

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΤΟ WiMAX



Βασιλειάδου Κυριακή  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Τσακανίκας Βασίλειος

ΑΝΤΙΠΡΙΟ 2017



## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ολοκληρωμένη παρουσίαση του προτύπου IEEE 802.16, που χρησιμοποιείται από το σύγχρονο ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο με την εμπορική ονομασία WiMAX.

Αρχικά γίνεται αναφορά στα ασύρματα δίκτυα, τις διαδεδομένες ασύρματες τεχνολογίες, τα είδη τους, τα πλεονεκτήματα χρήσης τους αλλά και προβλήματα που τυχόν συναντάμε, καθώς επίσης που και πως χρησιμοποιούνται αυτές οι τεχνολογίες στον Ελλαδικό χώρο μέσα από επίσημα στατιστικά στοιχεία της ΕΤΤΤ.

Στην συνέχεια εμβαθύνουμε περισσότερο στην τεχνολογία που μας αφορά, στο πρότυπο 802.16 αναλύοντας τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές του όσο και την αρχιτεκτονική του προτύπου αυτού. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση της τεχνολογίας WiMAX με άλλες παρόμοιες ασύρματες τεχνολογίες.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εφαρμογές WiMAX. Από ποιους φορείς χρησιμοποιείται παγκοσμίως, με ποιους τρόπους χρησιμοποιείται και γιατί προτιμάται ανά περίπτωση χρήσης όπως στην εκπαίδευση, την δημόσια ασφάλεια και λοιπά.

Τέλος αναφέρεται σε ποιες περιοχές της Ελλάδας συναντάμε δίκτυα WiMAX.

### ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ :

Ασύρματα δίκτυα, ευρυζωνικότητα, ασύρματες τεχνολογίες, πρότυπο 802.16, τεχνολογία WiMAX, ορθογωνική πολυπλεξία, ευρυζωνικότητα.

## **Abstract**

*The subject of this thesis is the thorough presentation of the standard IEEE 802.16, which is used in modern wireless broadband network under the brand name WiMAX.*

*Initially referring to wireless networks, widespread wireless technologies, their products, their use advantages and problems with any encounters-as well as where and how these technologies are used in Greece through official statistics ETTT.*

*Then go further in technology that concerns us, the 802.16 standard by analyzing both the technical data and specifications and architecture of this standard. Then comparing the WiMAX technology to other similar wireless technologies.*

*The last chapter is a reference to WiMAX applications. Who carriers used worldwide, in what ways is used and why it is preferred by use case such as in education, public safety and so on.*

*Finally, in what regions of Greece meet WiMAX networks.*

### **KEY WORDS:**

**Wireless networks, broadband, wireless technologies, standard 802.16, technology WiMAX, Orthogonal Frequency Division Multiplexing , broadband.**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

*Σε αυτό το σημείο , θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς ,όλους όσους συνέβαλαν με τον έναν η τον άλλον τρόπο για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας .*

*Αρχικά θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα αυτής της εργασίας και καθηγητή μου, κ. Βασίλειο Τσακωνίκα για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια του.*

*Εν συνεχεία ευχαριστώ όλους τους φίλους και συγγενής που ήταν δίπλα μου.*

*Τέλος οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου ,Σάββα και Όλγα και την αδερφή μου, Μαρία για όσα κάνανε για μένα όλα αυτά τα χρόνια , για την ειλικρινή αγάπη και την υποστήριξη τους σε ότι κάνω.*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### **Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή στα ασύρματα δίκτυα**

1.1 Εισαγωγή.....	17
1.2 Ευρυζωνικότητα στην Ελλάδα.....	19
1.3 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων.....	20
1.4 Ασύρματες τεχνολογίες.....	21
1.5 Προβλήματα ασύρματων δικτύων.....	22

### **Κεφάλαιο 2- Ανάλυση του WiMAX και του προτύπου 802.16**

2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 WiMAX ταχύτητα και κάλυψη.....	25
2.3 Γιατί να χρησιμοποιηθεί το WiMAX .....	26
2.4 Στόχοι και κύρια πλεονεκτήματα.....	27
<b>2.5 Τι είναι το 802.16.....</b>	
2.5.1 Εισαγωγή.....	31
2.5.2 Πρότυπο IEEE 802.16-2004.....	34
2.5.3 Πρότυπο IEEE 802.16e.....	36
2.5.4 Πρότυπο 802.16a.....	37
2.6 Ζώνες συχνοτήτων.....	38
<b>2.7 Σύγκριση WiMAX με άλλες τεχνολογίες.....</b>	
2.7.1 WiMAX με Wi-Fi.....	39
2.7.2 WiMAX με 3GWWAN.....	46
2.8 Τα κυριότερα χαρακτηριστικά WiMAX.....	49
2.9 Βασικά δομικά χαρακτηριστικά.....	55
2.10 WiMAX τεχνολογία.....	59

2.11 Φυσικό επίπεδο WiMAX.....	61
2.12 Βασικές έννοιες του OFDM.....	63
2.13 Επίπεδο MAC.....	65
2.14 Υποστήριξη κινητικότητας.....	66

## **Κεφάλαιο 3- Εφαρμογές του WiMAX**

3.1 Εισαγωγή.....	69
3.2 Εφαρμογές.....	71
<b>3.3 Που χρησιμοποιούνται δίκτυα WiMAX και γιατί.....</b>	
3.3.1 Δίκτυα τραπεζών.....	73
3.3.2 Δίκτυα για την εκπαίδευση.....	74
3.3.3 Δημόσια εκπαίδευση.....	76
3.3.4 Επικοινωνίες offshore.....	77
3.3.5 Συνδέσεις σε πανεπιστημιούπολεις.....	78
3.3.6 Επικοινωνίες προσωρινών κατασκευών.....	79
3.3.7 Θεματικά πάρκα.....	80
3.3.8 Δίκτυο πρόσβασης παρόχου ασύρματης υπηρεσίας.....	82
3.3.9 Συνδεσιμότητα σε αγροτικές περιοχές.....	83
3.3.10 Δίκτυα WiMAX στον στρατό.....	84
3.3.11 Εφαρμογές WiMAX στον χώρο της υγείας.....	86
3.4 Εφαρμογές WiMAX στον Ελλαδικό χώρο.....	87
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>88</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Πίνακας 1</b> - Λίστα προτύπων WiMAX.....	33
<b>Πίνακας 2</b> - Σύγκριση WiMAX με Wi-Fi.....	40
<b>Πίνακας 3</b> - WiMAX vs Wi-Fi.....	42
<b>Πίνακας 4</b> - Σχήματα διαμόρφωσης -κωδικοποίησης.....	61
<b>Πίνακας 5</b> - Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων στ φυσικό επίπεδο..	62

### Κεφάλαιο 1

<b>Εικόνα 1.1</b> - Ασύρματα δίκτυα.....	18
<b>Εικόνα 1.2</b> – Εξέλιξη των ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ελλάδα.....	20

### Κεφάλαιο 2

<b>Εικόνα 2.1</b> - Δίκτυο WiMAX.....	24
<b>Εικόνα 2.2</b> – WiMAX πλεονεκτήματα.....	29
<b>Εικόνα 2.3</b> – Δίκτυο συνεργασίας WiMAX με Wi-Fi.....	45
<b>Εικόνα 2.4</b> - Δίκτυο συνεργασίας WiMAX με Wi-Fi.....	45
<b>Εικόνα 2.5</b> – Σύγκριση τεχνολογιών Wi-Fi,3G και WiMAX.....	49
<b>Εικόνα 2.6</b> – Τεχνικές πρόσβασης G,2G,3G,4G.....	53
<b>Εικόνα 2.7</b> – Σταθμός βάσης.....	55



<b>Εικόνα 2.8</b> – Δέκτης WiMAX .....	55
<b>Εικόνα 2.9</b> – Δίκτυο WiMAX.....	58
<b>Εικόνα 2.10</b> – Διάγραμμα ενός απλού συστήματος OFDM.....	63

### **Κεφάλαιο 3**

<b>Εικόνα 3.1</b> – Εφαρμογές WiMAX.....	71
<b>Εικόνα 3.2-</b> Τραπεζικό δίκτυο.....	73
<b>Εικόνα 3.3-</b> Δίκτυο εκπαίδευσης.....	75
<b>Εικόνα 3.4-</b> Δίκτυο δημόσιας ασφάλειας.....	76
<b>Εικόνα 3.5-</b> Δίκτυο από ξηρά σε θάλασσα.....	77
<b>Εικόνα 3.6-</b> Δίκτυο πανεπιστημιούπολης.....	78
<b>Εικόνα 3.7-</b> Δίκτυο κατασκευαστικής εταιρίας.....	79
<b>Εικόνα 3.8-</b> Δίκτυο θεματικού πάρκου.....	81
<b>Εικόνα 3.9-</b> Δίκτυο παροχής ασύρματης υπηρεσίας.....	82
<b>Εικόνα 3.10-</b> Δίκτυο αγροτικής περιοχής.....	85







## Ακρωνύμια-Όροι

Ακρωνύμιο	Περιγραφή
<b>AAA</b>	Authentication, Authorization, and Accounting
<b>AAS</b>	Advanced Antenna Systems
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Loop
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard
<b>ARQ</b>	Automatic Repeat Request
<b>ASN</b>	Access Services Network
<b>ASP</b>	Application Service Provider
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying
<b>BWA</b>	Broadband Wireless Access
<b>CCK</b>	Complementary Coded Keying
<b>CLEC</b>	Competitive Local Exchange Carrier
<b>CIR</b>	Committed Information Rate
<b>CSMA/CA</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
<b>CSMA/CD</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Ethernet)
<b>DCF</b>	Distributed Control Function
<b>DES</b>	Digital Encryption Standard
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line
<b>DSSS</b>	Direct Sequence Spread Spectrum
<b>EDCA</b>	Enhanced Distributed Control Access
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>ED-VO</b>	Enhanced Version-Data Only (Data Optimized)
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex

<b>FDX</b>	Full Duplex
<b>FEC</b>	Forward Error Correction
<b>FHSS</b>	Frequency Hopping Spread Spectrum
<b>Hz</b>	Hertz (Prefix Kilo = Thousands, Mega = Millions, Giga = Billions)
<b>HARQ</b>	Hybrid-ARQ
<b>HIPERMAN</b>	High-Performance Metropolitan Area Network
<b>HUMAN</b>	High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronic Engineers
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force
<b>ILEC</b>	Incumbent Local Exchange Carrier
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific, and Medical
<b>ITU</b>	International Telecommunications Union
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LR</b>	Location Register
<b>LS</b>	Least Squares
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>MBS</b>	Multicast Broadcast Service
<b>MIMO</b>	Multiple Input-Multiple Output
<b>MMDS</b>	Multi-channel Multipoint Distribution Service
<b>MMS</b>	Multimedia Messaging Service
<b>MPDU</b>	MAC Protocol Data Unit
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>NLOS</b>	Non-Line-of-Sight
<b>NWG</b>	Network Working Group

<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>PCF</b>	Point Control Function
<b>PoP</b>	Point of presence
<b>x-QAM</b>	x-level Quadrature Amplitude Modulation
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying
<b>RC4</b>	Ron.s Code-4
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module
<b>SONET</b>	Synchronous Optical Network Interface
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TKIP</b>	Temporal Key Integrity Protocol
<b>U-NII</b>	Unlicensed National Information Infrastructure
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>WEP</b>	Wired Equivalent Privacy
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access
<b>WISP</b>	Wireless Internet Service Provider
<b>WLAN</b>	Wireless LAN
<b>WMAN</b>	Wireless Metropolitan Area Network
<b>WME</b>	Wi-Fi Multimedia Extensions
<b>WPA</b>	Wi-Fi Protected Access
<b>WRAN</b>	Wireless Regional Area Network
<b>WSM</b>	Wi-Fi Scheduled Multimedia
<b>WPA</b>	Wi-Fi Protected Access
<b>ZF</b>	Zero Forcing





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

---

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή του WiMAX, ας εξηγήσουμε κάποιες βασικές αρχές πάνω στις οποίες βασίστηκε η εξέλιξή του.

Ασύρματη δικτύωση: η μετάδοση σημάτων με χρήση των ραδιο-συχνοτήτων ως μέσου, αντί των καλωδίων. Οι ασύρματες τεχνολογίες / επικοινωνίες χρησιμοποιούνται για την διεκπεραίωση απλών εργασιών όπως είναι η αλλαγή του καναλιού στην τηλεόραση με την χρήση του τηλεκοντρόλ μέχρι πιο σύνθετες όπως την σύνδεση ενός πωλητή που βρίσκεται στον δρόμο με το κεντρικό σύστημα τιμολόγησης της εταιρίας στην οποία εργάζεται. Οι ασύρματες συσκευές, όπως ποντίκια, πληκτρολόγια, ασύρματα και κινητά τηλέφωνα έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινότητας του μέσου ανθρώπου.



Παρατηρώντας λίγο καλύτερα τον κόσμο των ασύρματων δικτύων μπορούμε με ευκολία να διακρίνουμε ότι ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους δικτύωσης είναι η τεχνολογία Wi-Fi (πρότυπο IEEE 802.11) δηλαδή τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks- WLANs)

Η συγκεκριμένη τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως σε οικιακούς χώρους ή επαγγελματικούς χώρους όπως γραφεία και διάφορες επιχειρήσεις καθώς επίσης και σε πανεπιστημιακούς χώρους και αυτό διότι η εμβέλεια του περιορίζεται μόλις στα 100 μέτρα. Καθώς όμως όπως γνωρίζουμε ο κλάδος των νέων τεχνολογιών εξελίσσεται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς, ως μία επέκταση των ασύρματων τοπικών δικτύων είναι πια τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Network- WMANs) χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως η διαδικασία πιστοποίησης και δια-λειτουργικότητας WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) του προτύπου IEEE 802.16 τα οποία προσφέρουν πρόσβαση σε πολύ μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης με γρηγορότερους ρυθμούς διάδοσης και με μεγαλύτερο αριθμό υποστηριζόμενων χρηστών ταυτόχρονα. Με αυτήν την τεχνολογία WiMAX θα ασχοληθούμε εκτενέστερα και λεπτομερειακώς στα επόμενα κεφάλαια.

Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων, παρατίθενται παρακάτω

- **Κινητικότητα:** Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών επιτρέπουν στους χρήστες τους να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες οπουδήποτε, χωρίς να περιορίζονται από τους περιορισμούς που τίθενται από το “καλώδιο”.
- **Προσβασιμότητα:** Οι ασύρματες επικοινωνίες επιτρέπουν την ευκολότερη διασύνδεση και προσβασιμότητα καταρύπτοντας τους περιορισμούς που μπορεί να υπάρχουν λόγω απόστασης, τοποθεσίας ή τοπολογίας.
- **Απλότητα:** Τα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών εγκαθίστανται και αναπτύσσονται γρηγορότερα και ευκολότερα από τα αντίστοιχα ενσύρματα. Το κόστος εγκατάστασης είναι συνήθως μεγαλύτερο, αλλά τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους της επικοινωνίας ξεπερνούν αυτό το αρχικό κόστος.
- **Συντήρηση:** Το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για την συντήρηση των ασύρματων δικτύων είναι σημαντικά χαμηλότερο λόγω της φύσης τους.
- **Υπηρεσίες Περιαγωγής:** Χρησιμοποιώντας κάποιο είδος ασύρματης δικτύωσης, γίνεται δυνατή η παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε, ακόμα και σε χρήστες οι οποίοι κινούνται, όπως για παράδειγμα σε ένα πλοίο ή ακόμα και στο αεροπλάνο κατά την διάρκεια της πτήσης.
- **Νέες Υπηρεσίες:** Οι ασύρματες επικοινωνίες δίνουν την δυνατότητα νέων υπηρεσιών ή διευρύνουν τις δυνατότητες ήδη υπάρχοντων υπηρεσιών. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι το SMS, το FaceTime κτλ.

Γενικά, η δημιουργία και η ανάπτυξη των ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ικανότητα να μεταφέρουν φωνή και δεδομένα με πακετική οργάνωση.
- Εξασφάλιση διαλειτουργικότητας μεταξύ κινητών μονάδων με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά
- Διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων απαλλαγμένο από παρεμβολές



Εικόνα 1.1 - ασύρματα δίκτυα

## 1.2 ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

- **Συνεχιζόμενη ανάπτυξη της ευρυζωνικής αγοράς.**

Οι ευρυζωνικές συνδέσεις στα μέσα του 2016 έφτασαν τις 3.521.268 (διείσδυση 32,43% στον πληθυσμό), έναντι 3.486.937 τον Μάρτιο 2016 (διείσδυση 32,11%) και 3.427.026 στο τέλος του 2015 (διείσδυση 31,56%), σημειώνοντας αύξηση 34.331 γραμμών κατά τη διάρκεια του τριμήνου και 94.242 κατά τη διάρκεια του εξαμήνου.

- **Άνοδος αλλά ακόμη χαμηλή διείσδυση του VDSL**

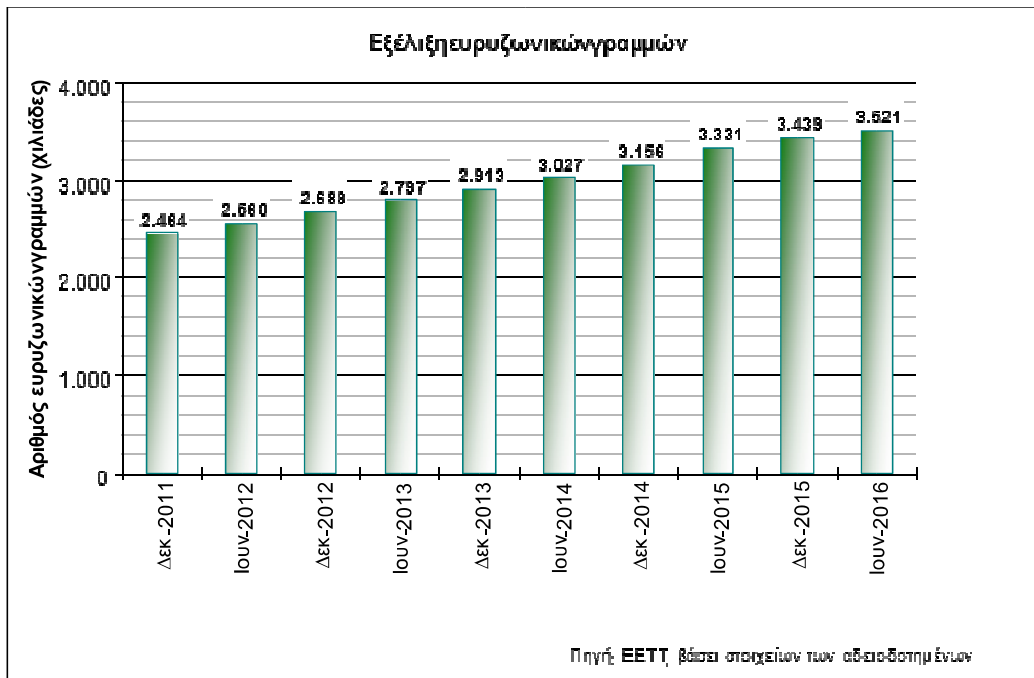
Το ποσοστό των γραμμών VDSL επί του συνόλου των ευρυζωνικών γραμμών στα μέσα του 2016 ανήλθε σε 6,5% έναντι 5,8% στο τέλος του πρώτου τριμήνου του έτους. Αντίστοιχα χαμηλή παραμένει η διείσδυσή τους στον πληθυσμό (2,1%).

- **Εξέλιξη ευρυζωνικών γραμμών**

Οι ευρυζωνικές συνδέσεις στα μέσα του 2016 έφτασαν τις 3.521.268, σημειώνοντας αύξηση σχεδόν 1% κατά τη διάρκεια του τριμήνου και 2,4% κατά τη διάρκεια του εξαμήνου. Η ευρυζωνική διείσδυση στον πληθυσμό έφθασε το 32,43% έναντι 32,11% τον Μάρτιο του 2016 και 31,68% στα τέλη του 2015.

Ελλείπει νεώτερης πανευρωπαϊκής μέτρησης αναφορικά με την ευρυζωνική διείσδυση στα κράτη μέλη της Ε.Ε (η τελευταία διαθέσιμη αναφέρεται στον Ιούλιο 2015), δεν παρατίθεται το αντίστοιχο συγκριτικό διάγραμμα.

Τα παρακάτω στοιχεία (εικόνα 1.2) παρουσιάζουν την πορεία της ευρυζωνικότητας στον Ελλαδικό χώρο σύμφωνα με την εξαμηνια αναφορά της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ –Α' Εξάμηνο 2016).



**Εικόνα 1.2-- Εξέλιξη των ευρυζωνικών συνδέσεων στην Ελλάδα**

### 1.3 Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι δημιουργίας ενός ασύρματου δικτύου:

- **Γέφυρα σημείο προς σημείο (Point-to-Point):** Η γέφυρα χρησιμοποιείται για την ασύρματη διασύνδεση δύο δικτύων. Κάθε σημείο δικτύου συνδέεται αποκλειστικά με ένα άλλο σημείο. Για παράδειγμα αυτό το είδος τοπολογίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διασύνδεση δύο κτηρίων, τα οποία έχουν το δικό τους τοπικό ενσύρματο δίκτυο LAN.
- **Γέφυρα σημείου προς πολλά σημεία (Point-to-Multipoint):** Αυτή η τοπολογία χρησιμοποιείται για την διασύνδεση τριών ή περισσότερων τοπικών δικτύων. Σε αυτή την τοπολογία ένα σημείο μπορεί να συνδεθεί με περισσότερα από ένα σημεία.
- **Πλεγματικά Δίκτυα (Mesh) ή δίκτυα Ad-Hoc:** κάθε σταθμός είναι και τελική συσκευή και δικτυακό στοιχείο προώθησης. Τα δίκτυα πλέγματος είναι από την φύση τους αυτοθεραπευόμενα και πλεονάζοντα.

## 1.4 Ασύρματες Τεχνολογίες

Οι τεχνολογίες ασύρματων δικτύων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή κάλυψης του ασύρματου δικτύου. Κάθε ασύρματη τεχνολογία είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να ικανοποιεί ανάλογες απαιτήσεις που προσδιορίζονται από την χρήση της τεχνολογίας. Αυτές οι απαιτήσεις είναι κυρίως η ακτίνα κάλυψης, το εύρος ζώνης και η ισχύς που καταναλώνεται.

- **Προσωπικά Ασύρματα δίκτυα - Wireless Personal Area Network (WPAN)**

Τα δίκτυα αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ συσκευών, όπως για παράδειγμα για την επικοινωνία του κινητού τηλεφώνου με ένα ασύρματο hands-free. Έχουν ακτίνα κάλυψης από μερικά εκατοστά έως λίγα μέτρα. Κυριότερες τεχνολογίες αυτής κατηγορίας είναι το Bluetooth, οι υπέρυθρες (IrDA), ZigBee κτλ.

