISDN/ISDN	92
PSTN/Mobile	64
VoIP	68

Πίνακας 3.3. Ορισμένες περιπτώσεις αναφοράς για τις τιμές του συντελεστή R [73]

Στο E-Model λαμβάνονται υπόψη αρκετοί διαφορετικοί παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα μιας συνομιλίας. Η βασική ιδέα είναι ότι διάφορες βλάβες στην ψυχολογική κλίμακα έχουν μια πρόσθετη συμπεριφορά (dB-like συμπεριφορά).

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Συγκεκριμένα, το R_0 είναι η βασική αναλογία σήματος-προς-θόρυβο (περιβαλλοντικούς και θορύβους από τη συσκευή), το I_s είναι λογαριασμοί για τις βλάβες πάνω στο κωδικοποιημένο σήμα φωνής (δυνατή σύνδεση, κβαντοποιήσεις), το I_d αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της καθυστέρησης, το I_e την επίδραση των κωδικοποιητών χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και τέλος το A είναι ο παράγοντας πλεονεκτήματος, που αντιστοιχεί στην αποζημίωση του χρήστη λόγω των ευκολίας στη χρήση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας. Αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα 3.3 ορισμένες τιμές δείγματος για τον παράγοντα R για διάφορα σενάρια.

3.9.5.2.2. Διαμόρφωση της πλατφόρμας δοκιμών

Στόχος της πλατφόρμας δοκιμών είναι μια αστική ευρυζωνική πρόσβαση, όπου το σύστημα λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2 - 11 GHz. Τα πειραματικά δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί εκμεταλλεύονται μια ασύρματη πλατφόρμα δοκιμών τεσσάρων κόμβων που έχει εγκατασταθεί σε ένα αγροτικό περιβάλλον και εφαρμόζετε σε αυτήν η τοπολογία PMP όπως φαίνεται στην εικόνα 3.21. Ο BS είναι εξοπλισμένος με τμηματικές κεραιές με ένα κέρδος 14 dBi στο κατακόρυφο επίπεδο που καλύπτει όλους τους 3 SS. Η προεπιλεγμένη μέγιστη ισχύς εξόδου της κεραιάς είναι 36 dBm τόσο για τους BS όσο και για τους SS. Η απόσταση μεταξύ του BS και του SS1, SS2 και SS3 είναι 8.4 χιλιόμετρα, 8.5 χιλιόμετρα και 13.7 χιλιόμετρα, αντίστοιχα. Η μέση

αναλογία σήματος προς θόρυβο είναι πάνω από 30 dB, επιτρέποντας έτσι την υψηλότερη διαμόρφωση, δηλαδή 64 QAM, για κάθε σύνδεση. Οι SS δουλεύουν σε line-of-sight συνθήκες υπό FDD half- duplex. Όλοι οι κόμβοι τρέχουν Linux με πυρήνα 2.4. Οι μετρήσεις που εκτελούνται εκμεταλλεύονται μια πλατφόρμα Alvarion BreezeMAX που λειτουργεί στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων των 3.5 GHz και χρησιμοποιεί ένα 3.5 MHz ευρύ κανάλι σε κατάσταση FDD. Κάθε κόμβος συνδέεται μέσω μιας σύνδεσης Ethernet με τον εξοπλισμό WiMAX. [71]

3.9.5.2.3. Ρυθμίσεις του Alvarion BreezeMAX

Η πλατφόρμα Alvarion BreezeMAX υποστηρίζει μοντέλο QoS ανά χρήστη όπου οι παράμετροι απόδοσης εφαρμόζονται πάνω σε μια ομάδα συνδέσεων μεταξύ του BS και του SS. Οι απαιτήσεις QoS του χρήστη υποστηρίζονται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες παραμέτρους: [73]

- **CIR.** Το CIR (Committed Information Rate) έχει καθοριστεί για rtSP και nrtPS κυκλοφορία μόνο. Το εύρος είναι από 0 έως 12 Mbps που είναι η μέγιστη (MAC) ρυθμοαπόδοση του Alvarion BreezeMAX εξοπλισμού.
- **MIR.** Το MIR (Maximum Information Rate) ορίζεται για nrtPS και BE QoS κατηγορίες και το ποσοστό είναι κατά μέσο όρο όπως και στην περίπτωση του CIR.
- **CT.** Το CT (Committed Time) καθορίζει το χρόνο παραθύρου πάνω από το οποίο το ποσοστό πληροφοριών είναι υπολογισμένο κατά μέσο όρο για να εξασφαλίσει την συμμόρφωσης με την παράμετρο CIR ή MIR.

CT (ms)	BE	nrtPS	rtPS
Μικρό	50	50	50
Μεσαίο	100	100	100
Μεγάλο	1000	1000	1000

Πίνακας 3.4. Επιτρεπτές τιμές για την παράμετρο CT [73]

Οι επιτρεπόμενες τιμές του CT αναφέρονται στον πίνακα 3.4. Το πεδίο IP's DSCP (Differentiated Services Code Point) αποτελεί αντικείμενο εκμετάλλευσης, προκειμένου να επιβληθεί μια ορισμένη κατηγορία υπηρεσίας. Οι ροές κυκλοφορίας που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών τους έχουν προστεθεί ετικέτες χρησιμοποιώντας iptables λογισμικό. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων όλοι οι SS μοιράζονταν το ίδιο QoS όπως φαίνεται στον πίνακα 3.5.

Traffic Class	DSCP	CIR [Kbps]	MIR [Kbps]	CT [ms]
BE	1	n.a.	12000	100
nrtPS	2 - 31	3000	12000	100
rtPS	32 - 63	300	n.a.	50

Πίνακας 3.5. Κανόνες χαρτογράφησης του Alvarion BreezeMAX [73]

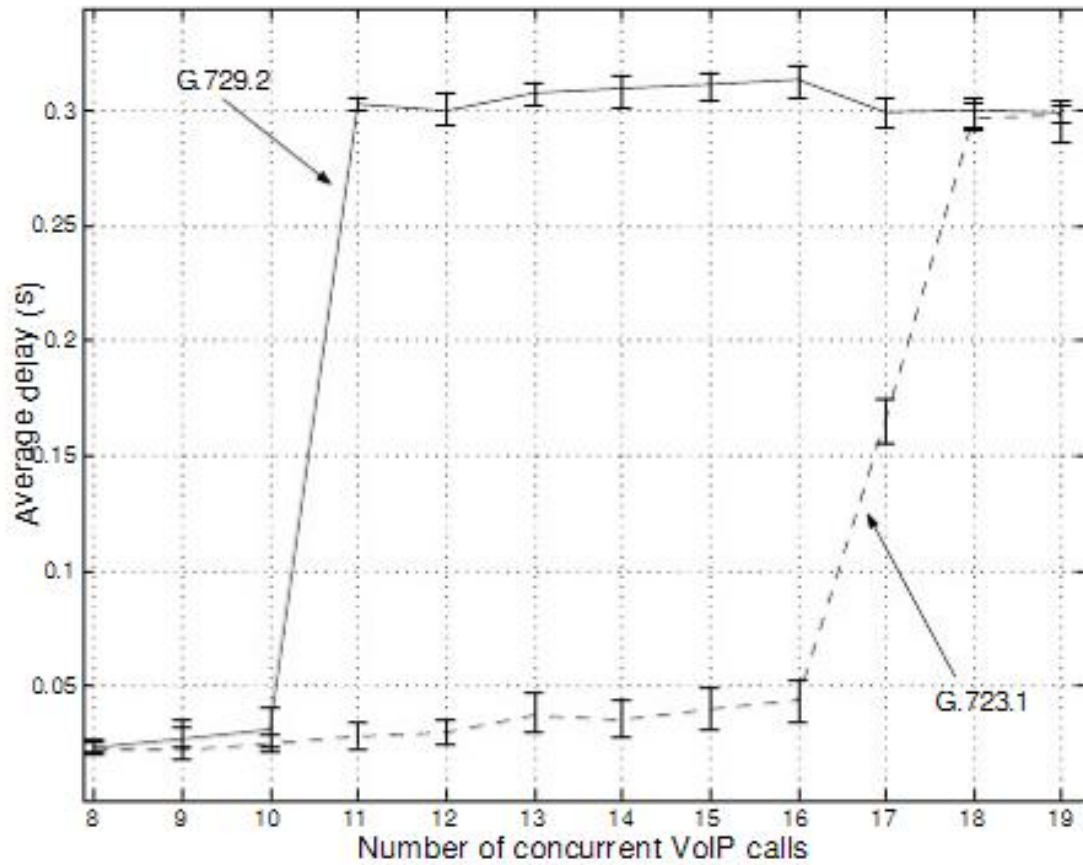
3.9.5.2.4. Μετρήσεις απόδοσης

Οι ροές δεδομένων και οι VoIP ροές δημιουργήθηκαν μέσω του Distributed Internet Traffic Generator (D-ITG), ένα ελεύθερα διαθέσιμο εργαλείο λογισμικού. Οι κωδικοποιητές VoIP τροφοδοτούν ροές πακέτων RTP (Real-time Transport Protocol) και έχουν εξεταστεί δυο κωδικοποιητές που χρησιμοποιούνται συνήθως, δηλαδή ο G.729.2 και ο G.723.1. Οι VoIP συνδέσεις έχουν αντιστοιχηθεί με την rtPS κατηγορία, ενώ η ελεγχόμενη κίνηση TCP έχει αντιστοιχηθεί με τη BE κατηγορία. Η αντιστοίχιση των πηγών CBR (Constant Bit Rate) με την κατηγορία rtPS κατέστησε πολύ πιο εύκολο τον εντοπισμό της συμπεριφοράς του συστήματος, δεδομένου ότι η πραγματική πολιτική προγραμματισμού ήταν άγνωστη. Για να συλλεχτούν αξιόπιστες μετρήσεις των καθυστερήσεων, πριν από κάθε πείραμα συγχρόνιζαν όλους τους κόμβους χρησιμοποιώντας NTP (Network Time Protocol). Όλοι οι SS διατηρούσαν την ίδια κίνηση, που αποτελούνταν από έναν ορισμένο αριθμό συνόδων VoIP και μία μόνιμη σύνδεση TCP, μοντελοποιώντας την background κίνηση. Οι μετρήσεις έγιναν σε 5-λεπτά χρονικά διαστήματα και βγήκε ο μέσος όρος μετά από 10 εκτελέσεις.

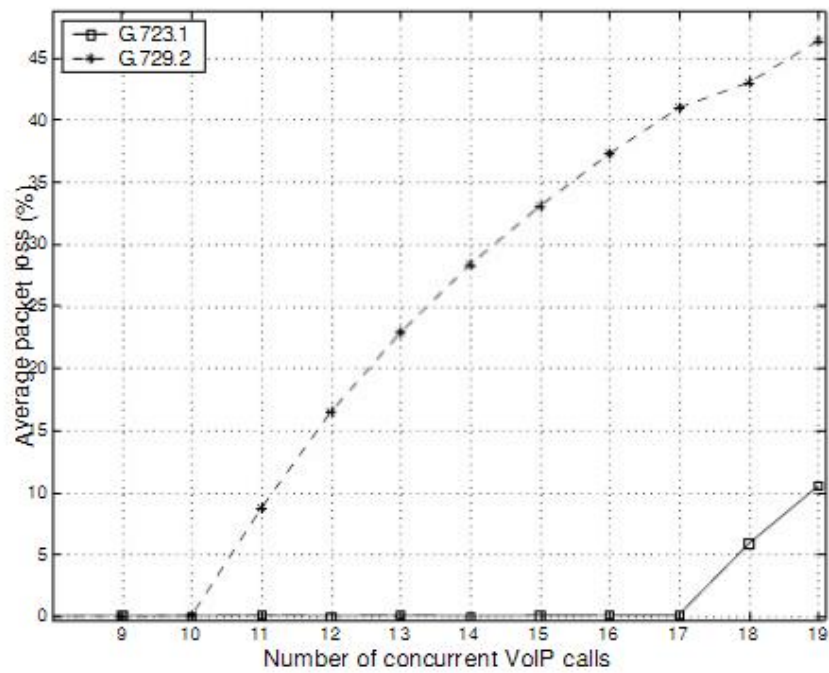
Στην πρώτη σειρά μετρήσεων, αποφασίστηκε ότι η ικανότητα ομιλίας είναι ο μέγιστος αριθμός των σταθερά VoIP κλήσεων με υψηλή ποιότητα ($70 < R < 80$) και οι

συσχετιζόμενοι παράμετροι. Παρακάτω αναφέρονται μόνο τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το downlink.

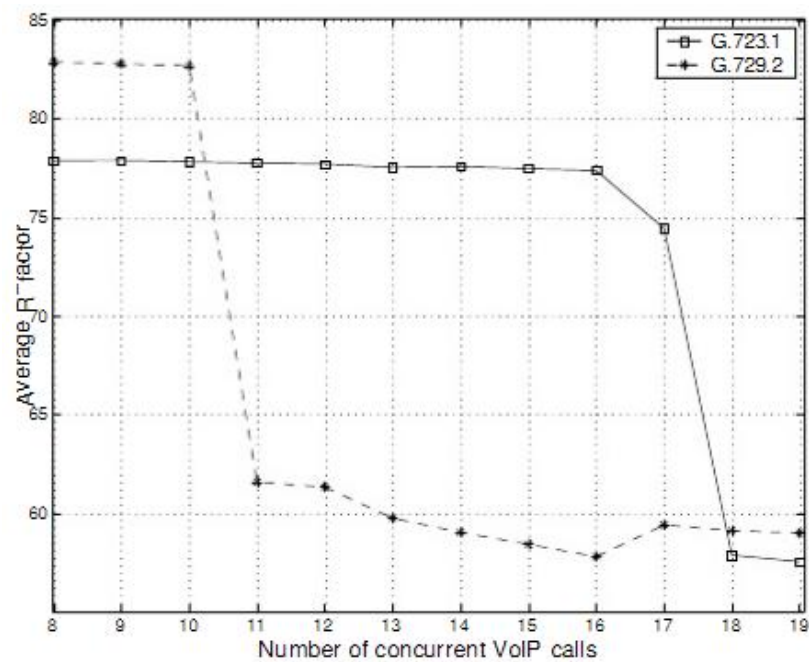
Στις εικόνες 3.22 και 3.23 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που συλλέχθηκαν για την καθυστέρηση και την απώλεια πακέτων, αντίστοιχα. Ιδιαίτερα στην καθυστέρηση επέρχεται κορεσμός στα 300 ms ενώ, μετά το σημείο κορεσμού, η απώλεια πακέτων αυξάνει σχεδόν γραμμικά. Ο κωδικοποιητής G.723.1 υπερτερεί σαφώς του G.729.2. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι ο κωδικοποιητής G.729.2 έχει υψηλότερο συντελεστή παραγωγής πακέτων, σε συνδυασμό με τη μεγάλη επιβάρυνση των κεφαλίδων πακέτων της RTP / UDP / IP / MAC στοίβα πρωτοκόλλου ($\approx 45\%$ για το G.729.2). Οι επιπτώσεις αυτές είναι πολύ γνωστές σε VoIP πάνω σε δίκτυα WLAN: στην πράξη, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερα κομμάτια ομιλίας ανά πακέτο και κατά συνέπεια, μεγαλύτερα διαστήματα παραγωγή interpacket. Τέλος, η εικόνα 3.24 παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα όσον αφορά το R-factor. Υπάρχουν περίπου τρεις περιοχές: στην πιο αριστερή περιοχή βλέπουμε ότι το G.729.2 προσφέρει μια αρκετά καλή ποιότητα, αλλά μετά από δέκα κλήσεις, το G.723.1 αποκτά πολύ καλύτερη απόδοση. Στο τέλος, για το συγκεκριμένο CIR, το σύστημα βάσει εξετάσεων υποστηρίζει μέχρι και 17 G.723.1 κλήσεις VoIP, και 10 G.729.2 κλήσεις ανά SS. [71]



Εικόνα 3.22. Μέση καθυστέρηση σε σχέση με τον αριθμό των συνδρομητικών σταθμών VoIP ροών [71]

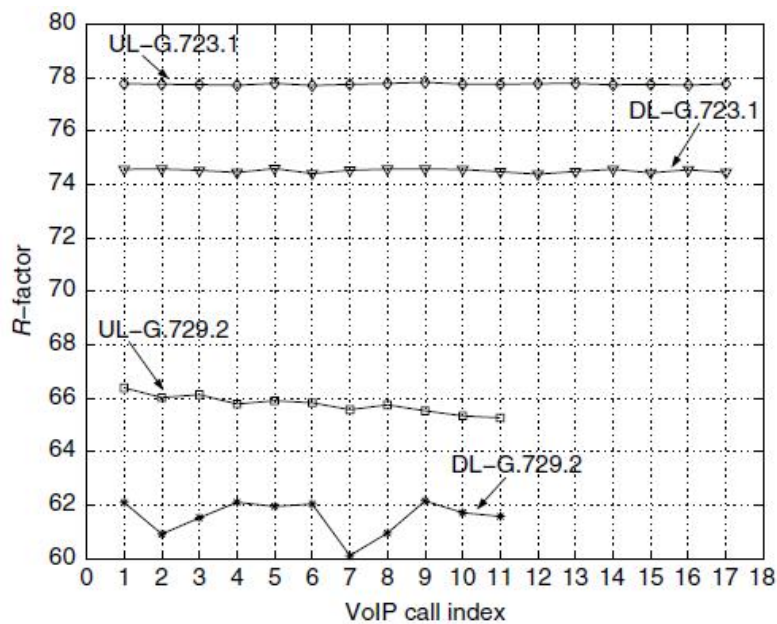


Εικόνα 3.23. Ποσοστό απώλειας πακέτων των VoIP ροών ανά συνδρομητικό σταθμό χρησιμοποιώντας διαφορετικούς κωδικοποιητές [71]

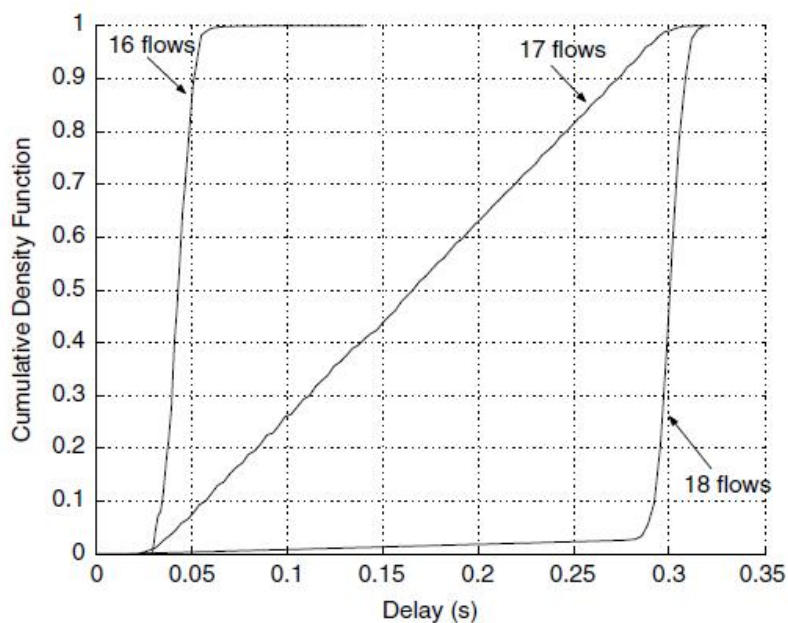


Εικόνα 3.24. Μέσος όρος R-factor σε σχέση με τον αριθμό των συνδρομητικών σταθμών VoIP ροών [71]

Για να καθοριστεί η ικανότητα ομιλίας, περιορίστηκαν στο downlink, υποστηρίζοντας ότι είναι το σημείο συμφόρησης. Όπως αναφέρεται στην εικόνα 3.25, στην πραγματικότητα, ο R-factor είναι υψηλότερος για το uplink, ανεξάρτητα από το δείκτη των SS VoIP ροών και του κώδικα. Επιπλέον, έγινε δειγματοληψία στην αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας (Cumulative Distribution Function - CDF) της καθυστέρησης των πακέτων γύρω από την ικανότητα ομιλίας. Η εικόνα 3.26 αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση CDF για downlink VoIP ροές χρησιμοποιώντας ένα κωδικοποιητή G.723.1. Αν και η πολιτική χρονοπρογραμματισμού είναι απόρρητη, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν είναι απλά η μέση καθυστέρηση να υποβαθμιστεί στην αύξηση της προσφερόμενης VoIP κυκλοφορίας αλλά ολόκληρη η κατανομή καθυστερήσεων μετατοπίζεται γύρω από τις υψηλότερες τιμές καθυστέρησης. Ο BS εφαρμόζει αυστηρό όριο πολιτικής ελέγχου: σε περίπτωση που ένας SS υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο πάνω από το CIR, όλες οι ροές από το SS που έχει παραβιάσει υπόκεινται σε κυρώσεις. Μόνο για 17 G.723.1 κλήσεις VoIP η υπέρβαση πάνω από το CIR εμφανίζεται σε καθυστέρηση διάδοση όπως φαίνεται στην εικόνα 3.26. Από την πλευρά του SS, αυτή η αυστηρή BS πολιτική κλήσεων για έλεγχο αποδοχής VoIP ροών, αποτρέπει την υποβάθμιση των υπηρεσιών. Επαναλήφθηκαν οι ίδιες μετρήσεις για uplink και τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια. Όπως προέκυψε από τις μετρήσεις του R-factor, το uplink αποδίδει καλύτερα από το downlink. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που παράγονται, όπου μεγαλύτερες uplink καθυστερήσεις σε σύγκριση με το downlink, καταλογίστηκαν στον μηχανισμό αίτησης εύρους ζώνης και στο PHY overhead. Στην προκειμένη περίπτωση, η uplink καθυστέρηση που οφείλετε στην αίτηση εύρους ζώνης δεν αποδεικνύεται σημαντική. Αυτό το γεγονός το αποδίδουμε στην ενεργοποίηση των μηχανισμών riggybacking για κράτηση εύρους ζώνης που προβλέπεται από το WiMAX.



Εικόνα 3.25. Uplink και downlink R-factor έναντι του ευρετηρίου συνόδου των συνδρομητικών σταθμών VoIP, με 11 και 17 ταυτόχρονες κλήσεις με τους κωδικοποιητές G.729.2 και G.723.1, αντίστοιχα[71]



Εικόνα 3.26. Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας έναντι της καθυστέρησης πακέτων για το downlink χρησιμοποιώντας κωδικοποιητή G.723.1 [71]

Κεφάλαιο 4. Wi-Fi

Παρότι οι λύσεις ενσύρματης δικτύωσης παρείχαν ικανές επιδόσεις, ήταν ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών. Η ευελιξία που παρέχουν οι ασύρματες τεχνολογίες φάνηκε από νωρίς πως θα άνοιγε ένα τεράστιο πεδίο νέων εφαρμογών. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη, έκανε δυνατή την παραγωγή συσκευών με πολύ μικρό κόστος και σε μεγάλες ποσότητες. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι την τελευταία δεκαετία βιώνουμε την όλο και πιο έντονη παρουσία των ασύρματων τεχνολογιών. Η ασύρματη δικτύωση είναι σήμερα ένας από τους πιο προσιτούς σε κόστος τρόπους ευρυζωνικής πρόσβασης για όλο τον κόσμο.

Μια πρόσφατη έρευνα που έγινε στις ΗΠΑ και χρηματοδοτήθηκε από την Wi-Fi Alliance ήθελε να δείξει την χρήση του Wi-Fi στον ακαδημαϊκό χώρο. Οι μελέτες έδειξαν τα εξής στατιστικά αποτελέσματα:

Το Wi-Fi και η επιλογή κολεγίου:

- Το 90% των φοιτητών κολεγίου δήλωσαν ότι είναι απαραίτητη η Wi-Fi πρόσβαση στην εκπαίδευση όπως οι αίθουσες διδασκαλίας και οι υπολογιστές.
- Το 57% δήλωσαν ότι δεν θα πήγαιναν σε ένα κολέγιο που δεν θα είχε δωρεάν Wi-Fi.
- Το 79% λένε ότι χωρίς Wi-Fi πρόσβαση, το κολέγιο θα ήταν πολύ πιο δύσκολο.
- Το 60% συμφωνούν ότι όταν το Wi-Fi είναι ευρέως διαθέσιμο σε όλο το πανεπιστήμιο αυτό είναι μια ένδειξη ότι το σχολείο νοιάζεται για τους φοιτητές του.

Το Wi-Fi και που το χρησιμοποιούν:

- Το 55% έχει συνδεθεί από καφετέριες και εστιατόρια
- Το 47% από πάρκα
- Το 24% από τα αυτοκίνητά τους

Το Wi-Fi στην τάξη:

- Το 55% έχουν ελέγξει το Facebook ή το MySpace και έχουν αποστείλει ή λάβει μηνύματα ενώ χρησιμοποιούσαν τον φορητό τους υπολογιστή στην τάξη.
- Το 47% έχουν στείλει στιγμιαία μηνύματα σε ένα φίλο ενώ βρίσκονταν στην τάξη.
- Το 44% έχει χρησιμοποιήσει το Wi-Fi για να έχει προβάδισμα σε μια εργασία πριν τελειώσει η τάξη.

Το Wi-Fi και linkbaiting στατιστικές:

Αν αναγκαζόταν να επιλέξει το 48% θα επέλεγε να εγκαταλείψει την μύρα παρά το Wi-Fi.

Μεθοδολογία της έρευνας: “Σε συνεργασία με την Wi-Fi Alliance η Wakefield Research ρώτησε 501 φοιτητές των ΗΠΑ το Σεπτέμβριο του 2008. Η διακύμανση της δειγματοληψία αυτής της έρευνας είναι συν ή πλην 4,3 εκατοστιαίες μονάδες.” [84]

4.1. Ορισμός του Wi-Fi

Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που είχαν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «Wi-Fi» επειδή η Wi-Fi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που υπακούν στις προδιαγραφές του 802.11. Αυτή η οικογένεια πρωτοκόλλων αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων.

Ο όρος **Wi-Fi** (**Wireless Fidelity**, κατά την ορολογία **High Fidelity** η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Ωστόσο το Wi-Fi («ασύρματη πιστότητα» στα ελληνικά) έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (VoIP) και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Σε

φορητές ηλεκτρονικές συσκευές το 802.11 βρίσκει εφαρμογές ασύρματης μετάδοσης, όπως π.χ. στη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές κάμερες σε υπολογιστές για περαιτέρω επεξεργασία και εκτύπωση, αν και σε αυτόν τον τομέα έχει υποσκελιστεί από το πρωτόκολλο Bluetooth για τα πολύ μικρότερης εμβέλειας ασύρματα προσωπικά δίκτυα.



Εικόνα 4.1. Ασύρματο Δίκτυο Wi-Fi [85]

4.2. Ιστορική αναδρομή Wi-Fi

Η πρώτη έκδοση του Wi-Fi εισήχθη το 1997 και στο φυσικό επίπεδο περιελάμβανε δύο μεθόδους διασποράς φάσματος για τη μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz, η εκπομπή στην οποία δεν απαιτεί άδεια. Η πρώτη μέθοδος λειτουργούσε με Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, ενώ η δεύτερη λειτουργούσε με Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) και υποστήριζε ρυθμό μετάδοσης 1-2 Mbps. Περιλαμβάνονταν επίσης και μία υπέρυθρη εκδοχή (IR). Πριν από την εμφάνιση του 802.11 δεν υπήρχε κάποιο ευρέως αποδεκτό

πρότυπο για ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, ούτε ανάλογες εμπορικές εφαρμογές, καθώς η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης δεν ήταν ακόμα αρκετά ώριμη.

Το 1999 το 802.11b ώθησε την ταχύτητα στα 11 Mbps χρησιμοποιώντας DSSS. Οι ρυθμοί λειτουργίας 1-2 Mbps με DSSS ισχύουν ακόμα, έτσι ώστε οι συσκευές να μπορούν να πέσουν σε χαμηλότερες ταχύτητες για να διατηρήσουν μια σύνδεση όταν τα σήματα είναι αδύνατα. Με την έκδοση αυτή ο όρος Wi-Fi άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως και οι ασύρματες κάρτες δικτύου 802.11 να εξαπλώνονται ταχέως.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μετάδοσης Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), δύο πρότυπα υψηλής ταχύτητας ακολούθησαν το 802.11b τα οποία παρέχουν μέχρι 54 Mbps: το 802.11a εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz αλλά δεν είναι συμβατό με τις ασύρματες κάρτες δικτύου οι οποίες υποστηρίζουν 802.11b, ενώ το 802.11g εκπέμπει στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz και είναι συμβατό με το 802.11b. Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών εξοπλισμένων με κάρτες 802.11b και 802.11g γίνεται στην υψηλότερη δυνατή κοινή ταχύτητα, αυτήν του 802.11b.