- **Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα - Wireless Local Area Network (WLAN):**

Αυτού του είδους τα δίκτυα χρησιμοποιούνται για την ασύρματη δικτύωση συσκευών που βρίσκονται στον ίδιο χώρο, όπως για παράδειγμα στον ίδιο όροφο ενός κτηρίου. Όπως και ενσύρματα τοπικά δίκτυα έχουν την δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ευρύτερα ασύρματα ή ενσύρματα δίκτυα όπως το Διαδίκτυο (Internet). Η ακτίνα κάλυψής τους κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως και μερικές δεκάδες μέτρα. Κυριότερη τεχνολογία σε αυτό το είδος δικτύων είναι το Wi-Fi και πιο συγκεκριμένα οι εκδόσεις 802.11b/g/n. Τα δίκτυα αυτού του είδους, όπως και τα προσωπικά ασύρματα δίκτυα, παρέχουν μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης σε αντίθεση με τα παραδοσιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που ήταν σχεδιασμένα μόνο για την μετάδοση φωνής.

- **Μητροπολιτικά Ασύρματα Δίκτυα - Wireless Metropolitan Area Network (WMAN):**

Τα μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα καλύπτουν μεγάλες περιοχές όπως πόλεις ή τομείς πόλεων και χρησιμοποιούνται για την παροχή πρόσβασης στο Διαδίκτυο ή άλλες πολυμεσικές τεχνολογίες όπως η μετάδοση εικόνας και βίντεο.

- **Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής - Wireless Wide Area Network (WWAN)**

Τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής παρέχουν την μεγαλύτερη δυνατή ακτίνα κάλυψης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

## 1.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Παρόλο που υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα με το ασύρματο δίκτυο υπάρχουν και μερικά προβλήματα. Αυτά αφορούν τρεις κατηγορίες: ταχύτητα, κόστος και ασφάλεια.

Παρακάτω θα δούμε με περισσότερες λεπτομέρειες τα μειονεκτήματα που αφορούν αυτές τις τρεις κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα :

- **Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS):** Ένα από τα κυριότερα προβλήματα κατά την χρήση τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης είναι η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η διάφορες παρεμβολές και η απώλεια πακέτων είναι κάποια από τα συνήθη προβλήματα των πρωτοκόλλων ασύρματης δικτύωσης.
- **Ακτίνα Λήψης:** Όλα τα πρότυπα ασύρματης δικτύωσης έχουν μια μέση και μια μέγιστη ακτίνα μετάδοσης / λήψης. Αυτή η απόσταση μπορεί να μεταβληθεί εύκολα από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η γεωγραφία της περιοχής, η οπτική επαφή των κεραιών εκπομπής και λήψης, οι καιρικές συνθήκες, οι διάφορες πηγές παρεμβολών που μπορεί να υπάρχουν.
- **Ασφάλεια Πληροφοριών:** Τα ραδιοκύματα αποτελούν ένα μέσο μετάδοσης το οποίο είναι “εύκολα” προσβάσιμο από τον καθένα. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι πιθανά οποιοσδήποτε έχει πρόσβαση σε μια κεραία μπορεί να υποκλέψει πληροφορίες οι οποίες δεν απευθύνονται σε αυτών ή να μεταδώσει λανθασμένα δεδομένα προσποιούμενος την ταυτότητα κάποιου άλλου. Γι’ αυτόν το λόγο τα πρωτόκολλα ασύρματης δικτύωσης υποστηρίζουν μηχανισμούς ασφάλειας δεδομένων οι οποίοι παρέχουν εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα των μεταδιδόμενων πληροφοριών.
- **Κόστος :** Το κόστος είναι ένας ακόμα λόγος που μπορεί ένα ασύρματο δίκτυο να μην πληροί τις ανάγκες σας. Παρόλο που οι τιμές τα τελευταία χρόνια έχουν πέσει αρκετά και οι συσκευές είναι πιο προσιτές στους καταναλωτές παραμένουν να είναι αρκετά ακριβές. Για παράδειγμα: μία κάρτα δικτύου μπορεί να στοιχίζει και 20Ευρώ ενώ ένα αντίστοιχο σύστημα μπορεί να στοιχίσει ακόμα και δύο με τρεις φορές περισσότερο.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ WiMAX ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16

---

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το WiMAX είναι ακρωνύμιο του Worldwide Interoperability for Microwave Access (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Μικρό-κυματική Πρόσβαση). Βασίζεται σε ασύρματη τεχνολογία μητροπολιτικών δικτύων. Είναι μια ασύρματη τεχνολογία που έχει βελτιστοποιηθεί ώστε να παρέχει υπηρεσίες IP σε ευρείες περιοχές. Μια κλιμακούμενη ασύρματη πλατφόρμα για την κατασκευή εναλλακτικών και συμπληρωματικών ευρυζωνικών δικτύων. Μια πιστοποίηση που δηλώνει την συμβατότητα του εξοπλισμού με το πρότυπο IEEE 802.16. Το IEEE 802.16 Working Group αναπτύσσει πρότυπα που αφορούν δύο τύπους μοντέλων χρήσης:

Ένα μοντέλο για χρήση από σταθερό σημείο (IEEE 802.16-2004)

Ένα μοντέλο για χρήση από φορητές συσκευές (IEEE 802.16e)

Είναι μια από τις πιο σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες ευρείας ζώνης. Τα συστήματα WiMAX παρέχουν υπηρεσίες πρόσβασης ευρείας ζώνης σε οικιακούς πελάτες και επαγγελματίες με οικονομικό τρόπο.

Γενικά το WiMAX μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια ασύρματη μορφή του Ethernet που προορίζεται κυρίως ως εναλλακτική των ενσύρματων τεχνολογιών (DSL, T1/E1 κτλ.) για την παροχή ευζωνικής πρόσβασης σε εγκαταστάσεις του πελάτη.

Πιο αυστηρά, το WiMAX Forum είναι ένας εμπορικός - βιομηχανικός οργανισμός που έχει δημιουργηθεί από κορυφαίες εταιρίες, οι οποίες ασχολούνται με την κατασκευή τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού με σκοπό την προώθηση και

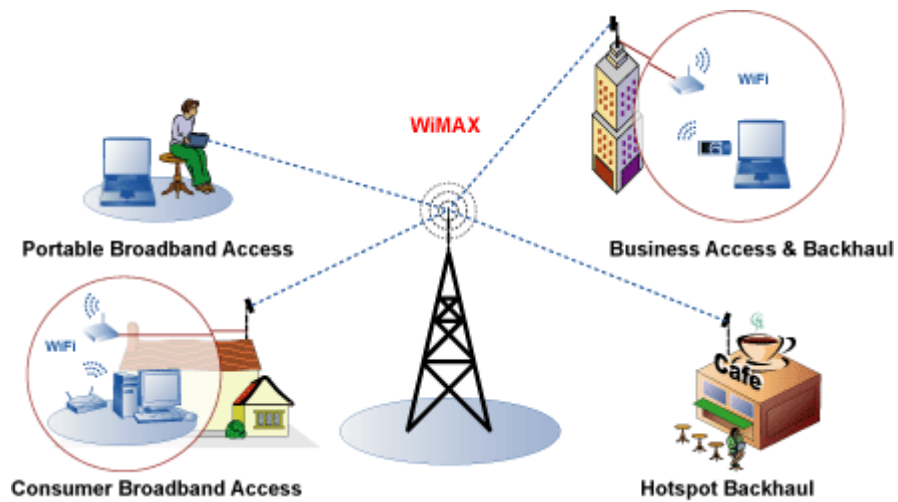


πιστοποίηση εξοπλισμού που κατασκευάζεται σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HIPERMAN.

Το πρότυπο WiMAX λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το Wi-Fi αλλά υποστηρίζει υψηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερες αποστάσεις και μεγαλύτερο αριθμό χρηστών. Το WiMAX έχει την δυνατότητα να παρέχει υπηρεσίες ακόμα και σε περιοχές που είναι δύσκολο να φτάσει

η ενσύρματη υποδομή, όπως και την ικανότητα να ξεπεράσει τους φυσικούς περιορισμούς των παραδοσιακών ενσύρματων υποδομών.

Το WiMAX forum ιδρύθηκε τον Ιούνιο του 2001, εν αναμονή της δημοσίευσης των αρχικών προδιαγραφών του 10-66 GHz IEEE 802.16. Το WiMAX forum είναι για το πρότυπο 802.16 ότι είναι η Wi-Fi Alliance για το πρότυπο 802.11.



2.1 Δίκτυο WiMAX



## 2.2 WiMAX Ταχύτητα και Κάλυψη

Το WiMAX προσφέρει, σε πρώτη φάση, χωρητικότητα 40Mbps ανά ασύρματο κανάλι τόσο για σταθερές όσο και για κινητές εφαρμογές της τεχνολογίας, ανάλογα με την συγκεκριμένη τεχνική διαμόρφωση που έχει επιλεγεί και επαρκεί ώστε να υποστηρίξει εκατοντάδες επιχειρήσεις που τώρα χρησιμοποιούν ταχύτητες T1 και χιλιάδες οικιακές εγκαταστάσεις που τώρα χρησιμοποιούν ταχύτητες επιπέδου DSL. Το WiMAX μπορεί να υποστηρίξει φωνή, βίντεο και δεδομένα.

Μπορεί να παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε κτήρια, είτε ανταγωνιζόμενο υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα ή μόνο του σε περιοχές που σήμερα δεν εξυπηρετούνται από ενσύρματες εγκαταστάσεις όπως αγροτικές ή αραιοκατοικημένες περιοχές. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει ασύρματα τοπικά δίκτυα με το Διαδίκτυο. Το WiMAX μπορεί επίσης να παρέχει ευρυζωνική συνδεσιμότητα σε κινητές συσκευές. Η ταχύτητά του σε αυτήν την εφαρμογή της τεχνολογίας δεν είναι το ίδιο γρήγορη αλλά οι προσδοκίες είναι για περίπου 15Mbps χωρητικότητα σε κυψέλες που καλύπτουν 3km έκταση.

Χρησιμοποιώντας το WiMAX, οι χρήστες θα μπορούν να απεμπλακούν από τις σημερινές τους ρυθμίσεις σχετικά με την πρόσβαση στο Διαδίκτυο (DSL, 3G κτλ.) και να χρησιμοποιήσουν ευρυζωνικές ταχύτητες από οποιαδήποτε σημείο μέσα στην περιοχή κάλυψης.

Το WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες ζώνες του ραδιοφάσματος: 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz και 5.8GHz.

## 2.3 Γιατί να χρησιμοποιηθεί το WiMAX;

- Το WiMAX μπορεί να ικανοποιήσει μια ποικιλία αναγκών πρόσβασης. Πιθανές εφαρμογές της τεχνολογίας περιλαμβάνουν την επέκταση των ευρυζωνικών δυνατοτήτων ώστε να έρθουν πιο κοντά στο καταναλωτικό κοινό, την κάλυψη του κενού ανάμεσα σε υπηρεσίες όπως το DSL και το T1, την ενοποίηση υπηρεσιών όπως το Wi-Fi και το 3G, την πρόσβαση σε εγκατεστημένα αστικά δίκτυα οπτικών και την προσφορά μιας φθηνότερης εναλλακτικής για παρόχους υπηρεσιών πρόσβασης στο Διαδίκτυο.
- Το WiMAX μπορεί να υποστηρίξει λύσεις που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης σε υλοποιήσεις όπου είναι επιθυμητό μεγάλο εύρος ζώνης (πχ μεγαλύτερο των 10 MHz), ενώ ταυτόχρονα γίνεται χρήση της υπάρχουσας υποδομής και το κόστος παραμένει χαμηλό.
- Το WiMAX μπορεί να βοηθήσει τους παρόχους υπηρεσιών να αντιμετωπίσουν προκλήσεις που προκύπτουν λόγω της αυξανόμενης ζήτησης χωρίς να απαιτείται η αντικατάσταση των υπάρχουσών επενδύσεων σε υποδομή. Το WiMAX διαθέτει τη δυνατότητα να συλλειτουργεί με διάφορους τύπους δικτύων.
- Το WiMAX μπορεί να παρέχει κάλυψη σε μεγάλες περιοχές και ποιότητα υπηρεσίας, που απαιτείται από τους καταναλωτές ανάλογα με τον τύπο της υπηρεσίας που χρησιμοποιούν, σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν το VoIP και την μετάδοση βίντεο (streaming) σε πραγματικό χρόνο και τους περιορισμούς καθυστέρησης που αυτά θέτουν, όπως επίσης και το κατέβασμα ήχου και βίντεο σε μη πραγματικό χρόνο.
- Το WiMAX είναι μια ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία που βασίζεται στο IP και η οποία μπορεί να ενταχθεί τόσο σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (3G), σε ασύρματα δίκτυα, όσο και σε ενσύρματους κορμούς δικτύων, γεγονός που του επιτρέπει να γίνει μέρος οποιασδήποτε υπάρχουσας εγκατάστασης ευρυζωνικής πρόσβασης.

## 2.4 Στόχοι και κύρια πλεονεκτήματα

Ένα σωστά σχεδιασμένο πρότυπο δεν είναι αρκετό από μόνο του, ώστε να επιτρέψει / επιβάλει την μαζική υιοθέτησή του. Γι' αυτό το λόγο το WiMAX έχει κάνει βήματα που θα βοηθήσουν στην αποφυγή εμποδίων υιοθέτησης. Τέτοια βήματα είναι η πρόβλεψη για διαλειτουργικότητα και το χαμηλό κόστος υλοποίησης. Στόχος των παραπάνω είναι η άνθιση της βιομηχανίας που κατασκευάζει εξοπλισμό για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα. Ο εξοπλισμός ο οποίος κατασκευάζεται σύμφωνα με το πρότυπο και έχει ελεγχθεί ότι προσφέρει πλήρη συμβατότητα φέρει την σήμανση "WiMAX Certified".

Αυτό που ώθησε την εμπορική αγορά των ασύρματων δικτύων να στραφεί προς την τεχνολογία WiMAX είναι η υψηλή αποδοτικότητα της τεχνολογίας αυτής, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος υλοποίησης. Το WiMAX προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στους παρόχους, όσο και στους χρήστες, για διαφορετικά περιβάλλοντα και σε διαφορετικές γεωγραφικές και δημογραφικές περιοχές.

- **Ευέλικτη αρχιτεκτονική:** Ένα WiMAX δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί με πολλές αρχιτεκτονικές δομές. Ο σχεδιασμός του δικτύου κορμού (backbone network) δεν απαιτείται να ακολουθεί κάποια αυστηρά ορισμένη αρχιτεκτονική και επομένως, δομές όπως σημείο-προς-σημείο (Point-to-Point), σημείο-προς-πολλαπλά-σημεία (Point-to-Multipoint), αλλά ακόμη και ευρεία εκπομπή (broadcast), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίησή του.
- **Υψηλή ασφάλεια:** Η κρυπτογράφηση που υιοθετεί το πρότυπο 802.16 είναι τα αξιόπιστα πρότυπα AES (Advanced Encryption Standard) και 3DES (Triple Data Encryption Standard). Η κρυπτογράφηση είναι σε όλα τα δίκτυα –ιδιαίτερα στα ασύρματα- ένα πολύ σημαντικό κομμάτι. Η κρυπτογράφηση που ακολουθούν τα δίκτυα WiMAX είναι πολύ ισχυρή και εξασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση των πληροφοριών των χρηστών. Η κρυπτογράφηση όμως δεν αφορά μόνο την ασφάλεια κατά τη μετάδοση της πληροφορίας των συνδρομητών, αλλά παρέχει επίσης στους παρόχους υψηλή προστασία εναντίον της κλοπής υπηρεσιών από μη πιστοποιημένους συνδρομητές.

- **Γρήγορη εγκατάσταση και ανάπτυξη:** Σε σχέση με τα ενσύρματα ευρυζωνικά δίκτυα είναι προφανές ότι η τεχνολογία WiMAX υπερτερεί, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδιώσεων, ενώ οι δημιουργία σταθμών μεταγωγής και δρομολόγησης είναι απλούστερη. Για την κατασκευή ενός δικτύου WiMAX το μοναδικό ίσως χρονοβόρο και γραφειοκρατικό κομμάτι είναι η απόκτηση αδειών εκπομπής στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, ενώ στα αντίστοιχα ενσύρματα δίκτυα απαιτούνται άδειες από περισσότερους φορείς λόγω των πολλών εγκαταστάσεων που πρέπει να κατασκευαστούν. Τέλος, γενικά η υλοποίηση ενός δικτύου WiMAX σε μία περιοχή είναι σημαντικά λιγότερο χρονοβόρα διαδικασία.
  
- **Υπηρεσία πολλαπλών επιπέδων:** Η δυνατότητα που δίνει στους παρόχους η τεχνολογία WiMAX να προσαρμόζουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (Quality of Service - QoS), ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε συνδρομητή, αποτελεί ένα ισχυρό επιχειρηματικό εργαλείο. Με αυτή την ιδιότητα οι πάροχοι μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετικά συνδρομητικά πακέτα και να απευθυνθούν σε μεγαλύτερο εύρος συνδρομητών, ή ακόμα και να αφήσουν τους ίδιους τους συνδρομητές να επιλέξουν τις υπηρεσίες και την ποιότητα που επιθυμούν από το δίκτυο.
  
- **Διαλειτουργικότητα:** Πίσω από την τεχνολογία των δικτύων WiMAX βρίσκεται ένα πλήρως ορισμένο και σύγχρονο πρότυπο, που διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα των συσκευών τόσο από τη μεριά των παρόχων, όσο και από τη μεριά των συνδρομητών. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζεται από τους συνεχείς ελέγχους που διεξάγονται στον εξοπλισμό από το WiMAX Forum Certified™. Κάθε συσκευή που κυκλοφορεί στο εμπόριο διαθέτει πιστοποίηση, σύμφωνα με την οποία εγγυάται στον τελικό καταναλωτή η ομαλή λειτουργία σε οποιοδήποτε δίκτυο WiMAX.
  
- **Φορητότητα:** Ένας συνδρομητικός σταθμός μπορεί να έχει πρόσβαση σ' ένα δίκτυο WiMAX ενός συγκεκριμένου παρόχου και να κάνει χρήση των υπηρεσιών του δικτύου από οποιοδήποτε σημείο υπάρχει διαθέσιμη ράδιο-κάλυψη. Αυτό συμβαίνει σε κάθε σύγχρονο κυψελωτό δίκτυο και οφείλεται στις θεσπισμένες διαδικασίες αναγνώρισης και επικύρωσης, που διαθέτει και το WiMAX. Επομένως, οι συνδρομητές έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη συσκευή τους σε διαφορετικές θέσης του δικτύου και να διατηρούν τη πρόσβασή τους με αυτό.
  
- **Χαμηλό κόστος:** Το WiMAX είναι βασισμένο σε ένα ανοιχτό, παγκόσμιο πρωτόκολλο. Η μαζική αποδοχή του και η χρήση ηλεκτρονικών (chipsets) χαμηλού κόστους μαζικής παραγωγής, θα οδηγήσει σε δραματική μείωση του κόστους και το αποτέ-

λεσμα του ανταγωνισμού στις τιμές θα παρέχει σημαντικές οικονομίες για τους παρόχους υπηρεσιών και τους τελικούς χρήστες.

- **Υψηλή χωρητικότητα:** Η ποικιλία στο εύρος ζώνης καναλιού σε συνδυασμό με την προσαρμοστική διαμόρφωση επιδρούν στην αύξηση της χωρητικότητας του εκάστοτε καναλιού και ως επέκταση και του συνολικού συστήματος. Γενικά, η τεχνολογία WiMAX προσφέρει υψηλότερα επίπεδα χωρητικότητας από τις αντίστοιχες ανταγωνίστριές της.



## 2.2 WiMAX πλεονεκτήματα

- **Πλεονεκτήματα για τους κατασκευαστές εξαρτημάτων**
  - Δημιουργεί μια νέα γκάμα εξαρτημάτων
- **Πλεονεκτήματα για τους κατασκευαστές εξοπλισμού**
  - Ευνοεί την γρήγορη καινοτομία αφού παρέχει ένα πρότυπο για τη δημιουργία μιας σταθερής πλατφόρμας πάνω στην οποία μπορούν να προστεθούν νέες δυνατότητες.
  - Δεν υπάρχει ανάγκη για δημιουργία όλων των τμημάτων για μια λύση απ' άκρο σε άκρο.

- **Πλεονεκτήματα για τις επιχειρήσεις**

Μια κοινή πλατφόρμα η οποία προκαλεί πτώση του κόστους του εξοπλισμού και επιταχύνει βελτιώσεις τιμής / απόδοσης, πράγμα που θα ήταν αδύνατο με μη προτυποποιημένες λύσεις.

- Δημιουργία εσόδων από την κάλυψη κενών στην ευρυζωνική πρόσβαση.
- Γρήγορη παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών επιπέδου T1/E1 με μεγάλο περιθώριο κέρδος.
- Μείωση του οικονομικού κινδύνου που προέρχεται από την χρήση / εγκατάσταση εξοπλισμού αυτού του είδους αφού το κόστος κτήσης θα είναι χαμηλότερο λόγω των οικονομικών κλίμακας.
- Απεμπλοκή από την επιλογή ενός μόνο προμηθευτή αφού οι σταθμοί βάσης θα μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους λόγω της προτυποποίησης.

- **Πλεονεκτήματα για τους καταναλωτές**

- Περισσότερες επιλογές ευρυζωνικής πρόσβαση, ειδικά σε περιοχές στις οποίες παρουσιάζονται κενά στην παροχή υπηρεσιών: Αστικά κέντρα στα οποία η πρόσβαση σε κτήρια είναι δύσκολη, προαστιακές περιοχές στις οποίες οι συνδρομητές των υπηρεσιών είναι πολύ μακριά από το κέντρο και σε αγροτικές ή αραιοκατοικημένες περιοχές στις οποίες η υποδομή είναι ελάχιστη.
- Μεγαλύτερος αριθμός επιλογών για ευρυζωνική πρόσβαση θα δημιουργήσει ανταγωνισμό ανάμεσα στους παρόχους υπηρεσιών που με τη σειρά του θα μειώσει το κόστος των μηνιαίων παγίων.

## 2.5 Τί είναι το 802.16

### 2.5.1 Εισαγωγή

Το WiMAX είναι ένας διαδεδομένος όρος που χρησιμοποιείται για τα πρότυπα 802.16 και την ίδια την τεχνολογία, παρόλο που αυστηρά θα έπρεπε να χαρακτηρίζει μόνο συστήματα που πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία έχουν τεθεί από το WiMAX Forum.