Με τη διάδοση του Wi-Fi κατά τις αρχές της δεκαετίας του 2000 εμφανίστηκε μία νέα μέθοδος πρόσβασης στο Internet: μία ψηφιακή συσκευή με κάρτα ασύρματης δικτύωσης Wi-Fi, π.χ. ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή ένα PDA, μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο όταν βρίσκεται σε ακτίνα κάλυψης ασύρματου δικτύου ήδη συνδεδεμένου στο Internet, το οποίο ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point). Μία περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης συνδεδεμένα μεταξύ τους λέγεται hotspot. Ένα hotspot μπορεί να καλύπτει έναν χώρο έκτασης δωματίου ή και πολλών τετραγωνικών μέτρων, με εναλλασσόμενα σημεία πρόσβασης.

Έτσι η τεχνολογία Wi-Fi επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών μεταξύ τους, τη σύνδεση ενός προσωπικού υπολογιστή με ένα τοπικό δίκτυο και άλλους υπολογιστές και, στη συνέχεια, μέσω αυτών στο Internet. Ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να συνδεθεί οπουδήποτε υπάρχει σημείο πρόσβασης (π.χ. σε πάρκα ή πλατείες μεγάλων πόλεων, καφετέριες, βιβλιοθήκες κλπ).

4.3. Πρωτόκολλα 802.11x

Το IEEE 802.11 πρότυπο καταδεικνύει ένα σύνολο προτύπων WLAN που αναπτύσσονται από την ομάδα εργασίας 11 του Institute of Electrical and Electronics Engineers LAN/MAN Standards Committee (IEEE 802). Ο όρος 802.11x χρησιμοποιείται επίσης για να δείξει αυτό το σύνολο προτύπων και δεν πρέπει να μπερδευτεί με οποιοδήποτε από τα στοιχεία του. Δεν υπάρχει από μόνο του πρότυπο 802.11x. Ο όρος IEEE 802.11 χρησιμοποιείται επίσης για να αναφερθεί στο αρχικό 802.11, το οποίο τώρα μερικές φορές καλείται "802.11 legacy". Η οικογένεια 802.11 περιλαμβάνει αυτή την περίοδο έξι τεχνικές διαμόρφωσης που όλες χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο. Οι δημοφιλέστερες (και πιο παραγωγικές) τεχνικές είναι εκείνες που καθορίζονται από τις τροποποιήσεις a, b g και n στα αρχικά πρότυπα. Η ασφάλεια συμπεριλήφθηκε από την αρχή και ενισχύθηκε αργότερα μέσω της τροποποίησης 802.11i. Άλλα πρότυπα στην οικογένεια (c,f,h,j) είναι αναβαθμίσεις υπηρεσιών και επεκτάσεις ή διορθώσεις στις προηγούμενες προδιαγραφές. Το 802.11b ήταν το πρώτο ευρέως αποδεκτό πρότυπο δικτύωσης που ακολουθήθηκε από τα 802.11a και g. Τα πρότυπα 802.11b και g χρησιμοποιούν τη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz που λειτουργεί σύμφωνα με τους κανόνες του μέρους 15 της FCC (Federal Communications Commission).

Το πρότυπο 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη των 5 GHz. Η λειτουργία στη ζώνη συχνότητας 2.4 GHz του εξοπλισμού 802.11b και 802.11g μπορεί να υποστεί παρεμβολή από φούρνους μικροκυμάτων, ασύρματα τηλέφωνα, συσκευές Bluetooth, και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το ποιο μέρος του φάσματος ραδιοσυχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ποικίλλει μεταξύ των χωρών, με τους αυστηρότερους περιορισμούς να έχουν τεθεί στις ΗΠΑ. Ενώ είναι αλήθεια ότι στις ΗΠΑ οι συσκευές 802.11a και g μπορούν να χρησιμοποιηθούν νόμιμα χωρίς μια άδεια, δεν είναι αλήθεια ότι τα 802.11a και g λειτουργούν σε μια χωρίς άδεια (unlicensed) περιοχή του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων. Η χωρίς άδεια (νόμιμη) λειτουργία του 802.11 a & g καλύπτεται από το μέρος 15 των FCC κανόνων.

4.3.1. Το πρότυπο IEEE 802.11 legacy

Η αρχική έκδοση του προτύπου IEEE 802.11 κυκλοφόρησε το 1997 και ορίζει δύο ταχύτητες δεδομένων 1 και 2 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps) που μεταδίδονται μέσω υπέρυθρων (IR) σημάτων ή μέσω της ζώνης συχνοτήτων της Βιομηχανικής

Επιστημονικής Ιατρικής στα 2,4 GHz. Τα υπέρυθρα σήματα (IR) έχουν διαγραφεί από μεταγενέστερες αναθεωρήσεις του προτύπου επειδή δεν μπορούσαν να ευδοκιμήσουν ενάντια στο καθιερωμένο πρωτόκολλο IrDA και δεν είχαν καμία πραγματική υλοποίηση. Το πρότυπο 802.11 legacy γρήγορα το διαδέχτηκε το 802.11b. Τουλάχιστον 5 διαφορετικά, μη διαλειτουργικά, εμπορικά προϊόντα εμφανίστηκαν με την παρούσα προδιαγραφή από εταιρείες όπως η Alvarion (PRO.11 και BreezeACCESS-II) και Proxim (OpenAir και RangeLAN). Μια αδυναμία της παρούσας αρχικής προδιαγραφής ήταν ότι πρόσφερε τόσες πολλές επιλογές που η διαλειτουργικότητα δεν θα μπορούσε ποτέ να πραγματοποιηθεί.

4.3.2. Το πρότυπο IEEE 802.11b

Η τροποποίηση 802.11b στο αρχικό πρότυπο επικυρώθηκε το 1999. Το πρότυπο 802.11b χρησιμοποιείται συνήθως σε μια Point-to-Multipoint (PMP) διαμόρφωση, όπου ένα σημείο πρόσβασης επικοινωνεί μέσω μιας χαμηλού κέρδους πανκατευθυντικής κεραίας (omnidirectional antenna) με έναν ή περισσότερους πελάτες που βρίσκονται σε μια περιοχή κάλυψης γύρω από το σημείο πρόσβασης. Η χαρακτηριστική indoor κάλυψη είναι 30m σε ρυθμό 11Mbps και 90m σε 1Mbps. Το 802.11b έχει μέγιστη απόδοση στα 11 Mbps, ωστόσο ένα σημαντικό ποσοστό αυτού του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται για το overhead των επικοινωνιών. Στην πράξη ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να πετύχει μια 802.11b εφαρμογή είναι 5.9Mbps σε TCP (Transmission Control Protocol) και 7.1Mbps σε UDP (User Datagram Protocol). Το μέταλλο, το νερό, και οι χοντροί τοίχοι απορροφούν τα σήματα του 802.11b και μειώνουν δραστικά το εύρος. Το πρότυπο 802.11 λειτουργεί στο φάσμα των 2.4 GHz και χρησιμοποιεί το πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση του φέροντος με αποφυγής σύγκρουσης (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA)) ως μέθοδο προσπέλασης μέσου, όπως και το αρχικό πρότυπο.

Τα προϊόντα 802.11b εμφανίστηκαν στην αγορά πολύ γρήγορα, δεδομένου ότι το 802.11b είναι μια άμεση επέκταση της τεχνικής διαμόρφωσης DSSS. Τεχνικά, το 802.11b χρησιμοποιεί την Complementary Code Keying (CCK) ως τεχνική διαμόρφωσης, που είναι μία διαφοροποίηση του CDMA. Ως εκ τούτου, τα chipsets και τα υπόλοιπα προϊόντα εύκολα αναβαθμίστηκαν ώστε να υποστηρίξουν τις αναβαθμίσεις του 802.11b.

Με τις εξωτερικές κεραιές υψηλού κέρδους, το πρωτόκολλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε σταθερές από σημείο σε σημείο (point-to-point) εφαρμογές και συνήθως φτάνει σε εύρος έως και 8 χιλιόμετρα (αν και έχουν σημειωθεί επιτυχίες σε εύρος που κυμαινόταν μέχρι και 80-120 χιλιόμετρα όπου υπήρχε απευθείας οπτική επαφή (LOS)). Αυτό γίνεται συνήθως για να αντικατασταθούν οι πολύ δαπανηρές μισθωμένες γραμμές ή για να αντικατασταθεί ο πολύ δυσκίνητος εξοπλισμός μικροκυματικών επικοινωνιών. Οι κάρτες 802.11b μπορούν να λειτουργούν στα 11 Mbps αλλά θα κλιμακωθούν στα 5.5, μετά στα 2, και μετά στα 1 Mbps (Adaptive Rate Selection-προσαρμοστική επιλογή ρυθμού), εάν η ισχύς του σήματος είναι χαμηλή.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές επεκτάσεις στο πρωτόκολλο 802.11b (π.χ. σύνδεση καναλιών και τεχνικές μετάδοσης εκρηκτικής κίνησης) με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας σε 22, 33, και 44 Mbps, αλλά οι επεκτάσεις αυτές είναι ιδιόκτητες και δεν έχουν εγκριθεί από την IEEE. Πολλές εταιρείες αναφέρουν τις ενισχυμένες αυτές εκδόσεις ως "802.11b +". [86]

Η πρώτη ευρεία εμπορική χρήση του προτύπου 802.11b για δικτύωση έγινε από την Apple Computer υπό το εμπορικό σήμα της AirPort. Στην μη Apple αγορά η Linksys θα μπορούσε να θεωρηθεί ο σημερινός ηγέτης.

4.3.3. Το πρότυπο IEEE 802.11a

Η τροποποίηση 802.11a στο αρχικό πρότυπο επικυρώθηκε το 1999. Το 802.11a πρότυπο λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz, χρησιμοποιεί 52 sub-carrier OFDM και λειτουργεί σε μέγιστο raw ρυθμό μετάδοσης 54 Mbps το οποίο επιτυγχάνει ρεαλιστικό εφικτό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων περίπου στα 20 Mbps. Η ταχύτητα αυτή μειώνεται σε 48, 36, 34, 18, 12, 9 και στη συνέχεια σε 6 Mbps, εφόσον είναι αναγκαίο. Το 802.11a έχει 12 μη επικαλυπτόμενα κανάλια, 8 για indoor και 4 για Point To Point (PTP) χρήση. Διαφορετικές χώρες έχουν διαφορετική ρυθμιστική υποστήριξη, αν και η Παγκόσμια Διάσκεψη Τηλεπικοινωνιών (World Radiotelecommunications Conference) το 2003 την κατέστησε ευκολότερη για παγκόσμια χρήση. Το 802.11a εγκρίθηκε αμέσως από τους κανονισμούς στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία αλλά σε άλλες περιοχές, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση έπρεπε να περιμένει περισσότερο για έγκριση. Οι ευρωπαϊκοί ρυθμιστές εξέταζαν τη χρήση των ευρωπαϊκών προτύπων HIPERLAN, αλλά στο μέσο του 2002 εγκρίθηκε η χρήση του

802.11a και στην Ευρώπη. Στα μέσα του 2003 μια απόφαση της FCC έδωσε περισσότερο ραδιοφάσμα στα κανάλια 802.11a. Από τα 52 subcarriers OFDM, τα 48 είναι για δεδομένα και 4 είναι subcarriers-πλότοι με έναν χωρισμό φέροντος 0.3125MHz (20MHz/64). Κάθε ένα από αυτά τα subcarriers μπορεί να είναι BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (Quadrature amplitude modulation) ή 64QAM. Το συνολικό εύρος ζώνης είναι 20MHz με ένα κατειλημμένο εύρος ζώνης 16.6MHz. Η διάρκεια συμβόλου είναι 4sec με ένα διάστημα φύλαξης (guard interval) 0.8 msec. Η πραγματική παραγωγή και η αποκωδικοποίηση των ορθογώνιων συνιστωσών γίνονται στη ζώνη βάσης χρησιμοποιώντας DSP (Digital Signal Computing) που μετατρέπεται σε 5GHz στον πομπό. Κάθε ένα από τα subcarriers θα μπορούσε να παρασταθεί ως σύνθετος αριθμός. Το σήμα στο πεδίο του χρόνου παράγεται με τη λήψη ενός Αντίστροφου Γρήγορου Μετασχηματισμού Φουριέ (Inverse Fast Fourier Transform IFFT). Αντίστοιχα ο δέκτης μετατρέπει κάτω, τα δείγματα σε 20MHz και κάνει έναν FFT για να ανακτήσει τους αρχικούς συντελεστές. Τα πλεονεκτήματα της OFDM περιλαμβάνουν τη μειωμένη επίδραση της πολυδιαυλικής παρεμβολής στη λήψη και την αυξημένη φασματική αποδοτικότητα.[86],[87]

Δεδομένου ότι η ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz χρησιμοποιείται ευρέως, η χρησιμοποίηση της ζώνης 5GHz δίνει στο 802.11a το πλεονέκτημα της μικρότερης παρεμβολής. Εντούτοις, αυτή η υψηλή συχνότητα φερόντων έχει επίσης και μειονεκτήματα. Περιορίζει τη χρήση του 802.11a σε LOS, γεγονός που απαιτεί τη χρήση περισσότερων σημείων πρόσβασης. Επίσης, σημαίνει ότι το 802.11a δεν μπορεί να διεισδύσει στην αγορά όσο το 802.11b, δεδομένου ότι το σήμα απορροφάται ευκολότερα, ασχέτως εάν έχουν ίδια ισχύ. Το πρότυπο 802.11a δεν υιοθετήθηκε ευρέως λόγω του ότι το πρότυπο 802.11b είχε ήδη υιοθετηθεί ευρέως και λόγω του ότι το 802.11a μειονεκτούσε σε εμβέλεια έναντι του 802.11b. Οι περισσότεροι κατασκευαστές του εξοπλισμού 802.11a αντιμετώπισαν την έλλειψη επιτυχίας του στην αγορά με την παραγωγή τεχνολογίας που μπορεί να χειριστή περισσότερα από ένα 802.11 πρότυπα. Υπάρχουν κάρτες dual-band ή dual-mode/tri-mode που μπορούν αυτόματα να χειριστούν τα 802.11a και b ή a, b και g εφόσον αυτά είναι διαθέσιμα. Ομοίως, υπάρχουν σημεία πρόσβασης που μπορούν να υποστηρίξουν όλα αυτά τα πρότυπα ταυτόχρονα.

4.3.4. Το πρότυπο IEEE 802.11g

Τον Ιούνιο του 2003, επικυρώθηκε το τρίτο πρότυπο για την κωδικοποίηση το 802.11g. Το 802.11g μπορεί να περιγραφεί σαν μια συγχώνευση των τεχνολογιών 802.11a και 802.11b. Αυτή η τροποποίηση του αρχικού προτύπου λειτουργεί στη ζώνη των 2,4 GHz (όπως και το 802.11b), αλλά επιτυγχάνει μέγιστο ακατέργαστο ρυθμό μετάδοσης 54 Mbps και περίπου 24,7 Mbps καθαρό ρυθμό μετάδοσης όπως το hardware του 802.11a. Είναι πλήρως συμβατό με το 802.11b και χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες. Οι λεπτομέρειες της προσπάθειας καλής κοινής χρήσης των b και g καταλαμβάνουν ένα μεγάλο μέρος της παρατεταμένης τεχνικής διαδικασίας. Σε παλαιότερο εξοπλισμό ωστόσο, η παρουσία ενός συμμετέχοντος 802.11b μειώνει σημαντικά την ταχύτητα του δικτύου 802.11g. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο 802.11g είναι OFDM για ρυθμούς μετάδοσης των 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 και 54 Mbps, και μετατρέπεται (όπως το πρότυπο 802.11b) σε CCK (Complementary Code Keying) για 5.5 και 11 Mbps και DBPSK/DQPSK+DSSS για 1 και 2 Mbps. Παρόλο που το 802.11g λειτουργεί στην ίδια ζώνη συχνότητας με το 802.11b, μπορεί να επιτύχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης λόγω των ομοιοτήτων του με το 802.11a.

Το πρότυπο 802.11g σάρωσε καταναλωτικό κοινό από τον Ιανουάριο του 2003, πολύ πριν από την επικύρωση του. Οι εταιρικοί χρήστες καθυστερούσαν και η Cisco καθώς και άλλοι μεγάλοι κατασκευαστές εξοπλισμού περίμεναν μέχρι την επικύρωση του. Μέχρι το καλοκαίρι του 2003 οι ανακοινώσεις ανθούσαν. Τα περισσότερα από τα dual-band προϊόντα 802.11a / b έγιναν dual-band/tri-mode, υποστηρίζοντας a, b, και g σε μια ενιαία κάρτα ή σε ένα σημείο πρόσβασης. Παρά τη σημαντική αποδοχή του, το 802.11g πάσχει από την ίδια παρεμβολή με το 802.11b στην ήδη κορεσμένη ζώνη των 2.4GHz. Οι συσκευές που λειτουργούν σε αυτήν την ζώνη περιλαμβάνουν τους φούρνους μικροκυμάτων, τις συσκευές Bluetooth και τα ασύρματα τηλέφωνα.

Ένα νέο χαρακτηριστικό που ονομάζεται Super G, έχει ενσωματωθεί πλέον σε ορισμένα σημεία πρόσβασης. Αυτά μπορούν να ενισχύσουν την ταχύτητα του δικτύου μέχρι και 108 Mbps με τη χρήση της τεχνικής σύνδεσης καναλιών. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να αλληλεπιδράσει με άλλα δίκτυα και μπορεί να μην υποστηρίζει όλες τις b και g κάρτες του πελάτη. Επιπλέον, το πακέτο τεχνικής μετάδοσης εκρηκτικής κίνησης είναι επίσης διαθέσιμο σε μερικά chipsets και προϊόντα και έτσι θα μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τις ταχύτητες. Και πάλι όμως μπορεί να μην είναι συμβατό με κάποιον εξοπλισμό.

Ο πρώτος μεγάλος κατασκευαστής που χρησιμοποίησε το 802.11g ήταν η Apple, υπό το εμπορικό σήμα AirPort Extreme. Η Cisco εντάχθηκαν στο παιχνίδι με την αγορά της Linksys και επίσης με την προσφορά των δικών της wireless clients με την επωνυμία Aironet.

4.3.5. Το πρότυπο IEEE 802.11n

Τον Ιανουάριο του 2004 η IEEE ανακοίνωσε ότι θα συνθέσει μια ομάδα για να αναπτύξει μια νέα τροποποίηση του αρχικού προτύπου για ευρείας περιοχής ασύρματα δίκτυα. Το πρότυπο IEEE 802.11n είναι μια επερχόμενη τροποποίηση του IEEE 802.11-2007 ασύρματου προτύπου δικτύωσης για να βελτιωθεί η απόδοση του δικτύου σε σχέση με προηγούμενα πρότυπα, όπως είναι το 802.11b και το 802.11g, με σημαντική αύξηση του μέγιστου ακατέργαστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό στρώμα (PHY) από 54 Mbps στο ανώτατο όριο των 600 Mbps. Η τρέχουσα κατάσταση της τεχνικής υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 450 Mbps στο φυσικό στρώμα (PHY) με τη χρήση των 3 χωρικών ρευμάτων με πλάτος καναλιού 40 MHz. Ανάλογα με το περιβάλλον, αυτό μπορεί να μεταφραστεί σε ρυθμοαπόδοση χρήστη (TCP / IP) της τάξεως των 110 Mbps. Η ταχύτητα του 802.11n προτύπου πρέπει να είναι μέχρι 40 φορές γρηγορότερη από το 802.11b, και σχεδόν 10 φορές γρηγορότερη από το 802.11a ή το 802.11g. Όπως αναμενόταν, το 802.11n προσφέρει επίσης καλύτερη απόσταση λειτουργίας από τα υφιστάμενα δίκτυα. Η 802.11n ομάδα εργασίας έχει ολοκληρώσει το έργο της και η τροπολογία εγκρίθηκε από την IEEE-SA RevCom στις 11 Σεπτεμβρίου του 2009 και ακλούθησε η δημοσίευση του στις 29 Οκτωβρίου του 2009.[88]

Αν και δεν είχε εγκριθεί από την IEEE, από το 2007 η Wi-Fi Alliance πιστοποιεί τη διαλειτουργικότητα των "draft N" προϊόντων, με βάση το τι ήταν το draft 2.0 από τις προδιαγραφές του IEEE 802.11n. Έχουν επιβεβαιωθεί ότι όλα τα πρώην πιστοποιημένα προϊόντα θα παραμένουν συμβατά με τα προϊόντα που ανταποκρίνονται στο τελικό πρότυπο. Η Συμμαχία αναμένει να αναβαθμίσει την σουίτα των ελέγχων συμβατότητας.

Το πρότυπο IEEE 802.11n βασίζεται σε προηγούμενες τροποποιήσεις του αρχικού προτύπου 802.11, με την προσθήκη MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), 40 MHz κανάλια στο PHY στρώμα, και την ομαδοποίηση πλαισίων για το MAC στρώμα. Η MIMO είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί τις κεραίες πολλαπλών

πομπών και δεκτών ώστε να είναι δυνατή η αυξημένη διακίνηση δεδομένων μέσω της χωρικής πολυπλεξίας και να αυξήσει την εμβέλεια μέσω της εκμετάλλευσης του διαφορισμού, ίσως μέσω των σχημάτων κωδικοποίησης όπως την κωδικοποίηση Alamouti. Η Enhanced Wireless Consortium (EWC), δημιουργήθηκε για να συμβάλει στην επιτάχυνση της αναπτυξιακής διαδικασίας του IEEE 802.11n και να προωθήσει μια προδιαγραφή διαλειτουργικότητας για την τεχνολογία της επόμενης γενιάς προϊόντων ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Στις 19 Ιανουαρίου 2006, η ομάδα εργασίας του IEEE 802.11n ενέκρινε τις προδιαγραφές του βασιζόμενη στις προδιαγραφές του EWC, ως επιβεβαιωμένη πρόταση 802.11n. [88],[89]

4.4. Κοινοτικά δίκτυα

Με τον πολλαπλασιασμό των καλωδιακών μόντεμ και του DSL, υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη αγορά από ανθρώπους που επιθυμούν να δημιουργήσουν μικρά δίκτυα στα σπίτια τους για να μοιράζονται την υψηλή ταχύτητας σύνδεση τους στο Internet.

Ασύρματα δίκτυα γραφείου είναι συχνά μη ασφαλή ή ασφαλή με WEP (Wired Equivalent Privacy), το οποίο σπάσει εύκολα. Τα δίκτυα αυτά συχνά επιτρέπουν στους "γύρω ανθρώπους" να συνδεθούν στο Internet. Υπάρχουν επίσης προσπάθειες από ομάδες εθελοντών για τη δημιουργία κοινοτικών ασύρματων δικτύων για την παροχή δωρεάν ασύρματης σύνδεσης στο κοινό.

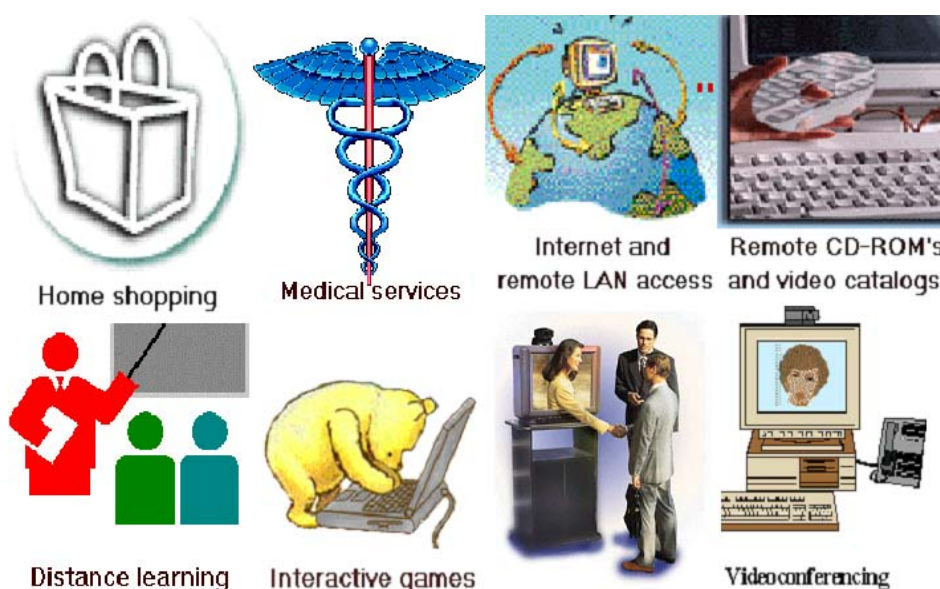
4.5. Η εξέλιξη του Wi-Fi

Με την προσοχή να στρέφεται στο WiMAX, είναι εύκολο να ξεχάσουμε ότι το Wi-Fi εξελίσσεται επίσης γρήγορα και βασίζεται στην ογκώδη επένδυση έρευνας και ανάπτυξης που οδηγείται στη συνέχεια από το μέγεθος της πραγματικής και πιθανής αγοράς. Οι Wi-Fi εφαρμογές εμφανίζονται όχι μόνο στα laptop και PDAs, αλλά και σε τόσο διαφορετικό εξοπλισμό, από τα κινητά τηλέφωνα, τους μετρητές χώρων στάθμευσης, τις κάμερες ασφάλειας μέχρι και εξοπλισμό οικιακής ψυχαγωγίας. Ο αριθμός των εφαρμογών ενός ασύρματου δικτύου περιορίζεται μόνο από την φαντασία. Έτσι ασύρματα δίκτυα μπορούμε να έχουμε σε:

- Νοσοκομεία: Το προσωπικό αποκτά πρόσβαση σε ζωτικές πληροφορίες για τον ασθενή, σε πραγματικό χρόνο από οπουδήποτε. Βηματοδότες με wi-fi

δυνατότητες σύνδεσης με το computer του γιατρού, επιτρέπουν στο γιατρό την εξ αποστάσεως παρακολούθηση του ασθενούς καθώς και την δυνατότητα να προλαμβάνει δύσκολες καταστάσεις αφού ο γιατρός θα είναι πια σε θέση να παρακολουθεί την κατάσταση του βηματοδότη, που θα στέλνει τα δεδομένα ασύρματα.

- Εργοστασιακό περιβάλλον: Επικοινωνία πραγματικού χρόνου ανάμεσα σε προσωπικό – μηχανές για έλεγχο, διάγνωση, συντήρηση.
- Εμπόριο: Τιμολόγηση προϊόντων. Προβολή διαφημιστικών – πληροφοριακών μηνυμάτων σε εμπορικά κέντρα.
- Εκπαίδευση: Σε πανεπιστήμια, σχολεία, πρόσβαση μαθητών σε βιβλιοθήκες, εκπαιδευτικό υλικό, βάσεις δεδομένων.
- Εργασία: Ευέλικτη, χαμηλού κόστους δικτύωση σε περιπτώσεις όπου οι εναλλακτικές λύσεις είναι δύσκολα υλοποιήσιμες ή και αδύνατες. Ευελιξία στην πρόσβαση στην πληροφορία, ευκολία λήψης αποφάσεων, αυξημένη παραγωγικότητα.
- Πρόσβαση: Σε σημεία υψηλής κίνησης (Hot Spots), όπως αεροδρόμια, εμπορικά καταστήματα, σημεία ψυχαγωγίας, προσφέρει ενημέρωση, διαφήμιση, ψυχαγωγία.



Εικόνα 4.2. Εφαρμογές Wi-Fi [90]

Κατά συνέπεια, το Wi-Fi θα συνεχίσει να γίνεται γρηγορότερο, ασφαλέστερο, πιο αξιόπιστο και με πλήρως προτυποποιημένα χαρακτηριστικά. Αυτές οι πρόοδοι θα οδηγήσουν στη συνέχεια στη συνεχή υιοθέτηση, η οποία, στη συνέχεια, θα οδηγήσει σε ακόμα περισσότερες επενδύσεις έρευνας και ανάπτυξης.