Το πρότυπο 802.16a για την μπάντα των 2-11 GHz, είναι μια ασύρματη τεχνολογία για μητροπολιτικά δίκτυα η οποία παρέχει ευρυζωνική ασύρματη συνδεσιμότητα σε σταθερές και φορητές συσκευές.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνδεση hot spot που χρησιμοποιούν το 802.11 στο Διαδίκτυο, να παρέχει συνδεσιμότητα μεταξύ τοπικών δικτύων και να παρέχει μια εναλλακτική του DSL για ευρυζωνική πρόσβαση τελευταίου μιλίου

Η ομάδα εργασίας 802.16 του IEEE ιδρύθηκε το 1999 και έκτοτε έχει αναπτύξει διάφορες εκδόσεις προτύπων ραδιοδιεπαφής (Air Interface) για ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα με έμφαση στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer - PHY) και στο υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control - MAC). Τα πρότυπα IEEE 802.16x ορίζουν τη δομή των λειτουργιών του φυσικού στρώματος και του στρώματος ζεύξεως δεδομένων που εμφανίζονται μεταξύ του σταθμού βάσης (Base Station - BS) και του σταθμού του συνδρομητή (Subscriber Station - SS). Τα ανώτερα στρώματα δεν καθορίζονται από το συγκεκριμένο πρότυπο. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του 802.16 για το φυσικό επίπεδο και το στρώμα MAC, αφήνουν πολλές επιλογές και επιτρέπουν διάφορες υλοποιήσεις για τα χαρακτηριστικά του σταθμού βάσης και του κινητού σταθμού (Mobile Station - MS), τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε ασύμβατα προϊόντα εάν δεν ληφθεί ειδική μέριμνα. Αυτά τα πρότυπα IEEE είναι τα παρακάτω :

- 802.16-2001
- 802.16.2-2001
- 802.16c-2002
- 802.16a-2003
- 802.16b
- 802.16c
- 802.16a
- 802.16d
- 802.16-2004

- 802.16.2-2004
- 802.16e
- 802.16m
- 802.16f-2005
- 802.16k-2007
- 802.16g-2007
- 802.16i
- 802.16-2009
- 802.16j-2009
- 802.16h-2010
- 802.16m-2011
- 802.16n
- 802.16p

Κάποια από αυτά έχουν αντικατασταθεί ,άλλα συγχωνεύθηκαν ή αποσύρθηκαν και κάποια ισχύουν η βρίσκονται σε εξέλιξη.Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται αναλυτικά τα πρότυπα που ανήκουν στο WiMAX.

Πρότυπο		Περιγραφή
<b>802.16-2001</b>	Fixed Broadband Wireless Access (10–66 GHz)	Αντικαταστάθηκε
<b>802.16.2-2001</b>	Recommended practice for coexistence	Αντικαταστάθηκε
<b>802.16c-2002</b>	System profiles for 10–66 GHz	Αντικαταστάθηκε
<b>802.16a-2003</b>	Physical layer and MAC definitions for 2–11 GHz	Αντικαταστάθηκε
<b>P802.16b</b>	License-exempt frequencies	Αποσύρθηκε
<b>P802.16d</b>	Maintenance and System profiles for 2–11 GHz (Έχει συγχωνευθεί στο 802.16-2004)	Συγχωνεύθηκε
<b>802.16-2004</b>	Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System  (Σύμπτυξη των 802.16–2001, 802.16a, 802.16c και P802.16d)	Αντικαταστάθηκε
<b>P802.16.2a</b>	Coexistence with 2–11 GHz and 23.5–43.5 GHz (Έχει συγχωνευθεί στο 802.16.2-2004)	Συγχωνεύθηκε
<b>802.16.2-2004</b>	Recommended practice for coexistence  (Συντήρηση και σύμπτυξη των 802.16.2–2001 και	Ισχύον



	P802.16.2a)	
802.16f-2005	Management Information Base (MIB) for 802.16-2004	Αντικαταστάθηκε
802.16-2004 / Cor 1-2005	Corrections for fixed operations (Κοινή δημοσίευση με το 802.16e-2005)	Αντικαταστάθηκε
802.16e-2005	Mobile Broadband Wireless Access System	Αντικαταστάθηκε
802.16k-2007	Bridging of 802.16 (Τροποποίηση του IEEE 802.1D)	Ισχύον
802.16g-2007	Management Plane Procedures and Services	Αντικαταστάθηκε
P802.16i	Mobile Management Information Base (Έχει συγχω- νευθεί στο 802.16-2009)	Συγχωνεύθηκε
802.16-2009	Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System (Σύμπτυξη των 802.16-2004, 802.16-2004/Cor 1, 802.16e, 802.16f, 802.16g και P802.16i)	Ισχύον
802.16j-2009	Multihop relay	Ισχύον
802.16h-2010	Improved Coexistence Mechanisms for License-Exempt Operation	Ισχύον
802.16m- 2011	Advanced Air Interface with data rates of 100 Mbit/s mobile and 1 Gbit/s fixed.  Επίσης γνωστό ως <i>Mobile WiMAX Release 2</i> ή <i>Wire- lessMAN-Advanced</i> .  Σκοπός του είναι η εκπλήρωση των ITU-R IMTAdvanced requirements των συστημάτων <a href="#">4G</a> .	Ισχύον
P802.16n	Higher Reliability Networks	Σε Εξέλιξη
P802.16p	Enhancements to Support Machine-to-Machine Appli- cations	Σε Εξέλιξη

Πίνακας 1 :λίστα προτύπων του WiMAX

## 2.5.2 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.16-2004

(μοντέλο για χρήση από σταθερό σημείο)

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 αποτελεί ουσιαστικά την συγχώνευση των υπό-προτύπων IEEE 802.16a,c και d κάτω από μία ενιαία μορφή, ώστε να περιγράφεται πλήρως η λειτουργία των δικτύων WiMAX. Πιο συγκεκριμένα διασφαλίζονται ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των 63 Mbps στην κάτω ζεύξη (downlink) και 28 Mbps στην άνω ζεύξη (uplink) για κάθε κανάλι εύρους 10 MHz. Το πρότυπο αυτό αναφέρεται επίσης και ως «σταθερής ασύρματης σύνδεσης» (fixed Wireless), επειδή για την επικοινωνία με το δίκτυο ο συνδρομητής πρέπει να έχει εγκατεστημένη μια κεραία σε κάποιο σταθερό σημείο. Η κεραία αυτή τοποθετείται συνήθως σε εξωτερικό χώρο, όπως για παράδειγμα σε μια στέγη ή σ' έναν ιστό με τρόπο παρόμοιο με αυτόν ενός δορυφορικού πιάτου τηλεόρασης. Επιπλέον το πρότυπο 802.16-2004 ασχολείται περιγραφικά με τη δομή και τον τρόπο σύνδεσης των συσκευών της εσωτερικής εγκατάστασης (indoor installation) που απαιτούνται. Συνοπτικά το πρότυπο αυτό βελτιώνει τη χρήση των δικτύων WiMAX σε εφαρμογές τελευταίου μιλίου (last mile applications) γύρω από τους εξής βασικούς παράγοντες:

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

Η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών και η καθυστέρηση διάδοσης είναι δύο παράγοντες που εμφανίζονται σε αστικό περιβάλλον όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ του σταθμού βάσης και του σταθμού του συνδρομητή και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου.

Το στρώμα MAC που περιγράφεται στο πρότυπο 802.16-2004 βελτιστοποιείται για συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, επειδή έχει σχεδιαστεί να ανέχεται μεγαλύτερες καθυστερήσεις. Ο WiMAX εξοπλισμός που λειτουργεί στις μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιεί αποκλειστικά πρόσβαση με πολυπλεξία στο χρόνο (Time Division Multiplex Access - TDMA), ενώ στον αντίστοιχο που λειτουργεί στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων η πρόσβαση πραγματοποιείται είτε με πολυπλεξία στο χρόνο, είτε με πολυπλεξία στη συχνότητα (Frequency Division Multiplex Access - FDMA). Πλέον το πρότυπο 802.16-2004 έχει καθιερώσει πολυπλεξία με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplex - OFDM), για τη βελτιστοποίηση των ασύρματων υπηρεσιών. Θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στην πολυπλεξία με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας σε επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος, το πρότυπο 802.16-2004 προσφέρει ένα σύγχρονο πρωτόκολλο πρόσβασης αιτήματος-χορήγησης (carrier sense multiple access/ collision detection - CSMA/CD), με το οποίο αποτρέπονται οι συγκρούσεις δεδομένων μεταξύ του σταθμού βάσης και των συνδρομητών καθώς καθορίζεται από το σταθμό βάσης ποιος συνδρομητής έχει δικαίωμα να μετα-

δώσει δεδομένα κάθε χρονική στιγμή. Με τον τρόπο αυτό το διαθέσιμο εύρος ζώνης χρησιμοποιείται αποτελεσματικότερα, αφού η αποφυγή συγκρούσεων συνεπάγεται την αποφυγή απασχόλησης του διαθέσιμου εύρους ζώνης για αναμετάδοση δεδομένων. Επιπλέον χαρακτηριστικά του προτύπου είναι: Βελτιωμένη

➤ συνδεσιμότητα των χρηστών:

Το 802.16-2004 προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στην ποιότητα των υπηρεσιών, καθώς διαθέτει κανάλια διαφορετικού πλάτους και στενότερα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερους συνδεδεμένους χρήστες. Επίσης, λόγω της προσαρμοστικής διαμόρφωσης μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης ανά χρήστη, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του καθενός.

➤ Υψηλότερη ποιότητα υπηρεσίας:

Το πρότυπο μπορεί να εξασφαλίσει QoS σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε πελάτη, που απορρέουν από τις εφαρμογές που αυτός επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Η προσαρμογή του επιπέδου της ποιότητας των υπηρεσιών είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο μάρκετινγκ, ώστε να διαμορφωθούν πακέτα παροχής υπηρεσιών που να απευθύνονται σε διαφορετικές κατηγορίες χρηστών. Για παράδειγμα, μπορεί να εγγυηθεί υψηλό εύρος ζώνης σε επαγγελματικούς πελάτες ή χαμηλή καθυστέρηση για εφαρμογές φωνής και βίντεο, ενώ παράλληλα να παρέχει μόνο υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) και χαμηλού κόστους στους οικιακούς χρήστες του διαδικτύου.

➤ Πλήρης υποστήριξη για υπηρεσίες WMAN:

Είναι σε θέση να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε σύγκριση με τις εφαρμογές last-mile που βασίζονται στο πρότυπο 802.11g (WiFi).

➤ Robust carrier-class operation:

Το πρότυπο έχει σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει λειτουργία με διαφορετική κλάση φέροντος. Όσο αυξάνονται οι χρήστες που χρησιμοποιούν το δίκτυο, πρέπει να μοιραστεί το συνολικό εύρος ζώνης και ο ρυθμός μετάδοσης του καθενός να μειωθεί. Η μείωση αυτή γίνεται με γραμμικό τρόπο και είναι πολύ λιγότερη από την αντίστοιχη μείωση που συμβαίνει στο πρότυπο 802.11. Αυτή η ικανότητα καλείται αποδοτική πολλαπλή πρόσβαση. Οι προμηθευτές αναπτύσσουν εσωτερικό και υπαίθριο εξοπλισμό εγκαταστάσεων πελατών (Customer Premises Equipment - CPE) και lap-top PCMCIA κάρτες. Τα αρχικά προφίλ βρίσκονται στις ζώνες των 3.5GHz και των 5.8GHz.

### 2.5.3 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.16e

(μοντέλο για χρήση από φορητές συσκευές)

Το 2005 εκδόθηκε το πρότυπο IEEE 802.16e για το οποίο χρησιμοποιήθηκε η εμπορική ονομασία Mobile WiMAX και αφορούσε την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητούς χρήστες. Σ' αυτήν την εξέλιξη του προτύπου καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες που θα πρέπει να ενσωματωθούν στο βασικό πρότυπο 802.16 προκειμένου να υποστηριχθεί η κινητικότητα του χρήστη. Η δομή του δικτύου αποκτά κυψελωτή μορφή με μέγεθος ακτίνας που φτάνει τα 4 χιλιόμετρα. Ωστόσο όμως, οι πάροχοι υπηρεσιών που αναπτύσσουν το πρότυπο 802.16e μπορούν επίσης να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους και σε σταθερούς χρήστες. Παγιώνεται η χρήση της πολυπλεξίας με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplex - OFDM) για βελτιωμένη απόδοση σε περιβάλλον μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight – NLOS) με πολυδιαδρομική διάδοση (multipath propagation), ενώ παρουσιάζεται και η κλιμακωτή OFDMA (Scalable OFDMA - SOFDMA) με στόχο την επιλογή διαφορετικού εύρους ζώνης διαύλου από 1.25 έως 10MHz. Επίσης ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και όταν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120Km/h. Για την υποστήριξη της κινητικότητας, προδιαγράφονται διαδικασίες μεταπομπής (handover) και περιαγωγής (roaming) μεταξύ των κυψελών αλλά και διαδικασίες εξοικονόμησης ενέργειας στο φορητό εξοπλισμό (καταστάσεις power off και power up). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που υποστηρίζεται στην κάτω ζεύξη (downlink) μπορεί να φτάσει τα 30 Mbps ανά κανάλι εύρους ζώνης 10 MHz. Για να υποστηριχθούν αυτοί οι ρυθμοί αυτοί γίνεται χρήση έξυπνων κεραιών τύπου Multiple Input Multiple Output – MIMO, τεχνολογία στην οποία θα αναφερθούμε αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο. Μερικά ακόμη από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός Mobile WiMAX συστήματος είναι:

#### **Ασφάλεια:**

Τα χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX που αφορούν τα θέματα της ασφάλειας είναι τα καλύτερα της αγοράς και συμπεριλαμβάνουν:

- Πιστοποίηση με βάση το πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol).
- Κρυπτογράφηση με χρήση του κώδικα AES-CCM (Advanced Encryption Standard - Counter with Cipher-block chaining Message authentication code).
- Σχήματα προστασίας μηνυμάτων ελέγχου που βασίζονται στους κώδικες CMAC (Cipher-based Message Authentication Code) και HMAC (Hash Message Authentication Code)
- Κινητικότητα: Υποστηρίζει βέλτιστα σχήματα μεταπομπής με καθυστερήσεις μικρότερες των 50msec για να εξασφαλίσει εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως VoIP χωρίς μείωση της ποιότητας, ενώ εύελικτα σχήματα διαχείρισης διασφαλίζουν την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της μεταπομπής.

Τα δύο τελευταία πρότυπα αποτελούν τον κορμό ενός WiMAX δικτύου και περιγράφουν με πληρότητα το σύνολο των παραμέτρων και των διαδικασιών που απαιτούνται, ώστε να αποτελέσει το WiMAX μία ανταγωνιστική και καινοτόμο λύση στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Ωστόσο όμως η εξέλιξη του βασικού προτύπου IEEE 802.16 δεν σταματάει εδώ. Από το 2005 έχει εκδοθεί μια πλειάδα από υπόπρωτυπα, όπως τα 802.16f,g,h, και 802.16i,j,k,m. Η πρώτη ομάδα υπό-προτύπων ασχολείται κυρίως με τη βελτίωση των αλγορίθμων που διαχειρίζονται την κίνηση των δεδομένων στους σταθμούς βάσης, στο στρώμα MAC. Η δεύτερη ομάδα, ασχολείται περισσότερο με το φυσικό επίπεδο και την κωδικοποίηση των σημάτων, ώστε να επιτευχθούν ακόμα μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης, αλλά και με τη δημιουργία των κατάλληλων διεπαφών του αέρα (air interfaces) για την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ συσκευών που χρησιμοποιούν το πρότυπο 802.11 (WiFi). Πιο συγκεκριμένα με το 802.16g επιτυγχάνεται η ικανότητα να υποστηριχτεί η κινητικότητα του χρήστη ακόμα και από το δίκτυο κορμού και στο πρότυπο 802.16f βελτιώνεται η κάλυψη με τη χρήση δικτύων τοπολογίας πλέγματος.

#### **2.5.4 Πρότυπο 802.16a**

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο ώστε τον Απρίλιο του 2003 να εκδοθεί το υπό-πρότυπο IEEE 802.16a, που αποτελούσε την επέκταση του IEEE 802.16, ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2 έως 11 GHz, όπου η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού-δέκτη (Non Line of Sight - NLOS) είναι αποδοτικά εφικτή. Η δυνατότητα σύνδεσης πομπού-δέκτη χωρίς οπτική επαφή κατέστησε το υπό-πρότυπο IEEE 802.16a την κατάλληλη τεχνολογία για εφαρμογές τελευταίου μιλίου (Last Mile Applications), όπου υπάρχουν συχνά εμπόδια, όπως δέντρα και κτήρια. Έτσι πλέον παρουσιάζεται η επιλογή για την εγκατάσταση του κεραιοσυστήματος στις στέγες σπιτιών και κτηρίων και δεν είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των κεραιών σε πύργους ή κορυφές βουνών. Εκτός του κύριου χαρακτηριστικού της θωράκισης απέναντι σε πολυδιαδρομικές παρεμβολές, το υπό-πρότυπο αυτό υποσχόταν μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως ρυθμοί μετάδοσης που αγγίζουν τα 70 Mbps, αποστάσεις κάλυψης μέχρι 50 km, εύρωςτα χαρακτηριστικά ασφαλείας και ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service – QoS) κατάλληλη ώστε να υποστηριχθούν υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά άρχισαν να θέτουν τα θεμέλια ώστε να αναπτυχθεί ένα επικερδές επιχειρηματικό μοντέλο για την ιδανική ασύρματη ευρυζωνική κάλυψη.

## 2.6 Ζώνες συχνοτήτων

### Αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων

Η χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος υπερτερεί στο θέμα της προστασίας έναντι παρεμβολών από άλλους ασύρματους παρόχους. Το μοναδικό σημείο στο οποίο ίσως υστερεί, είναι στις διαδικασίες που απαιτούνται για τη χορήγηση των αδειών, αφού κάτι τέτοιο μπορεί να είναι χρονοβόρο, σύνθετο αλλά και μία εξαιρετικά ακριβή και ασύμφορη λύση, ειδικά όταν υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον. Οι υψηλότερες δαπάνες και τα αποκλειστικά δικαιώματα στο φάσμα επιτρέπουν μια πιο προβλέψιμη και σταθερή λύση για τις μεγάλες μητροπολιτικές εφαρμογές. Οι χαμηλότερες συχνότητες που συνδέονται με τις αδειοδοτημένες ζώνες (2,5 και 3,5 GHz) επιτρέπουν καλύτερη επικοινωνία μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS) και μεγαλύτερη διείσδυση. Εντούτοις, οι ζώνες αυτές έρχονται αντιμέτωπες και με κάποια ελάχιστα - συγκριτικά με τη μη αδειοδοτημένη ζώνη - ζητήματα παρεμβολής. Συνολικά οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ευρείας κάλυψης (Point-to Multipoint - PMP).

### Μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων

Η χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος δίνει στον ασύρματο πάροχο το πλεονέκτημα της άμεσης χρήσης του, με τον κίνδυνο όμως για ισχυρές παρεμβολές από άλλους παρόχους που λειτουργούν στις ίδιες ή κοντινές συχνότητες. Γι' αυτό το λόγο είναι περισσότερο επιθυμητή η χρήση του αδειοδοτημένου φάσματος σε περιοχές όπως μεγάλα αστικά κέντρα, όπου είναι πιθανή η δραστηριοποίηση πολλών παρόχων. Σε αντίθεση, η χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση για την κάλυψη αγροτικών περιοχών. Επίσης οι μη αδειοδοτημένες λύσεις κρίνονται κατάλληλες για εφαρμογές σημείο προς σημείο (Point-to-Point – P2P) μεγάλης απόστασης.

## 2.7 Σύγκριση WiMAX με άλλες τεχνολογίες

### 2.7.1 WiMAX με Wi-Fi

Το WiMAX είναι παρόμοιο με το ασύρματο πρότυπο που είναι γνωστό ως Wi-Fi, αλλά έχει εφαρμογή σε μεγαλύτερη κλίμακα και σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Μια “νομαδική” έκδοση θα μπορούσε να συνδέσει συσκευές που χρησιμοποιούν το WiMAX ακόμα και αν βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση, παρόμοια με τα σημερινά κινητά τηλέφωνα. Η σύγκριση μεταξύ των δύο προτύπων μπορεί να γίνει βάσει των επόμενων παραγόντων:

- **Πρότυπα IEEE**

Το Wi-Fi βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11 ενώ το WiMAX βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16. Παρόλα αυτά και τα δύο πρότυπα προέρχονται από την IEEE.

- **Κάλυψη**

Το Wi-Fi τυπικά παρέχει πρόσβαση στο τοπικό δίκτυο δεδομένων με ακτίνα μερικές δεκάδες μέτρα και ταχύτητες μέχρι 54 Mbps. Μια κεραία του WiMAX θα έχει κάλυψη μέχρι 60 km με ταχύτητες των 70 Mbps ή περισσότερο. Με αυτόν τον τρόπο το WiMAX μπορεί να μεταφέρει την σύνδεση στο Διαδίκτυο στα τοπικά δίκτυα Wi-Fi.

- **Επεκτασιμότητα**

Το Wi-Fi έχει ως στόχο την κάλυψη τοπικών εφαρμογών για έναν μέχρι μερικές δεκάδες χρήστες και έναν συνδρομητή ανά συσκευή πρόσβασης στο Διαδίκτυο (πχ router). Κάθε δίαυλος έχει σταθερό μέγεθος (20 MHz).

Το WiMAX είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει από μία έως μερικές εκατοντάδες συσκευές πρόσβασης στο Διαδίκτυο και απεριόριστους συνδρομητές πίσω από κάθε τέτοια συσκευή. Το WiMAX προσφέρει ευέλικτα μεγέθη καναλιών από 1,5 MHz έως 20 Mhz.