Οι πολυάριθμες επιτροπές προτύπων, που εργάζονται κάτω από την IEEE 802.11 (Wi-Fi) ομπρέλα, αναπτύσσουν τις βελτιώσεις που θα επεκτείνουν τη δυνατότητα εφαρμογής των ασύρματων τεχνολογιών 802.11 σε νέους τομείς. Τα αποτελέσματα της εργασίας που βρίσκεται εν εξέλιξη θα είναι μελλοντικές εκδόσεις βιομηχανικών-προτύπων του Wi-Fi με ταχύτητες 100+Mbps, με την υποστήριξη QoS για εφαρμογές όπως η φωνή και το βίντεο, που να επιτρέπει την κινητικότητα-ταχεία περιαγωγή και ακόμα περισσότερα.

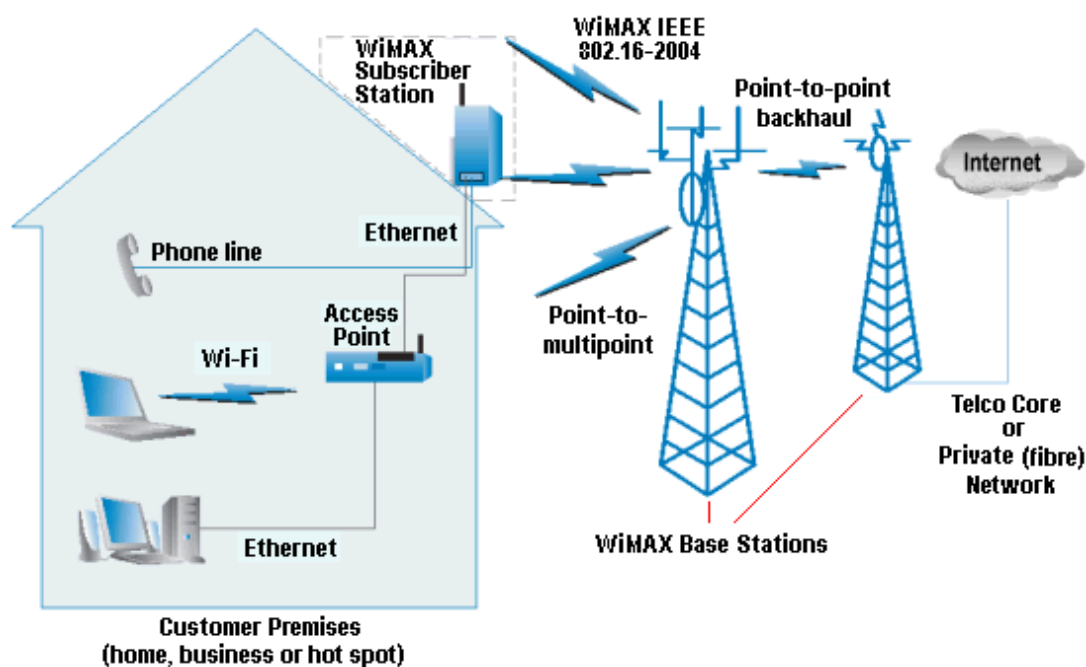
Η εξέλιξη του Wi-Fi περιλαμβάνει τα ακόλουθα 802.11 πρότυπα που είναι υπό ανάπτυξη:

- **IEEE 802.11e:** καθορίζει τις βελτιώσεις για να παρέχει ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Θα περιλάβει υποστήριξη για την πλέον σημαντική πρόσβαση στις διαφορετικές κατηγορίες μετάδοσης δεδομένων και ειδών χρηστών. Αυτό θα οδηγήσει σε πολύ βελτιωμένη απόδοση για τις εφαρμογές όπως το βίντεο, η ροή πολυμέσων και η φωνή, εκτός από την παροχή της πρόσβασης κατά προτεραιότητα ανά-χρηστών κατά χρήση ή κατά εφαρμογή.
- **IEEE 802.11j:** καθορίζει τις επεκτάσεις για να επιτρέψει τη λειτουργία στις ζώνες των 4.9GHz και 5GHz στην Ιαπωνία.
- **IEEE 802.11k:** εστιάζει στην τυποποίηση των ράδιο-μετρήσεων που θα επιτρέψουν την ομοιόμορφη μέτρηση των πληροφοριών στις διαφορετικές πλατφόρμες κατασκευαστών. Αυτό θα οδηγήσει σε δίκτυα 802.11 που είναι ευκολότερο να ελέγξουν, άρα και να κάνουν αποδοτικότερη την χρήση του διαθέσιμου φάσματος.
- **IEEE 802.11r:** μειώνει την καθυστέρηση των διαπομπών όταν οι συσκευές των πελατών κινούνται μεταξύ σημείων πρόσβασης ή πλέγματος δρομολογητών. Οι γρηγορότερες διαπομπές θα είναι κρίσιμες για την κάλυψη σε πραγματικό χρόνο των απαιτήσεων των ευαίσθητων σε καθυστέρηση,

εφαρμογών όπως η φωνή, ειδικά στις κινητές επικοινωνίες, όπου οι συσκευές πελατών αναμένεται να μετακινούνται συχνά.

- **IEEE 802.11s:** καθορίζει μια αρχιτεκτονική πλέγματος (mesh architecture) βασισμένη σε 802.11 που θα επιτρέπει τα προσαρμόσιμα, αυτοδιαμορφούμενα και ανεκτικά σε ελαττώματα δίκτυα πλέγματος που θα επεκτείνουν τη δυνατότητα εφαρμογής και τη χρησιμότητα 802.11 των δικτύων στις hard-to-wire περιοχές και τις μεγαλύτερες πανεπιστημιούπολεις.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο αναμένεται να συνυπάρξουν τα συστήματα 802.16 και 802.11.



Εικόνα 4.3. Συνύπαρξη Wi-Fi και WiMAX [91]

4.6. Πιστοποίηση

Η IEEE θέτει μόνο τις προδιαγραφές, αλλά δεν διεξάγει δοκιμές στον εξοπλισμό ώστε να εξασφαλίσει την συμβατότητα του με τα πρότυπα και την τήρηση των προδιαγραφών. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε μια εμπορική ομάδα που ονομάζεται Wi-Fi Alliance και διεξάγει ένα πρόγραμμα πιστοποίησης που τα μέλη που θέλουν να συμμετέχουν πληρώνουν. Σχεδόν όλες οι εταιρίες που πωλούν 802.11 εξοπλισμό είναι μέλη. Το εμπορικό σήμα Wi-Fi, που ανήκει στην ομάδα και μπορεί

να χρησιμοποιηθεί μόνο σε πιστοποιημένο εξοπλισμό, έχει ως στόχο τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας. Επί του παρόντος, το "Wi-Fi" μπορεί να σημαίνει οποιαδήποτε από 802.11a, b, g ή n. Από το φθινόπωρο του 2003, το Wi-Fi περιλαμβάνει επίσης και το πρότυπο ασφαλείας Wi-Fi Protected Access ή WPA. Τελικά το "Wi-Fi", θα σημαίνει επίσης και τον εξοπλισμό που υλοποιεί το πρότυπο ασφαλείας 802.11i (γνωστός και ως WPA2). Τα προϊόντα που λένε ότι είναι Wi-Fi θα πρέπει να δείχνουν επίσης και τη ζώνη συχνοτήτων στην οποία λειτουργούν, 2,4 ή 5 GHz.

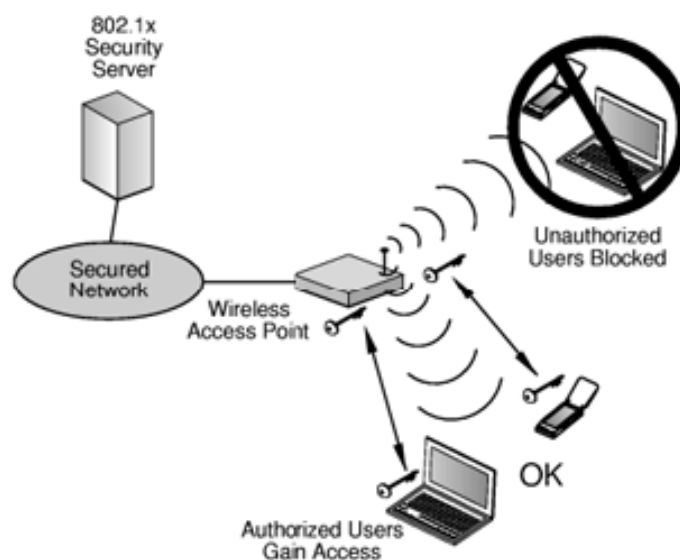
4.7. Ασφάλεια

Τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.11 είναι σήμερα από τα πλέον δημοφιλή παγκοσμίως. Παρόλη την ευρεία διάδοσή τους υπάρχει σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά την ασφάλεια των δεδομένων που διακινούνται εντός του δικτύου. Αρχικά, στο πρότυπο οριζόταν μία μόνο μέθοδος για την ασφάλεια των πληροφοριών, που ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy) και βασίζεται στον αλγόριθμο κρυπτογράφησης RC4.

Το 2001, μια ομάδα από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϋ παρουσίασε ένα έγγραφο που περιέγραφε τις αδυναμίες στο 802.11 βασιζόμενοι σε ένα έγγραφο των Fluhrer, Mantin, Shamir με τον τίτλο "Οι αδυναμίες του Αλγόριθμου Προγραμματισμού κλειδιού RC4 (Weaknesses in the Key Scheduling Algorithm of RC4)". Όχι πολύ καιρό αργότερα, ο Adam Stubblefield και η AT & T ανακοίνωσε δημοσίως την πρώτη επαλήθευση της επίθεσης. Στην επίθεση ήταν σε θέση να παρακολουθούν μεταδόσεις και να αποκτούν παράνομη πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα.

Η IEEE δημιούργησε μια ειδική ομάδα εργασίας που είχαν ως στόχο να δημιουργήσουν μια λύση αντικατάστασης της ασφάλειας, 802.11i (στο παρελθόν το έργο αυτό αντιμετωπιζόταν ως μέρος μιας ευρύτερης 802.11e προσπάθειας για την ενίσχυση του MAC στρώματος). Η Wi-Fi Alliance ανακοίνωσε μια προσωρινή προδιαγραφή που ονομάζεται Wireless Protected Access (WPA) και βασίζεται σε ένα υποσύνολο του σημερινού σχεδίου IEEE. Αυτή η προδιαγραφή άρχισε να εμφανίζεται στα προϊόντα στα μέσα του 2003. Το πρότυπο 802.11i (γνωστό ως WPA2) επικυρώθηκε τον Ιούνιο του 2004, και χρησιμοποιεί το Advanced Encryption Standard, αντί για RC4, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε WEP και WPA. Το πρότυπο

ορίζει μία νέα μέθοδο, που εγγυάται την ασφάλεια των δεδομένων στο MAC επίπεδο. Ονομάζεται CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) και βασίζεται στον αλγόριθμο κρυπτογράφησης AES (Advanced Encryption Standard). Το CCMP παρέχει εμπιστευτικότητα (confidentiality), επικύρωση (authentication), ακεραιότητα (integrity) και προστασία από την επανάληψη πακέτων (replay protection). Βασίζεται στη χρήση του αλγόριθμου κρυπτογράφησης AES (Advanced Encryption Standard) σε κατάσταση λειτουργίας CCM. Το CCM συνδυάζει την κατάσταση λειτουργίας CTR (Counter mode) για εμπιστευτικότητα και την CBC (Cipher Block Chaining mode) για επικύρωση και ακεραιότητα. Το CCM προστατεύει την ακεραιότητα τόσο των δεδομένων του πακέτου, όσο και συγκεκριμένων τμημάτων της επικεφαλίδας του πακέτου. Η επεξεργασία που γίνεται στο CCMP από τον αλγόριθμο AES χρησιμοποιεί μέγεθος κλειδιού 128-bit και μέγεθος μπλοκ 128-bit. Μετά την επεξεργασία από το CCMP το μέγεθος του πακέτου έχει επεκταθεί κατά 16 bytes, 8 bytes για την επικεφαλίδα του CCMP και 8 bytes για την ψηφιακή υπογραφή MIC (Message Integrity Code). Τα δεδομένα του πακέτου και το MIC μεταδίδονται κρυπτογραφημένα, αφού προστεθεί η αρχική επικεφαλίδα του πακέτου και η επικεφαλίδα του CCMP.



Εικόνα 4.4. Αρχιτεκτονική 802.11i [92]

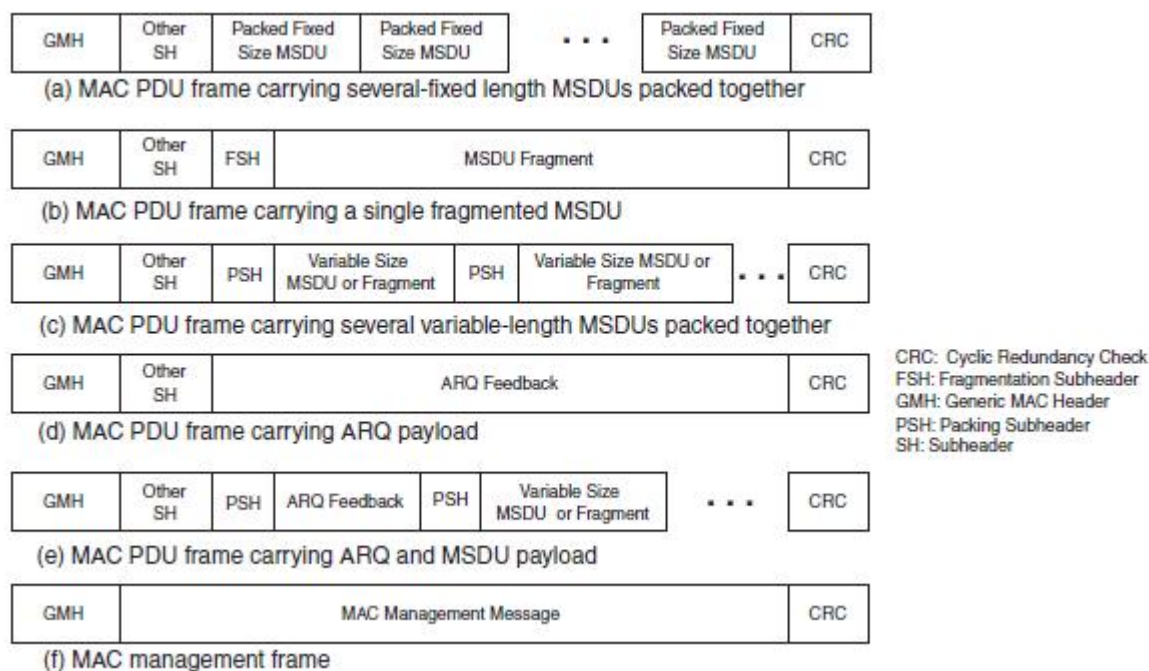
Κεφάλαιο 5. Στρώμα Media Access Control (MAC) του WiMAX

Το κύριο καθήκον του στρώματος MAC του WiMAX είναι να παρέχει μια διεπαφή μεταξύ των υψηλότερων επιπέδων μεταφοράς (transport layers) και του φυσικού επιπέδου (Physical Layer). Το στρώμα MAC λαμβάνει πακέτα από το ανώτερο στρώμα, τα οποία ονομάζονται MAC Service Data Units (MSDUs) και τα οργανώνει σε MAC Protocol Data Units (MPDUs) για μετάδοση μέσω του αέρα. Για τις εισερχόμενες μεταδόσεις, το στρώμα MAC κάνει το αντίθετο. Ο σχεδιασμός του στρώματος MAC για τα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα σύγκλισης, που μπορεί να διασυνδεθεί με μια ποικιλία των υψηλότερων στρωμάτων πρωτοκόλλων, όπως το ATM, TDM Voice, Ethernet, το IP, καθώς και κάθε άγνωστο μελλοντικό πρωτόκολλο.

Το WiMAX MAC έχει σχεδιαστεί από το μηδέν για να στηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, παρέχοντας παράλληλα ποιότητα των υπηρεσιών παρόμοια με εκείνη του ATM και DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). Το WiMAX MAC χρησιμοποιεί μια MPDU μεταβλητού μήκους και προσφέρει μεγάλη ευελιξία για να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική μετάδοση τους. Για παράδειγμα, οι πολλαπλές MPDUs του ίδιου ή διαφορετικού μήκους μπορεί να συγκεντρώνονται σε μία και μοναδική ριπή για να αποθηκευτεί το PHY overhead. Ομοίως, οι πολλαπλές MSDUs από την ίδια υπηρεσία υψηλότερου επιπέδου μπορούν να ενωθούν σε ένα ενιαίο MPDU για να σώσουν την MAC header overhead. Αντίθετα, οι μεγάλες MSDUs μπορεί να είναι κατακερματισμένες σε μικρότερα MPDUs και να αποστέλλονται σε πολλαπλά πλαίσια. [93]

Στην εικόνα 5.1 παρουσιάζονται παραδείγματα των διάφορων πλαισίων MAC PDU (μονάδα πακέτων δεδομένων). Κάθε πλαίσιο MAC έχει μπροστά μια γενική κεφαλίδα MAC (Generic MAC Header - GMH) που περιέχει ένα αναγνωριστικό σύνδεσης (CID), το μήκος του πλαισίου, και bits για να εξασφαλίσει την παρουσία του CRC (Cyclic Redundancy Check), υποκεφαλίδες, και αν το ωφέλιμο φορτίο είναι κρυπτογραφημένο και αν ναι με ποιο κλειδί. Το ωφέλιμο φορτίο MAC είναι είτε ένα μήνυμα μεταφοράς ή διαχείρισης. Εκτός από τα MSDUs, το ωφέλιμο φορτίο μεταφοράς μπορεί να περιέχει αιτήσεις για εύρος ζώνης ή αιτήσεις για αναμετάδοση. Ο τύπος του ωφέλιμου φορτίου μεταφοράς, προσδιορίζεται από την αμέσως

προηγούμενη από αυτό υποκεφαλίδα. Παραδείγματα υποκεφαλίδων (subheaders) είναι οι υποκεφαλίδες συσκευασίας και οι υποκεφαλίδες κατακερματισμού. Το WiMAX MAC υποστηρίζει επίσης ARQ (Automatic Repeat reQuest), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ζητηθεί αναμετάδοση των μη κατακερματισμένων και κατακερματισμένων MSDUs. Το μέγιστο μέγεθος πλαισίου είναι 2.047 byte, το οποίο εκφράζεται σε 11 bits στο GMH.

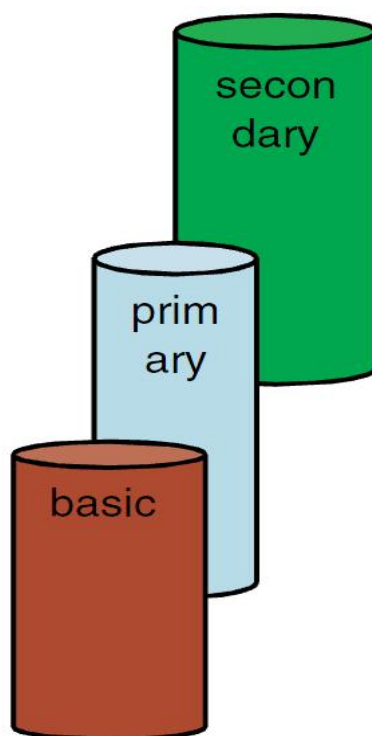


Εικόνα 5.1. Παραδείγματα διαφόρων πλαισίων MAC [93]

Το στρώμα MAC καθορίζει τη λειτουργία σε point to multipoint και mesh τοπολογία. Η point to multipoint είναι η τυπική λειτουργία και αυτό σημαίνει ότι ένας σταθμός βάσης στέλνει τα δεδομένα σε σταθμούς (CPEs). Φυσικά, δεδομένου ότι βρισκόμαστε σε ένα master-slave ασύρματο σενάριο, οι σταθμοί ακούσετε το σταθμό βάσης ταυτόχρονα και αυτός είναι ο λόγος για την επιλογή του εν λόγω όρου. Η mesh λειτουργία περιλαμβάνει μεταφορά ροών από μια συχνότητα σε μια άλλη ή από έναν κόμβο σε έναν άλλο, είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου. [17]

Μια διαφορά μεταξύ point to multipoint και mesh λειτουργίας έγκειται στην χρήση της διαφορετικής παραμέτρου για να γίνει η διάκριση των “γειτόνων” σε ένα mesh

σενάριο. Ονομάζεται link ID και είναι 8 bits. Ένας σταθμός ή ένας σταθμός βάσης ταυτίζεται με τη διεύθυνση MAC (48 bits μοναδικό αναγνωριστικό). Χρησιμοποιείται κατά την έναρξη της αναγνώρισης και πιστοποίησης, αλλά αργότερα αντικαθίστανται από ένα αναγνωριστικό σύνδεσης (CID) (16 bits πλάτος).



Εικόνα 5.2. IEEE 802.16 διαχείριση συνδέσεων [17]

Στην αρχή, ο σταθμός καθορίζει τις συνδέσεις διαχείρισης του (εικόνα 5.2). Τρεις τύποι συνδέσεων διαχείρισης καθορίζονται στο πρότυπο (βασική, πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια), και καθένας από αυτούς θα έχουν το CID τους. Είναι διαφορετικά σε όσον αφορά την προτεραιότητα και επομένως, χρησιμοποιούν διαφορετικές παραμέτρους του QoS.

Το επίπεδο αυτό, που αναφέρεται ως πρώτο επίπεδο στη στοίβα πρωτοκόλλων διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (open systems interconnect-OSI), έχει ως σκοπό την αξιόπιστη διασύνδεση του πομπού και του δέκτη χρησιμοποιώντας κάποιο φυσικό μέσο (χαλκό, οπτική ίνα, αέρα). Συνήθως στο φυσικό επίπεδο δεν ικανοποιούνται, ούτε ελέγχονται πλήρως οι απαιτήσεις για την ποιότητα υπηρεσίας χρήστη. Η εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας αφήνεται κυρίως σε παραπάνω

επίπεδα και στην προκειμένη περίπτωση του WiMAX στο επίπεδο πρόσβασης μέσου. Το MAC επίπεδο, που εξυπηρετείται από το φυσικό επίπεδο, είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο και την πολυπλεξία πολλαπλών συνδέσεων πάνω από το ίδιο φυσικό μέσο που ελέγχει το PHY. Οι σημαντικότερες λειτουργίες που επιτελούνται στο MAC επίπεδο είναι οι παρακάτω:

- Κατάτμηση (segmentation) ή σύνδεση (concatenation) των μονάδων δεδομένων υπηρεσίας (Service Data Unit-SDU), που λαμβάνονται από ανώτερα επίπεδα, σε μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου πρόσβασης μέσου (MAC Protocol Data Unit-MAC_PDU).
- Επιλογή του κατάλληλου προφίλ ριπής (burst profile) και του επιπέδου ισχύος μετάδοσης των MAC PDU.
- Επαναμετάδοση των MAC PDU που ελήφθησαν λανθασμένα από το δέκτη, όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία αυτόματης αίτησης επανάληψης (ARQ).
- Παροχή ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και διαχείριση προτεραιοτήτων των MAC PDU που ανήκουν σε διαφορετικούς κομιστές δεδομένων και σηματοδοσίας (different data and signalling bearers).
- Χρονοπρογραμματισμός (scheduling) της αποστολής των MAC PDU πάνω από τους διαθέσιμους πόρους του φυσικού επιπέδου.
- Παροχή διαχείρισης κινητότητας για την υποστήριξη ανωτέρων επιπέδων.
- Παροχή ασφάλειας επικοινωνίας και δεδομένων και διαχείριση κλειδιών.
- Έλεγχος λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης και αδράνειας συσκευής (power saving και idle-mode).

Το MAC επίπεδο του WiMAX χωρίζεται σε τρεις συνιστώσες: το υπο-στρώμα σύγκλισης ως προς την υπηρεσία (service-specific Convergence Sublayer-CS), το γενικό υπόστρωμα Common-Part Sublayer και το υπόστρωμα ασφαλείας (security sublayer). Το CS, που είναι η διεπαφή μεταξύ του MAC επιπέδου και του επιπέδου 3 του δικτύου, λαμβάνει πακέτα δεδομένων από το ανώτερο επίπεδο. Αυτά τα πακέτα είναι τα MAC SDU πακέτα (MAC service data unit-MAC_SDU). Το CS που τα λαμβάνει είναι υπεύθυνο για να εκπληρώνει όλες εκείνες τις διεργασίες που είναι εξαρτώμενες από τα ανώτερα επίπεδα, όπως συμπίεση επικεφαλίδας (header compression) και απεικόνιση διευθύνσεων (address mapping). Το CS είναι

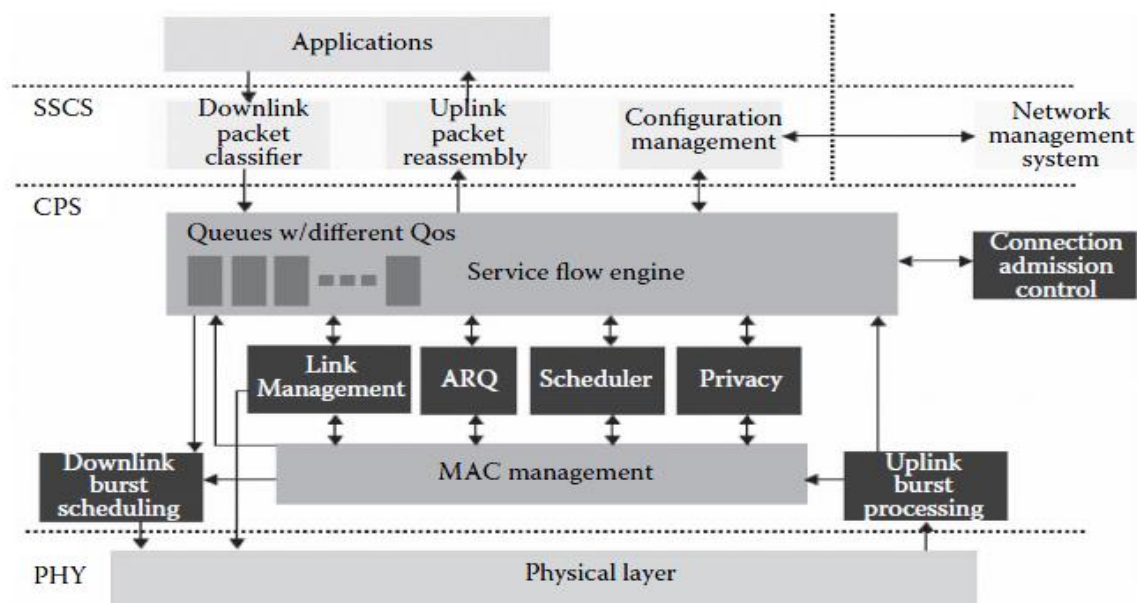
ουσιαστικά το υποεπίπεδο προσαρμογής των ανωτέρων πρωτοκόλλων στο MAC πρωτόκολλο του 802.16.

Το γενικό υπόστρωμα του MAC επιπέδου εκτελεί όλες εκείνες τις διεργασίες που είναι ανεξάρτητες από τον τύπο των ανωτέρων πρωτοκόλλων, όπως fragmentation, concatenation των SDU μέσα σε ένα MAC PDU, μετάδοση των PDU, έλεγχο QoS, και ARQ. Το υποεπίπεδο ασφαλείας είναι υπεύθυνο για την κρυπτογράφηση (encryption), εξουσιοδότηση (authorization) και σωστή ανταλλαγή των κλειδιών κωδικοποίησης μεταξύ των MS και του BS.

5.1. Σχέση του MAC με το Φυσικό Στρώμα

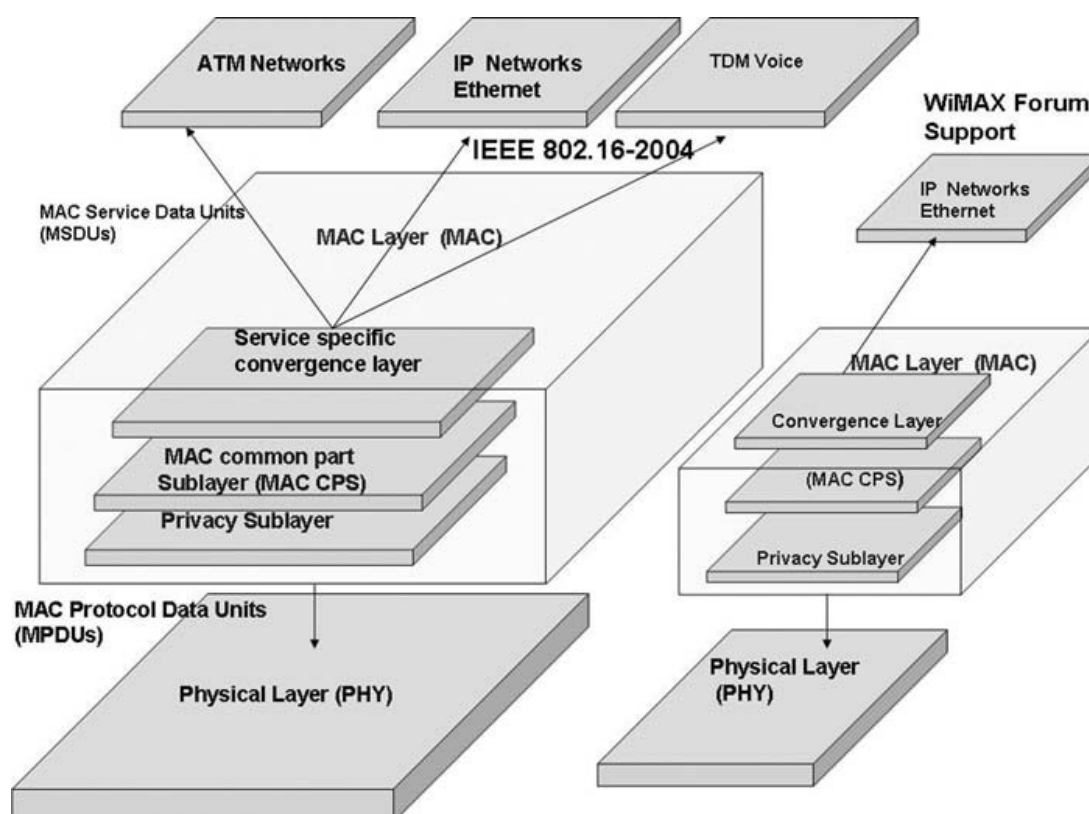
Το WiMAX MAC παρέχει πληροφορίες για το PHY στρώμα και εξασφαλίζει μια σειρά QoS χαρακτηριστικών που δεν υπάρχουν σε άλλα ασύρματα πρότυπα. Ίσως μεγαλύτερης αξίας είναι η παροχή δυναμικής κατανομής εύρους ζώνης που νικά τη συνήθης υποβάθμιση των ασύρματων υπηρεσιών δηλαδή παραμόρφωση σήματος (jitter) και λανθάνουσας κατάστασης (latency).

Το πρωτόκολλο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για point-to-multipoint 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 συμβατική TDM φωνή και δεδομένα, συνδεδεσιμότητα 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 ταιριάζουν στα είδη κίνησης. [77]



Εικόνα 5.3. Το στρώμα MAC του WiMAX [4]

Στην ποικιλία απαιτήσεων backhaul που υποστηρίζει το πρωτόκολλο MAC του WiMAX περιλαμβάνονται και ATM και βασίζόμενα 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.



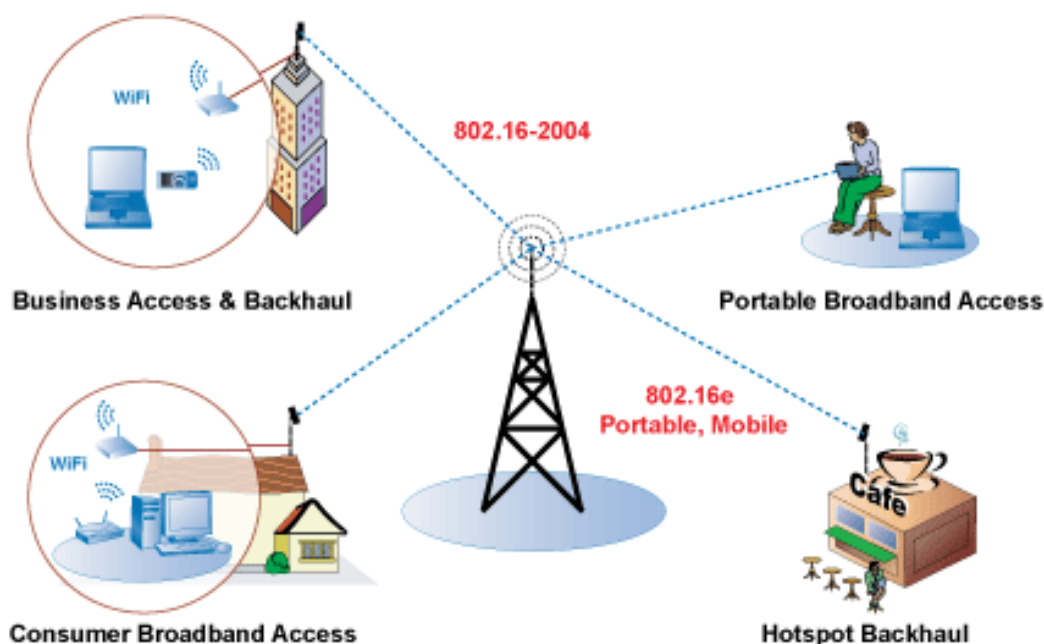
Εικόνα 5.4. Διαστρωμάτωση πρωτοκόλλων στο IEEE 802.16-2004 και στο WiMAX [94]

5.2. Το στρώμα MAC και η αρχιτεκτονική του WiMAX

Το WiMAX DL από τον BS μέχρι και τον χρήστη έχει point-to-multipoint λειτουργία. Η ασύρματη σύνδεση WiMAX λειτουργεί με έναν κεντρικό BS και μια κατευθυντική κεραία που είναι σε θέση να διαχειρίζεται πολλούς ανεξάρτητους τομείς ταυτόχρονα. Μέσα σε ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνοτήτων και τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια μετάδοση. Ο BS είναι ο μοναδικός σε λειτουργία πομπού προς αυτή την κατεύθυνση, έτσι ώστε να 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 εκπομπή σε όλους τους σταθμούς. Σε περιπτώσεις που το DL-MAP δεν υποδηλώνει ρητά πως ένα κομμάτι του DL υπό-πλασιού δεν είναι για ένα συγκεκριμένο σταθμό συνδρομητή, όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που είναι ικανοί να “ακούσουν” σε αυτό το κομμάτι του υπό-πλασιού DL θα “ακούσουν”.

Το MAC είναι connection-oriented. Οι συνδέσεις αναφέρονται με αναγνωριστικά σύνδεσης (CIDs) των 16-bit και μπορεί να απαιτούν συνεχής χορήγηση εύρους ζώνης

ή το εύρος ζώνης να χορηγείται κατ' απαίτηση. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, φιλοξενούνται και οι δύο τύποι εύρους ζώνης. Ένα CID χρησιμοποιείται για να γίνει η διάκριση μεταξύ των πολλών καναλιών UL που συνδέονται με το ίδιο κανάλι DL. Οι SS ελέγχουν τα CID από τα λαμβανόμενα PDU και κρατούν εκείνα που τα PDU απευθύνονται σε αυτούς.



Εικόνα 5.5. Αρχιτεκτονική του WiMAX [95]

Η MAC PDU είναι η μονάδα δεδομένων που ανταλλάσσεται μεταξύ των στρωμάτων MAC του BS και των SS 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. Η MAC PDU περιλαμβάνει μια σταθερού μήκους κεφαλή (header), ένα χρήσιμο τμήμα (payload) μεταβλητού μήκους και ένα προαιρετικό τμήμα ελέγχου κυκλικού πλεονασμού (CRC). Ορίζονται δυο ειδών κεφαλές, η γενική κεφαλή και η κεφαλή αίτησης εύρους ζώνης.

Εκτός της PDU αίτησης εύρους ζώνης που δεν περιλαμβάνει χρήσιμο τμήμα, οι PDU περιλαμβάνουν είτε μηνύματα διαχείρισης στρώματος MAC είτε δεδομένα υποστρώματος σύγκλισης.

Κάθε SS έχει μια πρότυπη διεύθυνση MAC 48-bit, η οποία χρησιμεύει ως ένα αναγνωριστικό εξοπλισμού, διότι οι πρωταρχικές διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία είναι τα CIDs. Μετά την είσοδο στο δίκτυο, ανατίθενται στον SS τρεις συνδέσεις διαχείρισης σε κάθε κατεύθυνση. Αυτές οι τρεις συνδέσεις αντικατοπτρίζουν τις τρεις διαφορετικές απαιτήσεις QoS που χρησιμοποιούνται από τα διαφορετικά επίπεδα διοίκησης: [37], [77]

- **Βασική σύνδεση (Basic connection)** – μεταφέρει μικρά, time-critical μηνύματα MAC και ελέγχου ράδιο ζεύξης (Radio Link Control).
- **Σύνδεση πρωτεύουσας διαχείρισης (Primary management connection)** – μεταφέρει μεγαλύτερα, περισσότερο ανεκτικά στην καθυστέρηση μηνύματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για αυθεντικοποίηση και αρχικοποίηση της σύνδεσης. Η σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης μεταφέρει μηνύματα διαχείρισης που έχουν σχέση με τα πρότυπα, όπως DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol) και SNMP (Simple Network Management Protocol). Εκτός από αυτές τις συνδέσεις διαχείρισης, οι σταθμοί συνδρομητών είναι εκχωρημένες συνδέσεις μεταφοράς για τις συμφωνημένες υπηρεσίες.
- **Συνδέσεις μεταφοράς (Transport connection)** – είναι μονοκατευθυντικές για να υπάρχει διαφορετικό QoS UL και DL καθώς και παραμέτρους κίνησης. Τυπικά εκχωρούνται σε υπηρεσίες ανά ζευγάρια.

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.

5.3. Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών (Service-Specific Convergence Sublayers)

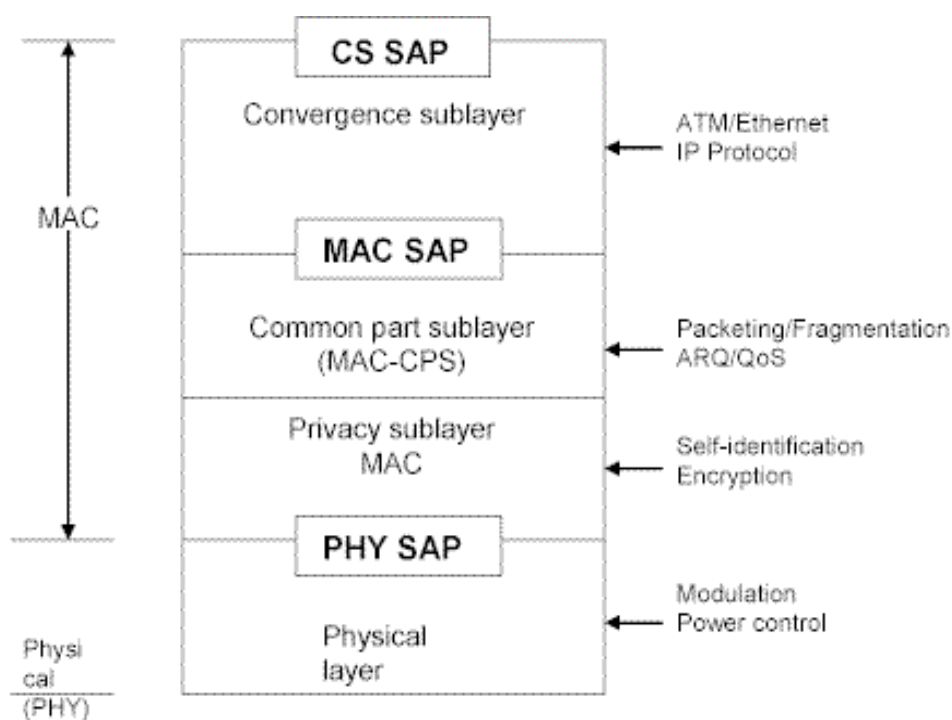
Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX: [77]

- **ATM convergence sub layer.** Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- **Packet convergence sub layer.** Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτων 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 ασύρματης αποτελεσματικότητας.

Στην εικόνα 5.6 απεικονίζονται τα διάφορα υποεπίπεδα σύγκλισης, τα οποία υποστηρίζονται από το WiMAX. Εκτός από την συμπίεση επικεφαλίδας, το CS είναι υπεύθυνο για την αντιστοίχιση των διευθύνσεων των ανωτέρων επιπέδων των SDUs, όπως οι IP διευθύνσεις, με την ταυτότητα των MAC και PHY συνδέσεων, οι οποίες χρησιμεύουν στη μετάδοσή του. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη, γιατί στα επίπεδα MAC και PHY δεν υπάρχει ορατότητα των διευθύνσεων υψηλών επιπέδων. Το WiMAX MAC επίπεδο είναι συνδεοστρεφές (connection oriented) και αναγνωρίζει μια λογική σύνδεση μεταξύ του BS και του MS, μέσω ενός μονοκατευθυντικού αναγνωριστή σύνδεσης (Unidirectional Connection Identifier-CID). Για τις συνδέσεις UL και DL, οι CIDs είναι διαφορετικοί. Το CID μπορεί να θεωρηθεί ως μια προσωρινή και δυναμική διεύθυνση του επιπέδου 2. Οι διευθύνσεις ανατίθενται από το BS, ώστε αυτός να αναγνωρίζει μια σύνδεση μονής κατεύθυνσης μεταξύ των

ομότιμων MAC/PHY οντοτήτων των δυο συσκευών που θέλουν να επικοινωνήσουν. Επίσης, χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων και τον έλεγχο κίνησης (control plane traffic). Με σκοπό την απεικόνιση των διευθύνσεων ανώτερου επιπέδου στο CID, το CS πρέπει να μπορεί να ανιχνεύσει την αντιστοίχιση μεταξύ της διεύθυνσης προορισμού και του αντίστοιχου CID. Είναι πολύ πιθανό, SDUs που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση προορισμού να μεταφερθούν σε διαφορετικές συνδέσεις, ανάλογα με τις QoS απαιτήσεις τους. Σε αυτή την περίπτωση το CS καθορίζει το κατάλληλο CID, η επιλογή του οποίου δεν βασίζεται μόνο στη διεύθυνση προορισμού αλλά και σε διάφορους άλλους παράγοντες, όπως η ροή υπηρεσίας (Service Flow ID-SFID) και η διεύθυνση πηγής. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 5.6, το πρωτόκολλο 802.16 καθορίζει το CS για ATM (ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς) υπηρεσίες και υπηρεσίες πακέτου. Ωστόσο, το WiMAX Forum έχει αποφασίσει να υλοποιήσει μόνο IP και Ethernet (802.3) CS. Είναι άξιο λόγου ότι έχουν δεσμευτεί και κάποιες τιμές-κωδικοί για μελλοντικά πρωτόκολλα, που μπορεί να δημιουργηθούν ή να χρησιμοποιηθούν σε ανώτερο επίπεδο.



Εικόνα 5.6. Τα υποεπίπεδα του MAC στρώματος [96]

5.3.1. Υπόστρωμα σύγκλισης ATM (CS ATM)

Το CS ασύγχρονης μεταφοράς είναι μία λογική διεπαφή που συσχετίζει διαφορετικές ATM υπηρεσίες με το MAC CPS SAP. Το ATM CS δέχεται ATM κελιά από το ATM επίπεδο, κάνει ταξινόμηση και PHS (αν παρέχεται) και διανέμει CS PDUs στο ανάλογο MAC SAP.

Μία ATM σύνδεση χαρακτηρίζεται μοναδικά από ένα ζεύγος τιμών των μεταβλητών Virtual Path Identifier (VPI) και Virtual Channel Identifier (VCI). Μία κατάταξη/ταξινόμηση είναι ένα σύνολο κριτηρίων ταύτισης που αφορούν κάθε ATM κελί που μπαίνει στο ATM CS.

Αποτελείται από κάποια κριτήρια ταύτισης ATM κελιών, όπως VPI και VCI και μια αναφορά σε ένα CID (Connection Identifier). Αν ένα ATM κελί ταιριάζει με τα καθορισμένα κριτήρια ταύτισης, διανέμεται στο MAC SAP για διανομή στη σύνδεση που ταυτοποιείται από το CID.

5.3.1.1. Διαδικασία σηματοδοσίας (Signaling Procedure)

Οι ATM διεπαφές υποστηρίζουν τρεις τύπους συνδέσεων :

- SVC (Switched Virtual Circuit)
- PVC (Permanent Virtual Circuit)
- Soft PVC

Οι SVCs εγκαθίστανται και τερματίζονται δυναμικά με τη χρήση του signaling. Αν και οι δύο, PVC και soft PVC, εγκαθιδρύονται διαχειριστικά, οι PVCs εγκαθίστανται με διαδικασία παροχής πρόσβασης σε δεδομένα και παροχής δικαιωμάτων ενώ οι soft PVCs με τη χρήση του signaling.

5.3.2. Υπόστρωμα σύγκλισης πακέτων (Packet CS)

Το CS πακέτου βρίσκεται στη κορυφή του προτύπου IEEE 802.16 MAC CPS. Το CS με την χρήση των υπηρεσιών του MAC εκτελεί τις εξής λειτουργίες:

1. Ταξινόμηση της PDU, πρωτοκόλλου υψηλότερου επιπέδου, στη κατάλληλη σύνδεση.

2. Απόκρυψη της πληροφορίας της κεφαλίδας (προαιρετικό).
3. Διανομή της CS PDU που προκύπτει, στο MAC SAP που σχετίζεται με την ροή υπηρεσίας, για μεταφορά στην ομότιμη MAC SAP.
4. Λήψη της CS PDU από το άκρο MAC SAP.
5. Ανακατασκευή αποκομμένης πληροφορίας κεφαλίδας (προαιρετικό).
 - Το CS αποστολής είναι υπεύθυνο για διανομή της MAC SDU στο MAC SAP.
 - Το MAC είναι υπεύθυνο για διανομή της MAC SDU στο ομότιμο
 - MAC SAP σύμφωνα με τις QoS, τεμαχισμό, συνένωση και με άλλες λειτουργίες μεταφοράς σχετικές με χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης ροής υπηρεσίας σύνδεσης.
 - Το CS παραλαβής είναι υπεύθυνο να δέχεται το MAC SDU από το ομότιμο MAC SAP και να το διανέμει σε οντότητα υψηλότερου επιπέδου.

Το CS πακέτου χρησιμοποιείται για μεταφορά για όλα τα πρωτόκολλα βασισμένα σε πακέτα, όπως Internet Protocol (IP), Point-to-Point Protocol (PPP) και 802.3 (Ethernet).

5.3.2.1. Ταξινόμηση

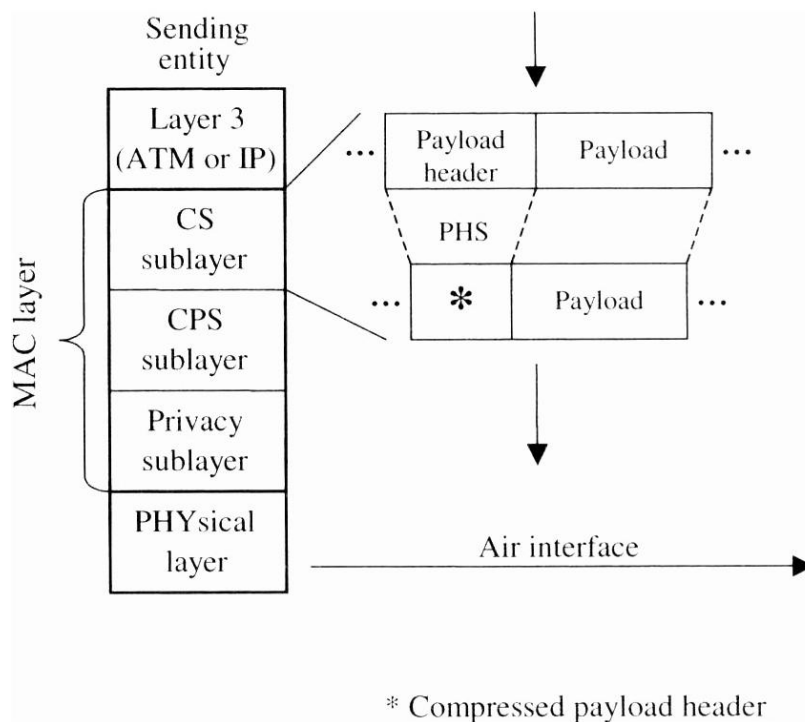
Είναι η διαδικασία κατά την οποία μία MAC SDU αντιστοιχίζεται σε μία συγκεκριμένη σύνδεση για μετάδοση μεταξύ ομότιμων MAC. Η διαδικασία αντιστοίχισης συσχετίζει μία MAC SDU με μία σύνδεση, που επίσης δημιουργεί μία συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά ροής υπηρεσίας αυτής της σύνδεσης. Αυτή η διαδικασία διευκολύνει τη διανομή των MAC SDUs με τους κατάλληλους QoS περιορισμούς.

Ένας ταξινομητής είναι ένα σύνολο κριτηρίων ταιριάσματος που αφορούν κάθε πακέτο που εισάγεται στο δίκτυο. Αποτελείται από κάποια κριτήρια πακέτων πρωτοκόλλου (διεύθυνση IP προορισμού), μία προτεραιότητα ταξινομητή και μία αναφορά σε ένα CID. Αν ένα πακέτο ταιριάζει με τα συγκεκριμένα κριτήρια αντιστοίχισης, τότε διανέμεται στο SAP για διανομή στη σύνδεση που ορίζεται από

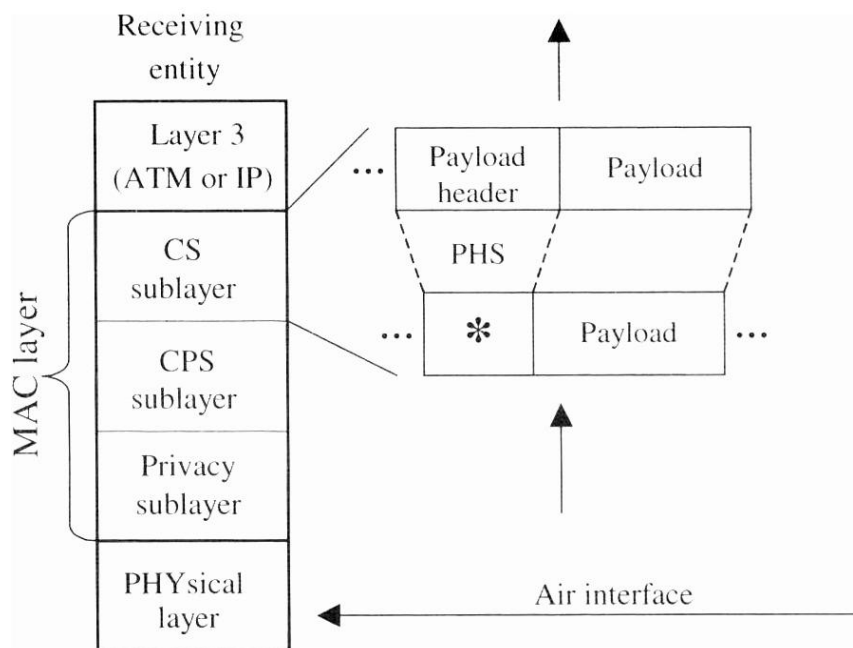
το CID. Τα χαρακτηριστικά ροής υπηρεσίας της σύνδεσης παρέχουν την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για αυτό το πακέτο.

5.3.3. Αποκοπή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου (Payload Header Suppression)

Τα πακέτα που παραδίδονται στο επίπεδο 2 του μοντέλου OSI μπορεί να έχουν πολύ μεγάλες κεφαλίδες, μερικές φορές έως και 120 bytes. Αυτό ισχύει για ορισμένα RTP/UDP/IP_{v6} πακέτα (RTP - Real-Time Protocol, UDP - User Datagram Protocol). Αυτό είναι μια πολύ συχνά επαναλαμβανόμενη (περιττή) πληροφορία και έτσι δεν πρέπει να διαβιβαστεί σε ένα περιορισμένο μέσο όπως είναι τα ραδιοκανάλια, τα οποία θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τις χρήσιμες πληροφορίες. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως συμπίεση κεφαλίδας και αποσυμπίεση σε 3G κυτταρικά συστήματα. Στο πρότυπο 802.16, η διαδικασία PHS αποκόπτει τα επαναλαμβανόμενα (περιττά) μέρη του ωφέλιμου φορτίου κεφαλίδας στην MAC SDU του υψηλότερου επιπέδου. Η οντότητα που λαμβάνει επαναφέρει το αποκομμένο μέρος. Η εφαρμογή της λειτουργίας PHS είναι προαιρετική. Οι εικόνες 5.7 και 5.8 μας δείχνουν τον μηχανισμό PHS τόσο στην οντότητα που στέλνει αλλά και σε αυτή που λαμβάνει. Η αποκοπή τμημάτων της κεφαλίδας οδηγεί σε μια συμπιεσμένη κεφαλίδα. Ο δέκτης πρέπει να αποκαταστήσει την κεφαλίδα πριν από την ορθή χρήση των πακέτων που έλαβε. [25]



Εικόνα 5.7. Μηχανισμός PHS στην οντότητα που στέλνει [25]



Εικόνα 5.8. Μηχανισμός PHS στην οντότητα που λαμβάνει [25]

Για να αναφέρει κατά πόσον το PHS είναι παρών ή όχι, χρησιμοποιείτε ένα πεδίο PHS υποστήριξης. Αυτή η παράμετρος δείχνει το επίπεδο της υποστήριξης PHS. Το

πεδίο υποστήριξης PHS είναι ένα πεδίο σε ορισμένα μηνύματα διαχείρισης MAC, Registration Request και Registration Response. Ο πίνακας 5.1 δείχνει τις πιθανές τιμές του πεδίου PHS υποστήριξης. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0 (όχι PHS).

Τιμές	Περιγραφή
0	Όχι PHS υποστήριξη
1	ATM PHS
2	Packet PHS
3	ATM και Packet PHS

Πίνακας 5.1. Πιθανές τιμές του πεδίου PHS υποστήριξης [25]

Στην περίπτωση του ATM CS εκτός των registration μηνυμάτων, υπάρχει μια άλλη δυνατότητα να δηλωθεί το PHS. Στο DSA (Dynamic Service Addition) μήνυμα διαχείρισης MAC, ένα πεδίο μπορεί να δείξει έμμεσα την χρήση του PHS.

Στο Payload Header Suppression (PHS), ένα επαναληπτικό κομμάτι των κεφαλίδων των ωφέλιμων φορτίων των CS SDUs αποκόπτεται από την οντότητα αποστολής και η επαναφορά της γίνεται από την οντότητα παραλαβής. Στο κατερχόμενο κανάλι (downlink), η οντότητα αποστολής είναι η ATM CS στον σταθμό βάσης (BS) και η οντότητα παραλαβής είναι η ATM CS στο σταθμό συνδρομητή (SS). Στο ανερχόμενο κανάλι (uplink), η οντότητα αποστολής είναι η ATM CS στον SS και η οντότητα παραλαβής η ATM CS στον BS. Για μεγαλύτερο εύρος ζώνης, πολλά ATM κελιά (με ή χωρίς PHS) που μοιράζονται το ίδιο CID, μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν από ένα μόνο MAC CPS PDU. Όταν η διαδικασία PHS σταματά, κανένα μέρος οποιασδήποτε κεφαλίδας ATM κελιού που περιέχει Header Error Check (HEC) πεδίο μπορεί να αποκοπεί. Έτσι, προστατεύεται η ακεραιότητα της κεφαλίδας του κελιού.

5.3.3.1. PHS signaling

Το PHS (Payload Header Suppression) απαιτεί τη δημιουργία των τριών αντικειμένων:

1. Ροή υπηρεσίας
2. Ταξινομητή
3. PHS κανόνα

Αυτά τα τρία αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν είτε συγχρόνως είτε σε διαφορετικές ροές μηνυμάτων.

Οι PHS κανόνες δημιουργούνται με DSA ή μηνύματα Δυναμικής Αλλαγής Υπηρεσίας. Ο σταθμός βάσης πρέπει να διευκρινίζει το PHS όταν ο PHS κανόνας δημιουργείται. Οι κανόνες PHS διαγράφονται με DSC ή DSD μηνύματα. Οι SS και BS θα πρέπει να ορίζουν τα PHSS (Payload Header Suppression Size) και PHSF (Payload Header Suppression Field). Για να αλλάξουμε τη τιμή του PHSF σε μία ροή υπηρεσίας, ένα νέο PHS κανόνας ορίζεται, ο παλιός κανόνας φεύγει από τη ροή υπηρεσίας και ο νέος προστίθεται.