- **Ρυθμός Μετάδοσης**

Το Wi-Fi λειτουργεί στα 2,7 bps / Hz και μπορεί να φτάσει σε μέγιστο 54 Mbps σε κανάλι των 20 MHz

Το WiMAX λειτουργεί στα 5 bps / Hz και μπορεί να φτάσει σε μέγιστο 100 Mbps σε κανάλι 20 MHz

## Πίνακας Σύγκρισης

Χαρακτηριστικό	WiMax (802.16a)	Wi-Fi (802.11b)	Wi-Fi (802.11a/g)
Κύρια Λειτουργία	Ασύρματη Ευζωνική Πρόσβαση	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο
Μπάντα Συχνοτήτων	Αδειοδοτημένη / Χωρίς Αδειοδότηση 2 GHz έως 11 GHz	2.4 GHz ISM	2.4 GHz ISM (g) 5 GHz U-NII (a)
Εύρος Διαύλου	Προσαρμοζόμενο 1.25 MHz έως 20 MHz	Σταθερό στα 25 MHz	Σταθερό στα 20 MHz
Half / Full Duplex	Full	Half	Half
Ασύρματη Τεχνολογία	OFDM (256 κανάλια)	Direct Sequence Spread Spectrum	OFDM (64 κανάλια)
Απόδοση Εύρους Ζώνης	<=5 bps/Hz	<=0.44 bps/Hz	<=2.7 bps/Hz
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK	BPSK, QPSK, 16-, 64-QAM
FEC	Convolutional Code Reed-Solomon	None	Convolutional Code
Κρυπτογράφηση	Υποχρεωτικά - 3DES Προαιρετικά - AES	Προαιρετικά - RC4 (AES στο 802.11i)	Προαιρετικά - RC4 (AES στο 802.11i)
Κινητικότητα	Mobile WiMAX (802.16e)	Υπό ανάπτυξη	Υπό ανάπτυξη
Υποστήριξη Mesh	Ναι	Εξαρτάται από τον κατασκευαστή	Εξαρτάται από τον κατασκευαστή
Πρωτόκολλο Πρόσβασης	Request / Grant	CSMA / CA	CSMA / CA

Πίνακας 2 : σύγκριση WiMAX με Wi-Fi





## WiFi vs. WiMAX

	IEEE 802.11	IEEE 802.16a
Max Speed	54Mbps (a&g)	10-100Mbps
Range	100m	40 km
Coverage	Indoor	Outdoor
Users	Hundred	Thousand
Service Level	None	Yes

Πίνακας 3 : WiMAX vs Wi-Fi

Παρακάτω θα αναλυθούν λεπτομερειακά οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ αυτών των δύο τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης, WiMAX και Wi-Fi.

Εκ πρώτης όψεως οι δύο αυτές τεχνολογίες φαίνεται να λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο, . Ωστόσο αναλύοντας το τεχνικό υπόβαθρο των δύο αυτών δικτύων γίνεται αμέσως εμφανής η διαφορά τους στα περισσότερα επίπεδα.

Στο φυσικό στρώμα( Physical Layer - PHY) η βασική διαφορά εντοπίζεται στο φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται. Το πρότυπο 802.11 έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz . Οι συχνότητες αυτές χρησιμοποιούνται ελεύθερα χωρίς να χρειάζεται αδειοδότηση από την εθνική επιτροπή τηλεπικοινωνιών και ταχυδρομείων - ΕΤΤ. Η χρήση αυτών των ζωνών συχνοτήτων για εφαρμογές ασύρματων δικτύων (Wi-Fi και άλλες παρόμοιες) υπόκειται σε περιορισμό μέγιστης εκπεμπόμενης ισχύος .

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ιστροπικά εκπεμπόμενη ισχύς στην ζώνη των 2.4 GHz είναι 100 Mw ( Equivalent Isotropically Radiated Power–E.I.R.P.)

Στην ισχύ αυτή συνυπολογίζεται η ισχύς εξόδου του πομπού και το κέρδος της κεραίας. Από αυτές τις παραμέτρους του φυσικού επιπέδου πηγάζουν τα δύο βασικότερα μειονεκτήματα που δεν επέτρεψαν στην τεχνολογία του Wi-Fi να εξελιχτεί και να χρησιμοποιηθεί ως βασική τεχνολογία για την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση των χρηστών.

- Το πρώτο μειονέκτημα που απορρέει είναι ότι λόγω του μη αδειοδοτημένου φάσματος που χρησιμοποιεί υπάρχουν παρεμβολές και από άλλες τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν την ίδια μπάντα συχνοτήτων.
- Το δεύτερο βασικό μειονέκτημα είναι ότι η ΕΕΤΤ θέτει το όριο της εκπεμπόμενης ισχύς πολύ χαμηλά ώστε να υποστηριχτεί κάποια τεχνολογία ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, με μεγάλη γεωγραφική κάλυψη, όπως συμβαίνει με το WiMAX

Οι διαφορές όμως των 2 αυτών ασύρματων τεχνολογιών δικτύωσης δεν περιορίζεται μόνο στο φυσικό στρώμα αλλά και στο στρώμα MAC αυτών.

Το στρώμα MAC του 802.11 (Wi-Fi αλλά και ethernet ) διαφέρει σε πολλά σημεία από αυτό του 802.16.

- **Το Wi-Fi στο στρώμα MAC** : χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση .Όλοι οι συνδρομητικοί σταθμοί που επιθυμούν να περάσουν δεδομένα μέσω ενός σημείου πρόσβασης (Access Point - AP) ανταγωνίζονται συνεχώς ,σε

τυχαία βάση. Αυτό όμως πολλές φορές προκαλεί την επανειλημμένη διακοπή των απομακρυσμένων κόμβων από το σημείο πρόσβασης από τους πιο κοντινούς κόμβους με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά η ρυθμοαπόδοσή τους.

- **Το WiMAX στο στρώμα MAC** : ο συνδρομητικός σταθμός έχει να ανταγωνιστεί μόνο μία φορά για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο. Μετά από αυτό υπάρχει μία χρονοσchiμή στον σταθμό βάσης η οποία αυξάνεται η περιορίζεται, παρόλα αυτά παραμένει ορισμένη στον συνδρομητή, δηλαδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλους συνδρομητές, περιμένουν την σειρά τους εκ περιτροπής.

Ο αλγόριθμος προγραμματισμού του προτύπου 802.16 είναι ανθεκτικός στην υπερφόρτωση σε αντίθεση με αυτόν του προτύπου 802.11 (Wi-Fi). Επίσης υπερέχει στην απόδοση όσων αφορά το εύρος ζώνης. Τέλος αυτός ο αλγόριθμος επιτρέπει στον σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας με τη εξισορρόπηση των αναθέσεων, με βάση τις ανάγκες των συνδρομητικών σταθμών.

Μία σχετικά πρόσφατη προσθήκη στο πρότυπο του WiMAX βελτιώνει ακόμη περισσότερο την ευελιξία του στην σχεδίαση δικτύου αφού προσθέτει πλήρη ικανότητα δικτύωσης πλέγματος (mesh networking) καθιστώντας τους κόμβους WiMAX ικανούς να λειτουργούν ταυτόχρονα σε διαμόρφωση συνδρομητικού σταθμού και σταθμού βάσης. Αυτό ένα πολύ ισχυρό προβάδισμα και προωθεί την ευρεία υιοθέτηση του πλέγματος δικτύου που βασίζεται στο WiMAX.

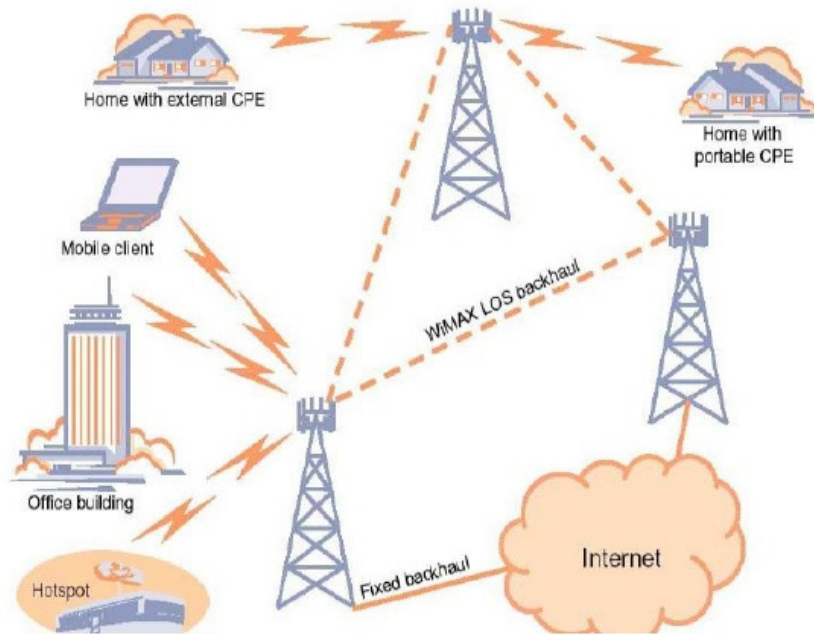
Οι προδιαγραφές του WiMAX υπερέχουν από αυτές του Wi-Fi, η διαφορά κρίνεται στις παρακάτω προδιαγραφές :

- Η παροχή εύρους ζώνης
- Η ισχυρότερη κρυπτογράφησης
- Η παροχή σύνδεσης των τελικών σημείων (endpoints), των δικτύων που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης (NLOS)

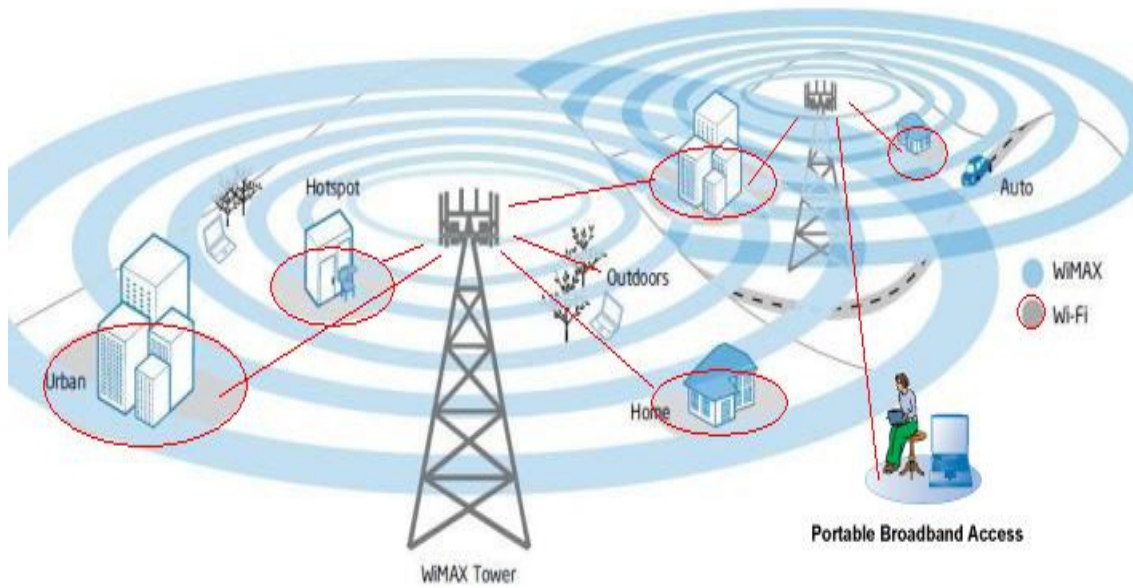
Όπως καταλαβαίνουμε από όλα τα παραπάνω υπάρχει σαφές προβάδισμα στην τεχνολογία του WiMAX έναντι του Wi-Fi, ωστόσο ο συνδυασμός αυτών των δύο δικτύων μπορεί να πετύχει πλήρη ασύρματη πρόσβαση ακόμα και σε σταθερούς χρήστες που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι το WiMAX σαφώς υπερέχει σε πολλά επίπεδα αλλά η συνύπαρξή του με το Wi-Fi μπορεί να δημιουργήσει ένα ισχυρό ασύρματο δίκτυο με μεγάλη ακτίνα κάλυψης και διεισδυτικότητα που θα συμπεριφέρεται ως ενιαίο. Για αυτόν τον λόγο το πρότυπο 802.16 εμπλουτίστηκε με διεπαφές (interfaces) επιτρέπουν την ομαλή διακίνηση δεδομένων μεταξύ των δύο δικτύων.

# Wi-fi and WiMax Together



2.3 δίκτυο συνεργασίας WiMAX με Wi-Fi



2.4 δίκτυο συνεργασίας WiMAX με Wi-Fi

## 2.7.2 WiMAX με 3G WWAN

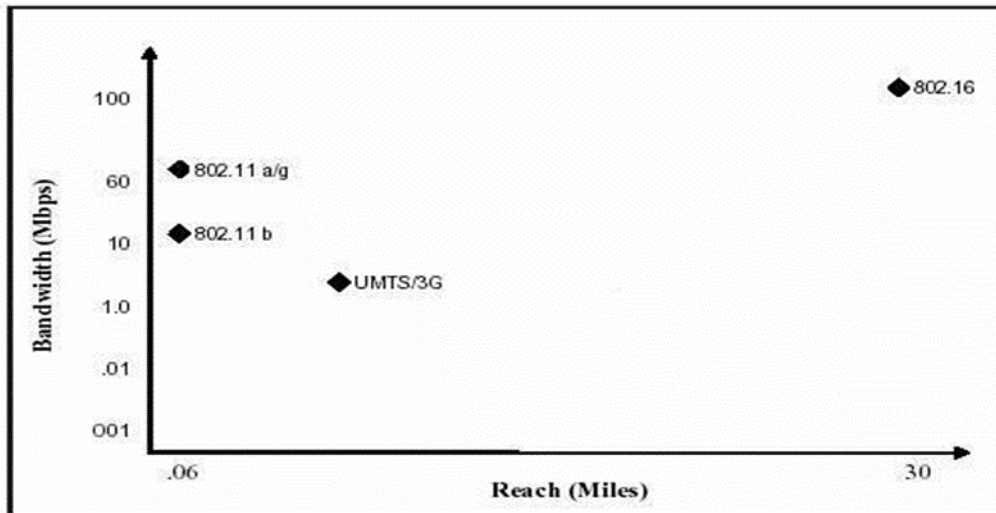
Οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων WiMAX και 3G μπορούν να εστιαστούν στα παρακάτω σημεία:

- **Εξασθένιση:** Δεδομένου ότι το WiMAX κατά κύριο λόγο πρόκειται να λειτουργήσει στις ζώνες συχνοτήτων των 2.5, 3.5 ή 5.8GHz, μπορεί να απαιτηθούν περισσότερες κυψέλες σε σύγκριση με το 3G (που έχει χαρακτηριστικές συχνότητες <2GHz), λόγω της χρήσης υψηλότερων συχνοτήτων. Ο κύριος αντίκτυπος θα είναι στους παρόχους που προγραμματίζουν να επεκτείνουν τις υπηρεσίες τους στο unlicensed φάσμα των 5.8GHz. Εντούτοις, οι δαπάνες που συνδέονται με το licensed φάσμα για το 3G και το φάσμα των 2.5-3.5GHz μπορούν να αντισταθμίσουν το κόστος για τις πρόσθετες περιοχές κυψελών, οπότε η επίπτωση στο κόστος πρέπει να εξεταστεί διεξοδικά από τους παρόχους υπηρεσιών
  
- **Παρεμβολή** πολλαπλών διαδρομών: Οι OFDM/OFDMA διαμορφώσεις λειτουργούν πολύ καλύτερα από το CDMA σε ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών, δεδομένου ότι υπερνικούν πιο εύκολα τη διασυμβολική παρεμβολή, η οποία συμβαίνει όταν τα ανακλώμενα σήματα επικαλύπτουν το μεταδιδόμενο σήμα. Διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα: Η OFDMA είναι ανθεκτικότερη δεδομένου ότι η παράλληλη φύση της επιτρέπει τη διόρθωση των λαθών που παρουσιάζονται στα υπο-φέροντα
  
- **Μετατόπιση συχνότητας και θόρυβος φάσης:** Η OFDMA είναι πιο ευαίσθητη στη μετατόπιση συχνότητας και το θόρυβο φάσης που οδηγεί στην παρεμβολή μεταξύ φερόντων (Inter Carrier Interference-ICI), αν και αυτό είναι κάπως μετριασμένο από τη χρήση των διαστημάτων φύλαξης (guard bands).
  
- **Απόρριψη παλμού θορύβου:** Δεδομένου ότι τα σύμβολα OFDMA είναι μεγαλύτερα σε διάρκεια από τα σύμβολα CDMA, ένας παλμός θορύβου (impulse noise) μπορεί να μην προκαλέσει αύξηση στο ποσοστό λάθους. Για CDMA, μερικά σύμβολα μπορούν να χαθούν, και αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση του Bit Error Rate (BER)

- **Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση(AMC):** Η OFDMA χρησιμοποιεί καλύτερα την προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, οπότε επιτυγχάνει υψηλότερη ρυθμαπόδοση (9.6Mbps) όταν συγκρίνεται με την WCDMA (3Mbps). Αυτή η δοκιμή εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας OFDM και 16QAM (το IEEE 802.16e υποστηρίζει 64QAM). Επιπλέον, η OFDMA μπορεί να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει την υψηλότερη διάταξη διαμόρφωσης (υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων) σε μεγαλύτερες εμβέλεις
  
- **AMC και OFDMA:** Η OFDMA μπορεί να είναι σε θέση να βελτιώσει περαιτέρω το πλεονέκτημά της σε σχέση με το CDMA με την εφαρμογή AMC στο επίπεδο των υπο-φερόντων. Αυτό είναι γνωστό ως Space Division Multiple Access (SDMA) και θα μπορούσε να επιτρέψει τη βελτιστοποίηση της επιλογής γρο-fer;ontn, με βάση τη γεωγραφική θέση
  
- **Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας:** Η CDMA, υιοθετεί τη χρήση μέσου όρου παρεμβολής, ο οποίος επιτρέπει μια επαναχρησιμοποίηση συχνότητας της τάξης του 1. Η OFDMA χρειάζεται χαρακτηριστικά μια επαναχρησιμοποίηση συχνότητας 1 έως 3, το οποίο σημαίνει ότι η επιτεύξιμη ρυθμαπόδοση ανά κυψέλη για ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης πρέπει να διαιρεθεί με το 3. Προηγμένα συστήματα κεραιών (Advanced Antenna Systems-AAS) μπορούν να επιτρέψουν στην OFDMA να υπερνικήσει αυτόν τον περιορισμό, αν και η χρήση των AAS μπορεί να είναι ακριβή.
  
- **Περιορισμοί κώδικα:** Λόγω των περιορισμών της διαθεσιμότητας του κώδικα και της πολυπλοκότητας των πελατών, οι περισσότεροι HSDPA πελάτες θα περιοριστούν σε 5 από το μέγιστο των 15 κωδίκων. Επιπλέον, δεδομένου ότι κάθε χρήστης θα χρειαστεί τουλάχιστον έναν κώδικα για φωνή ή data, αυτό θα μπορούσε να ασκήσει σημαντική επίδραση στον αριθμό των χρηστών που υποστηρίζει κάθε σύστημα, ειδικά όταν συγκρίνεται με τον υψηλό αριθμό υπο-φερόντων που χρησιμοποιεί η OFDMA.

- **Ποιότητα υπηρεσίας (QoS):** Το WiMAX διαθέτει MAC προσανατολισμένο στα data (data oriented MAC) έναντι του ουσιαστικά circuit-switched MAC των HSDPA και WCDMA. Το WiMAX μπορεί επίσης να εκμεταλλευθεί τους πολλαπλούς τρόπους πολυπλεξίας, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής ασυμμετρίας TDD, γεγονός που επιτρέπει στο uplink/downlink εύρος ζώνης να διατεθεί σύμφωνα με τις τρέχουσες συνθήκες κίνησης δεδομένων
  
- **Φωνή:** Τα συστήματα CDMA είναι πολύ καλύτερα ταιριαγμένα για να χειριστούν τις κινητές κλήσεις φωνής επειδή υποστηρίζουν πολλαπλά σχέδια κωδικοποίησης φωνής, αρραγής διαπομπές (handoffs) και περιαγωγή
  
- **Κόστος εξοπλισμού:** Τα βασισμένα σε OFDMA συστήματα μπορούν ευκολότερα να εφαρμοστούν, δεδομένου ότι δεν απαιτούν την υψηλή πολυπλοκότητα ενός δέκτη RAKE που απαιτείται σε CDMA. Μπορεί επίσης να είναι απλούστερο να εφαρμόσει εξισορρόπηση (equalization), ακύρωση παρεμβολής (interference cancellation) και αλγόριθμους προσαρμοστικών κεραιών (adaptive antenna array algorithms) με OFDMA, όπου οι αλγόριθμοι δημιουργούνται στο πεδίο της συχνότητας
  
- **Πρότυπα στα οποία βασίζονται:** Το WiMAX (OFDMA) είναι βασισμένο στο IEEE 802.16e, ένα ανερχόμενο βιομηχανικό πρότυπο, που του επιτρέπει να αποφύγει τις δαπανηρές ιδιόκτητες διεπαφές που υπάρχουν στα 3G δίκτυα. Αυτό του επιτρέπει επίσης να εκμεταλλευθεί άλλες τυποποιημένες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της εργασίας που γίνεται στην προτεινόμενη ομάδα εργασίας 802.21 IEEE Handoff
  
- **Προηγμένες ραδιο-τεχνικές:** Το WiMAX (OFDMA) μπορεί να είναι σε θέση να εκμεταλλευθεί καλύτερα τις τεχνικές διαφορικής λήψης (Space Time Coding, Maximum Ratio Combining), MIMO και έξυπνης τεχνολογίας κεραιών.





2.5 Σύγκριση των τεχνολογιών Wi-Fi, 3G και WiMAX

## 2.8 WiMAX - Κυριότερα χαρακτηριστικά

WiMAX είναι μια ασύρματη ευρυζωνική λύση που προσφέρει ένα πλούσιο σύνολο χαρακτηριστικών με μεγάλη ευελιξία όσον αφορά τις επιλογές ανάπτυξης και τις πιθανές προσφερόμενες υπηρεσίες.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη ζώνη των 3,4-3,8 GHz καθώς αναμένεται να διευκολύνει την ανάπτυξη προηγμένων κινητών/σταθερών δικτύων επικοινωνιών. Πλέον, η ζώνη αυτή εμφανίζεται ως κρίσιμη τόσο για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης μέσω τεχνολογιών WiMAX, όσο και για την επίτευξη πολύ υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης και την αποσυμφόρηση της συνεχής αύξησης της κίνησης δεδομένων των ευρυζωνικών κινητών δικτύων LTE-Advanced και IMT-advanced.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας WiMAX, που την έχει καταστήσει ως μία ραγδαία εφαρμοζόμενη τεχνολογία στα ασύρματα δίκτυα, είναι η διεκπεραιωτική της ικανότητα (throughput). Το πρότυπο 802.16 καταφέρνει να επιτυγχάνει πολύ μεγάλη διεκπεραιωτική ικανότητα, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις. Πίσω από αυτή την ισχυρή διεκπεραιωτική ικανότητα βρίσκεται ένα σύνολο πρωτοποριακών τεχνικών χαρακτηριστικών και προδιαγραφών ασύρματης μετάδοσης.

Έχοντας αρχικά περιγράψει το πρότυπο 802.16 που αντιπροσωπεύει την τεχνολογία WiMAX, αλλά έχοντας επίσης αναλύσει και τη βασική του αρχιτεκτονική δομή, είναι πια στιγμή να εμβαθύνουμε στις τεχνικές λεπτομέρειες. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα ασχοληθούμε με την ανάλυση όλων εκείνων των τεχνικών χαρακτηριστικών και των προδιαγραφών που κάνουν την τεχνολογία WiMAX να πρωτοπορεί και να ξεχωρίζει.

Μερικά από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που αξίζουν επισήμανσης είναι τα εξής:

- **Δύο Είδη Υπηρεσιών:**

Το WiMAX μπορεί να προσφέρει δύο μορφές ασύρματων υπηρεσιών:

- **Χωρίς οπτική επαφή:**

Παρόμοια υπηρεσία με αυτή που παρέχει το Wi-Fi. Σε αυτή την περίπτωση μια μικρή κεραία συνδέει την συσκευή (υπολογιστής, κινητό κτλ.) με τον πύργο WiMAX. Σε αυτή την μορφή το WiMAX χρησιμοποιεί χαμηλότερη εμβέλεια συχνοτήτων – από 2 GHz έως 11 GHz παρόμοια με το Wi-Fi.

- **Με οπτική επαφή**

Μια σταθερή κεραία με τη μορφή πιάτου τοποθετημένη σε σταθερό σημείο, όπως η οροφή κάποιου κτηρίου, έχει άμεση οπτική επαφή με τον πύργο του WiMAX. Έχοντας συνεχή οπτική επαφή, η σύνδεση είναι πιο δυνατή και σταθερή, με αποτέλεσμα την αποστολή μεγαλύτερου όγκου δεδομένων με λιγότερα σφάλματα. Οι μεταδόσεις με οπτική επαφή χρησιμοποιούν μεγαλύτερες συχότητες, η οποίες εκτείνονται μέχρι τα 66 GHz.

- **Φυσικό επίπεδο που βασίζεται στο OFDM:**

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στο Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), ένα σχήμα πολυπλεξίας που προσφέρει καλή αντίσταση στο φαινόμενο multipath<sup>1</sup>, και επιτρέπει στο WiMAX να λειτουργεί σε συνθήκες NLOS στις οποίες δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ κεραίας και πύργου.

- **Πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων**

---

<sup>1</sup> Multipath: Φαινόμενο πολλαπλασιασμού που οδηγεί στην λήψη ραδιοσημάτων από την κεραία λήψης από δύο ή περισσότερες διαδρομές. Αιτίες του φαινομένου περιλαμβάνουν ανάκλαση και διάθλαση των σημάτων από την ιονόσφαιρα και αντανάκλαση από υδατικά και χερσαία αντικείμενα, όπως βουνά και τα κτίρια.

Το WiMAX διαθέτει τη δυνατότητα να υποστηρίξει πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Η μέγιστη ταχύτητα δεδομένων στο φυσικό επίπεδο μπορεί να φτάσει και τα 74 Mbps όταν λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα φάσμα εύρους 20 MHz.

Συνηθέστερα, χρησιμοποιώντας ένα φάσμα 10 MHz, λειτουργώντας με χρήση ενός σχήματος Time-Division Duplexing (TDD) και λόγω κατεβάσματος προς ανέβασμα 3:1, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό επίπεδο είναι 25 Mbps για το κατέβασμα και 6,7 Mbps για το ανέβασμα.

- **Εύρος ζώνης με δυνατότητα κλιμάκωσης και υποστήριξη ρυθμού μετάδοσης δεδομένων**

Το WiMAX διαθέτει μια αρχιτεκτονική φυσικού επιπέδου με δυνατότητα κλιμάκωσης, η οποία επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού.

Για παράδειγμα, ένα σύστημα WiMAX μπορεί να χρησιμοποιήσει Ταχύς Μετασχηματισμούς Fourier (Fast Fourier Transform – FFT) των 128, 512 ή 1.024 bit, ανάλογα με το αν το εύρος ζώνης του καναλιού είναι 1,25 MHz, 5 MHz ή 10 MHz αντίστοιχα. Αυτή η κλιμάκωση μπορεί να γίνει δυναμικά ώστε να υποστηρίξει την μετάβαση κάποιου χρήστη σε διαφορετικού είδους δίκτυα που έχουν διαφορετικές κατανομές εύρους ζώνης.

- **Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση και κωδικοποίηση**

Το WiMAX υποστηρίζει έναν αριθμό σχημάτων κωδικοποίησης που σχετίζονται με τη διαμόρφωση και την εμπρόσθια διόρθωση λαθών. Ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού το πρότυπο επιτρέπει την εναλλαγή των σχημάτων ανά χρήστη και ανά πλαίσιο.

Η προσαρμοζόμενη διαμόρφωση και κωδικοποίηση είναι ένας αποτελεσματικός μηχανισμός που μεγιστοποιεί την απόδοση καναλιών που είναι ευμετάβλητα στον χρόνο.

- **Αναμεταδόσεις επιπέδου συνδέσμου**

Το WiMAX υποστηρίζει αυτόματα αιτήματα αναμετάδοσης στο επίπεδο συνδέσμου για συνδέσεις που απαιτούν αυξημένη αξιοπιστία. Οι συνδέσεις αυτού του είδους απαιτούν την επιβεβαίωση κάθε μεταδιδόμενου πακέτου από τον παραλήπτη. Τα πακέτα για τα οποία δεν έχει ληφθεί επιβεβαίωση θεωρείται ότι έχουν χαθεί και αναμεταδίδονται.

- **Υποστήριξη TDD και FDD**

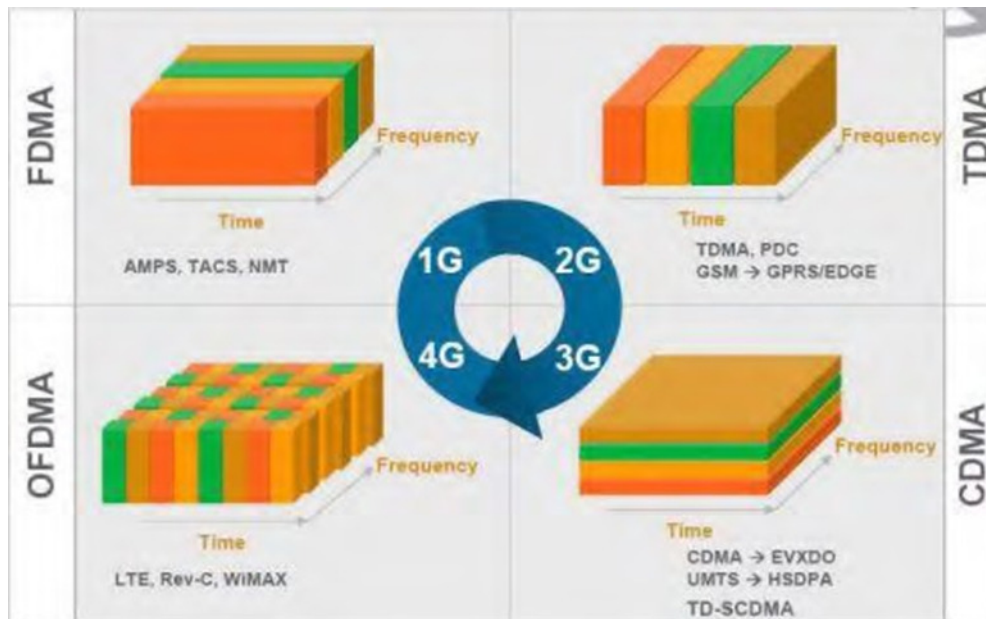
Τα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 υποστηρίζουν διπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplexing - TDD), διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplexing – FDD) και half-duplex FDD, γεγονός το οποίο επιτρέπει υλοποιήσεις συστημάτων χαμηλού κόστους.

- **Το WiMAX χρησιμοποιεί πολυπλεξία με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM)**

Η τεχνολογία WiMAX χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας ως τεχνική πολλαπλή πρόσβασης, σύμφωνα με την οποία σε διαφορετικούς χρήστες μπορούν να χορηγηθούν διαφορετικά υποσύνολα τόνων OFDM.

Η πολυπλεξία με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας είναι μια τεχνική διαμόρφωσης πολλαπλών φερουσών, που βρίσκει εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων. Η εφαρμογή της στα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών οφείλεται τόσο στην αποτελεσματική μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (Inter-Symbol Interference - ISI), όσο και στη βελτίωση της μετάδοσης σε περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής (NLOS). Αυτοί οι δύο παράγοντες επιδρούν στη θεαματική αύξηση των ρυθμών μετάδοσης, ακόμα και σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Τέλος, τα συστήματα στα οποία εφαρμόζεται η τεχνική OFDM, είναι αυτά που ακολουθούν την κυψελοειδή αρχιτεκτονική, δηλαδή σε μία δεδομένη γεωγραφική περιοχή, οι τερματικοί σταθμοί επικοινωνούν με το σταθμό βάσης για την ανταλλαγή δεδομένων. Στο σταθμό βάσης εφαρμόζονται και ένα σύνολο άλλων σύγχρονων τεχνικών, όπως είναι τα συστήματα έξυπνων κεραιών, ώστε να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του δικτύου.



## 2.6 Τεχνικές πρόσβασης G,2G,3G,4G

- **Ευέλικτη και δυναμική κατανομή πόρων ανά χρήστη**

Η κατανομή των πόρων τόσο στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink) όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) ελέγχεται από ένα χρονο-κατανομητή στον σταθμό βάσης. Η χωρητικότητα μοιράζεται ανάμεσα σε πολλαπλούς χρήστες ανάλογα με την ζήτηση, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα burst TDM.

- **Υποστήριξη προηγμένων τεχνικών κεραιών**

Το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να επιτρέπει την χρήση πολλαπλών τεχνικών κεραιάς όπως η μορφοποίηση δέσμης, η κωδικοποίηση χώρου – χρόνου και η χωρική πολυπλεξία.

- **Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας.**

Το επίπεδο MAC του WiMAX έχει αρχιτεκτονική προσανατολισμένη προς την σύνδεση, η οποία είναι σχεδιασμένη ώστε να υποστηρίζει μια πληθώρα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών φωνής και πολυμέσων.

Τα συστήματα WiMAX προσφέρουν υποστήριξη για σταθερό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό και μη-πραγματικό χρόνο και μεταφορά δεδομένων βέλτιστης προσπάθειας.

Το επίπεδο MAC του WiMAX είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό χρηστών με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό καθεμία από τις οποίες έχει τις δικές τις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας.

- **Ισχυρή Ασφάλεια**

Το WiMAX υποστηρίζει ισχυρή κρυπτογράφηση, χρησιμοποιώντας το αλγόριθμο Advanced Encryption Standard (AES), και διαθέτει ισχυρή ιδιωτικότητα και αντίστοιχα πρωτόκολλα διαχείρισης κλειδιών (κρυπτογράφησης).

Το σύστημα παρέχει επίσης μια ευέλικτη αρχιτεκτονική αυθεντικοποίησης η οποία βασίζεται στο πρωτόκολλο Extensible Authentication Protocol (EAP), το οποίο επιτρέπει την χρήση διάφορων τρόπων πιστοποίησης της ταυτότητας του χρήστη, συμπεριλαμβανομένων των: Όνομα χρήστη / κωδικός πρόσβασης, ψηφιακό πιστοποιητικό και έξυπνη κάρτα.

- **Υποστήριξη της κινητικότητας**

Το mobile WiMAX, που είναι μια παραλλαγή του συστήματος, διαθέτει μηχανισμούς που υποστηρίζουν ασφαλείς και απρόσκοπτες μεταβάσεις από πύργο σε πύργο, για εφαρμογές οι οποίες είναι ανεκτικές σε καθυστερήσεις, όπως το VoIP.

- **Αρχιτεκτονική βασισμένη στο IP**

Το WiMAX Forum έχει καθορίσει την αρχιτεκτονική ενός δικτύου αναφοράς η οποία βασίζεται σε μια IP πλατφόρμα. Όλες οι υπηρεσίες απ' άκρο σε άκρο παρέχονται μέσω αυτής της IP αρχιτεκτονικής που βασίζεται στα ανάλογα IP πρωτόκολλα μεταφοράς απ' άκρο σε άκρο, διασφάλισης της ποιότητας υπηρεσία, διαχείρισης της συνόδου, ασφάλειας και κινητικότητας.

## 2.9 Βασικά Δομικά Στοιχεία του WiMAX

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο βασικά μέρη:

- Έναν σταθμό βάσης WiMAX.
- Έναν δέκτη WiMAX.

### Σταθμός βάσης WiMAX:

Ένας σταθμός βάσης WiMAX αποτελείται από ηλεκτρονικό εξοπλισμό εσωτερικού χώρου και έναν πύργο, παρόμοια με έναν πύργο κινητής τηλεφωνίας. Ένας σταθμός βάσης WiMAX μπορεί να παρέχει κάλυψη σε μεγάλη περιοχή ακτίνας μέχρι και 10 km. Οποιαδήποτε ασύρματη συσκευή μέσα στην περιοχή κάλυψης θα μπορεί να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.



Οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν το επίπεδο MAC που ορίζεται στο πρότυπο, μια κοινή διεπαφή η οποία καθιστά τα δίκτυα διαλειτουργικά και κατανέμει το εύρος ζώνης του ανερχόμενης και της κατερχόμενης ζεύξης στους συνδρομητές ανάλογα με τις απαιτήσεις τους, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.(εικόνα 2.7 σταθμός βάσης )

### Δέκτης WiMAX:

Ένα δέκτης WiMAX μπορεί να έχει ξεχωριστή κεραία ή μπορεί να είναι ένα αυτόνομο “κουτί” ή μια κάρτα PCMCIA εγκατεστημένη στο laptop ή στον υπολογιστή ή κάποια άλλη συσκευή. Αυτού του είδους οι συσκευές αναφέρονται επίσης και ως CPE (Customer Premise Equipment)



Η πρόσβαση του δέκτη σε ένα σταθμό βάσης είναι παρόμοια με την πρόσβαση σε ένα Wi-Fi δίκτυο, αν και η κάλυψη είναι πολύ μεγαλύτερη.(εικόνα 2.8 δέκτης WiMAX)

### **Οπισθόζευξη:**

Ο πύργος / σταθμός βάσης του WiMAX μπορεί να συνδεθεί άμεσα στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μια ενσύρματη σύνδεση υψηλού εύρους ζώνης, όπως για παράδειγμα μια γραμμή T3. Μπορεί επίσης να συνδέεται με έναν άλλο πύργο WiMAX χρησιμοποιώντας μια μικροκυματική ζεύξη με οπτική επαφή.

Η οπισθόζευξη αναφέρεται τόσο στην σύνδεση από ένα σημείο πρόσβασης πίσω στο σταθμό βάσης, όσο και στην σύνδεση από τον σταθμό βάσης στο δίκτυο κορμού.

Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης των σταθμών βάσης χρησιμοποιώντας μικροκυματικές ζεύξεις ως οπισθοζεύξεις υψηλού εύρους ζώνης. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την περιαγωγή από την περιοχή ενός σταθμού βάσης στον άλλο, με τρόπο παρόμοιο με την περιαγωγή των κινητών τηλεφώνων.

### **WiMAX – Μοντέλο Αναφοράς Δικτύου**

Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 παρέχει την διεπαφή για το WiMAX αλλά δεν καθορίζει πλήρως το δίκτυο WiMAX απ' άκρο σε άκρο. Το Network Working Group (NWG) του WiMAX Forum είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη των απαιτήσεων, της αρχιτεκτονικής και των πρωτοκόλλων που πρέπει να υπάρχουν για την απ' άκρο σε άκρο επικοινωνία με χρήση του WiMAX, χρησιμοποιώντας το IEEE 802.16e-2005 ως διεπαφή.

Το WiMAX NWG έχει αναπτύξει ένα μοντέλο αναφοράς δικτύου που λειτουργεί ως αρχιτεκτονικό πλαίσιο για την ανάπτυξη δικτύων WiMAX και την διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διάφορων υλοποιήσεων εξοπλισμού WiMAX.

Το μοντέλο αναφοράς δικτύου έχει ως στόχο μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου για την υποστήριξη στατικών, νομαδικών και κινητών υλοποιήσεων και βασίζεται σε ένα μοντέλο υπηρεσιών IP. Παρακάτω παρουσιάζεται μια απλοποιημένη απεικόνιση μιας αρχιτεκτονικής δικτύου WiMAX βασισμένη στο IP. Το δίκτυο μπορεί να χωριστεί λογικά σε τρία μέρη:

1. Κινητούς Σταθμούς που χρησιμοποιούνται από τον τελικό χρήστη για την πρόσβαση στο δίκτυο.



2. Το Δίκτυο Υπηρεσιών Πρόσβασης, το οποίο αποτελείται από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μια ή περισσότερες πύλες οι οποίες αποτελούν το άκρο του δικτύου ασύρματης πρόσβασης.

3. Το Δίκτυο Υπηρεσιών Συνδεσιμότητας, το οποίο παρέχει συνδεσιμότητα IP και όλες τις βασικές λειτουργίες ενός δικτύου IP.

Το μοντέλο αναφοράς δικτύου που έχει αναπτυχθεί από το WiMAX Forum NWG προσδιορίζει ένα πλήθος λειτουργικών οντοτήτων και διεπαφών μεταξύ αυτών των οντοτήτων. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει κάποιες από τις σημαντικότερες λειτουργικές οντότητες.

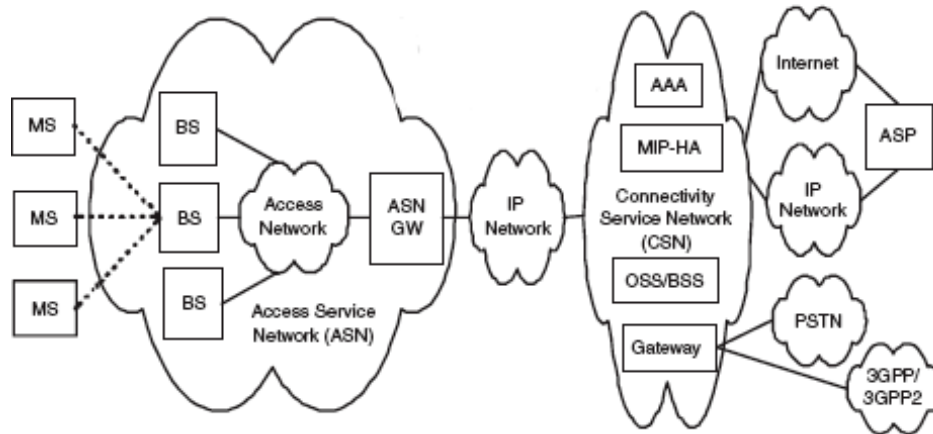
•**Σταθμός Βάσης:** Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για την παροχή της ασύρματης διεπαφής στους κινητούς σταθμούς. Πρόσθετες λειτουργίες που μπορεί να αποτελούν μέρος του σταθμού βάσης είναι λειτουργίες διαχείρισης της μικροκινητικότητας, όπως η ενεργοποίηση της μεταπομπής και η δημιουργία σήραγγας, διαχείριση ασύρματων πόρων, επιβολή πολιτικών QoS, κατηγοριοποίηση κίνησης, DHCP proxy, διαχείριση κλειδιών κρυπτογράφησης, διαχείριση συνόδου και διαχείριση ομάδας πολλαπλής διανομής (multicast).

•**Πύλη Υπηρεσιών Πρόσβασης Δικτύου:** Η Πύλη Υπηρεσιών Πρόσβασης Δικτύου λειτουργεί ως σημείο άθροισης κίνησης επιπέδου 2 μέσα στο Δίκτυο Υπηρεσιών Πρόσβασης. Πρόσθετες λειτουργίες που μπορεί να αποτελούν μέρος της πύλης υπηρεσιών πρόσβασης δικτύου περιλαμβάνουν την διαχείριση θέσης εντός του δικτύου υπηρεσιών πρόσβασης και τηλεειδοποίησης, διαχείριση ασύρματων πόρων και ελέγχου αποδοχής πρόσβασης, προσωρινή αποθήκευση των προφίλ και των κλειδιών κρυπτογράφησης των συνδρομητών, λειτουργικότητα πελάτη AAA εγκατάσταση και διαχείριση σήραγγων κινητικότητας με τους σταθμούς βάσης, επιβολή QoS και πολιτικών και δρομολόγηση προς το επιλεγμένο δίκτυο υπηρεσιών συνδεσιμότητας.

•**Δίκτυο Υπηρεσιών Συνδεσιμότητας:** Το Δίκτυο Υπηρεσιών συνδεσιμότητας παρέχει συνδεσιμότητα προς το Διαδίκτυο, Παρόχους Υπηρεσιών Εφαρμογών (ASP), άλλα δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα. Το Δίκτυο Υπηρεσιών Συνδεσιμότητας ανήκει στον πάροχο υπηρεσιών πρόσβασης στο δίκτυο και περιλαμβάνει διακομιστές AAA, οι οποίοι παρέχουν αυθεντικοποίηση για συσκευές, χρήστες και συγκεκριμένες υπηρεσίες. Το δίκτυο υπηρεσιών συνδεσιμότητας παρέχει επίσης διαχείριση πολιτικών QoS και ασφάλειας ανά χρήστη. Είναι επίσης υπεύθυνο για την διαχείριση διευθύνσεων IP, την υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ παρόχων υπηρεσιών δικτύου, τη διαχείριση θέσης μεταξύ των δικτύων υπηρεσιών πρόσβασης και την κινητικότητα και περιαγωγή μεταξύ των δικτύων υπηρεσιών πρόσβασης.

Το αρχιτεκτονικό πλαίσιο του WiMAX επιτρέπει την ευέλικτη διάσπαση ή / και συνδυασμό λειτουργικών οντοτήτων κατά την δημιουργία φυσικών οντοτήτων. Για παράδειγμα, το δίκτυο υπηρεσιών πρόσβασης μπορεί να διασπαστεί σε πομποδέκτες σταθμούς βάσης, ελεγκτές σταθμούς βάσης και την πύλη υπηρεσιών πρόσβασης δικτύου, μοντέλο που είναι ανάλογο με αυτό του GSM.

### IP-Based WIMAX Network Architecture



### 2.9 δίκτυο WiMAX

## 2.10 WiMAX – Τεχνολογία

Το WiMAX είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στις προδιαγραφές του IEEE 802.16 και έχει σκοπό την παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης τελευταίου-μιλίου ως μια εναλλακτική του DSL. Η αρχιτεκτονική των δικτύων WiMAX βασίζεται στις ακόλουθες κύριες αρχές:

- **Ραδιοφάσμα:** Μπορούν να αναπτυχθούν τόσο σε φάσματα που απαιτούν αδειοδότηση όσο και σε φάσματα χωρίς αδειοδότηση.
- **Τοπολογία:** Υποστηρίζουν διάφορες τοπολογίες ασύρματης πρόσβασης δικτύου.
- **Διασυνεργασία:** Ανεξάρτητη αρχιτεκτονική ασύρματης πρόσβασης δικτύου που καθιστά δυνατή την απρόσκοπτη συνεργασία με δίκτυα WiFi, 3GPP και 3GPP2 και υπάρχουσες υποδομές IP.
- **Συνδεσιμότητα IP:** Υποστηρίζεται ένας συνδυασμός τρόπων διασύνδεσης μεταξύ εφαρμογών πελάτες και διακομιστών εφαρμογών με χρήση τόσο του IPv4 όσο και του IPv6.
- **Διαχείριση της κινητικότητας:** Δυνατότητα επέκτασης της στατικής πρόσβασης σε κινητής και παροχής ευρυζωνικών πολυμεσικών υπηρεσιών.