5.3.4. Connection ID (CID)

Ένα αναγνωριστικό σύνδεσης (CID) προσδιορίζει μια σύνδεση όπου κάθε MAC SDU μιας συγκεκριμένης υπηρεσία επικοινωνίας χαρτογραφείται. Όλη η 802.16 κυκλοφορία γίνεται σε μια σύνδεση. Τότε, το CID μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αναγνωριστικό σύνδεσης ακόμη και για ονομασία κίνησης χωρίς σύνδεση όπως είναι το IP, δεδομένου ότι χρησιμεύει ως ένας δείκτης για τους προορισμούς και τις πληροφορίες πλαισίου. Το CID είναι μια τιμή 16-bit που προσδιορίζει μια μονόδρομη σύνδεση μεταξύ ισοδύναμων ζευγαριών στο MAC στρώμα, ενός BS και ενός SS. Η χρήση του CID των 16-bit επιτρέπει συνολικά 64 χιλιάδες συνδέσεις μέσα σε κάθε κανάλι downlink και uplink. Υπάρχουν πολλά CIDs που ορίζονται στο πρότυπο και ορισμένα από αυτά έχουν συγκεκριμένη έννοια. [25], [97]

Στο WiMAX τα λογικά κανάλια προσδιορίζονται από ένα CID. Ένα CID είναι ένα μοναδικό όνομα ή αριθμός που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ένα συγκεκριμένο μονοπάτι λογικής σύνδεσης σε ένα σύστημα επικοινωνίας. Ορισμένα αναγνωριστικά καναλιών σύνδεσης προορίζονται για τον έλεγχο (διαχείριση σύνδεσης) και άλλες συνδέσεις χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων χρήστη.

Κάθε τύπος σύνδεσης έχει το δικό του CID. Μια αμφίδρομη σύνδεση απαιτεί δύο CIDs. Για τη basic, primary και secondary σύνδεση, οι CID κωδικοί αντιστοιχίζονται σε ζεύγη και είναι οι ίδιοι για τις συνδέσεις downlink και uplink.

Ένα initial ranging αναγνωριστικό σύνδεσης είναι ένας κώδικας που χρησιμοποιείται κατά την basic σύνδεση με ένα ασύρματο σύστημα για να καθοριστεί πόση ρύθμιση χρονισμού μετάδοσης είναι απαραίτητη. Για τα συστήματα WiMAX, το initial ranging CID είναι 0000 για τυποποιημένα συστήματα μετάδοσης και FEFF για προσαρμοστικά συστήματα κεραιών (Adaptive Antenna Systems).

Το basic CID είναι ένα λογικό κανάλι που έχει εκχωρηθεί κατά την διάρκεια της διαδικασίας initial ranging. Οι συνδέσεις basic CID χρησιμοποιούνται για χρονό-ευαίσθητα μηνύματα ελέγχου MAC, RF power control και time alignment. Το εύρος των CIDs που μπορούν να εκχωρηθούν για basic CIDs είναι από το 0001 μέχρι κάποιον αριθμό (m) που έχει επιλεγεί από τον φορέα εκμετάλλευσης.

Το primary management CID είναι ένα λογικό κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα μηνύματα ελέγχου σύνδεσης. Το εύρος των CIDs τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ως primary CIDs κυμαίνονται από την διεύθυνση πάνω από το υψηλότερο basic CID ($m+1$) έως τον διπλάσιο αριθμό των basic CIDs ($2m$).

Το secondary management CID είναι ένα λογικό κανάλι που χρησιμοποιείται για ανώτερου στρώματος μηνύματα ελέγχου όπως DHCP και TFTP μηνύματα. Το εύρος των CIDs που έχουν εκχωρηθεί ως secondary management CIDs κυμαίνεται από διευθύνσεις πάνω από το υψηλότερο primary management CID ($2m+1$) μέχρι το connection ID FEFE.

Ένα transport CID είναι ένα λογικό κανάλι που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρήστη. Το εύρος των CIDs τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ως transport CIDs κυμαίνεται από τη διεύθυνση πάνω από το primary management CID ($2m+1$) μέχρι το connection ID FEFE. Οι συνδέσεις μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικά CIDs στις κατευθύνσεις uplink και downlink.

Τα Multicast polling αναγνωριστικά σύνδεσης χρησιμοποιούνται για να παρακινήσουν τους σταθμούς συνδρομητών, οι οποίοι είναι τμήμα μιας ομάδας πολυεκπομπής που έχει προς μετάδοση, να προσπαθήσουν να μεταδώσουν τα δεδομένα τους χρησιμοποιώντας μια διαδικασία contention control. Τα multicast polling CIDs κυμαίνονται από FF00 έως FFFC.

Το broadcast αναγνωριστικό σύνδεσης χρησιμοποιείται για να μεταφέρει broadcast μηνύματα προς όλες τις συσκευές που ακούν το ασύρματο κανάλι. Το broadcast CID είναι FFFF.

Σκοπός	CID	Επισημάνση
Initial Ranging	0000	Αρχική σύνδεση
Basic CID	0001 μέχρι m	Ρύθμιση της σύνδεσης
Primary management	m+1 μέχρι 2m	Ασφάλεια και τον έλεγχο
Secondary management ή transport connections	2m+1 μέχρι FEFE	Ανώτερο στρώμα ελέγχου και μεταφορά δεδομένων χρήστη
Adaptive Antenna Ranging	FEFF	Αρχική σύνδεση
Multicast polling	FF00 έως FFFC	Για τον έλεγχο των αιτήσεων εύρους ζώνης
Fragmentable Broadcast	FFFD	
Padding	FFFE	
Broadcast	FFFF	Μηνύματα σε όλους τους σταθμούς συνδρομητών

Πίνακας 5.2. Κωδικοί WiMax CID [97]

5.4. Υπόστρωμα κοινού τμήματος (Common Part Sub layer)

Το υπόστρωμα κοινού τμήματος (CPS), βρίσκεται στο κέντρο του στρώματος MAC. Το CPS αποτελεί τον πυρήνα του πρωτοκόλλου MAC και είναι υπεύθυνο για: [25]

- Κατανομή εύρους ζώνης
- Εγκαθίδρυση της σύνδεσης
- Διατήρηση της σύνδεσης μεταξύ των δύο πλευρών

Το πρότυπο 802.16-2004 ορίζει ένα σύνολο από μηνύματα διαχείρισης και μεταφοράς. Τα μηνύματα διαχείρισης που ανταλλάσσονται μεταξύ των SS και του BS πριν και κατά τη δημιουργία της σύνδεσης. Όταν η σύνδεση πραγματοποιηθεί, τα μηνύματα μεταφοράς μπορούν να ανταλλάσσονται για να επιτραπεί η μετάδοση των δεδομένων.

Το CPS λαμβάνει δεδομένα από διάφορα CS, μέσω του MAC SAP, που ταξινομούνται σε συγκεκριμένες συνδέσεις MAC. Το QoS λαμβάνεται υπόψη για τη μετάδοση και τον χρονοπρογραμματισμό των δεδομένων πάνω από το PHY στρώμα. Το CPS περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες διαφόρων τύπων: δομή πλαισίου, πολλαπλή πρόσβαση, αιτήσεις εύρους ζώνης και κατανομή, τον χρονοπρογραμματισμό, διαχείριση ασύρματων πόρων, διαχείριση QoS κλπ.

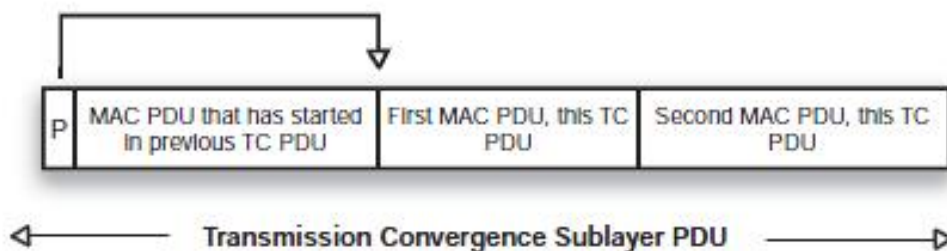
Το MAC δεσμεύει επιπλέον συνδέσεις για άλλους σκοπούς. Μια σύνδεση δεσμεύεται για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών. Μια άλλη δεσμεύεται για εκπομπή σε όλους τους σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών.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

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 στην εικόνα 5.9) 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 υποκεφαλίδων:

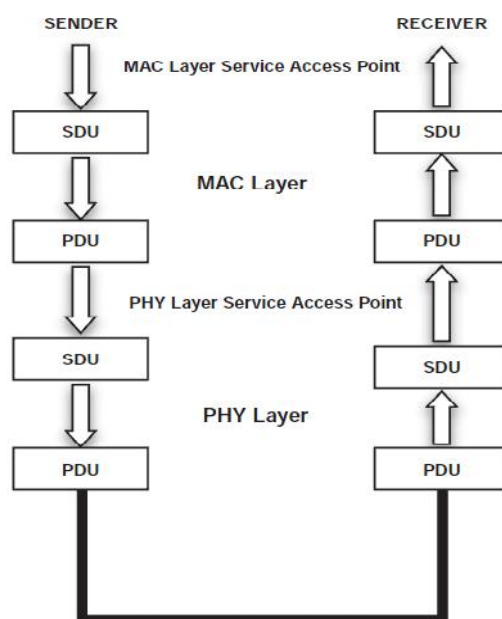
- **Υποκεφαλίδα επιχορήγησης διαχείρισης (Grant Management Sub-header)** – χρησιμοποιείται από έναν σταθμό συνδρομητή για τη διαβίβαση των αναγκών διαχείρισης εύρους ζώνης στον σταθμό βάσης του.
- **Υποκεφαλίδα κατάτμησης (Fragmentation sub-header)** – περιέχει πληροφορίες που υποδηλώνουν την παρουσία και τον προσανατολισμό στο ωφέλιμο φορτίο τυχόντων τμημάτων στις SDU.

- **Υποκεφαλίδα πακετοποίησης (Packing sub-header)** – υποδηλώνει την πακετοποίηση πολλαπλών SDU σε μια μονή PDU. Οι υποκεφαλίδες εκχώρησης διαχείρισης και κατάτμησης μπορούν να εισέλθουν σε μια MAC PDU ακολουθούμενες αμέσως τη γενική κεφαλίδα αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field. Η υποκεφαλίδα πακετοποίησης μπορεί να εισέλθει πριν την εκάστοτε MAC SDU αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field.



Εικόνα 5.9. MAC PDU [77]

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 κατάτμηση, ή/και πακετοποίηση, πριν διαβιβαστούν πάνω από μια ή περισσότερες συνδέσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο MAC. Μετά τη διάσχιση της ασύρματης 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 στην εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.10. Κατάτμηση και πακετοποίηση των SDU και PDU [77]

5.5. Υπόστρωμα ασφάλειας (Security Sublayer)

Σε αντίθεση με Wi-Fi, τα συστήματα WiMAX είχαν σχεδιαστεί εξ αρχής με ισχυρή ασφάλεια. Το πρότυπο περιλαμβάνει state-of-the-art μεθόδους για την εξασφάλιση της προστασίας των δεδομένων χρήστη και την πρόληψη της παράνομης πρόσβασης, με πρόσθετο πρωτόκολλο για τη βελτιστοποίηση της κινητικότητας. Το MAC υπόστρωμα περιέχει ένα ξεχωριστό υπόστρωμα που είναι υπεύθυνο για την ασφάλεια το λεγόμενο privacy sublayer (εικόνα 5.6) που παρέχει πιστοποίηση ταυτότητας, ασφαλή ανταλλαγή κλειδιών, κρυπτογράφηση και τον έλεγχο της ακεραιότητας σε ολόκληρο το σύστημα BWA (Broadband Wireless Access). Τα δύο βασικά ζητήματα της ασφάλειας των δικτύων δεδομένων είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων και η πιστοποίηση. Οι αλγόριθμοι που υλοποιούν τους παραπάνω στόχους θα πρέπει να εμποδίζουν όλες τις γνωστές επιθέσεις ασφαλείας οι οποίες μπορεί να είναι επιθέσεις τύπου DOS (Denial Of Service), επιθέσεις κλοπής υπηρεσιών κλπ.

Στο πρότυπο 802.16, η κρυπτογράφηση των συνδέσεων μεταξύ των SS και του BS γίνεται με ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης δεδομένων που εφαρμόζονται και στα δυο μέρη. Ένα πρωτόκολλο ενθυλάκωσης χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση των πακέτων δεδομένων σε ολόκληρο το BWA. Το πρωτόκολλο αυτό ορίζει ένα σύνολο από υποστηριζόμενες σουίτες κρυπτογράφησης, δηλαδή ζευγάρια

κρυπτογράφησης δεδομένων και αλγορίθμων επαλήθευσης ταυτότητας. Επίσης δύνονται και οι κανόνες για την εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων σε ένα χρήσιμο τμήμα (payload) MAC PDU.

Ένα πρωτόκολλο ελέγχου ταυτότητας, του πρωτοκόλλου Privacy Key Management (PKM) χρησιμοποιείται για να παρέχει την ασφαλή διανομή των δεδομένων κλειδιού από τον BS στον SS. Μέσω αυτής της ασφαλούς παράδοσης του κλειδιού, λόγω του πρωτοκόλλου διαχείρισης κλειδιού ο SS και ο BS συγχρονίζουν τα δεδομένα κλειδιού. Οι βασικοί μηχανισμοί προστασίας έχουν ενισχυθεί με την προσθήκη ψηφιακού πιστοποιητικού που βασίζεται στην επαλήθευση της ταυτότητας του SS του πρωτοκόλλου διαχείρισης κλειδιού. Επιπλέον, ο BS χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο PKM για να εγγυηθεί την πρόσβαση σε υπηρεσίες δικτύου υπό όρους. Στο πρότυπο 802.16e ορίζεται το PKMv2 που έχει το ίδιο πλαίσιο με το PKM και περιλαμβάνει ολόκληρο το PKMv1 με κάποιες επιπλέον προσθήκες, όπως νέους αλγόριθμους κρυπτογράφησης, την αμοιβαία επαλήθευση ταυτότητας μεταξύ του SS και του BS, υποστήριξη για handover και νέος αλγόριθμος ελέγχου ακεραιότητας. [25]

Οι καίριες πτυχές της ασφάλειας του WiMAX είναι οι εξής: [93]

- **Υποστήριξη για προστασίας της ιδιωτικότητας:** Τα δεδομένα χρήστη είναι κρυπτογραφημένα με χρήση κρυπτογραφικών συστημάτων με αποδεδειγμένη ευρωστία για να παρέχουν προστασία της ιδιωτικότητας. Υποστηρίζεται τόσο το AES (Advanced Encryption Standard) όσο και το 3DES (Triple Data Encryption Standard). Οι περισσότερες εφαρμογές του συστήματος θα χρησιμοποιούν πιθανό AES, δεδομένου ότι είναι το συγκεκριμένο πρότυπο κρυπτογράφησης έχει εγκριθεί ως σύμφωνο προς το Federal Information Processing Standard (FIPS) και είναι πιο εύκολο να εφαρμοστεί. Το κλειδί των 128 bit ή 256 bit που χρησιμοποιείται για την αποκρυπτογράφηση παράγεται κατά τη φάση της επαλήθευσης ταυτότητας και περιοδικά ανανεώνεται για πρόσθετη προστασία.
- **Ταυτοποίηση χρήστη/συσσκευής:** Το WiMAX παρέχει ένα ευέλικτο μέσο για την ταυτοποίηση των συνδρομητικών σταθμών και των χρηστών για να αποτρέψει την μη εξουσιοδοτημένη χρήση. Το πλαίσιο ταυτοποίησης βασίζεται στο Internet Engineering Task Force (IETF) EAP (Extensible Authentication Protocol), το οποίο υποστηρίζει μια ποικιλία πιστοποιητικών όπως όνομα χρήστη/κωδικός πρόσβασης, ψηφιακά πιστοποιητικά, και έξυπνες

κάρτες. Οι τερματικές συσκευές WiMAX έρχονται με ενσωματωμένα X.509 ψηφιακά πιστοποιητικά τα οποία περιέχουν το δημόσιο κλειδί τους και την διεύθυνση MAC. Οι φορείς WiMAX μπορούν να χρησιμοποιούν τα πιστοποιητικά για την ταυτοποίηση των συσκευών και χρησιμοποιούν ένα όνομα χρήστη/κωδικό πρόσβασης ή ταυτοποίηση έξυπνης κάρτας επάνω του για την ταυτοποίηση του χρήστη.

- **Ευέλικτο κλειδί - Πρωτόκολλο διαχείρισης:** Το Privacy and Key Management Protocol Version 2 (PKMv2) χρησιμοποιείται για την ασφαλή μεταφορά keying υλικού από τον σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό, περιοδικά επανεγκρίνοντας και ανανεώνοντας τα κλειδιά. Το PKM είναι ένα client-server πρωτόκολλο: Ο MS ενεργεί ως πελάτης, ο BS, ο server. Το PKM χρησιμοποιεί ψηφιακά πιστοποιητικά X.509 και RSA (Rivest-Shamer-Adleman), αλγόριθμους κρυπτογράφησης δημόσιου κλειδιού για να εκτελέσει με ασφάλεια ανταλλαγές κλειδιών μεταξύ του BS και του MS.
- **Προστασία των μηνυμάτων ελέγχου:** Η ακεραιότητα των over-the-air μηνυμάτων ελέγχου προστατεύεται χρησιμοποιώντας message digest σχέδια, όπως τα AES-based CMAC ή τα MD5-based HMAC.
- **Υποστήριξη για γρήγορο handover:** Για την υποστήριξη των γρήγορων handovers, το WiMAX επιτρέπει στο MS τη χρήση προ-πιστοποίησης (εκ των προτέρων επαλήθευση) με το BS, προκειμένου να διευκολύνει την πιο γρήγορη επανείσοδο του MS στον έλεγχο ενός συγκεκριμένου BS. Για τη βελτιστοποίηση των μηχανισμών της προ-πιστοποίησης, το WiMAX υποστηρίζει ένα σχέδιο χειραψίας τριών κατευθύνσεων (three-way handshake), ενώ παράλληλα αποτρέπει/αποκλείει οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση/επίθεση (man-in-the-middle).

5.6. Μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας

Για την υποστήριξη φορητών συσκευών που λειτουργούν με μπαταρίες, το mobile WiMAX έχει μηχανισμούς εξοικονόμησης ενέργειας που επιτρέπουν στους φορητούς σταθμούς συνδρομητών να λειτουργούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς να χρειάζεται να επαναφορτιστούν. Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με την απενεργοποίηση τμημάτων του MS με ελεγχόμενο τρόπο όταν αυτό δεν μεταδίδει ή

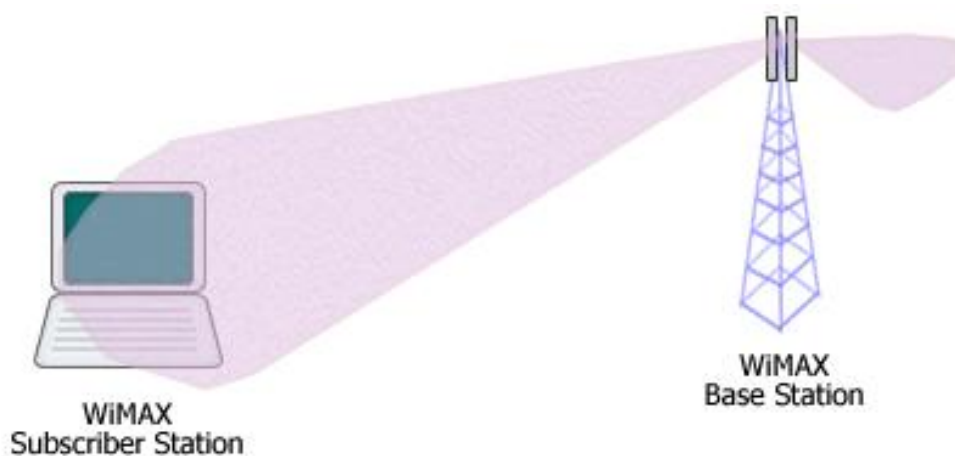
δεν λαμβάνει δεδομένα. Το mobile WiMAX καθορίζει τις μεθόδους σηματοδότησης που επιτρέπουν στο MS, όταν είναι ανενεργός, να εισέρχεται σε κατάσταση sleep mode (κατάσταση ύπνου) ή σε κατάσταση idle mode (κατάσταση ηρεμίας). Η Sleep mode είναι μια κατάσταση κατά την οποία ο MS απενεργοποιεί αποτελεσματικά τον εαυτό του και καθίσταται μη διαθέσιμος για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Οι περίοδοι της ύπνωσης καθορίζονται σε συνεργασία με τον BS στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο MS. Το WiMAX ορίζει τρεις κλάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση τον τρόπο με τον οποίο εκτελείτε η κατάσταση ύπνου. Στην κατάσταση Power Save Class 1, το παράθυρο του ύπνου αυξάνεται εκθετικά από μια ελάχιστη τιμή σε μια ανώτατη τιμή. Αυτό γίνεται συνήθως όταν ο MS χρησιμοποιεί την υπηρεσία best-effort και την υπηρεσία nrtPS. Η κατάσταση Power Save Class 2 έχει ένα σταθερού μεγέθους παράθυρο ύπνου και χρησιμοποιείται για την υπηρεσία UGS (Unsolicited Grant Service). Στην κατάσταση Power Save Class 3 επιτρέπεται η ύπαρξη ενός μόνο παραθύρου ύπνωσης (one-time sleep window) που χρησιμοποιείται κυρίως για κίνηση πολυεκπομπής ή κίνηση διαχείρισης, όταν ο MS γνωρίζει πότε αναμένεται η επόμενη μετάδοση. Εκτός από την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας από τον BS η κατάσταση ύπνου διατηρεί τα αποθέματα του BS σε ραδιοπόρους. Για την διευκόλυνση του handoff κατά την διάρκεια της κατάστασης ύπνου, επιτρέπεται στον MS να σαρώσει όλους τους σταθμούς βάσης για να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με το handoff.

Η κατάσταση idle mode προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και η λειτουργία της είναι προαιρετική από το WiMAX. Η idle mode επιτρέπει στο MS να απενεργοποιείται πλήρως και να μην εγγράφεται σε κανένα BS, ενώ παράλληλα να λαμβάνει κίνηση πολυεκπομπής κάτω ζεύξης. Όταν η κίνηση κάτω ζεύξης φτάνει τον σταθμό που βρίσκεται σε idle-mode, το MS σελιδοποιείται (paged) από ένα σύνολο σταθμών βάσης, οι οποίοι συγκροτούν μια ομάδα σελιδοποίησης. Το MS, πριν μπει σε idle mode, ανατίθεται από το BS σε μια ομάδα σελιδοποίησης και «ξυπνάει» περιοδικά για να ενημερώσει την ομάδα σελιδοποίησης (paging group). Η idle mode εξοικονομεί περισσότερη ενέργεια από την sleep mode, αφού το MS δεν χρειάζεται να καταχωρηθεί ή να εκτελεί μεταπομπές. Τέλος, η idle mode ωφελεί σημαντικά το δίκτυο και το BS, γιατί εξαλείφει την κίνηση μεταπομπής, λόγω των ανενεργών MSs.

5.7. Σύστημα προσαρμοστικής κεραίας (Adaptive Antenna System)

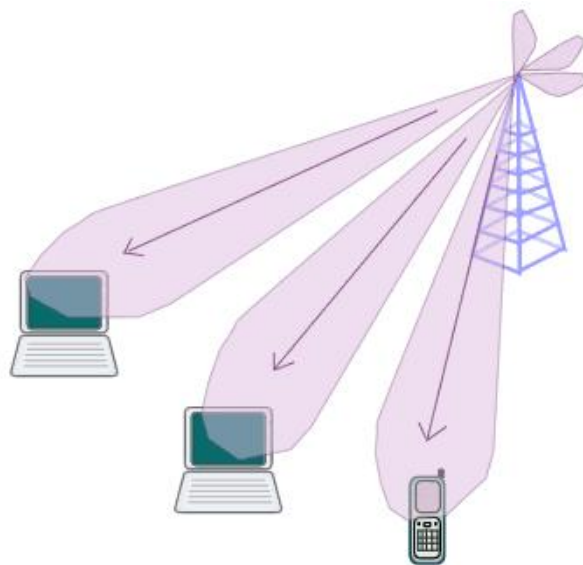
Μια προσαρμοστική κεραία είναι τύπου έξυπνων κεραιών (smart antennas). Είναι «έξυπνη» διότι βελτιώνει την παραδοσιακή κεραία με τη ρύθμιση για τα σχέδια κίνησης σε μια δεδομένη στιγμή να αυξήσει την ισχύ του σήματος και της ποιότητας. Ένα σύστημα έξυπνων κεραιών τροποποιεί κατάλληλα τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας για τη βελτίωση της απόδοσης του τηλεπικοινωνιακού συστήματος, συνδυάζοντας πολλαπλά στοιχεία κεραιών με την ικανότητα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Για την προσαρμογή, τη συχνότητα και τη χρήση καναλιών, η προσαρμοστική κεραία χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές και έναν αλγόριθμο, ώστε να μεγιστοποιεί την ισχύς των σημάτων που αποστέλλονται και παραλαμβάνονται, ενώ παράλληλα εξαλείφονται, ή τουλάχιστον μειώνονται, οι παρεμβολές.

Εκτός από την παρακολούθηση και την επεξεργασία του συστήματος, μια προσαρμοστική κεραία χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές για να βελτιώσει την ποιότητα του σήματος. Ένα σύστημα προσαρμοστικής κεραίας μπορεί να εστιάσει την ενέργεια μετάδοσης προς την κατεύθυνση ενός δέκτη. Ενώ, καθώς λαμβάνει μπορεί να εστιάσει προς την κατεύθυνση της συσκευής που μεταδίδει. Η τεχνική αυτή που χρησιμοποιείτε σε συστήματα προσαρμοστικής κεραίας είναι γνωστή ως beamforming ή beamsteering ή beamshaping (εικόνα 5.11). Λειτουργεί με τη ρύθμιση του πλάτους και της γωνίας του προτύπου ακτινοβολίας της κεραίας (γνωστός και ως beam). Ο σκοπός της τεχνικής beamforming είναι διπλός. Ένα, για να μεγιστοποιηθεί η δεκτικότητα από το χρήστη και δύο για να ελαχιστοποιηθεί η δεκτικότητα από μια πηγή θορύβου (εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.11. Σταθμός βάσης του WiMAX με τεχνική AAS beamforming [98]

Σε συνδυασμό με τις πολλαπλές κεραιές στο σταθμό βάσης (BS), το AAS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει πολλαπλούς σταθμούς συνδρομητών (SSs) με υψηλότερη ρυθμοαπόδοση. Εδώ χρησιμοποιείται μια τεχνική γνωστή ως SDMA (Space Division Multiple Access) όπου πολλαπλοί SS που χωρίζονται (στο χώρο) μπορεί να μεταδώσουν και να λάβουν την ίδια στιγμή στο ίδιο υπό-κανάλι.

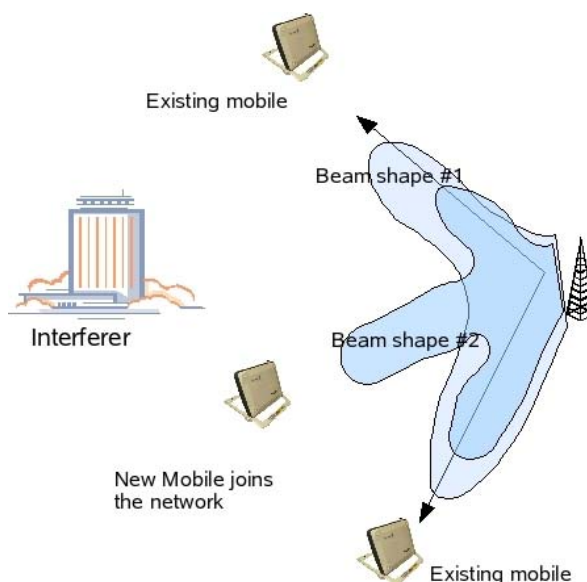


Εικόνα 5.12. Σταθμός βάσης του WiMAX με πολλαπλές κεραιές και AAS [98]

Το AAS αποβάλλει επίσης τις παρεμβολές από και προς άλλους SS και άλλες πηγές με την μέθοδο Null-steering. Το AAS είναι μια προαιρετική δυνατότητα στο WiMAX και δεν περιλαμβάνεται στην πιστοποίηση WiMAX. Όμως, λόγω της αποτελεσματικότητάς του στη βελτίωση της απόδοσης και της κάλυψης ιδίως στην περίπτωση του Mobile WiMAX, πολλοί προμηθευτές ενσωματώνουν τις AAS δυνατότητες στα προϊόντα τους.