Το WiMAX έχει προσδιορίσει δύο προφίλ επιπέδου MAC, το ATM και το IP. Επίσης έχουν προσδιοριστεί δύο προφίλ φυσικού επιπέδου, τον δίαυλο των 25 MHz (για υλοποιήσεις στις ΗΠΑ) για χρήση την μπάντα των 10.66 GHz και τον δίαυλο των 28 MHz (για Ευρωπαϊκές υλοποιήσεις) για χρήση στην μπάντα των 10.66 GHz.

Το επίπεδο MAC και το φυσικό επίπεδο του WiMAX επεξηγούνται αναλυτικότερα παρακάτω.

Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε για να εξελιχθεί ως ένα σύνολο προτύπων για ασύρματες διεπαφές για δίκτυα WMAN. Οι διεπαφές αυτές βασίζονται μεν σε ένα κοινό πρωτόκολλο για το επίπεδο MAC, αλλά οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου εξαρτώνται από το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται, όπως επίσης και από τους σχετικούς κανονισμούς (συχνότητες που απαιτούν αδειοδότηση).

Το πλαίσιο WiMAX βασίζεται σε διάφορες βασικές αρχές:

- Υποστήριξη διάφορων τοπολογιών ασύρματης πρόσβασης δικτύου.

- Σαφώς καθορισμένες διεπαφές που καθιστούν δυνατή την ανεξαρτησία των αρχιτεκτονικών ασύρματης πρόσβασης δικτύου ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την απρόσκοπτη ολοκλήρωση και συνεργασία με δίκτυα WiFi, 3GPP και 3GPP2.
- Αξιοποίηση τεχνολογιών IP που έχουν καθοριστεί από την IETF και επιτρέπουν την δημιουργία ευέλικτων δικτύων πρόσβασης 802.16 που βασίζονται πλήρως στο IP, κάνοντας χρήση μη εξεζητημένου εξοπλισμού.
- Υποστήριξη του IPv4 και του IPv6, συστήνοντας την χρήση του IPv6 στην υποδομή του δικτύου.
- Λειτουργική επεκτασιμότητα για υποστήριξη μελλοντικής μετάπτωσης σε πλήρως κινητά περιβάλλοντα και παροχή πλούσιων ευρυζωνικών πολυμεσικών υπηρεσιών.

## 2.11 Φυσικό επίπεδο του WiMAX

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). Το συγκεκριμένο σχήμα μετάδοσης δεδομένων επιλέχθηκε γιατί επιτρέπει επικοινωνίες δεδομένων, βίντεο και πολυμέσων σε πολύ υψηλές ταχύτητες και χρησιμοποιείται σε πολλά εμπορικά ευρυζωνικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένου του DSL, του WiFi, του Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H), και του MediaFLO.

Η OFDM είναι ένα κομψό και αποτελεσματικό σχήμα για την μετάδοση δεδομένων σε περιβάλλοντα που δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη και σε περιβάλλοντα στα οποία εμφανίζεται το φαινόμενο του multipath.

### Προσαρμοζόμενη διαμόρφωση και κωδικοποίηση στο WiMAX

Το WiMAX υποστηρίζει μια πληθώρα σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και επιτρέπει την αλλαγή του σχήματος κατά την διάρκεια την μετάδοσης, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον δίαυλο επικοινωνίας. Χρησιμοποιώντας έναν δείκτη ανατροφοδότησης της ποιότητας του διαύλου, ο δέκτης μπορεί να ενημερώσει τον σταθμό βάσης σχετικά με την ποιότητα του διαύλου κατερχόμενης ζεύξης. Για την ανερχόμενη ζεύξη, ο σταθμός βάσης μπορεί να υπολογίσει την ποιότητα του διαύλου, βασιζόμενο στην ποιότητα του ληφθέντος σήματος.

Παρακάτω παραδίδεται πίνακας με τα διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζονται από το WiMAX.

	Κατερχόμενη Ζεύξη	Ανερχόμενη Ζεύξη
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM; BPSK προαιρετικά για OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16 QAM; 64 QAM προαιρετικά
Κωδικοποίηση	<b>Υποχρεωτικά:</b> convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 <b>Προαιρετικά:</b> convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3,	<b>Υποχρεωτικά:</b> convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 <b>Προαιρετικά:</b> convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6;

	1/6, LDPC, RS-Codes for OFDM-PHY	repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC
--	----------------------------------	--

**Πίνακας 4 : Σχήματα Διαμόρφωσης – Κωδικοποίησης**

**Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό επίπεδο**

Επειδή το φυσικό επίπεδο του WiMAX είναι αρκετά ευέλικτο, η απόδοση του ρυθμού δεδομένων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις παραμέτρους λειτουργίας. Οι παράμετροι που έχουν σημαντική επίδραση στο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στο φυσικό επίπεδο είναι το εύρος ζώνης του διαύλου και το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση σε μικρότερο βαθμό είναι ο αριθμός των υπο-διαύλων, ο χρόνος φύλαξης του OFDM και ο ρυθμός υπερδειγματοληψίας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό επίπεδο για διάφορα εύρη ζώνης, όπως επίσης και για διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σήματος.

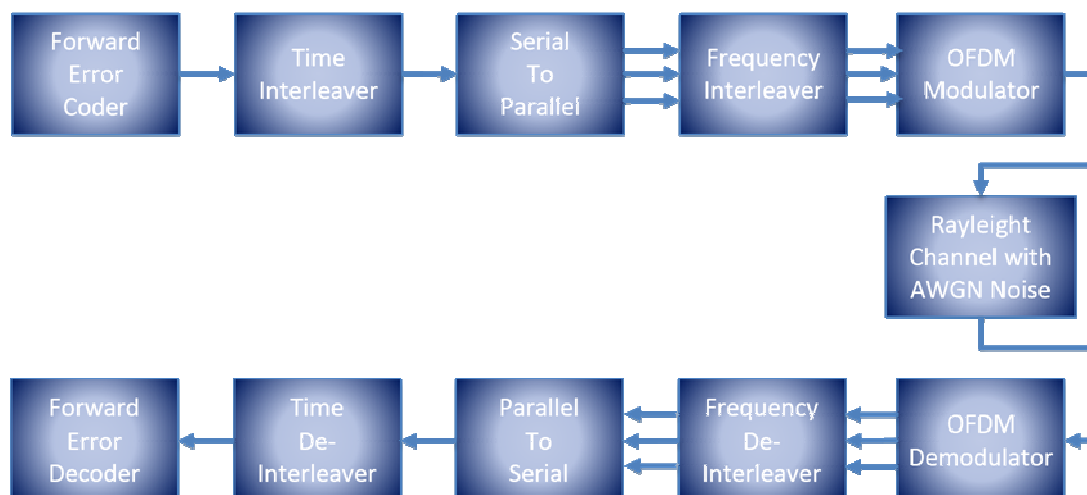
Εύρος Διαύλου	3,5 MHz		1,25 MHz		5 MHz		10 MHz	
<b>PHY-mode</b>	256 OFDM		128 OFDMA		512 OFDMA		1.024 OFDMA	
<b>Υπερδειγματοληψία</b>	8/7		28/25		28/25		28/25	
<b>Διαμόρφωση &amp; Ρυθμός Κώδικα</b>	<b>Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων στο Φυσικό Επίπεδο (kbrps)</b>							
	KZ <sup>2</sup>	AZ <sup>3</sup>	KZ	AZ	KZ	AZ	KZ	AZ
<b>BPSK, 1/2</b>	946	326	Μη Εφαρμόσιμο					
<b>QPSK, 1/2</b>	1.882	653	504	154	2.520	653	5.040	1.344
<b>QPSK, 3/4</b>	2.822	979	756	230	3.780	979	7.560	2.016
<b>16 QAM, 1/2</b>	3.763	1.306	1.008	307	5.040	1.306	10.080	2.688
<b>16 QAM, 3/4</b>	5.645	1.958	1.512	461	7.560	1.958	15.120	4.032

**Πίνακας 5 :Ρυθμοί Μετάδοσης Δεδομένων στο Φυσικό Επίπεδο**

<b>64 QAM, 1/2</b>	5.645	1.958	1.512	461	7.560	1.958	15.120	4.032
<b>64 QAM, 2/3</b>	7.526	2.611	2.016	614	10.080	2.611	20.160	5.376
<b>64 QAM, 3/4</b>	8.467	2.938	2.268	691	11.340	2.938	22.680	6.048
<b>64 QAM, 5/6</b>	9.408	3.264	2.520	768	12.600	3.264	25.200	6.720

## 2.12 Βασικές έννοιες του OFDM

Το OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ανήκει σε μια οικογένεια σχημάτων μετάδοσης δεδομένων, η οποία ονομάζεται πολυφέρουσα διαμόρφωση (multicarrier modulation) και βασίζεται στην ιδέα της διαίρεσης μιας ροής δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε πολλές παράλληλες ροές δεδομένων χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης, με ταυτόχρονη διαμόρφωση κάθε ροής σε ξεχωριστό φέρον, το οποίο συχνά αναφέρεται ως υποφέρων.



## 2.10 διάγραμμα ενός απλού συστήματος OFDM

Τα σχήματα πολυφέρουσας διαμόρφωσης εξαλείφουν ή ελαχιστοποιούν τις διασυμβολικές παρεμβολές (Intersymbol Interference – ISI) αυξάνοντας τον χρόνο συμβόλου έτσι ώστε να είναι αρκετά μεγαλύτερος (αρκετές φορές περισσότερο από δεκαπλάσιος) από την χρονική εξάπλωση (delay spread) του διαύλου.

Γι' αυτό τον λόγο, σε συστήματα υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στα οποία ο χρόνος συμβόλου είναι μικρός, αφού είναι αντιστρόφως ανάλογο με τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, η διαίρεση της ροής δεδομένων σε πολλές παράλληλες – μικρότερες – ροές αυξάνει τον χρόνο συμβόλου κάθε ροής έτσι ώστε η χρονική εξάπλωση να είναι περιορίζεται σε ένα μικρό κλάσμα του χρόνου συμβόλου.

Το OFDM είναι μια έκδοση της πολυφέρουσας διαμόρφωσης που είναι φασματικώς αποδοτική, αφού τα υπο-κανάλια μετάδοσης επιλέγονται έτσι ώστε να είναι όλα ορθογώνια μεταξύ τους κατά τον χρόνο συμβόλου. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ανάγκη ύπαρξης μη-επικαλυπτόμενων υποφέροντων καναλιών. Η ύπαρξη επικαλυπτόμενων υποφέροντων καναλιών είναι πηγή ύπαρξης παρεμβολών.

Για να εξαλειφθούν οι διασυμβολικές παρεμβολές χρησιμοποιούνται χρόνοι φύλαξης μεταξύ των συμβόλων OFDM. Μεγαλώνοντας τους χρόνους φύλαξης περισσότερο από την πολυφέρουσα χρονική εξάπλωση, οι διασυμβολικές παρεμβολές εξαλείφονται πλήρως.

Οι όποιες δυσκολίες μπορούν να ξεπεραστούν με δύο τρόπους.

- Ο πρώτος στηρίζεται στην υλοποίηση ενός σύνθετου κυκλώματος διαμορφωτή, που θα μετατρέπει το προς μετάδοση σήμα έτσι ώστε το κανάλι να επιδρά με επίπεδη εξασθένιση στη ζώνη συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Κάτι τέτοιο όμως αφενός ανεβάζει το γενικό κόστος της τεχνολογίας, αφετέρου αποτελεί μια πολύπλοκη κατασκευαστική υλοποίηση. Επομένως, η λύση αυτή απορρίπτεται καθώς δε μπορεί να στηριχτεί τεχνοοικονομικά.
- Μία δεύτερη λύση είναι να αυξήσουμε τη διάρκεια του συμβόλου ( $T_s$ ), ώστε να μειώσουμε τη διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference - ISI). Αύξηση της διάρκειας του συμβόλου σημαίνει διεύρυνση στο πεδίο του χρόνου, το οποίο σύμφωνα με τις ιδιότητες του μετασχηματισμού Fourier οδηγεί με τη σειρά του σε σύμπτυξη του συχνοτικού φάσματος. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σήματα όσον το δυνατόν στενότερης ζώνης. Επομένως, με αυτή την τεχνική εκπομπής σημάτων στενής ζώνης, το διαθέσιμο φάσμα διασπάτε σε πολλά μικρότερα κανάλια, με διαφορετική κεντρική συχνότητα το καθένα και τα οποία μεταφέρουν ταυτόχρονα ξεχωριστά σήματα πληροφορίας. Ουσιαστικά μέχρι αυτό το σημείο μιλάμε για πολυπλεξία στο πεδίο της συχνότητας. Αν σε αυτά τα σήματα



τους προσδώσουμε και το χαρακτηριστικό της ορθογωνιότητας, τότε περιγράφουμε τη βασική ιδέα της ορθογώνιας πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplex – OFDM).

## 2.13 Επίπεδο MAC

Το επίπεδο MAC του IEEE 802.16 έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές ασύρματης πρόσβασης σημείου προς πολλαπλά σημεία. Η κύρια λειτουργία του επιπέδου MAC του WiMAX είναι η παροχή μιας διεπαφής μεταξύ των υψηλότερων επιπέδων μεταφοράς και του φυσικού επιπέδου.

Το επίπεδο MAC λαμβάνει πακέτα, τα οποία ονομάζονται MAC service data units (MSDUs), από το υψηλότερο επίπεδο και τα οργανώνει σε MAC protocol data units (MPDUs) ώστε να μεταδοθούν ασύρματα. Για εισερχόμενες μεταδόσεις δεδομένων το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για την αντίστροφη διαδικασία.

Ο σχεδιασμός του επιπέδου MAC που περιλαμβάνεται στα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 περιλαμβάνει ένα υπο-επίπεδο σύγκλησης, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ως διεπαφή με μια πληθώρα πρωτοκόλλων ανώτερων στρωμάτων όπως το ATM TDM Voice, το Ethernet, το IP και οποιοδήποτε μελλοντικό πρωτόκολλο.

Το επίπεδο MAC του 802.16 έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές σημείου προς πολλαπλά σημεία και βασίζεται στην πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (Collision Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA)

Το επίπεδο MAC ενσωματώνει διάφορα χαρακτηριστικά που είναι κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών με διαφορετικούς βαθμούς κινητικότητας. Μερικά από αυτά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

- Διαχείριση κλειδιών ιδιωτικότητας (Privacy key management - PKM) για ασφάλεια δεδομένων στο επίπεδο MAC. Η έκδοση 2 του PKM ενσωματώνει την υποστήριξη του Επεκτάσιμου Πρωτοκόλλου Αυθεντικοποίησης (Extensible Authentication Protocol - EAP)
- Υποστήριξη broadcast και multicast
- Αρχέτυπα διαχειρισιμότητας
- Αρχέτυπα μεταπομπών υψηλής ταχύτητας και διαχείρισης κινητικότητας
- Τρία διακριτά επίπεδα διαχείρισης ενέργειας: κανονική λειτουργία, κατάσταση αναστολής λειτουργίας (sleep), αδράνεια (idle)
- Καταστολή κεφαλίδων, συμπίεση και κατακερματισμός για αποδοτική χρήση του φάσματος
- Πέντε κατηγορίες υπηρεσιών: unsolicited grant service (UGS), real-time polling service (rtPS), non-real-time polling service (nrtPS), best effort (BE) and Extended real-time variable rate (ERT-VR) service.

Αυτά τα χαρακτηριστικά συνδυασμένα με τα εγγενή οφέλη του κλιμακούμενου OFDMA καθιστούν το 802.16 κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και IP εφαρμογές που υλοποιούνται με ισόχρονη ή μη μετάδοση δεδομένων.

Η υποστήριξη ποιότητας παρεχόμενης υπηρεσίας (QoS) είναι θεμελιώδες μέρος του επιπέδου MAC του WiMAX. Το QoS του WiMAX έχει δανειστεί κάποιες από τις βασικές αρχές του από το DOCSIS cable modem standard.

Ο ισχυρός έλεγχος της QoS επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη προς την σύνδεση, στην οποία όλες οι συνδέσεις – κατερχόμενες και ανερχόμενες – ελέγχονται από τον σταθμό βάσης από τον οποίο προέρχονται ή στον οποίο απευθύνονται.

Το WiMAX προσδιορίζει επίσης ένα σχέδιο για τη ροή υπηρεσιών. Μια ροή υπηρεσίας είναι μια μονόδρομη ροή πακέτων, για την οποία ισχύει ένα σύνολο παραμέτρων QoS και ταυτοποιείται από ένα αναγνωριστικό ροής υπηρεσίας (service flow identifier - SFID).

## 2.14 Υποστήριξη της κινητικότητας

Το WiMAX προβλέπει τέσσερα σενάρια χρήσης σχετικά με την κινητικότητα:

- **Νομαδική Χρήση:** Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετακινήσει έναν σταθμό συνδρομητή και να τον εγκαταστήσει ξανά σε διαφορετικό σημείο προσάρτησης.
- **Φορητή Χρήση:** Μια φορητή συσκευή, όπως μια κάρτα δικτύου, μπορεί να έχει νομαδική πρόσβαση, ενώ η δυνατότητα μεταπομπής περιορίζεται στην βέλτιστη προσπάθεια.
- **Απλή Κινητικότητα:** Ο συνδρομητής έχει την δυνατότητα κίνησης με ταχύτητα μέχρι 60 km/h με σύντομες διακοπές της υπηρεσίας (μικρότερες του 1 sec) κατά τη διάρκεια της μεταπομπής.
- **Πλήρης Κινητικότητα:** Ο συνδρομητής έχει την δυνατότητα κίνησης με ταχύτητα μέχρι 120 km/h και μεταπομπή χωρίς εμφανή διακοπή υπηρεσίας (latency < 50 msec και απώλεια πακέτων < 1%)

Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 καθορίζει ένα πλαίσιο για την υποστήριξη της διαχείρισης της κινητικότητας. Ειδικότερα, το πρότυπο καθορίζει μηχανισμούς σηματοδότησης για την παρακολούθηση των σταθμών των συνδρομητών καθώς μετακινούνται από την ακτίνα κάλυψης ενός σταθμού βάσης σε έναν άλλο, τόσο στην περίπτωση που οι σταθμοί των συνδρομητών είναι ενεργοί, όσο και στην περίπτωση μετακίνησης από ένα γκρουπ σελιδοποίησης σε ένα άλλο ενώ ο σταθμός συνδρομητή είναι σε αδράνεια (πχ νομαδική χρήση).

Το πρότυπο διαθέτει επίσης πρωτόκολλα που δίνουν τη δυνατότητα απρόσκοπτης μεταπομπής ενεργών συνδέσεων από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλο. Το WiMAX Forum χρησιμοποιεί το πλαίσιο που προσδιορίστηκε στο πρότυπο 802.16e-2005 ώστε να αναπτύξει περαιτέρω την διαχείριση της κινητικότητας εντός ενός πλαισίου αρχιτεκτονικής δικτύου από

άκρο σε άκρο. Η αρχιτεκτονική αυτή υποστηρίζει επίσης κινητικότητα επιπέδου IP κάνοντας χρήση mobile IP.

## 2.15 Λειτουργίες ασφάλειας δεδομένων

Τα συστήματα WiMAX είναι σχεδιασμένα εξ αρχής ώστε να διαθέτουν ισχυρούς μηχανισμούς ασφάλειας πληροφοριών. Το πρότυπο περιλαμβάνει τις πιο σύγχρονες μεθόδους για την εξασφάλιση της ιδιωτικότητας των δεδομένων και την αποτροπή της μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Επίσης υπάρχει πρόσθετη βελτιστοποίηση για την υποστήριξη της κινητικότητας.

Η διαχείριση της ασφάλειας γίνεται από ένα υπόστρωμα εντός του επιπέδου MAC του WiMAX. Τα κύρια χαρακτηριστικά της ασφάλειας πληροφοριών του WiMAX περιγράφονται παρακάτω.

### ➤ Υποστήριξη της ιδιωτικότητας

Τα δεδομένα των χρηστών κρυπτογραφούνται χρησιμοποιώντας κρυπτογραφικά σχήματα με αποδεδειγμένα ισχυρή ασφάλεια για την παροχή υπηρεσιών ιδιωτικότητας. Υποστηρίζονται οι αλγόριθμοι AES (Advanced Encryption Standard) και 3DES (Triple Data Encryption Standard).

Τα κλειδιά κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του κρυπτογραφήματος κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυθεντικοποίησης είναι μήκους 128 bit ή 256 bit και ανανεώνονται περιοδικά για παροχή πρόσθετης προστασίας.

### ➤ Αυθεντικοποίηση χρήστη / συσκευής

Το WiMAX παρέχει έναν ευέλικτο μηχανισμό για την αυθεντικοποίηση των σταθμών συνδρομητή και των χρηστών ώστε να αποφευχθεί η μη-εξουσιοδοτημένη χρήση. Το πλαίσιο αυθεντικοποίησης βασίζεται στο Internet Engineering Task Force (IETF) EAP, το οποίο υποστηρίζει μια πλειάδα τρόπων αυθεντικοποίησης, όπως η χρήση ονόματος χρήστη / κωδικού πρόσβασης, τα ψηφιακά πιστοποιητικά και οι έξυπνες κάρτες.

Οι τερματικές συσκευές του WiMAX κατασκευάζονται με ενσωματωμένα ψηφιακά πιστοποιητικά X.509, τα οποία περιέχουν τα δημόσια κλειδιά και τις διευθύνσεις MAC. Οι πάροχοι του WiMAX μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα πιστοποιητικά για την αυθεντικοποίηση των συσκευών και ταυτόχρονα την αυθεντικοποίηση με χρήση ονόματος χρήστη / κωδικού πρόσβασης ή έξυπνης κάρτας για την αυθεντικοποίηση των χρηστών

➤ **Ευέλικτο πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιών**

Η δεύτερη έκδοση του πρωτοκόλλου ιδιωτικότητας και διαχείρισης κλειδιών (Privacy and Key Management Protocol Version 2 - PKMv2) χρησιμοποιείται για την ασφαλή μεταφορά των κλειδιών από τον σταθμό βάσης στις τερματικές συσκευές, ανανεώνοντας περιοδικά τα κλειδιά κρυπτογράφησης και την επανεξουδιωτώντας τις τερματικές συσκευές

➤ **Προστασία των μηνυμάτων ελέγχου**

Η ακεραιότητα των μηνυμάτων ελέγχου που μεταδίδονται ασύρματα προστατεύεται χρησιμοποιώντας σχήματα σύνοψης μηνυμάτων όπως το CMAC που βασίζεται στον αλγόριθμο AES και το HMAC που βασίζεται στον αλγόριθμο MD5.

➤ **Υποστήριξη γρήγορης μεταπομπής (handover)**

Για να υποστηριχθεί η γρήγορη μεταπομπή, το WiMAX επιτρέπει στο κινητό σταθμό την χρήση της προ-αυθεντικοποίησης με ένα συγκεκριμένο σταθμό βάσης έτσι ώστε να διευκολυνθεί η επιτάχυνση της επανένταξης.

Ένα σχήμα τριπλής χειραψίας υποστηρίζεται για την βελτιστοποίηση των μηχανισμών επαναυθεντικοποίησης και την υποστήριξη της γρήγορης μεταπομπής, ενώ ταυτόχρονα προλαμβάνονται επιθέσεις ενδιάμεσου (man-in-the-middle).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ WiMAX

---

### 3.1 Εισαγωγή

Έχοντας παρουσιάσει την αρχιτεκτονική ενός δικτύου WiMAX, έτσι όπως αυτή ορίζεται από το δικτυακό μοντέλο αναφοράς, είναι χρήσιμο για λόγους κατανόησης να παρουσιάσουμε μερικές εφαρμογές αυτών των δικτύων. Η τεχνολογία WiMAX έχει σχεδιαστεί, ώστε να ενσωματώνει πρωτοποριακές μεθόδους ασύρματης μετάδοσης, που μέχρι σήμερα αποτελούσαν κομμάτι της έρευνας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση των ρυθμών μετάδοσης, αλλά και των αποστάσεων κάλυψης, σε σύγκριση πάντα με τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα. Το γεγονός αυτό καθιστά τα δίκτυα WiMAX την ιδανική λύση σε πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν τους μηχανικούς ασύρματων δικτύων.

Γενικά υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες εφαρμογών του WiMAX: οι σταθερές εφαρμογές, οι οποίες επιτρέπουν την ευρυζωνική πρόσβαση στα σπίτια και τις επιχειρήσεις και οι κινητές εφαρμογές WiMAX, που προσφέρουν την πλήρη κινητικότητα των κυψελοειδών δικτύων στις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες. Πιο συγκεκριμένα όμως, το πρότυπο 802.16 έχει εξαιρετικές εφαρμογές και αναμένεται να δώσει πολλές λύσεις σε υπάρχοντα προβλήματα της βιομηχανίας και όχι μόνο, μερικές από τις οποίες αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω:

**Κυψελοειδής μετάδοση (backhaul):** Οι πάροχοι της κύριας αρτηρίας (backbone) του internet στην Αμερική είναι αναγκασμένοι να μισθώσουν σε τρίτους παρόχους υπηρεσιών (ISPs) γραμμές του δικτύου, μια συμφωνία που κάνει την ενσύρματη σύνδεση στο internet για τους χρήστες αρκετά προσιτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το 20% των κυψελών που εξυπηρετούν την ασύρματη επικοινωνία να μένουν αχρησιμοποίητες. Στην Ευρώπη όμως δεν συμβαίνει αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις. Το 802.16a αποτελεί μία εξαιρετική λύση σε εταιρίες παροχής τέτοιων υπηρεσιών, που τώρα δε θα είναι αναγκασμένες να μισθώνουν ενσύρματες γραμμές, αλλά μπορούν με τη χρήση των ασύρματων κυψελών να παρέχουν φτηνό internet στους χρήστες.

**Άρση των περιορισμών των καλωδίων:** Λόγω των περιορισμών του υλικού (χαλκός) στην τεχνολογία DSL παρατηρούνται πολλά προβλήματα ποιότητας υπηρεσιών, ειδικά σε χρήστες που βρίσκονται σε μακρινές αποστάσεις από τα ψηφιακά κέντρα. Τα προβλήματα αυτά και οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης ωθούν πολλούς συνδρομητές να αναζητήσουν άλλες λύσεις για την κάλυψη των ευρυζωνικών τους αναγκών. Αυτή η κατηγορία συνδρομητών

είναι αυτοί που βρίσκονται μακριά από τα κέντρα δρομολόγησης και αντιμετωπίζουν τα μεγαλύτερα προβλήματα. Η χρήση οπτικής ίνας από τη μεριά των παρόχων βελτιώνει την απόδοση του δικτύου αρκετά, ωστόσο όμως ο χαλκός παραμένει στην εγκατάσταση του «τελευταίου μιλίου» και μαζί με αυτόν παραμένουν και τα προβλήματα για τους χρήστες. Επίσης, η αναβάθμιση του DSL δικτύου σε απομακρυσμένες αγροτικές ή νησιωτικές είναι ιδιαίτερα δύσκολη και ακριβή και γίνεται ακόμη πιο ακριβή αν συνυπολογίσουμε το μικρό συνδρομητικό φορτίο που θα καλυφθεί. Η προτυποποίηση της ασύρματης δικτύωσης με τη δημιουργία του 802.16 μπορεί να λύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα. Επίσης μπορεί να παρέχει επιπλέον υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό κόστος.

**Επέκταση της ασύρματης ευρυζωνικότητας:** Το πρότυπο 802.16 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μεγαλύτερη αξιοποίηση του 802.11. Τα σπίτια ή τα γραφεία τα οποία έχουν μικρά τοπικά δίκτυα (LANs) τα οποία χρησιμοποιούν το 802.11 μπορεί να γίνουν σταθμοί για ένα 802.16 WAN, ειδικότερα σε περιοχές που η χρήση καλωδίων είναι εξαιρετικά δύσκολη. Επίσης, η χρήση του 802.16 μας απαλλάσσει από το πρόβλημα της εγκατάστασης καλωδίων σε κτίρια στα οποία δεν είχε γίνει καμία προηγούμενη τέτοια εγκατάσταση και με πολύ χαμηλό κόστος. Επιπλέον μας δίνεται το πλεονέκτημα να διαμορφώσουμε τη σύνδεση μας σε πιο αργή ή πιο γρήγορη χωρίς καμία επιπλέον εγκατάσταση.

**Απομακρυσμένες περιοχές:** Η ασύρματη τεχνολογία internet με τη χρήση του 802.16 είναι μία φυσική επιλογή για απομακρυσμένες περιοχές. Σε αυτή τη κατεύθυνση έχουν αρχίσει να δουλεύουν πολλές κυβερνήσεις σε συνεργασία με παρόχους ασύρματων υπηρεσιών (Wireless Internet Service Providers – WISPs). Σύμφωνα με πρόσφατα στατιστικά περισσότεροι από 2.500 WISPs, που εκμεταλλεύονται το χωρίς άδεια φάσμα (exempt-licensed spectrum) έχουν ανοιχτεί σε περισσότερες από 8.000 αγορές στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Γενικά όμως, σε διεθνές επίπεδο οι περισσότερες επεκτάσεις γίνονται στο νόμιμο φάσμα συχνοτήτων σε πελάτες, που απαιτούν καλή ποιότητα μεταφοράς φωνής παρά δεδομένων. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε κάποιες περιοχές που δεν υπάρχει ενσύρματο δίκτυο.

## 3.2 Εφαρμογές

Βασισμένο στα τεχνικά του χαρακτηριστικά, το WiMAX είναι κατάλληλο να υποστηρίξει μία μεγάλη ποσότητα εφαρμογών χρήσης. Μερικά από αυτές τις εφαρμογές, συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα, ο οποίος επιδεικνύει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του WiMAX, που είναι κρίσιμα για την επιτυχή λειτουργία των εφαρμογών αυτών.

	Flexible Architecture	High Security	WiMAX QoS	Quick Deployment	Multi-Level Service	Interoperability	Portability	Mobility	Cost-Effective	Wider Coverage	NLOS	High Capacity
Cellular Backhaul				x					x			x
WSP Backhaul				x					x			x
Banking Networks	x	x	x						x		x	
Education Networks	x		x						x	x		
Public Safety	x	x	x	x			x	x			x	
Offshore Communications	x		x				x	x		x	x	
Campus Connectivity	x	x	x									x
Temporary Construction			x	x			x				x	
Theme Parks	x		x				x	x			x	
WSP Access Network		x	x		x	x			x		x	x
Rural Connectivity			x			x			x	x		
Military Battlefield	x	x		x			x	x				

3.1 Εφαρμογές WiMAX

Αυτό που ώθησε την εμπορική αγορά των ασύρματων δικτύων να στραφεί προς την τεχνολογία WiMAX είναι η υψηλή αποδοτικότητα της τεχνολογίας αυτής, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος υλοποίησης. Το WiMAX προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στους παρόχους, όσο και στους χρήστες, για διαφορετικά περιβάλλοντα και σε διαφορετικές γεωγραφικές και δημογραφικές περιοχές.

Σε πολλές χώρες τα δίκτυα WiMAX χρησιμοποιούνται με σκοπό την αποσυμφόρηση του συνδρομητικού φόρτου των δικτύων LTE. Ο στόχος είναι ο κυρίως όγκος της πρόσβασης σε ευρυζωνικές υπηρεσίες να πραγματοποιείται μέσω των δικτύων WiMAX.

Εκτός από τα οικονομικά πλεονεκτήματα του WiMAX στην αγορά, συγκεντρώνει συνολικά μια σειρά τεχνοοικονομικών πλεονεκτημάτων, από τα οποία διαφαίνεται ο πρωταγωνιστικός ρόλος τους. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα, που φέρνει το WiMAX σε πολλές περιπτώσεις στη πρώτη θέση επιλογής είναι τα παρακάτω :

- Ευέλικτη αρχιτεκτονική
- Υψηλή ασφάλεια
- Γρήγορη εγκατάσταση και ανάπτυξη
- Υπηρεσία πολλαπλών επιπέδων
- Δια-λειτουργικότητα
- Φορητότητα
- Κινητικότητα
- Χαμηλό κόστος
- Ευρεία κάλυψη
- Υψηλή χωρητικότητα

όπως αυτά αναλύθηκαν λεπτομερειακά στο κεφαλαίο **2.4 – στόχοι και κύρια πλεονεκτήματα** .



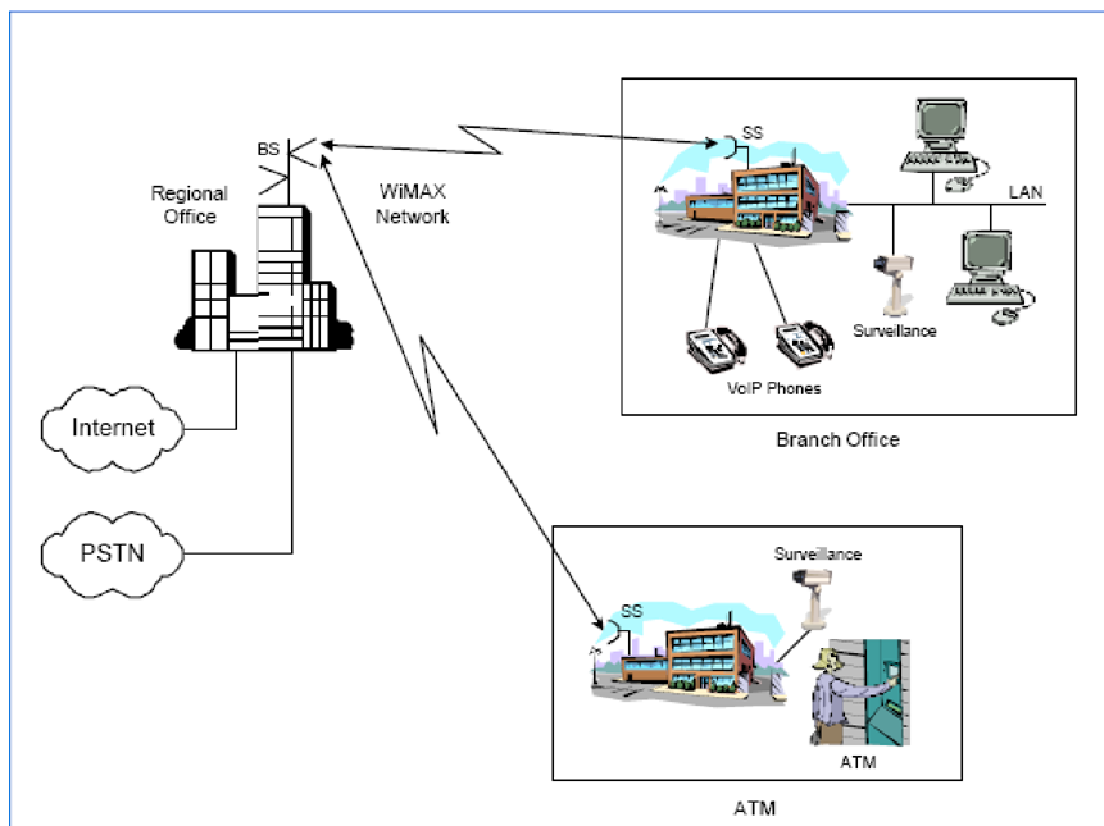
### 3.3 Που χρησιμοποιούνται δίκτυα WiMAX και γιατί

Όπως είδαμε και στον πίνακα 3.1 το πρότυπο 802.16 χρησιμοποιείται παγκοσμίως δίνοντας τα οφέλη του καθημερινά στην εκπαίδευση , στον χώρο της υγείας , στην δημόσια ασφάλεια , στον στρατό , σε τραπεζικά δίκτυα κ.α

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά που χρησιμοποιούνται και για ποιους λόγους προτιμήθηκαν ανά περίπτωση χρήσης .

#### 3.3.1 Δίκτυα τραπεζών

Οι μεγάλες τράπεζες μπορούν να συνδέουν υποκατάστημα και τοποθεσίες ATM με το κεντρικό γραφείο της περιοχής μέσω ενός ιδιωτικού δικτύου WiMAX μεταφέροντας φωνή, δεδομένα και βίντεο, όπως φαίνεται παρακάτω. Αυτές οι τράπεζες συνήθως εκτείνονται σε μια αρκετά μεγάλη περιοχή και χρειάζεται υψηλή ασφάλεια και εύρος ζώνης, ώστε να διαχειρίζεται η κυκλοφορία:



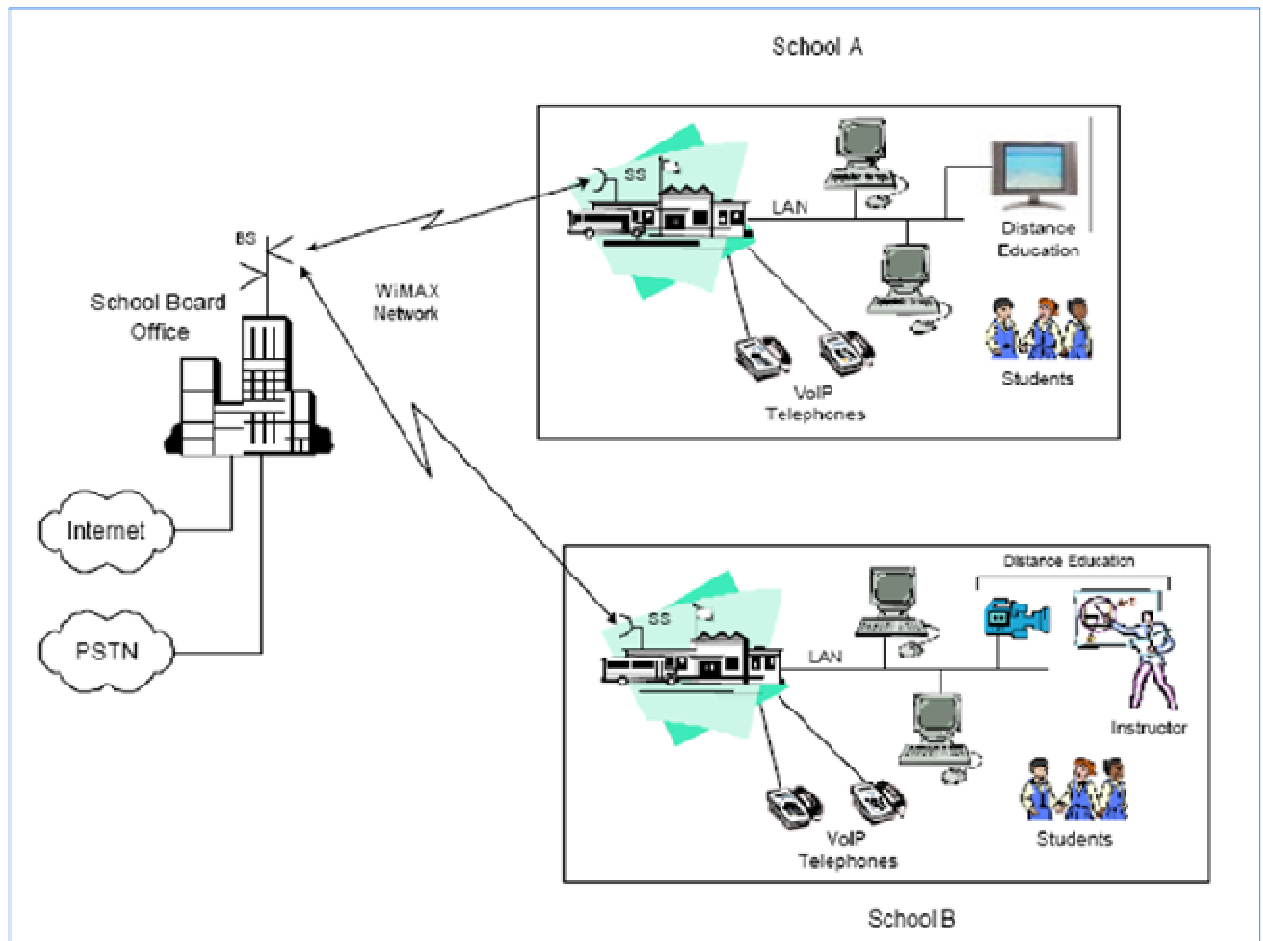
3.2 Τραπεζικό δίκτυο WiMAX

Η κρυπτογράφηση δεδομένων μέσω του WiMAX προσφέρει εξαιρετική ασφάλεια σύνδεσης, παρολαυτά, οι τράπεζες πιθανόν να χρειαστούν και ασφάλεια από άκρη σε άκρη, όπως αυτή που παρέχεται από το SSL, για να προστατευτούν ενάντια σε ανεπιθύμητη εισβολή στην ευαίσθητη τραπεζική κυκλοφορία. Η ευρεία κάλυψη και η υψηλή χωρητικότητα επιτρέπει το κεντρικό γραφείο της τράπεζας να είναι συνδεδεμένο με ένα μεγάλο αριθμό υποκαταστημάτων και σημείων ATM, που είναι διασκορπισμένα στην ευρύτερη περιοχή. Τα δίκτυα WiMAX επίσης προσφέρουν έναν υψηλό βαθμό κλιμάκωσης, ώστε η κυκλοφορία χαμηλού ρυθμού δεδομένων μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των ATM να συνυπάρχει με τα υψηλά επίπεδα της κυκλοφορίας που χρειάζεται για να υποστηριχθούν οι επικοινωνίες μεταξύ κεντρικού γραφείου και υποκαταστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας το QoS του WiMAX, το οποίο χρησιμοποιείται, ώστε να δίνει προτεραιότητα στην κυκλοφορία φωνής (τηλεφωνία ανάμεσα στα καταστήματα), δεδομένων (οικονομικές συναλλαγές, email, Internet και intranet) και βίντεο (παρακολούθηση, CCTV). Είναι επιθυμητό για τις τράπεζες να έχουν τα δικά τους δίκτυα, για πολλούς λόγους. Εκτός από την εξάλειψη του κόστους που χρεώνουν οι τηλεφωνικές εταιρείες, οι τράπεζες θα έχουν τη δυνατότητα να αναδιοργανώνουν το δίκτυό τους γρήγορα αν ένα ATM ή ένα υποκατάστημα έχει προσωρινά ή μόνιμα αλλάξει τοποθεσία. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη λογική του DSL και της καλωδιακής τεχνολογίας, που είναι περισσότερο «δυσκίνητες» τεχνολογίες.

### 3.3.2 Εκπαιδευτικά Δίκτυα

Τα υπουργεία παιδείας μπορούν να χρησιμοποιούν τα δίκτυα WiMAX για να συνδέουν τα σχολεία με τα υπουργεία ή τις νομαρχίες (αν βρισκόμαστε στην επαρχία) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Μερικά από τα χαρακτηριστικά κλειδιά για ένα τέτοιο σύστημα είναι NLOS, υψηλό εύρος ζώνης (>15 Mbps), δυνατότητα για Point-to-Point και Point-to-Multipoint στήσιμο και δυνατότητα για ευρεία κάλυψη.

Τα εκπαιδευτικά δίκτυα που βασίζονται στο WiMAX και χρησιμοποιούν το QoS, μπορούν να μεταφέρουν στο μέγιστο το εύρος των απαιτήσεων της επικοινωνίας, συμπεριλαμβανόμενων τη φωνή τηλεφωνίας, λειτουργικά δεδομένα (όπως οι φάκελοι των μαθητών), email, πρόσβαση σε Internet και intranet (δεδομένα) και εκπαίδευση από απόσταση (βίντεο) ανάμεσα σε κεντρικά του υπουργείου ή της νομαρχίας και όλων των σχολείων στην περιφέρεια κάλυψης, αλλά και μεταξύ των ίδιων των σχολείων.