Μια προσαρμοστική κεραιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε έναν σταθμό βάσης όσο και σε ένα μεμονωμένο τερματικό. Έχοντας μια προσαρμοστική κεραιά τόσο στην πηγή όσο και στον τελικό χρήστη, θα βελτιωθεί το σήμα αν και όταν είναι αυτό απαραίτητο. Ο προσδιορισμός αν μία προσαρμοστική κεραιά θα πρέπει να βρίσκεται στο σταθμό βάσης ή σε μεμονωμένους σταθμούς είναι συχνά ένα ζήτημα πρωτίστως του κόστους. Η εγκατάσταση μιας προσαρμοστικής κεραιάς στο σταθμό βάσης θα

εξαπλώσει το κόστος μιας κεραίας μεταξύ πολλών χρηστών, ενώ το κόστος που συνδέεται με τη χρήση προσαρμοστικών κεραίων σε μεμονωμένους τερματικούς σταθμούς θα μπορούσε να απορροφηθεί από κάθε άτομο.



Εικόνα 5.13. AAS beamforming [99]

Τα οφέλη των προσαρμοστικών συστημάτων κεραίων περιλαμβάνουν την βελτίωση της ποιότητα του σήματος, την διεύρυνση του φάσματος σήματος και κάλυψης και την αύξηση της μεταφοράς δεδομένων. Τα οφέλη αυτά ωστόσο εξαρτώνται από τις πραγματικές συνθήκες που χρησιμοποιείται μια προσαρμοστική κεραία.

5.8. Υπηρεσίες Multicast και Broadcast

Το MAC στρώμα του mobile WiMAX υποστηρίζει υπηρεσίες multicast και broadcast (Multicast Broadcast Service - MBS). Οι MBS-related λειτουργίες και χαρακτηριστικά που υποστηρίζονται στο πρότυπο περιλαμβάνουν: [93]

- Μηχανισμούς σηματοδότησης για το MS για αίτηση και εγκατάσταση MBS.
- Πρόσβαση του συνδρομητικού σταθμού στο MBS μέσω ενός ή πολλαπλών BS, ανάλογα με την δυνατότητες και την επιθυμία του.

- MBS, QoS και κρυπτογράφηση χρησιμοποιώντας ένα συνολικά ορισμένου κλειδιού κρυπτογράφησης κυκλοφορίας.
- Μια ξεχωριστή ζώνη μέσα στο πλαίσιο MAC με δικές του πληροφορίες MAP για την κυκλοφορία MBS.
- Μέθοδοι για την παράδοση MBS κίνησης σε σταθμούς συνδρομητών που λειτουργούν σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode).
- Υποστήριξη για macro diversity για να ενισχυθεί η απόδοση παράδοσης της κίνησης MBS.

5.9. Υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής (Transmission Convergence)

Μεταξύ του PHY και MAC είναι ένα υπόστρωμα TC (πίνακας 5.3). Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει μεταβλητού μήκους MAC PDUs σε σταθερού μήκους FEC μπλοκ (επιπρόσθετα, ενδεχομένως ένα μικρότερο μπλοκ στο τέλος κάθε ριπής). Το στρώμα TC έχει ένα PDU τέτοιου μεγέθους ώστε να χωράει στο μπλοκ FEC. Ξεκινά με ένα δείκτη που απεικονίζει την αρχή της επόμενης κεφαλίδας MAC PDU στο εσωτερικό του μπλοκ FEC. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 5.10. Η μορφή του TC PDU επιτρέπει τον επανασυγχρονισμό στην επόμενη MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο μπλοκ FEC έχει αμετάκλητα σφάλματα.

Στρώμα MAC
Υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής
Στρώμα PHY

Πίνακας 5.3. Σχέση του στρώματος TC με το MAC και το PHY στρώμα [77]

5.10. Κωδικοποίηση TLV στο πρότυπο 802.16

Μέσα σε πρωτόκολλα επικοινωνίας δεδομένων, προαιρετικές πληροφορίες μπορούν να κωδικοποιηθούν ως τύπου-μήκος-αξία ή TLV (Type-Length-Value) στοιχεία στο εσωτερικό του πρωτοκόλλου. Μια κωδικοποίηση TLV αποτελείται από τρεις τομείς (μια πλειάδα): Τον τύπο, το μήκος και την αξία (Type-Length-Value). [25], [100]

- **Τύπος (Type):** Ένας δυαδικός κώδικας, συχνά μόνο αλφαριθμητικά, ο οποίος δείχνει το είδος του πεδίου που αυτό το μέρος του μηνύματος εκπροσωπεί.
- **Μήκος (Length):** Το μέγεθος του πεδίου αξία (συνήθως σε bytes).
- **Αξία (Value):** Μεταβλητού μεγέθους σειρά από bytes που περιέχει δεδομένα για αυτό το μέρος του μηνύματος.

Το TLV είναι ένα σχέδιο μορφοποίησης που προσθέτει μια ετικέτα σε κάθε μεταδιδόμενη παράμετρο, που περιέχει τον τύπο της παραμέτρου και το μήκος της κωδικοποιημένης παραμέτρου (την αξία). Ο τύπος περιέχει τους κανόνες κωδικοποίησης. Η κωδικοποίηση TLV χρησιμοποιείται για παραμέτρους των μηνυμάτων διαχείρισης MAC. Χρησιμοποιείται επίσης για τη διαμόρφωση, τον ορισμό των παραμέτρων, όπως ενημερώσεις του λογισμικού, έκδοση υλικού, Vendor ID, DHCP, κλπ.

Το μήκος του πεδίου "Τύπος" είναι 1 byte. Τα μήκη των υπόλοιπων πεδίων εξηγούνται στη συνέχεια.

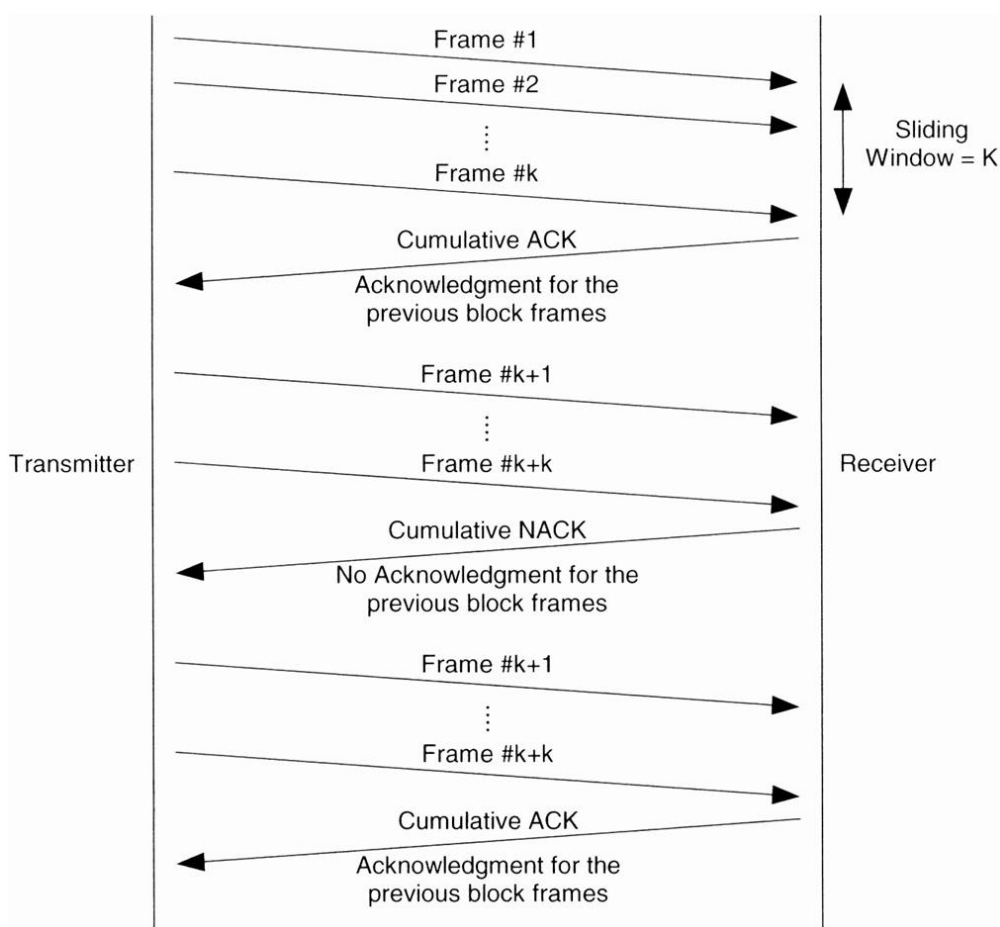
Εάν το μήκος του πεδίου Αξία είναι μικρότερο ή ίσο με 127 bytes, τότε το μήκος του πεδίου Μήκος είναι 1 byte, όπου τα πιο σημαντικά bit έχουν οριστεί σε 0. Τα υπόλοιπα 7 bits του πεδίου Μήκος χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν το μήκος του πεδίου Τιμή σε bytes.

Εάν το μήκος του πεδίου Αξία είναι μεγαλύτερο από 127 bytes, τότε το μήκος του πεδίου Μήκος είναι ένα byte περισσότερο από ό, τι χρειάζεται για να δείξει το μήκος του πεδίου Αξία σε bytes. Το πιο σημαντικό bit έχει οριστεί σε 1. Τα υπόλοιπα 7 bits του πρώτου byte του πεδίου Μήκος χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν τον αριθμό των επιπλέον bytes του πεδίου Μήκος (δηλαδή εκτός του πρώτου byte). Τα υπόλοιπα bytes (δηλαδή χωρίς το πρώτο byte) από το πεδίο Μήκος χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν το μήκος του πεδίου Αξία.

Χωριστά σύνολα TLVs αντιστοιχίζονται σε κάθε λειτουργική ομάδα. Κάθε σύνολο των TLVs, που ρητά ορίζεται να είναι μέλος μιας σύνθετης δομής TLV αποτελεί ένα πρόσθετο σύνολο. Έχουν ανατεθεί μοναδικές τιμές Type σε μέλος κωδικοποιήσεων TLV σε κάθε σύνολο. Η μοναδικότητα των τιμών TLV Type με τον καθορισμό οντοτήτων στο πρότυπο IEEE 802.16 (μηνύματα διαχείριση MAC ή/και αρχείο ρυθμίσεων) που μοιράζονται αναφορές σε συγκεκριμένες κωδικοποιήσεις TLV.

5.11. Automatic Repeat Request (ARQ)

Η αυτόματη αίτηση επανάληψης ARQ είναι ένας μηχανισμός έλεγχου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer) όπου ο δέκτης ζητά από τον πομπό να στείλει ξανά ένα μπλοκ δεδομένων, όταν διαπιστώνονται σφάλματα. Ο μηχανισμός ARQ βασίζεται στην θετική (Acknowledgement - ACK) ή αρνητική (Negative Acknowledgement - NACK) επιβεβαίωση λήψης μηνυμάτων, που μεταδίδονται από τον δέκτη στον πομπό. Ένα συρόμενο παράθυρο μπορεί να εισαχθεί για να αυξηθεί το ποσοστό μετάδοσης. Η παρακάτω εικόνα 5.14 δείχνει τον μηχανισμό ARQ.



Εικόνα 5.14. Απεικόνιση της διαδικασίας ARQ [25]

Ένα μπλοκ ARQ είναι μια ξεχωριστή μονάδα δεδομένων που μεταφέρεται σε μια ARQ-enabled σύνδεση. Ένα μπλοκ ARQ έχει ένα Sequence Number (SN) ή ένα Block Sequence Number (BSN) και η διαχείριση γίνεται ως μια διακριτή οντότητα

από τις μηχανές κατάστασης ARQ. Το μέγεθος του μπλοκ είναι μια παράμετρος διαπραγματεύσιμη κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της σύνδεσης.

Ένα σύστημα υποστήριξης ARQ πρέπει να μπορεί να λαμβάνει και να επεξεργάζεται τα μηνύματα ανατροφοδότησης ARQ. Οι πληροφορίες ανατροφοδότησης ARQ μπορούν να σταλούν ως αυτόνομο μήνυμα διαχείρισης MAC στην κατάλληλη βασική σύνδεση διαχείρισης ή piggybacked σε μια υπάρχουσα σύνδεση. Η piggybacked ARQ ανατροφοδότηση έχει σταλεί ως εξής: Η υποκεφαλίδα χρήσιμου τμήματος ανατροφοδότησης ARQ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να στείλει ARQ ACK παραλλαγές: συγκεντρωτική, επιλεκτική, επιλεκτική με συγκεντρωτική, συγκεντρωτική με το μπλοκ. Όταν αποστέλλεται σε μια κατάλληλη βασική σύνδεση διαχείρισης, η ανατροφοδότηση ARQ δεν μπορεί να κατακερματιστεί. [25]

Το ARQ είναι ένας μηχανισμός MAC, που είναι προαιρετικός για την εφαρμογή του στο πρότυπο 802.16. Όταν υλοποιηθεί, το ARQ μπορεί να ενεργοποιηθεί ανά σύνδεση. Το ανά σύνδεση ARQ καθορίζεται και διαπραγματεύεται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της σύνδεσης. Μια σύνδεση δεν μπορεί να έχει ένα μίγμα από ARQ και non-ARQ κίνηση.

Το ARQ είναι επιλεκτική αναμετάδοση στο στρώμα MAC. Μερικοί άνθρωποι πιστεύουν ότι είναι άχρηστο και χρονοβόρο καθώς αυτό έχει επιλυθεί από το στρώμα μεταφοράς εάν είναι απαραίτητο (π.χ. το πρωτόκολλο TCP) και άλλοι θεωρούν ότι είναι απαραίτητο και πιέζουν ώστε να γενικευτεί η χρήση του ARQ παντού. Πρόκειται για ένα φιλοσοφικό πρόβλημα, όπου κάθε πλευρά έχει βάσιμους λόγους να πιστεύει στη γνώμη της. Το ARQ είναι προαιρετικό και εφαρμόζεται με βάση ανά σύνδεση. Είναι είτε προκαλούμενο ή όχι, αλλά δεν μπορούμε να εναλλάσσουμε ARQ-enabled πλαίσια και άλλα είδη για την ίδια σύνδεση.

Τα δεδομένα είναι κομμένα σε μπλοκ όπου το μέγεθος ενός μπλοκ έχει επίσης αποτελέσει αντικείμενο διαπραγματεύσεως κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας. Το ARQ υποστηρίζει ένα σύστημα επιλεκτικής αναγνώρισης, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να ζητήσουμε να αναμεταδίδονται μερικά μπλοκ μέσα σε ένα παράθυρο δεδομένων που έχει ληφθεί. Τα αρνητικά ACKs είναι επίσης μια επιλογή, πράγμα που σημαίνει ότι ο δέκτης δεν πήρε το συγκεκριμένο μπλοκ. Θυμηθείτε ότι το πρωτόκολλο TCP υλοποιεί μια πολύ περιορισμένη επιλεκτική έκδοση ACK σε μία από τις επεκτάσεις του (TCP-Selective Acknowledgment - TCP-SACK).

Τα μπλοκ ARQ μπορούν να είναι σε τέσσερις καταστάσεις: δεν εστάλη (not-sent), εκκρεμή (outstanding), απορρίφτηκε (discarded) και αναμονή προς αναμετάδοση (waiting-for-retransmission). Πρώτα ένα μπλοκ είναι στην κατάσταση δεν εστάλη. Αυτό το μπλοκ στέλνεται και μπαίνει στην κατάσταση εκκρεμή με ένα χρονικό όριο αναμονής για την λήψη του ACK. Μετά από αυτό, έχει είτε αναγνωριστεί ή απορριφθεί. Εάν προκύψει κάποιο ζήτημα, πηγαίνει σε κατάσταση αναμονή-για-αναμετάδοση. [17]

Στον δέκτη, όταν έχει ληφθεί μια μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου, ελέγχετε η ακεραιότητα της μέσω του έλεγχου αθροίσματος (Checksum). Ο δέκτης έχει ένα συρόμενο παράθυρο (sliding window). Όταν παραλαμβάνεται ένα μπλοκ με έναν αριθμό που ανήκει στο εύρος του παραθύρου, γίνεται αποδεκτό άλλως απορρίπτεται. Ο δέκτης διατηρεί επίσης ένα χρονόμετρο ανά μπλοκ, το οποίο βοηθά να προωθήσει το παράθυρο ή να ζητεί την αναμετάδοση, στη συνέχεια, βοηθάει στην παράδοση των καλών μπλοκ προς τα ανώτερα στρώματα.

Ένα ACK αποστέλλεται για κάθε μπλοκ. Τα μπλοκ που βρίσκονται εκτός του συρόμενου παραθύρου αναγνωρίζονται με ένα συσσωρευτικό τρόπο. Οι αναγνωρίσεις (Acknowledgements) των μπλοκ μέσα στο συρόμενο παράθυρο μπορεί να είναι συσσωρευτικές. Οι συχνότητες για τις αναγνωρίσεις έχουν αφεθεί στα χέρια του κάθε υπεύθυνου υλοποίησης.

5.11.1. Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)

Η απόδοση των συστημάτων ARQ πάσχει, επειδή απαιτούνται περισσότερες αναμεταδόσεις. Για να μειώσει τη συχνότητα των αναμεταδόσεων, ένα σύστημα μπορεί να υιοθετήσει μια λειτουργία Forward Error Correction (FEC), για να διορθώσει τα λάθη που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Ο συνδυασμός ενός συστήματος ARQ με τη λειτουργία FEC ονομάζεται HARQ.

Το Hybrid ARQ (HARQ) είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιεί έναν κωδικό έλεγχου σφάλματος εκτός του συστήματος αναμετάδοσης για να εξασφαλίσει μια πιο αξιόπιστη μετάδοση των πακέτων δεδομένων (σε σχέση με το ARQ). Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός συστήματος ARQ και ενός HARQ είναι ότι στο HARQ, οι μεταγενέστερες αναμεταδόσεις συνδυάζονται με την προηγούμενη εσφαλμένη λήψη μετάδοσης προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία. Οι παράμετροι HARQ ορίζονται

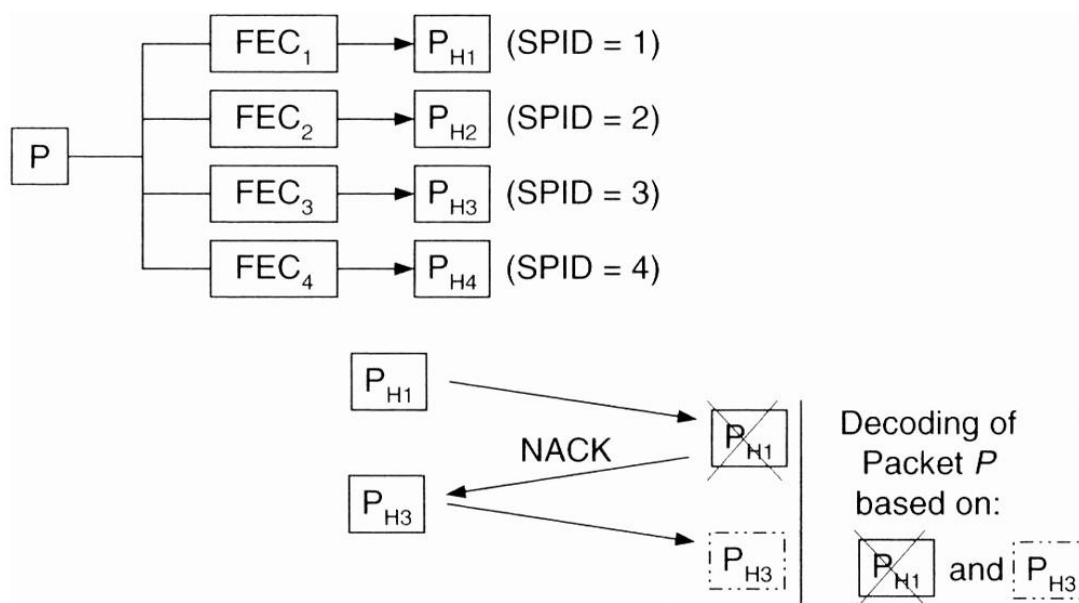
και τίθενται υπό διαπραγμάτευση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκίνησης. Μια ριπή δεν μπορεί να έχει ένα μίγμα HARQ και μη HARQ κίνησης. Το σύστημα HARQ είναι ένα προαιρετικό μέρος του προτύπου 802.16 MAC. Το HARQ μπορεί μόνο να υποστηριχτεί από το OFDMA PHY interface.

Για το downlink HARQ, μια γρήγορη ανταλλαγή ACK / NACK είναι απαραίτητη. Το Uplink slots ACK (ULACK) στο πλαίσιο OFDMA επιτρέπει αυτή την γρήγορη ανατροφοδότηση. [25]

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρεις τύποι HARQ, που περιγράφονται παρακάτω. Στην τύπου I HARQ, ο δέκτης απορρίπτει τα πακέτα που έλαβε λάθος, μετά αποτυγχάνει να διορθώσει τα λάθη και στέλνει μια αρνητική επιβεβαίωση (NAK) πίσω στον πομπό για να ζητήσει την αναμετάδοση. Επομένως, δεν χρειάζεται να έχει έναν buffer ώστε να αποθηκεύει τα πακέτα που έχουν ληφθεί λάθος. Ένας σταθερός ρυθμός κώδικα χρησιμοποιείται για τη διόρθωση λαθών, ο τύπου I HARQ συνεπώς δεν μπορεί να προσαρμοστεί αποτελεσματικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου. (Σημειώστε ότι ο ρυθμός κώδικα ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού αριθμού των bits πληροφοριών επί του συνόλου των μεταδιδόμενων bits. Έτσι, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός κώδικα, τόσο χαμηλότερος είναι ο πλεονασμός). Χρησιμοποιώντας ένα ρυθμό κώδικα πολύ υψηλό, μπορεί να προκαλέσει πάρα πολλές αναμεταδόσεις σε συνθήκες υψηλού ποσοστού λανθασμένων πακέτων (packet error rate - PER). Από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιώντας έναν πολύ χαμηλό ρυθμό κώδικα μπορεί να προκαλέσει πάρα πολύ πλεονασμό σε συνθήκες χαμηλού PER. Η απόδοση μπορεί επομένως να υποβαθμιστεί είτε από την υψηλή συχνότητα των αναμεταδόσεων ή από τα πάρα πολλά περιττά στοιχεία στις μεταδόσεις. Κατά συνέπεια, η επιλογή ενός κατάλληλου ρυθμού κώδικα είναι ζωτικής σημασίας για τον τύπο I HARQ. Ο τύπος I HARQ επομένως είναι πιο κατάλληλος για ένα κανάλι που έχει ένα σταθερό επίπεδο λόγου σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio - SNR).

Στον τύπο II HARQ, εκτός από τα πακέτα που κωδικοποιούνται με ARQ και FEC όπως στο τύπο I HARQ, κάθε δέκτης διατηρεί επίσης τα πακέτα που λήφθηκαν λάθος στον buffer, προκειμένου να τα συνδυάσει με την αναμετάδοση των πακέτων. Υπάρχουν δύο μεγάλες FEC κατηγορίες κωδικοποίησης για τον τύπο II HARQ: Chase Combining (CC) και Incremental Redundancy (IR). Οι δυο αυτές κατηγορίες παρουσιάζονται παρακάτω.

- Incremental Redundancy (IR) για CTC και CC. Το στρώμα PHY κωδικοποιεί το πακέτο HARQ δημιουργώντας διάφορες εκδόσεις των κωδικοποιημένων subpackets (εικόνα 5.15). Κάθε subpacket χαρακτηρίζεται μονοσήμαντα από ένα SubPacket Identifier (SPID). Τέσσερα subpackets μπορούν να παραχθούν για ένα πακέτο που κωδικοποιείται. Για κάθε αναμετάδοση των κωδικοποιημένων μπλοκ (το SPID) είναι διαφορετικό από το προηγούμενα κωδικοποιημένα μπλοκ που έχουν μεταδοθεί.



Εικόνα 5.15. Incremental Redundancy (IR) HARQ [25]

- Chase Combining (CC) για όλα τα συστήματα κωδικοποίησης. Η αναμετάδοση είναι πανομοιότυπη με το αρχικό μεταδιδόμενο μπλοκ. Το στρώμα PHY κωδικοποιεί το πακέτο HARQ δημιουργώντας μόνο μία έκδοση του κωδικοποιημένου πακέτου (δεν απαιτείται SPID).

Ένας SS μπορεί να υποστηρίζει IR και ένας SS μπορεί να υποστηρίζει είτε CC ή IR.

Ο τύπος II HARQ χρειάζεται έναν μεγαλύτερου μεγέθους buffer από τον τύπο I HARQ, αλλά έχει υψηλότερη απόδοση από την άποψη της ρυθμοαπόδοσης. Το μειονέκτημα του τύπου II IR HARQ είναι ότι ένας δέκτης πρέπει να λάβει τα πρώτα μεταδιδόμενα δεδομένα για να τα συνδυάσει με τα περιττά bits που θα αποκομίσει μεταγενέστερα. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, έχει προταθεί ένας τύπος III

HARQ. Μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση του τύπου II HARQ τέτοια ώστε κάθε αναμετάδοση πακέτου είναι self-decodable. Ένας δέκτης μπορεί να αποκωδικοποιήσει σωστά τα δεδομένα πληροφόρησης συνδυάζοντας είτε το πρώτο πακέτο που έχει μεταδοθεί με ένα αναμεταδιδόμενο πακέτο ή χρησιμοποιώντας μόνο ένα από τα αναμεταδιδόμενα πακέτα. [101]

5.12. Υποστήριξη κινητικότητας

Εκτός από την σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, το WiMAX προβλέπει τέσσερα σενάρια χρήσης που συνδέονται με την κινητικότητα:

1. **Nomadic:** Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει ένα σταθερό σταθμό συνδρομητή και να αποσυνδεθεί από διαφορετικό σημείο επαφής.
2. **Portable:** Νομαδική πρόσβαση παρέχεται σε μια φορητή συσκευή, όπως μια PC card, με την δυνατότητα best-effort handover.
3. **Simple mobility:** Ο συνδρομητής μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες έως και 60 km/h με σύντομες διακοπές (λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο) κατά τη διάρκεια της μεταπομπής (handoff).
4. **Full mobility:** Υποστηρίζετε κινητικότητα έως 120 km/h και απρόσκοπτη μεταπομπή (λιγότερο από 50 ms καθυστέρηση και <1% απώλεια πακέτων).

Τα δίκτυα WiMAX αρχικά αναπτύχθηκαν για σταθερές και νομαδικές εφαρμογές και στη συνέχεια με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν ώστε να υποστηρίζουν φορητότητα και πλήρη κινητικότητα.



Εικόνα 5.16. Portable WiMAX/Wi-Fi Router [102]

Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 καθορίζει το πλαίσιο για την υποστήριξη της διαχείρισης της κινητικότητας. Ειδικότερα, το πρότυπο καθορίζει μηχανισμούς σηματοδότησης για την παρακολούθηση των σταθμών συνδρομητών καθώς μετακινούνται από μια περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης σε μια άλλη όταν είναι ενεργοί ή όταν μετακινούνται από τη μία ομάδα σελιδοποίησης σε μια άλλη όταν είναι σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode). Το πρότυπο έχει επίσης πρωτόκολλα που καθιστούν δυνατή την απρόσκοπτη μεταπομπή των τρεχόντων συνδέσεων από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλο. Το WiMAX Forum έχει χρησιμοποιήσει το πλαίσιο που ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16e-2005 για την περαιτέρω ανάπτυξη της διαχείρισης της κινητικότητας μέσα στο πλαίσιο μιας end-to-end αρχιτεκτονικής δικτύου. Η αρχιτεκτονική υποστηρίζει επίσης κινητικότητα IP επιπέδου χρησιμοποιώντας κινητή IP.

Τρεις μέθοδοι handoff υποστηρίζονται στο IEEE 802.16e-2005. Μια είναι υποχρεωτική και οι άλλες δύο προαιρετικές. Η υποχρεωτική μέθοδος handoff ονομάζεται Hard Handover (HHO) και είναι το μόνο είδος που απαιτείται να τεθεί σε εφαρμογή από το κινητό WiMAX αρχικά. Η HHO προϋποθέτει μια απότομη μεταφορά της σύνδεσης από τον ένα BS στον άλλο. Οι αποφάσεις για το handoff πραγματοποιούνται από την οντότητα BS, MS, ή μια άλλη, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναφέρονται από το MS. Το MS κάνει περιοδικά μια σάρωση των ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μέτρα την ποιότητα του σήματος των γειτονικών σταθμών βάσης. Η σάρωση γίνεται κατά τη διάρκεια των διαστημάτων σάρωσης

(scanning intervals) που διατίθενται από τον BS. Κατά την διάρκεια αυτών των χρονικών διαστημάτων, το MS επιτρέπεται επίσης να εκτελέσει προαιρετικά initial ranging και να συνδέσει με έναν ή περισσότερους γειτονικούς σταθμούς βάσης. Όταν ληφθεί μια απόφαση για το handover το MS ξεκινά τον συγχρονισμό με την μετάδοση της κατερχόμενης ζεύξης του BS στόχου, εκτελεί ranging αν δεν έγινε κατά τη σάρωση και, στη συνέχεια τερματίζει τη σύνδεση με τον προηγούμενο BS. Οποιαδήποτε μη διανεμηθεί MPDUs παραμένουν στον BS μέχρι να λήξει το χρονόμετρο.

Οι δύο προαιρετικές μέθοδοι handoff που υποστηρίζονται στο IEEE 802.16e-2005 είναι η Fast Base Station Switching (FBSS) και η Macro Diversity Handover (MDHO). Σε αυτές τις δύο μεθόδους, το MS διατηρεί μια έγκυρη σύνδεση ταυτοχρόνως με περισσότερους από έναν BS. Στην περίπτωση της FBSS, το MS διατηρεί μια λίστα των εμπλεκόμενων BSs, που ονομάζεται active set. Το MS παρακολουθεί συνεχώς την active set, κάνει ranging και διατηρεί ένα έγκυρο αναγνωριστικό σύνδεσης (CID) με κάθε μία από αυτές. Το MS ωστόσο, επικοινωνεί με έναν μόνο BS, που ονομάζεται anchor BS. Όταν απαιτείται μια αλλαγή της anchor BS, η σύνδεση μεταφέρεται από ένα σταθμό βάσης σε έναν άλλο χωρίς να χρειάζεται να εκτελεστεί ρητά η διαδικασία handoff. Το MS απλά αναφέρει τον επιλεγμένο anchor BS στο CQICH (Channel Quality Indicator Channel). [93]

Η macro diversity handover είναι παρόμοια με την FBSS, εκτός από το ότι το MS επικοινωνεί στην κατερχόμενη και στην ανερχόμενη ζεύξη με όλους τους σταθμούς βάσης στην active set ταυτόχρονα. Η active set σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται diversity set. Στο downlink, πολλαπλά αντίγραφα που προέρχονται από το MS συνδυάζονται χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις γνωστές diversity-combining τεχνικές. Στο uplink, όπου το MS στέλνει τα δεδομένα σε πολλούς σταθμούς βάσης, εκτελείται η selection diversity για να επιδεχθεί η καλύτερη ανερχόμενη ζεύξη.

Τόσο η FBSS καθώς και η MDHO προσφέρουν ανώτερες επιδόσεις σε HHO, αλλά απαιτούν ότι οι σταθμοί βάσης που βρίσκονται μέσα στο active ή diversity set να συγχρονίζονται μεταξύ τους, να χρησιμοποιούν τους ίδιους φορείς συχνότητας και να μοιράζονται τις πληροφορίες που υπάρχουν σε επίπεδο δικτύου σχετικά με τις οντότητες. Η υποστήριξη για FBSS καθώς και για MDHO σε δίκτυα WiMAX δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί πλήρως και δεν αποτελεί μέρος των προδιαγραφών του δικτύου του WiMAX Forum Release 1.

Κεφάλαιο 6. Το WiMAX στην Ελλάδα και στον κόσμο

Παρά το γεγονός ότι η ανάγκη για ανάπτυξη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων και υπηρεσιών στη χώρα μας θεωρείται επιτακτική, κυρίως για μεγάλες περιοχές της ελληνικής περιφέρειας, οι παροχείς τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών φαίνεται ότι ακόμη διατηρούν πολλές επιφυλάξεις, κυρίως για την εμπορική διάθεσή τους αλλά και για το ύψος της επένδυσης που απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα για να αποσβεστεί.

Οι γεωγραφικές ιδιομορφίες πάντως απαγορεύουν την ύπαρξη ασύρματου γρήγορου Internet, το οποίο θα βοηθήσει σημαντικά στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών στην καθημερινή ζωή ακόμη και των πιο απομακρυσμένων από τα αστικά κέντρα κατοίκων. Το πρόβλημα όμως είναι ότι στη χώρα μας η μετάβαση προς την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση δεν γίνεται παράλληλα με την ανάπτυξη της υπηρεσίας ADSL που προχωρεί με σημαντικά βήματα - έστω και αν βρίσκεται σήμερα στο 9,1% - αλλά είναι ακόμη στην αρχή.

Το γεγονός ότι στην Ελλάδα, σε αντίθεση με τις λοιπές χώρες της ΕΕ η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση βρίσκεται σε εμβρυϊκή μορφή ακόμη είναι εύκολο να τεκμηριωθεί, αν αναλογισθεί κάποιος τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να συνδεθεί στο Internet με αυτόν τον τρόπο.

6.1. Το WiMAX στην Ελλάδα

Η τεχνολογία WiMax για τη μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιεί συχνότητες από 2 ως 11 GHz (802.16 a) και από 10 ως 66 GHz (802.16). Στην Ελλάδα οι άδειες που δόθηκαν αφορούσαν δοκιμές στη συχνότητα των 3.5 GHz. Οι θεωρητικές αποστάσεις που καλύπτει φθάνουν από 30 ως 50 χιλιόμετρα, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων αγγίζουν τα 70 Mbps.

Όσον αφορά στη χώρα μας και με δεδομένο ότι τα δίκτυα WiMAX χρησιμοποιούν, όπως και στην Ευρώπη, τη συχνότητα των 3.5GHz, υπάρχουν τέσσερις άδειες εκ των οποίων οι τρεις έχουν ήδη εκχωρηθεί στον ΟΤΕ, στην Q Telecom και την Craig Wireless (που αγόρασε την σχετική άδεια από την Eyrorgrom).

Η τέταρτη άδεια τέθηκε προς πώληση μέσω ενός διαγωνισμού που πραγματοποιήθηκε από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) στις 27

Ιουλίου 2006. Οι εταιρίες κατέθεσαν αιτήσεις για την εναπομείνουσα άδεια για τη λειτουργία δικτύου σταθερής ασύρματης πρόσβασης στα 3.5 GHz είναι Tellas, Vodafone, Hellas On Line, Forthnet, Cosmoline, Clearwire Europe S.a.R.L. και Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών ΑΕ. Οι προσφορές των ενδιαφερομένων κινήθηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα έναντι της τιμής εκκίνησης που ήταν 1,65 εκατ. ευρώ. Νικητής τελικά ανεδείχθη η εταιρεία τηλεπικοινωνιών Cosmoline, συμφερόντων του επιχειρηματία κ. Δ. Κοντομηνά, καθώς προσέφερε το ποσό των 20,475 εκατ. ευρώ (12πλάσιο της τιμής εκκίνησης). Η εν λόγω άδεια έχει 10ετή διάρκεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία ασύρματου δικτύου τεχνολογίας WiMax, που επιτρέπει την παροχή συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων, προσφέροντας υπηρεσίες φωνής και γρήγορης πρόσβασης στο Internet. Ο ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να αναπτύξει υποδομή ώστε να παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες τουλάχιστον στο 20% του πληθυσμού σε επτά γεωγραφικές ζώνες της χώρας εντός τεσσάρων ετών από τη χορήγηση του δικαιώματος.

Ωστόσο η Cosmoline δεν έκανε καμία ενέργεια για να αξιοποιήσει την συγκεκριμένη άδεια που της δόθηκε από την EETT και δεν ικανοποίησε τους όρους που τις τέθηκαν με αποτέλεσμα η Ολομέλεια της EETT, κατά τη συνεδρίαση της 10 Μαρτίου 2011 να αποφασίσει ομόφωνα την ανάκληση της άδειας σταθερής ασύρματης πρόσβασης (WiMAX) της εταιρείας COSMOLINE στη ζώνη των 3.5 GHz. Η EETT στις 16 Μαρτίου 2001 εξέδωσε δελτίο τύπου αναφέροντας ότι ανακαλείτε η άδεια της εταιρείας COSMOLINE για τους εξής λόγους: [103]

- Παρά τις επανειλημμένες έγγραφες οχλήσεις της EETT, η COSMOLINE δεν έχει καταβάλει το υπόλοιπο του συμβατικού τιμήματος, ύψους 4.095.000 €, το οποίο αντιστοιχούσε στο 20% του συνολικού ποσού. Το ως άνω οφειλόμενο ποσό, είχε καταστεί ληξιπρόθεσμο και απαιτητό ήδη από την 1-8-2009.
- Η εταιρεία, από το 2006 μέχρι σήμερα, και παρά την παράταση που της είχε χορηγηθεί από την EETT, δεν προέβη σε καμία ουσιαστική ενέργεια για την εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου WiMAX.

Επίσης αναφέρετε ότι η EETT θα προβεί άμεσα σε όλες τις νόμιμες ενέργειες για την είσπραξη του οφειλομένου ποσού των 4.095.000 €, με τους νόμιμους τόκους υπερημερίας, κατά τις διατάξεις του Κώδικα Είσπραξης Δημοσίων Εσόδων (ΚΕΔΕ).

Την επόμενη μέρα της ανακοίνωσης της EETT για την ανάκληση της άδειας των 3.5 GHz από την εταιρία COSMOLINE η εταιρία θέλοντας να δικαιολογήσει την μη

τήρηση των κανονισμών που αφορούν στην αξιοποίηση της άδειας, εξέδωσε το εξής δελτίο τύπου:

«Η Cosmoline ανακοίνωσε σήμερα τους λόγους που την οδήγησαν στην απόφασή της να μην προχωρήσει στην υλοποίηση ασύρματου δικτύου WiMAX για το οποίο είχε πάρει άδεια από την ΕΕΤΤ τον Ιούλιο του 2006.

Δυστυχώς παρά τις μεγάλες επενδύσεις, στο παγκόσμιο τηλεπικοινωνιακό στερέωμα, ήδη από το 2009, το WiMAX, και ειδικότερα στα 3,5 GHz, εμφάνισε σοβαρές ελλείψεις και προβλήματα όπως απόσυρση μεγάλων κατασκευαστών τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών (Ericsson, Nokia, Cisco), ακριβών και περιορισμένης γκάμας τερματικών συσκευών (CPEs), και ταυτόχρονη μετακίνηση της Ευρώπης, της Ασίας και της Β. Αμερικής στην μπάντα των 2,5 GHz κάτι το οποίο είχε επισημάνει η Διοίκηση της Cosmoline στην αρμόδια Ρυθμιστική Αρχή ζητώντας επανειλημμένα την αλλαγή του φάσματος αδειοδότησης.

Ταυτόχρονα η Cosmoline στο εσωτερικό, ήρθε αντιμέτωπη με την γραφειοκρατική και εξαιρετικά χρονοβόρα αδειοδότηση κεραιών στην Ελλάδα αλλά και την αναμφισβήτητη οικονομική κρίση. Παράλληλα είχε αιτηθεί γραπτώς από την αρμόδια ρυθμιστική αρχή α) την παράταση όλων των όρων της σύμβασης λόγω της αβεβαιότητας της τεχνολογίας, β) την αλλαγή του φάσματος από 3,5 GHz σε 2,5 GHz δεδομένου ότι τα εν λειτουργία δίκτυα αλλά και οι τερματικές συσκευές λειτουργούν σε αυτή την συχνότητα και γ) την εξάλειψη της υποχρέωσης καταβολής του υπολοίπου ποσού των 4 εκατομμυρίων Ευρώ λόγω της παρούσας, περιορισμένης ζήτησης των αδειών WiMAX. Από όλα τα παραπάνω αιτήματα έγινε δεκτό μόνο το πρώτο, γεγονός το οποίο κατέστησε εντελώς ασύμφορο το ευρύ περιβάλλον ανάπτυξης, κάτι το οποίο οδήγησε την Διοίκηση της εταιρείας στην απόφαση να μην προχωρήσει περαιτέρω στην ανάπτυξη του δικτύου της WiMAX πιστεύοντας ότι η υλοποίηση ενός τόσο μεγάλου αλλά κι επίφοβου έργου θα έβαζε σε ρίσκο την ίδια την ύπαρξη της εταιρείας που απασχολεί σήμερα περίπου 500 ανθρώπους (άμεσα ή έμμεσα) προσφέροντας άριστες υπηρεσίες, αλλά και του ομίλου DEMCO.

Σκοπός της Cosmoline από την αρχή ήταν να διαφοροποιηθεί και να αναπτυχθεί μέσω των Ασύρματων Δικτύων Νέας Γενεάς (NGN). «Το 2006 επενδύσαμε με πλειοδοσία μέσω δημόσιου πλειστηριασμού ένα τεράστιο ποσό για να λάβουμε την άδεια της τότε πολλά υποσχόμενης νέας τεχνολογίας, της σταθερής ασύρματης πρόσβασης (WiMAX) στα 3,5 GHz. Η τεχνολογία WiMAX όμως δεν ανταποκρίθηκε

στις προσδοκίες της παγκόσμιας αγοράς τηλεπικοινωνιών έχοντας μια φθίνουσα πορεία στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ αλλά και σε ολόκληρο τον κόσμο» όπως χαρακτηριστικά δήλωσαν υψηλόβαθμα στελέχη της. Επίσης δήλωσαν ότι τα χρήματα τα οποία δαπάνησαν για την αγορά της άδειας WiMAX ήταν υπερβολικά, σε σχέση με αυτά που προσέφεραν οι υπόλοιποι πάροχοι χρίζοντας την άδεια που πήρε η Cosmoline ως την ακριβότερη άδεια WiMAX στην Ευρώπη. Τόνισαν, δε, ότι σήμερα οι άδειες WiMAX δίνονται πλέον δωρεάν, χωρίς ωστόσο να βρίσκουν ανταπόκριση.

Παρόλα αυτά η Cosmoline προετοιμάστηκε για να διασφαλίσει την απρόσκοπτη υλοποίηση του ασύρματου δικτύου WiMAX κι επένδυσε σημαντικά ποσά, τόσο σε Ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε Τεχνολογικές και Τεχνικές υποδομές. Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών και ειδικά από το 2008 έως σήμερα, η Cosmoline προχώρησε στον σχεδιασμό και την εγκατάσταση σύγχρονου Data center, Ασύρματου Μικροκυματικού Δικτύου Backbone Αθήνας – Θεσσαλονίκης, Μητροπολιτικό Ασύρματο Δίκτυο Αθήνας πλήρως αδειοδοτημένο από την ΕΕΤΤ, καθώς και σε ολοκληρωμένα συστήματα Ι.Τ. Η παραπάνω επένδυση κόστισε στην Cosmoline μόνο την τελευταία τριετία ποσό πολύ ανώτερο του κόστους της απόκτησης της άδειας WiMAX, με χρήση αποκλειστικά ιδίων κεφαλαίων του μετόχου.» [104]

Παρόλα αυτά στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί πιλοτικά το δίκτυο wimax του ΟΤΕ το Σεπτέμβριο του 2008 με δοκιμαστική εκπομπή στο Άγιο Όρος και ακολούθησε το εργαστήριο Ερευνάς και Ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων PASIPHAΕ τον Οκτώβριο του 2008 με δοκιμαστική πιλοτική εκπομπή για ερευνητικές-εκπαιδευτικές δραστηριότητες έχοντας περιοχή κάλυψης όλο το Ηρακλείο Κρήτης. Παράλληλα με το δίκτυο WiMAX στο Άγιο Όρος, ο ΟΤΕ έχει εγκαταστήσει και αξιολογεί 2 ακόμη πιλοτικά συστήματα WiMAX, στην Ανατολική Αττική και την Ιπποκράτειο Πολιτεία, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης σε περιοχές που είτε δεν υπάρχει πρόσβαση με δίκτυο χαλκού είτε η πρόσβαση με το χάλκινο δίκτυο έχει μεγάλο μήκος και δεν επιτρέπει την παροχή ικανοποιητικών ταχυτήτων. Ήδη ο ΟΤΕ σχεδιάζει αντίστοιχα συστήματα και σε άλλα σημεία της επικράτειας.

Το πιλοτικό δίκτυο του Οργανισμού στο Άγιο Όρος παρέχει υπηρεσίες ευρυζωνικότητας και IP τηλεφωνίας (VoIP). Η επίτευξη παροχής των υπηρεσιών αυτών πραγματοποιήθηκε σε μία περιοχή εξαιρετικά δυσπρόσιτη, με περιορισμένες υποδομές σε οδικά δίκτυα, μέσα μεταφοράς και μέσα επικοινωνιών, καθώς και με απουσία εγκατεστημένου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Συνολικά, εγκαταστάθηκαν

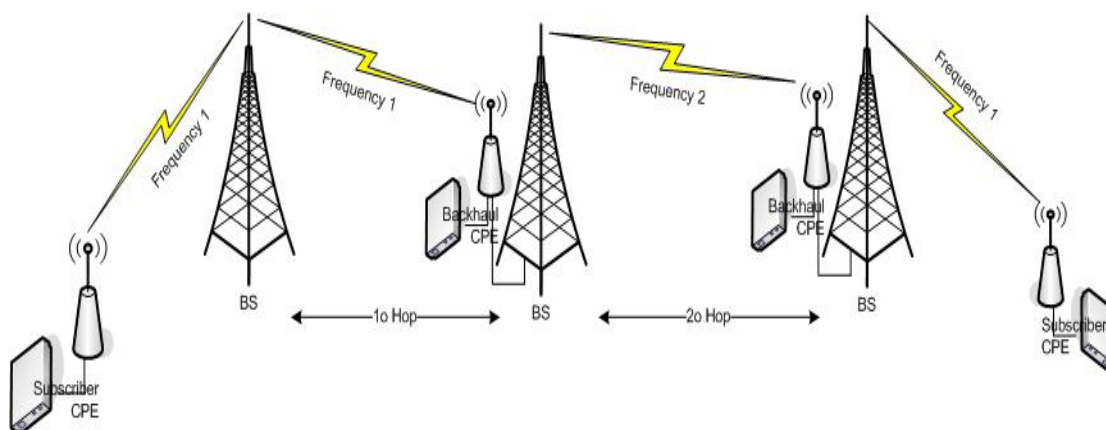
6 σταθμοί βάσης με την εμβέλεια του δικτύου να φτάνει τα 50 χιλιόμετρα, καλύπτοντας την πλειοψηφία των Μονών και Σκητών του Αγίου Όρους σε όλη σχεδόν την έκταση της Χερσονήσου του Άθω. Το δίκτυο WiMAX που έχει υλοποιηθεί έχει τη δυνατότητα μετάδοσης έως και 60 Mbps (αμφίδρομα). Οι σταθμοί βάσης WiMAX του ΟΤΕ εκπέμπουν στην φασματική ζώνη των 3,5 GHz που έχει απονεμηθεί στον ΟΤΕ από την ΕΕΤΤ. Τα συστήματα που εγκαθίστανται πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου IEEE 802.16-2004, του προτύπου που δίνει τη δυνατότητα για παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, ενώ ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι πιστοποιημένος από το WiMAX Forum, τον αποκλειστικό φορέα πιστοποίησης συστημάτων ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης WiMAX. [104]

Σε αυτή τη φάση λειτουργίας, που βρίσκεται σε εξέλιξη, έχουν ήδη συνδεθεί οι αρκετοί χρήστες τόσο στο Άγιον Όρος όσο και στη Νήσο Αμμουλιανή και την περιοχή της Ιερισσού με ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Επίσης, χρήστες στις Καρυές απολαμβάνουν υπηρεσιών ADSL μέσω του διασυνδεδεμένου στο WiMAX ειδικού εξοπλισμού (DSLAM). Μεταξύ των χρηστών των υπηρεσιών του δικτύου συγκαταλέγονται 6 μεγάλες Μονές, η Αθωνιάδα Σχολή, καθώς και η Ιερά Επιστοασία της Αθωνικής Πολιτείας.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η συνεχής λειτουργία του δικτύου WiMAX στο Άγιον Όρος εξασφαλίζεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλιακής και αιολικής, που συνδυάζονται με καινοτόμες ενεργειακές διατάξεις. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί βάσης του δικτύου λειτουργούν με φωτοβολταϊκά συστήματα σε συνδυασμό και με μικρές ανεμογεννήτριες, προσφέροντας την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του δικτύου χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον.

Τα μέχρι στιγμής συμπεράσματα από τη λειτουργία του δικτύου WiMAX στο Άγιον Όρος είναι ενθαρρυντικά αφού το σύστημα έχει λειτουργήσει απρόσκοπτα ακόμα και σε εξαιρετικά δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Στα πιλοτικά δίκτυα του ΟΤΕ χρησιμοποιείτε τοπολογία Master – Slave (εικόνα 6.1). Ο σταθμός βάσης συνδέετε με τον επόμενο μέσω τερματικού ομοίου με αυτό των συνδρομητών με κατάλληλες ρυθμίσεις.

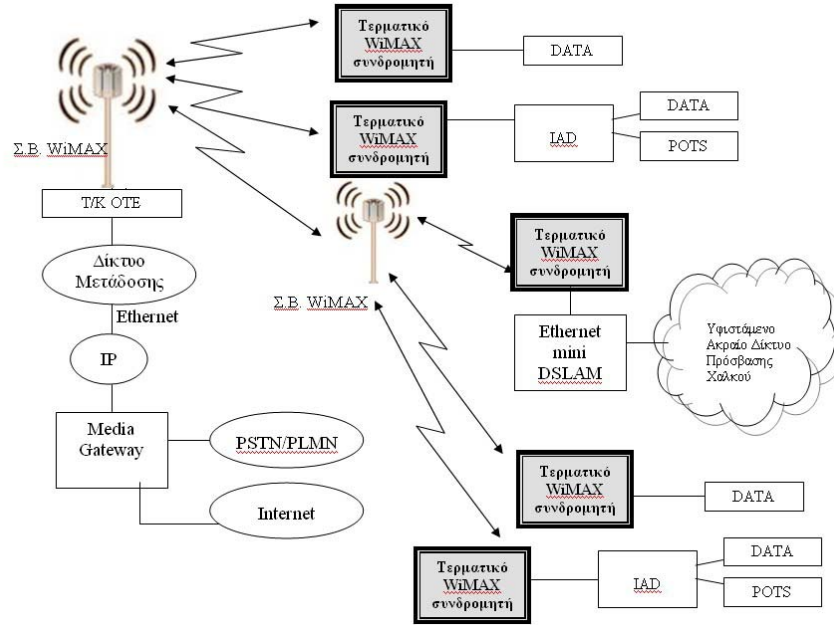


Εικόνα 6.1. Τοπολογία Master – Slave (Πιλοτικά ΟΤΕ) [105]

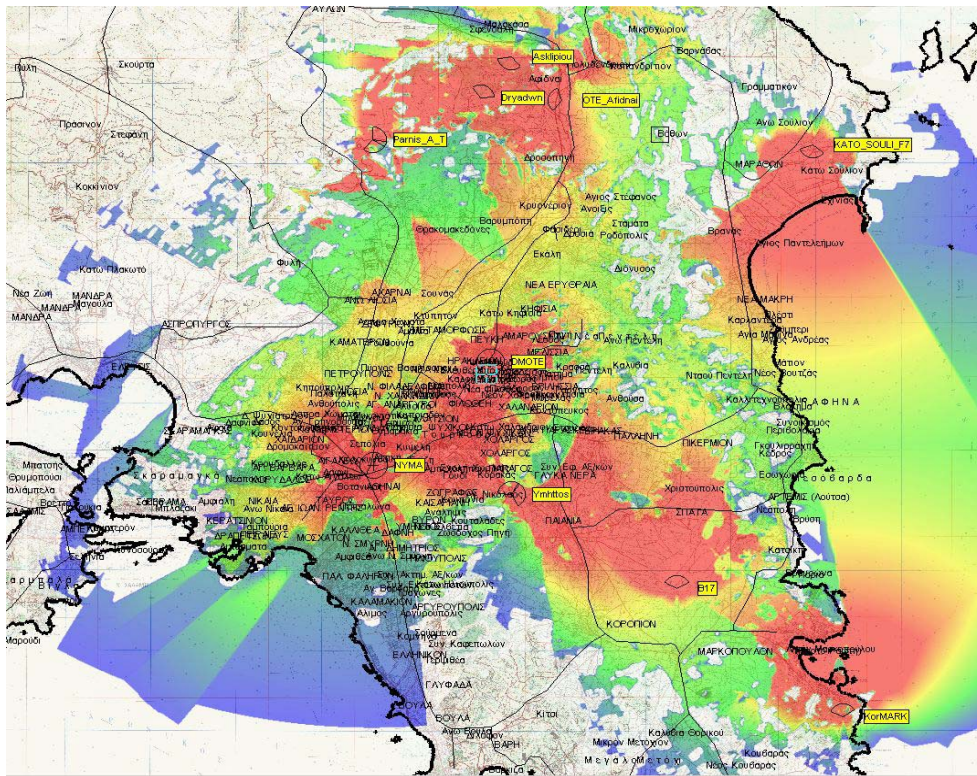
Με την μελέτη αυτών των πιλοτικών δικτύων WiMAX ο ΟΤΕ έχει ως στόχο:

- Παροχή ευρυζωνικότητας και υπηρεσιών Internet σε απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές που στερούνται χαλκού.
- Δοκιμή VoIP πάνω από ασύρματα δίκτυα.
- Επιλεκτική σταδιακή αντικατάσταση παλαιών συνδρομητικών ασύρματων ραδιοδικτύων (Σ.Α.Ρ.) που παρέχουν μόνο τηλεφωνία.
- Μοντελοποίηση ραδιοκάλυψης και σύγκριση με ραδιοκάλυψη σχεδιασμού.
- Ποιότητα ζεύξεων.
- Ποιότητα υπηρεσιών.

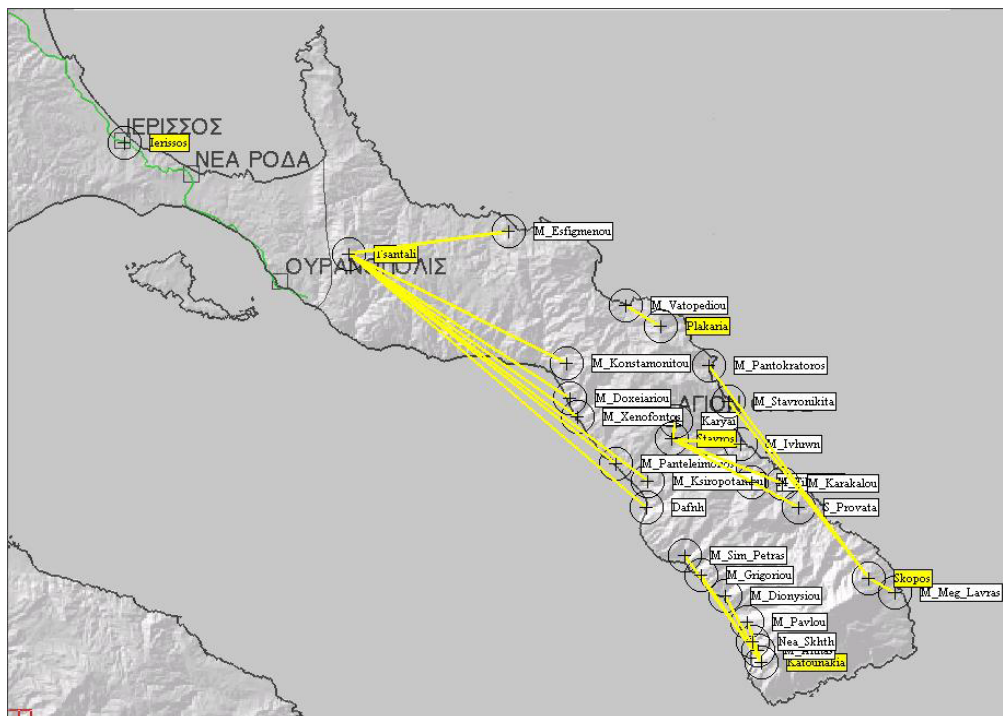
Παρακάτω στην εικόνα 6.2 βλέπουμε την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείτε στα πιλοτικά δίκτυα WiMAX που έχει υλοποιήσει ο ΟΤΕ καθώς και τις περιοχές κάλυψης τους (εικόνες 6.3 και 6.4).



Εικόνα 6.2. Αρχιτεκτονική των πιλοτικών δικτύων WiMAX [106]



Εικόνα 6.3. Πιλοτικά δίκτυα ΟΤΕ στην Ανατολική Αττική και την Ιπεκράτεια Πολιτεία [106]



Εικόνα 6.4. Πιλοτικό δίκτυο WiMAX στο Άγιον Όρος [106]

Μια άλλη θετική εξέλιξη στο θέμα του WiMAX στην Ελλάδα έγινε από την INTRACOM TELECOM. Η INTRACOM TELECOM, μέλος της SITRONICS, που είναι μέλος του οργανισμού WiMAX Forum από το 2003 ανακοίνωσε ότι η Mobile WiMAX λύση της, OmniMAX, πιστοποιήθηκε από το WiMAX Forum για τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα της. Η πιστοποίηση αυτή επιβεβαιώνει την εξαιρετική απόδοση και συμβατότητα της λύσης με ένα ευρύ φάσμα τερματικών που επιτρέπει στον καταναλωτή να επιλέξει τερματικό απόλυτα σύμφωνο με τις απαιτήσεις του.

Σύμφωνα με την INTRACOM TELECOM, το OmniMAX δίνει τη δυνατότητα σε κάθε τύπου συνδρομητή να απολαμβάνει ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Αποτελεί μια λύση για εδραιωμένους αλλά και νέους παρόχους επιτρέποντας τη γρήγορη υλοποίηση εξελιγμένων και εξατομικευμένων υπηρεσιών, εγγυημένη απόδοση και χαμηλό κόστος επένδυσης. Το OmniMAX λειτουργεί σε συχνότητες 2.3-2.4 GHz, 2.5-2.7 GHz και 3.4-3.8 GHz, και είναι σχεδιασμένο ειδικά για αστικές και αγροτικές περιοχές ανταποκρινόμενο στις εκάστοτε γεωγραφικές δυσκολίες ενώ συμβάλλει οικολογικά λόγω της μειωμένης κατανάλωσης ισχύος. [107]

Τέλος σημειώνεται ότι ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών-ΔΑΑ-κάτοχος άδειας πιλοτικής χρήσης WiMAX από την EETT για την περιοχή Σπάτα-Κορωπί, ανέπτυξε πιλοτικά εφαρμογές WiMAX σε τρεις τεχνολογικές ενότητες ανάλογα με τη χρήση τους (ιδιωτική/εταιρική χρήση/παροχή κομβικής υποδομής). Ειδικότερα, οι εφαρμογές βασισμένες σε WiMAX WiMAX που παρουσιάστηκαν από την Επιχειρηματική Μονάδα Πληροφορικής του Αερολιμένα, είναι:

- Εφαρμογές για ιδιωτική χρήση: Ταυτόχρονη μεταφορά τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας, φωνής και δεδομένων με ταχύτητα 14Mbps.
- Εφαρμογές για εταιρική χρήση: Μέσω WiMAX, ο ΔΑΑ μπορεί να προσφέρει σε άλλες εταιρίες υπηρεσίες φιλοξενίας υπολογιστικών συστημάτων (Data Centre Services), video-conference και παροχή εφαρμογών εξ'αποστάσεως (ASP).
- Παροχή κομβικής υποδομής-WiMAX Hub: Ο ΔΑΑ είναι σε θέση να παρέχει κομβική υποδομή σε άλλους παρόχους WiMAX ή WLAN για την εξυπηρέτηση των πελατών τους.

6.2. Το WiMAX στον κόσμο

Οι εξελίξεις στον τομέα του WiMAX ανά τον κόσμο είναι ταχύτατες και η ροή των ειδήσεων συνεχόμενη. Σε αντίθεση με την Ελλάδα ανά τον κόσμο βλέπουμε αξιοποίηση της τεχνολογίας WiMAX καθώς και εμπορική εκμετάλλευση του σε πολλές χώρες.

Η Norby Telecom ανακοίνωσε πως εξασφάλισε πανεθνική άδεια WiMAX στην συχνότητα των 2.3GHz στην Εσθονία. Η άδεια αποκτήθηκε μέσω τη εξαγοράς ενός μικρότερου παρόχου. Ο διευθύνων σύμβουλος της Norby Telecom δήλωσε: "Είναι ένα γεγονός εξαιρετικής σημασίας για μας αφού θα επιτρέψει να πετύχουμε τον στόχο μας που δεν είναι άλλος από το να γίνουμε ο μεγαλύτερος πάροχος WiMAX υπηρεσιών στην Βαλτική. Ήμασταν οι πρώτοι στην Βαλτική που αποκτήσαμε δίκτυο WiMAX στην συχνότητα των 3.5GHz και αυτό μας επιτρέπει να παρέχουμε σταθερές ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες (fixed wireless broadband). Με την άδεια στα 2.3GHz θα μπορέσουμε να διαθέσουμε στην αγορά υπηρεσίες κινητού WiMAX που είναι το επόμενο μας βήμα. Έτσι θα καλύπτουμε όλο το φάσμα των αναγκών των πελατών μας: σταθερή αλλά και κινητή πρόσβαση".

Η χιλιανή εταιρεία τηλεπικοινωνιών Telmex Chile (θυγατρική της ομώνυμης Μεξικάνικης εταιρείας) ανακοίνωσε σύμφωνα με την BNAmericas, την κάλυψη του 98% του πληθυσμού της χώρας (ισοδύναμη με το 92% των δήμων). Στην κάλυψη συμπεριλαμβάνονται και τα νησιά του Πάσχα στον Ειρηνικό Ωκεανό. Η Telmex Chile απέκτησε την άδεια WiMAX στις αρχές του 2007 και εγκαινίασε την παροχή υπηρεσιών δυο μήνες αργότερα.

Η Airspan Networks ανακοίνωσε την Τρίτη 15/1/2007 την συνεργασία της με 5 παρόχους στην Ουκρανία. Οι συμφωνίες προέβλεπαν την παροχή κατάλληλου εξοπλισμού για την λειτουργία WiMAX στην συχνότητα των 5GHz στις πόλεις Οδησσό, Lviv, Zaporozjje, και Donetsk . Στην Ουκρανία 10 εθνικοί και τοπικοί πάροχοι διαθέτουν σχετικές άδειες στα 5GHz για την παροχή σταθερών ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών. Ο Anders Rendahl, υψηλόβαθμο στέλεχος της Airspan δήλωσε: "Διαβλέπουμε μια ισχυρότερη χρησιμότητα του φάσματος των 5GHz, αφού είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη μεγάλης αξιοπιστίας πακέτων μεταφοράς δεδομένων, Voip και IPTV".

Στην Ρωσία ο πάροχος Yota (Scartel) είναι ο πρώτος που αξιοποίησε εμπορικά το Mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005) στη συχνότητα των 2.5-2.7 GHz. Από το φθινόπωρο του 2009, εμπορική λειτουργία έχει αρχίσει στη Μόσχα και στην Αγία Πετρούπολη με μερική κάλυψη της Moscow Oblast και Leningrad Oblast, καθώς και δωρεάν δημόσια δοκιμή που ξεκίνησε στην Ufa, Sochi και Krasnodar. Ένα δίκτυο είναι υπό κατασκευή στη Samara. Τα επόμενα 3 χρόνια, η κάλυψη θα πρέπει να εξαπλωθεί σε 180 ρωσικές πόλεις και κωμοπόλεις με πληθυσμό άνω των 100.000 καθώς και να βελτιωθεί η υπάρχουσα κάλυψη του Moscow Oblast και του Leningrad Oblast. Ο ρωσικός ISP Enforta, αυτήν την στιγμή έχει αναπτύξει 68 δίκτυα WiMAX σε μεγάλες πόλεις της Ρωσίας προσφέροντας τηλεφωνία και πρόσβαση στο internet.

Ο αμερικάνικος πάροχος WiMAX DigitalBridge Communications εξασφάλισε 20 εκ. δολάρια ΗΠΑ που σε συνδυασμό με τα 11 εκ. δολάρια που έχει ήδη στα ταμεία της θα μπορέσει να επεκτείνει την πληθυσμιακή κάλυψη της στα 2.5 εκ. πληθυσμού στις Δυτικές και Μεσοδυτικές πολιτείες. [108], [109]

Η εταιρεία τηλεπικοινωνιών ACT της Ιορδανίας, επέλεξε την Airspan Networks για την ανάπτυξη σταθμών βάσης HiperMAX αλλά και την εγκατάσταση του απαραίτητου τερματικού εξοπλισμού (EasyST και ProST). Στις αρχές του 2007 η ACT έλαβε την άδεια από την Ιορδανική Ρυθμιστική Αρχή για την ανάπτυξη

ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών (fixed broadband wireless access) στα 3.6 GHz. Με την χρήση της WiMAX τεχνολογίας της Airspan, η ACT θα προσφέρει υπηρεσίες φωνής και πρόσβασης στο internet, ενώ έχει προβλεφθεί η πιθανότητα μελλοντικής αναβάθμισης του δικτύου για την υποστήριξη κινητού WiMAX. Η ACT ανήκει στην Qatar Telecom (Qtel) και στην AA Turki Corporation for Trading and Contracting (ATCO) της Σ. Αραβίας.

Την ίδια στιγμή η Mercury Telecommunications Services (MSTelcom) που δραστηριοποιείται στην Αγκόλα ανάθεσε στην αμερικάνικη εταιρεία Alvarion καθώς και στην καναδέζικη Bridgewater Systems την ανάπτυξη WiMAX δικτύου.

Ο μεξικανικός πάροχος Axtel ανακοίνωσε την συνεργασία του με την Motorola για την προμήθεια σταθμών βάσης, εξοπλισμού δικτύου, υπηρεσιών υποστήριξης και εξυπηρέτησης πελατών για την ανάπτυξη δικτύου WiMAX. Η Motorola επίσης θα προμηθεύσει και τον εξοπλισμό τελικού χρήστη όπως κάρτες PCMCIA. Ήδη κυκλοφορούν μια πληθώρα συσκευών (Laptops, PDA's και κινητά τηλέφωνα) με ενσωματωμένη υποστήριξη WiMAX. Το δίκτυο καλύπτει την περιοχή του Monterrey. Η επίσης μεξικάνικη εταιρεία Ultrana2go παρέχει ήδη υπηρεσίες WiMAX σε τέσσερις πολιτείες: Veracruz, Puebla, Tamaulipas and Aguascalientes. [109], [110]

Στο μεταξύ η γαλλική Alcatel-Lucent συμφώνησε με την κυβέρνηση της Ταϊβάν για την ίδρυση κέντρου έρευνας για το WiMAX (Application and Interoperability Testing centre) στην χώρα. Έτσι οι εγχώριοι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού υλικού θα μπορούν να δοκιμάζουν δικά τους προϊόντα πάνω σε δίκτυα WiMAX.

Τέλος, στο Η.Β. οι Freedom4 & ConnectMK ξεκίνησαν εμπορική παροχή WiMAX υπηρεσιών στην περιοχή του Milton Keynes. Πρόκειται για το πρώτο μεγάλο δίκτυο WiMAX στην Βρετανία και ήδη έχουν προεγγραφεί στην υπηρεσία περισσότεροι από 1000 πελάτες. Η Freedom4 είναι θυγατρική της Ripex, ενώ η ConnectMK είναι εταιρεία του τοπικού Δήμου με σκοπό την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας στην περιοχή.

Το πακέτο περιλαμβάνει 1Mbps στην τιμή των 20 λίρες Αγγλίας/μήνα, με όριο χρήσης τα 10 GB, ετήσιο συμβόλαιο και 45 λίρες Αγγλίας τέλος ενεργοποίησης.

Στην Φιλανδία υπάρχουν περίπου 15 πάροχοι WiMAX που έχουν εξαπλωθεί σε όλη τη χώρα. Η κάλυψη απευθύνεται κυρίως στις αγροτικές περιοχές και την Λαπωνία.

Στην Ιαπωνία από την άλλη μεριά μια εταιρία τηλεπικοινωνιών η UQ Communications παρέχει υπηρεσίες WiMAX σε εθνικό επίπεδο. Στις 26 Φεβρουαρίου 2009 η UQ ξεκινήσει τη λειτουργία κινητών υπηρεσιών WiMAX στο Τόκιο, Γιοκοχάμα και Kawasaki. Η υψηλότερη ταχύτητα WiMAX που μπορεί να προταθεί είναι 40 Mbps στο κατέβασμα και 7.2 Mbps στο ανέβασμα. Μεταξύ των επενδυτών της UQ είναι οι Intel Capital Corporation, East Japan Railway Company, KYOCERA Corporation, The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd. και άλλοι. [109]

Όλοι αυτοί οι πάροχοι είναι ένα μικρό μέρος από τον μεγάλο κατάλογο παρόχων και χωρών που αναπτύσσουν δίκτυα WiMAX ή έχουν προγραμματίσει να αναπτύξουν στο άμεσο μέλλον με σκοπό την εμπορική αξιοποίηση του δικτύου για την παροχή τηλεφωνίας και πρόσβασης στο internet.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα - Επίλογος

Το WiMAX αποτελεί μια καινοτόμα λύση στο χώρο των ασύρματων δικτύων. Προσφέρει πολύ υψηλές ταχύτητες σε μεγάλες αποστάσεις. Ανά τον κόσμο βλέπουμε να αξιοποιείτε εμπορικά ή ερευνητικά αυτή η ασύρματη λύση και να προσφέρει υψηλές ταχύτητες στους χρήστες. Ωστόσο αν και στην Ελλάδα έχουν δοθεί οι σχετικές άδειες για την εμπορική αξιοποίηση του WiMAX οι πάροχοι που έχουν λάβει αυτές τις άδειες από την ΕΕΤΤ το 2006 δεν έχουν αναπτύξει ακόμα και τώρα καμία υποδομή για την εμπορική αξιοποίηση του WiMAX. Μόνο ο ΟΤΕ εγκατέστησε την κατάλληλη υποδομή και ανέπτυξε 3 πιλοτικά δίκτυα WiMAX για την μελέτη του δικτύου ώστε να το αξιοποιήσει εμπορικά στο μέλλον.

Η Ελλάδα αποτελείται από ένα ποικιλόμορφο περιβάλλον με αποτέλεσμα σε πολλές περιοχές να μην παρέχετε ευρυζωνική πρόσβαση ή να παρέχετε αλλά με πολύ χαμηλές ταχύτητες. Η υπάρχουσα καλωδιακή υποδομή δεν μπορεί να παρέχει υψηλές ταχύτητες σε απομακρυσμένες περιοχές. Η ιδιομορφία του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τον μικρό αριθμό κατοίκων σε ορισμένες περιοχές και με το πολύ υψηλό κόστος δημιουργίας υποδομής οπτικών ινών αποτελούν αποτρεπτικούς παράγοντες και για την ανάπτυξη υποδομής για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα μπορούσε να αξιοποιηθεί κατάλληλα το WiMAX γιατί λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει, του χαμηλού κόστους υλοποίησης του δικτύου, του μεγάλου αριθμού των πιστοποιημένων συσκευών και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

- **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.
- **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει από πολλά χωριά που δεν θα μπορούσαν να έχουν ευρυζωνική πρόσβαση με την υπάρχουσα υποδομή μέχρι ολόκληρες πόλεις.

Το WiMAX αποτελεί το σημαντικότερο μέχρι τώρα από τα ασύρματα πρότυπα που έχουν πιστοποιηθεί τόσο από την IEEE όσο και από τους 3G οργανισμούς. Ο αντίκτυπός και η γρήγορη εξάπλωσή του οφείλει πολλά στον πρόγονό του, το WiFi, που έχει ήδη προκαλέσει το ενδιαφέρον στην παγκόσμια αγορά και την αποδοχή των ασύρματων επικοινωνιών. Σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η συμμετοχή στην εξέλιξη και στην διάδοση των νέων επιτευγμάτων, εταιρειών όπως οι Intel, Nokia, Intracom και Motorola. Ωστόσο μια νέα τεχνολογία ασύρματων δικτύων έχει έρθει στο προσκήνιο το LTE που προσφέρει και αυτό πολύ υψηλές ταχύτητες και μεγάλη περιοχή κάλυψης και πολλοί το αναφέρουν ως τον πιο σημαντικό ανταγωνιστή του WiMAX. Αυτή την στιγμή όμως το WiMAX έχει το προβάδισμα όσον αφορά την ποικιλία των πιστοποιημένων συσκευών και των προτύπων. Το LTE βρίσκεται ακόμα σε εμβρυικό στάδιο σε σχέση με το WiMAX.

Η πραγματικότητα είναι ότι καμία από τις δυο τεχνολογίες δεν μπορεί να αναδυθεί νικηφόρα και οι δυο θα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ιστορία των ασύρματων δικτύων. Μπορεί το LTE να αποτελέσει την επιλογή για την τεχνολογία πρόσβασης και το WiMAX να αποτελεί την ιδανική τεχνολογία backhaul για τα 4G δίκτυα.

Σήμερα, από ότι φαίνεται και οι δυο τεχνολογίες θα καταστούν βιώσιμες 4G τεχνολογίες πρόσβασης, ενώ το WiMAX εξακολουθεί να διατηρεί τη θέση της ως η ιδανική backhaul τεχνολογία.

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ QoS ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ [74].....	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. R-FACTORS, ΔΙΑΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ MOS [73]	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ R [73]	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4. ΕΠΙΤΡΕΠΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ CT [73].....	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5. ΚΑΝΟΝΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΟΥ ALVARION BREEZEMAX [73]	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ PHS ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ [25]	174
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. ΚΩΔΙΚΟΙ WiMAX CID [97].....	177
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ TC ΜΕ ΤΟ MAC ΚΑΙ ΤΟ ΡΗΥ ΣΤΡΩΜΑ [77].....	187

Βιβλιογραφία

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_network
- [2] <http://www.wirelessoffice.co.za/>
- [3] <http://www.myphone.gr>
- [4] Deepak Pareek, “WiMax - Taking Wireless to the MAX”, Auerbach Publications, United States 2006
- [5] <http://www.innetrex.com>
- [6] http://webaak.com/index.php?p=2_5
- [7] http://kbatsu.i2r.a-star.edu.sg/cti_bin/kbatsu/letter/17/restheme01.cti
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.22
- [9] <http://www.viodi.com/newsletter/050302/article1.htm>
- [10] <http://www.intel.com/technology/comms/uwb/index.htm>
- [11] <http://aijisystem.com/eroot/product/uwb.php>
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [13] <http://www.crearempresas.com/proyectos08/blueja/blueja/centro.htm>
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>
- [15] <http://linkevolution.e-globaledge.com/english/infrared/rcandir.html>
- [16] <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee.jsp>
- [17] Houda Labiod, Hossam Afifi, Costantino De Santis, “Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee and WiMAX”, Springer, 2007
- [18] http://focus.ti.com/analog/docs/gencontent.tsp?familyId=367&genContentId=24190&DCMP=hpa_rf_general&HQS=NotApplicable+OT+zigbee
- [19] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/4758722.stm>
- [20] Syed Ahson, Mohammad Ilyas, “WiMAX : Standards and Security”, CRC Press, United States 2008
- [21] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/wrlslans/hiperlan.htm>
- [22] http://searchtelecom.techtarget.com/sDefinition/0,,sid103_gci214486,00.html
- [23] <http://www.missphones.co.uk/article/significance-3g-technology-mobile-phone-sector/>
- [24] <http://www.yugatech.com/blog/telecoms/why-is-4gwimax-in-the-philippines-slow/>
- [25] Loutfi Nuaymi, “WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access”, John Wiley & Sons Ltd, England 2007

- [26] <http://kr.blog.yahoo.com/chois4u/649.html?p=1&t=2>
- [27] http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced
- [29] <http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=249>
- [30] <http://techblog.gr/mobile/cosmote-lte-4g-6788/>
- [31] <http://techblog.gr/mobile/cosmote-lte-4g-trial-4006/>
- [32] <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>
- [33] <http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=16&artid=273652&dt=14/06/2009>
- [34] <http://ru6.cti.gr/broadband/el/wimax.php>
- [35] Κυριαζής Γεώργιος, WiMAX και ευρυζωνικότητα,
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/COMMITTEES/ee/ee_telep/news0/kyriazis_wimax.pdf
- [36] http://en.wikipedia.org/wiki/Institute_of_Electrical_and_Electronics_Engineers
- [37] G.S.V.Radha Krishna, Rao G.Radhamani "WiMAX A Wireless Technology Revolution", Εκδοση Auerbach, Οκτώβριο 2007
- [38] <http://quantumwimax.com/index.php?page=What-is-the-Wimax-Forum>
- [39] <http://electronicxtreme.blogspot.com/2006/12/wi-max.html>
- [40] <http://www.wimaxforum.org/resources/frequently-asked-questions>
- [41] WiMAX Forum, Regulatory position and goals of the Wimax Forum, August 2004, <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Document.2961.pdf>
- [42] <http://wimaxforum.org/certification/certification-overview>
- [43] Reza Golshan, Fixed and Mobile WiMAX Overview, 2006,
http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fma/pdf/esc_wimax06.pdf
- [44] <http://abhi.taralekar.googlepages.com/foundationtechnologies>
- [45] WiMAX Forum, The WiMAX Forum Certified program, September 2008,
http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_forum_2008_certification_white_paper_final.pdf
- [46] http://www.qoscom.de/802_16.html?&L=1
- [47] Carl Eklund, Roger B. Marks, Kenneth L. Stanwood, Stanley Wang, IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access, 4 June 2002,
http://grouper.ieee.org/groups/802/16/docs/02/C80216-02_05.pdf
- [48] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/80216c>
- [49] http://www.pctechguide.com/74MobileComms_WiMAX.htm

- [50] WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation, August 2006,
http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf
- [51] <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [52] http://www.palowireless.com/i802_16/wimax.asp
- [53] <http://ewh.ieee.org/r6/scv/sps/>
- [54] www.stanford.edu/class/cs259/projects/.../WiMAX_paper.doc
- [55] http://web.iii.org.tw/itpd/itis/78/78_18.html
- [56] <http://www.dailywireless.org/2007/02/20/wimax-80216m-100-mbps/>
- [57] <http://www.engadget.com/2007/02/20/ieee-pushing-802-16m-wimax-to-1gbps-hopes-to-converge-with-4g/>
- [58] http://blogs.intel.com/technology/2010/02/ieee_80216m_to_the_rescue_meet.php
- [59] <http://www.wna.gr/forum/printthread.php?tid=2666>
- [60] Jeff Reed, James Neel, Future Wireless Standards and the Emergence of WiMAX, October 2007,
http://www.crtwireless.com/files/Future_Wireless_Standards_Overview.pdf
- [61] <http://www.conniq.com/WiMAX/nlos-los.htm>
- [62] <http://rtcmagazine.com/articles/view/100308>
- [63] Intel Corporation, Mobile WiMAX Technology for Fixed Broadband Deployments, 2007, <http://download.intel.com/technology/wimax/10367.pdf>
- [64] Intel Corporation, Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions, 2004, <http://www.rclient.com/PDFs/IntelPaper.pdf>
- [65] <http://www.wimax.engineeris.com/fixed-wimax.php>
- [66] <http://www.wimax.com/features/choices-in-wireless-topologies>
- [67] <http://www.wimax.com/wimax-tutorial/wireless-architectures>
- [68] http://www.conniq.com/InternetAccess_WiMAX-02.htm
- [69] <http://en.kioskea.net/contents/wimax/wimax-intro.php3>
- [70] Seok-Yee Tang, Peter Muller, Hamid R. Sharif, “WiMAX Security and Quality of Service: An End-to-End Perspective”, John Wiley & Sons Ltd, England 2010
- [71] Yang Xiao, “WiMAX/MobileFi : advanced research and technology”, CRC Press, United States December 2007
- [72] Μπακουλη Αννα, Κατσινά Βασιλική, WiMax-IEEE 802.16,
[ru6.cti.gr/bouras/ergasies/foithtes/131_WiMax - IEEE 802.16.doc](http://ru6.cti.gr/bouras/ergasies/foithtes/131_WiMax_-_IEEE_802.16.doc)

- [73] Francesco De Pellegrini, Daniele Miorandi, Elio Salvadori and Nicola Scalabrino, “QoS Support in WiMAX Networks: Issues and Experimental Measurements”, CREATE-NET, Italy June 16, 2006
- [74] Syed Ahson, Mohammad Ilyas, “WiMAX : Standards and Security”, CRC Press, United States 2008
- [75] Daniel Sweeney, “WiMax Operator’s Manual: Building 802.16 Wireless Networks”, 2^η έκδοση, APress, UK 2006
- [76] <http://network-and-internet.softlandmark.com>
- [77] Frank Ohrtman, “WiMAX Handbook Building 802.16 Wireless Networks”, McGraw-Hill, United States 2005
- [78] <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/qos-quality-of-service.php>
- [79] <http://wimaxcommunity.ning.com/forum/topics/610217:Topic:28876>
- [80] http://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_IP
- [81] <http://www.e-naxos.eu>
- [82] <http://voip.noc.uoa.gr/voipstat/?v=1>
- [83] <http://en.wikipedia.org/wiki/Softswitch>
- [84] <http://maisonbisson.com/blog/post/13733/wifi-is-critical-to-academia-the-wifi-alliance-says/>
- [85] Κράπης Βασίλειος, Ασύρματα οικιακά δίκτυα : Τεχνολογία, μελέτες περιπτώσεων, οικονομικά και εφαρμογές, Θεσσαλονίκη 2007, [http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2007/Wireless Home Networks.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2007/Wireless%20Home%20Networks.pdf)
- [86] http://www.computerplug.com/tech_guide.php?topic=IEEE+802.11
- [87] [http://www.verigy.com/content/dav/verigy/Internet/Test_Technology_Resource_Center/Test_Methodologies/RF_LecSeries3_802_11abg WLAN.pdf](http://www.verigy.com/content/dav/verigy/Internet/Test_Technology_Resource_Center/Test_Methodologies/RF_LecSeries3_802_11abg_WLAN.pdf)
- [88] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n
- [89] <http://www.lisnews.org/taxonomy/term/99?page=1>
- [90] ngia.rootforge.org/content/Tutorials/IEEE802.11/WiFi.doc
- [91] http://www.ptechguide.com/74MobileComms_WiMAX.htm
- [92] <http://www.airtightnetworks.com/home/resources/knowledge-center/80211i.html>
- [93] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, “Fundamentals of WiMAX”, Prentice Hall, United States February 2007
- [94] Amitabh Kumar, “Mobile broadcasting with WiMAX: principles, technology, and applications”, Focal Press, United States 2008
- [95] <http://mirentech.co.uk/cms/index.php/en/products/wimax/>

- [96] http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2006/marzo/banda-ancha_i.asp
- [97] <http://wimax-made-simple.blogspot.com/2009/11/logical-channels-wimax-radio.html>
- [98] <http://www.conniq.com/WiMAX/aas.htm>
- [99] <http://wiki.hsc.com/wiki/Main/AAS>
- [100] <http://en.wikipedia.org/wiki/Type-length-value>
- [101] <http://wimax-made-simple.blogspot.com/2010/12/arq-and-harq.html>
- [102] <http://www.slashgear.com/clearwire-clear-spot-portable-wimax-router-0139664/>
- [103] <http://www.connection.gr/eblog/connection-blog/wimax-in-greece.html>
- [104] <http://www.myphone.gr>
- [105] Ανδρέας Ρήγας, Παρουσίαση Τεχνολογίας WiMAX IEEE 802.16, Δεκέμβριος 2007,
https://titanas.it.teithe.gr/.../WiMAX/Παρουσίαση_ασύρματων_τεχνολογιών_WiMax.pdf
- [106] Μάκης Ασημακόπουλος, Πιλοτικά δίκτυα WiMAX ΟΤΕ, Δεκέμβριος 2007,
https://titanas.it.teithe.gr/.../WiMAX/Παρουσίαση_ασύρματων_τεχνολογιών_WiMax.pdf
- [107] <http://www.xrimanews.gr/epixeiriseis/2491-08-02-2011-18-12-41>
- [108] <http://www.adslgr.com/forum/showthread.php?t=16601>
- [109] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_deployed_WiMAX_networks
- [110] <http://www.adslgr.com/forum/showthread.php?t=165206>