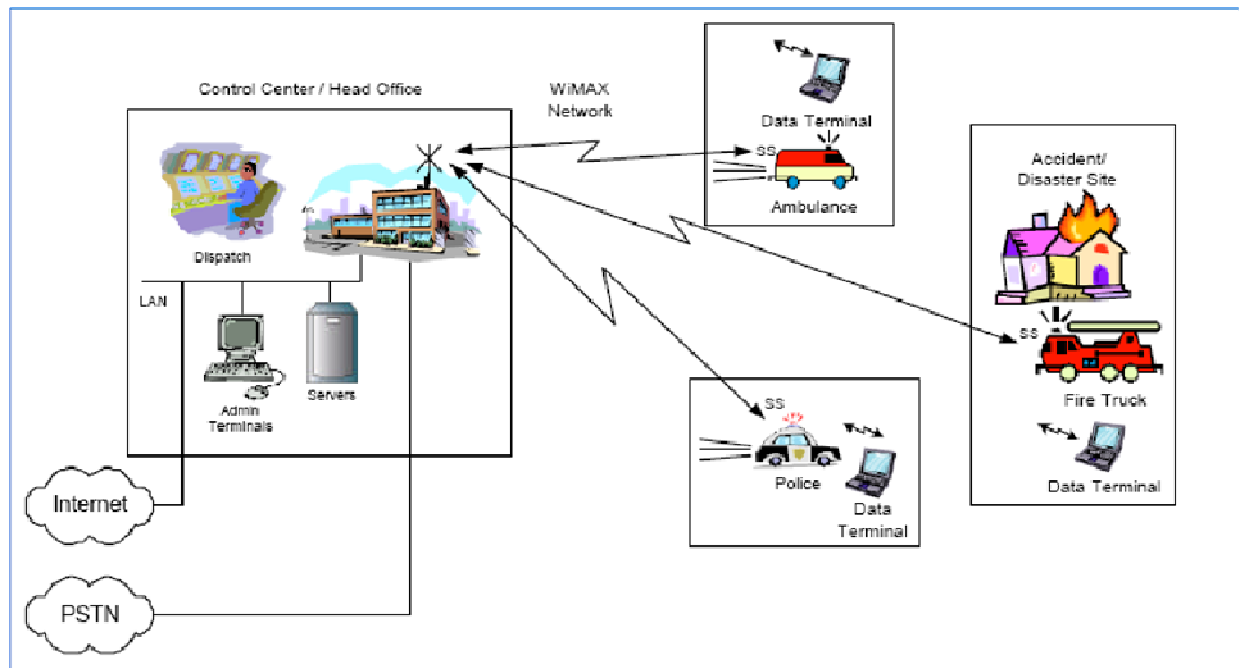


### 3.3 Δίκτυο εκπαίδευσης WiMAX

Στο παραπάνω σενάριο, η κάμερα στο σχολείο B μεταφέρει τη διδασκαλία του μαθήματος στο σχολείο A σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τα σχολεία να μεταδίδουν τη διδασκαλία ενός μαθήματος και σε άλλα σχολεία ταυτόχρονα, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον δασκάλους. Η λύση του WiMAX παρέχει ευρεία κάλυψη και σε χαμηλό κόστος και είναι ιδανική ειδικά για σχολεία της επαρχίας που έχουν λίγο ή καθόλου εξοπλισμό επικοινωνιών και είναι διασκορπισμένα σε μεγάλη ακτίνα. Όταν τα σχολεία θα έχουν και θα χρησιμοποιούν τα δικά τους δίκτυα, θα μπορούν οικειοθελώς να αντιδρούν σε οποιεσδήποτε αλλαγές στην τοποθεσία ή το πλήθος των εφαρμογών που διαθέτουν. Αυτό θα μειώσει σημαντικά το κόστος πιθανόν μισθωμένων γραμμών στο τηλεφωνικό δίκτυο. Έτσι, λοιπόν, βλέπουμε ότι οι καλωδιωμένες λύσεις δεν μπορούν να προσφέρουν μια γρήγορα εγκαταστάσιμη και χαμηλού κόστους λύση και οι περισσότερες εκδοχές DSL και καλωδίου δεν έχουν τους απαιτούμενους για τέτοια δίκτυα ρυθμούς μετάδοσης.

### 3.3.3 Δημόσια ασφάλεια

Οι κυβερνητικές υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας, όπως η αστυνομία και η πυροσβεστική μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα WiMAX, ώστε να υποστηρίξουν δύσκολες ιατρικές ή άλλες επείγουσες καταστάσεις, όπως φαίνεται παρακάτω.



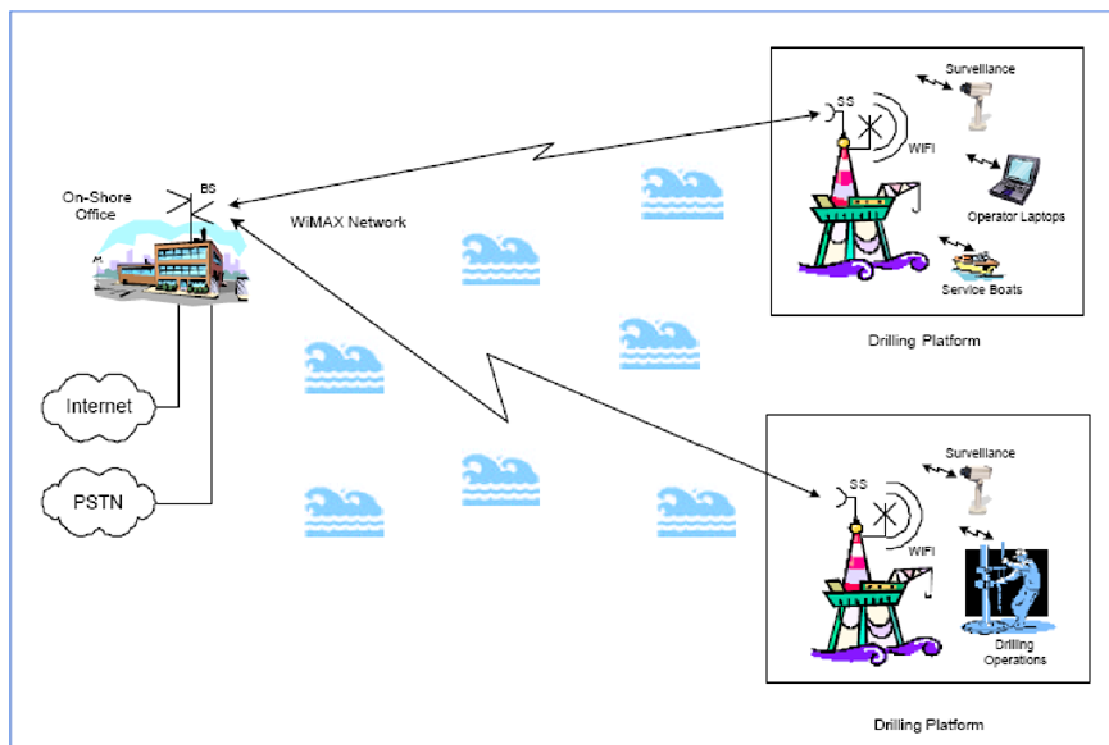
3.4 Δίκτυο WiMAX δημόσιας ασφάλειας

Τα παραπάνω δίκτυα παρέχουν αμφίδρομη επικοινωνία φωνής ανάμεσα στο κέντρο ελέγχου και τις ομάδες διάσωσης που βρίσκονται στην τοποθεσία του επείγοντος συμβάντος. Επίσης το δίκτυο μεταφέρει εικόνες βίντεο και δεδομένα από το σημείο του ατυχήματος στο κέντρο ελέγχου. Τα δεδομένα αυτά μπορούν με τη σειρά τους να μεταφερθούν σε ειδικές ομάδες ιατρικών ή άλλων ειδικών επιτελείων, τα οποία μπορούν να αναλύσουν την κατάσταση σε πραγματικό χρόνο, σαν να ήταν οι ίδιοι στον τόπο του ατυχήματος. Το QoS του WiMAX επιτρέπει στο δίκτυο να χειρίζεται όλες τις διαφορετικές καταστάσεις κυκλοφορίας των δεδομένων. Οι λύσεις WiMAX είναι εύκολα εγκαταστάσιμες, έτσι η αρχική ομάδα διάσωσης μπορεί να στήσει ένα προσωρινό ασύρματο δίκτυο στο σημείο του ατυχήματος, γεγονός ή φυσικής καταστροφής μέσα σε λίγα λεπτά. Μπορούν επίσης να μεταφέρουν κυκλοφορία από το δίκτυο αυτό στο κέντρο ελέγχου, μέσω ενός ήδη υπάρχοντος δικτύου WiMAX. Οι καλωδιωμένες λύσεις δεν είναι λειτουργικές στην περίπτωση αυτή, λόγω του απρόβλεπτου των ατυχημάτων και των καταστροφών και της μεταβολής της ανάγκης για κινητότητα. Για παράδειγμα, ένας αστυνομικός μπορεί να θέλει να έχει πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων από ένα κινούμενο όχημα ή ένας πυροσβέστης να χρειάζεται τη βέλτιστη διαδρομή για να φτάσει στο σημείο της πυρκαγιάς ή να χρειάζεται την αρχιτεκτονική του

κτιρίου. Μία βίντεο κάμερα στο ασθενοφόρο μπορεί να προσφέρει προχωρημένη πληροφορία για την κατάσταση ενός ασθενή πριν το ασθενοφόρο φτάσει το νοσοκομείο. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, το WiMAX παρέχει υποστήριξη για κινητότητα και υψηλό εύρος ζώνης, κάτι που τα συστήματα στενού εύρους ζώνης δεν μπορούν να επιτύχουν.

### 3.3.4 Επικοινωνίες Offshore (σε απόσταση από την παραλία)

Οι παραγωγοί πετρελαίου και αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον εξοπλισμό WiMAX, ώστε να έχουν επικοινωνιακή ζεύξη από τις εγκαταστάσεις στην ξηρά στις πετρελαιοπηγές και πλατφόρμες στη θάλασσα, ώστε να πραγματοποιούνται απομακρυσμένες λειτουργίες, ασφάλεια και βασικές επικοινωνίες, όπως φαίνεται παρακάτω.



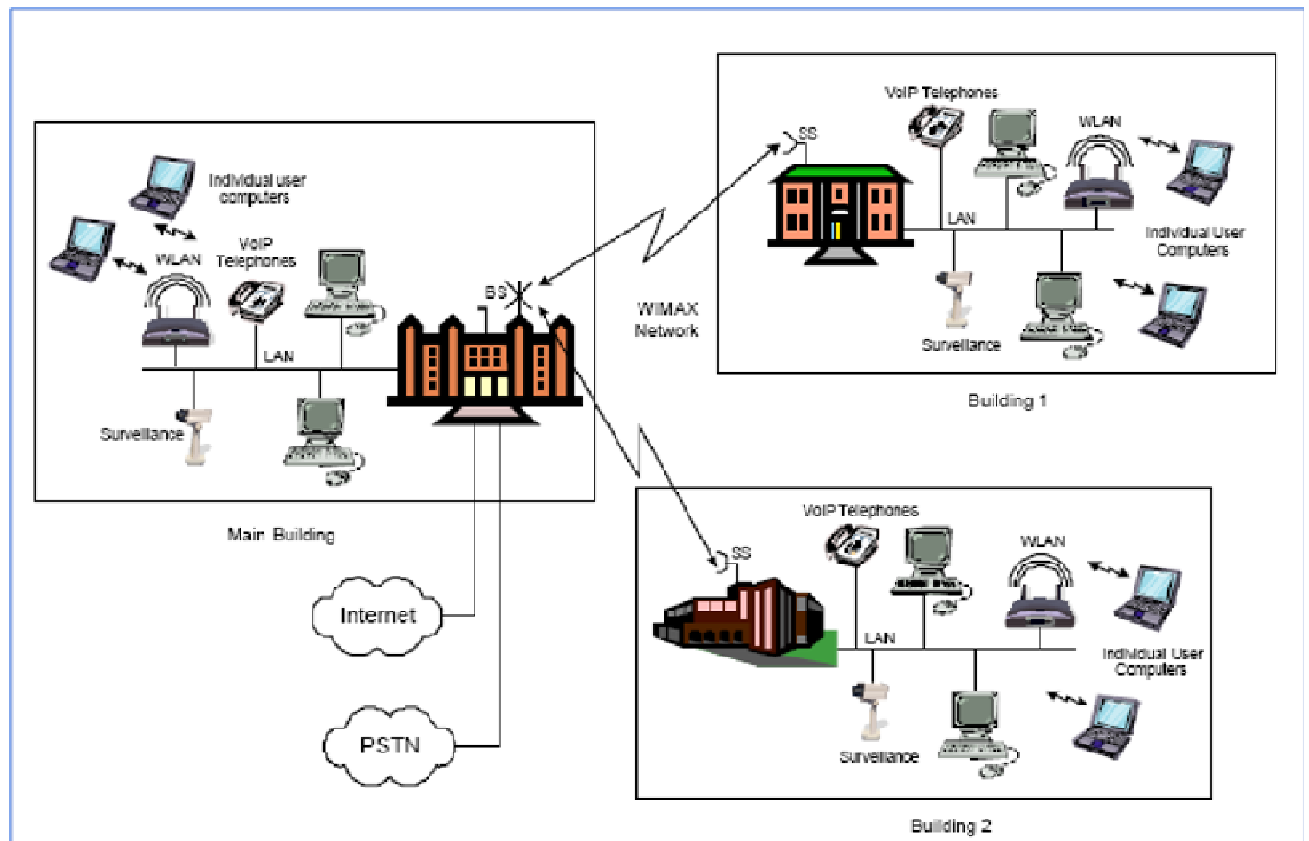
### 3.5 Δίκτυο WiMAX από ξηρά σε θάλασσα

Οι απομακρυσμένες λειτουργίες περιλαμβάνουν απομακρυσμένη λύση προβλημάτων εξοπλισμού, παρακολούθηση της τοποθεσίας και πρόσβαση σε βάση δεδομένων. Για παράδειγμα, βίντεο από δυσλειτουργικά κομμάτια μπορούν να μεταδοθούν στους σταθμούς ξηράς για να αναλυθούν από ομάδες ειδικών. Η ασφάλεια περιλαμβάνει συστήματα συναγερμών και παρακολούθηση του χώρου. Οι βασικές επικοινωνίες περιλαμβάνουν τηλεφωνία, email, πρόσβαση στο internet και συνεδριάσεις μέσω βίντεο. Τα δίκτυα WiMAX εγκαθίστανται γρήγορα και εύκολα. Το δίκτυο μπορεί να στηθεί ή να ξαναστηθεί σε μικρό χρονικό διάστημα, ακόμα και όταν οι πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου μεταφέρονται. Οι καλωδιωμένες

λύσεις δεν είναι κατάλληλες, καθώς οι εγκαταστάσεις δεν είναι πάντα στην ξηρά και είναι συχνά μεταφερόμενες. Όταν χρειάζεται μια εγκατάσταση να εγκαταλειφθεί προσωρινά, οι επικοινωνίες για την παρακολούθηση της περιοχής συντηρούνται με τερματικά WiMAX βασισμένα σε μπαταρίες.

### 3.3.5 Συνδέσεις σε Πανεπιστημιούπολεις

Κυβερνητικές υπηρεσίες, μεγάλες επιχειρήσεις, βιομηχανικές περιοχές, μεταφορικά μέσα, πανεπιστήμια και κολέγια μπορούν να χρησιμοποιούν δίκτυα WiMAX για να συνδέουν πολλαπλές τοποθεσίες και γραφεία μέσα στην περιοχή δράσης τους (π.χ. πανεπιστημιούπολη), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα συστήματα επικοινωνίας στην πανεπιστημιούπολεις απαιτούν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση, μεγάλη περιοχή κάλυψης και υψηλή ασφάλεια.

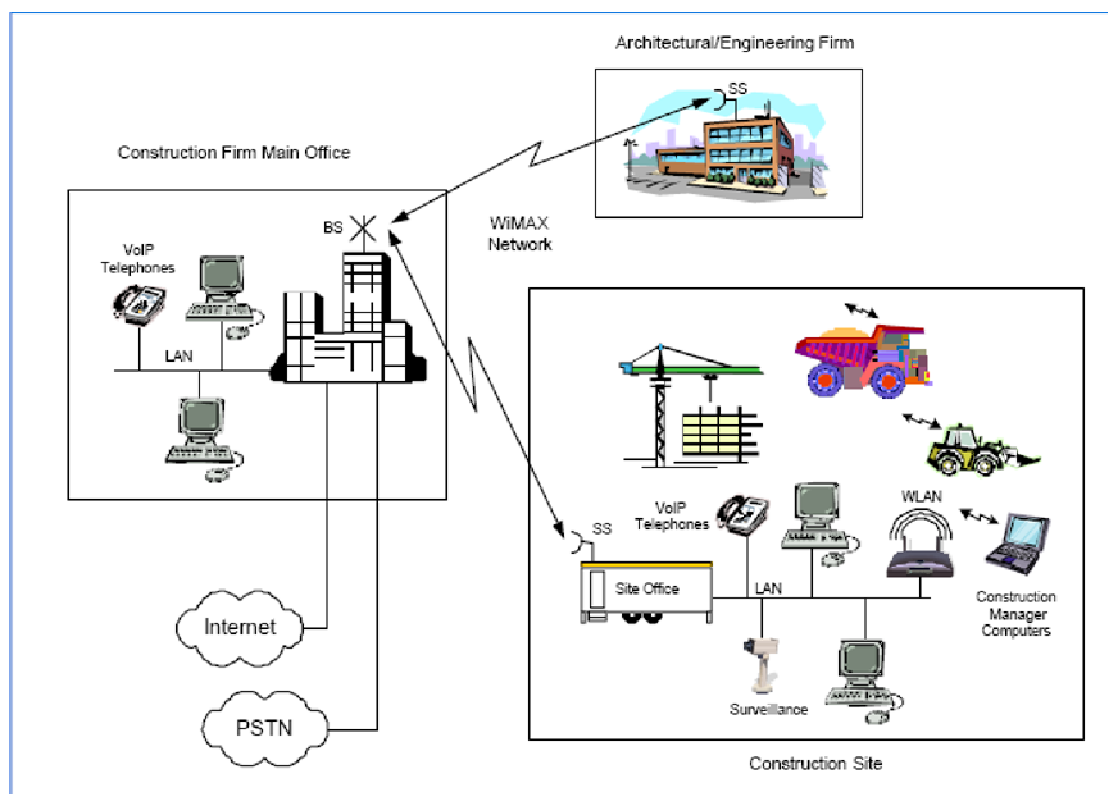


3.6 Δίκτυο WiMAX πανεπιστημιούπολης

Όπως κάθε άλλο σενάριο χρήσης, τα δίκτυα αυτά μεταφέρουν μια μίξη φωνής, δεδομένων και βίντεο, την οποία το QoS του WiMAX βοηθάει να ιεραρχεί και να βελτιστοποιεί. Χρειάζεται λιγότερος χρόνος και εξοπλισμός για να διασυνδεθεί μία πανεπιστημιούπολη με ένα δίκτυο WiMAX, καθώς δε χρειάζεται ούτε σκάψιμο ούτε εξωτερικές κατασκευές. Μερικές πανεπιστημιούπολεις είναι ήδη διασυνδεδεμένες με καλώδιο εδώ και πολλά χρόνια και σκάψιμο για το ξήλωμα των καλωδίων δε συζητάται καν. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το WiMAX μπορεί να είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη διασύνδεση των κτιρίων της πανεπιστημιούπολης. Ακόμα και αν υπάρχουν καλωδιωμένες εγκαταστάσεις, ο χρόνος που χρειάζεται μια εφαρμογή βασισμένη στο υπάρχον καλωδιωμένο δίκτυο είναι πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται το δίκτυο WiMAX για να στηθεί και να δουλέψει.

### 3.3.6 Επικοινωνίες Προσωρινών Κατασκευών

Οι εταιρείες κατασκευών μπορούν να χρησιμοποιήσουν δίκτυα WiMAX, ώστε να εγκαταστήσουν επικοινωνιακές ζεύξεις ανάμεσα στα κεντρικά γραφεία της εταιρείας και το μέρος της κατασκευής, όπως φαίνεται παρακάτω:



3.7 Δίκτυο WiMAX κατασκευαστικής εταιρείας

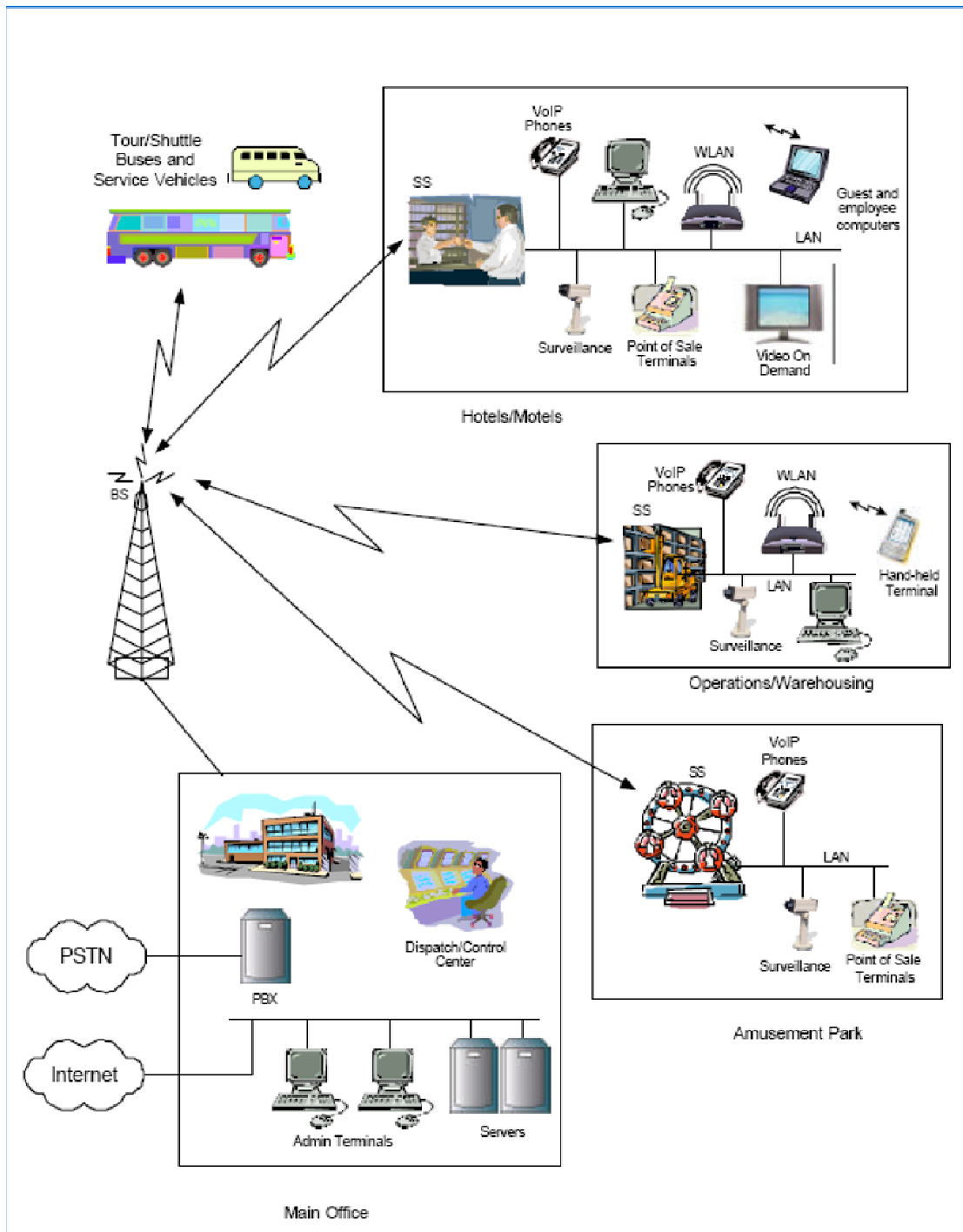
Η γρήγορη απεγκατάσταση του WiMAX είναι επίσης σημαντική σε αυτό το σενάριο, καθώς παρέχει γρήγορη επικοινωνία στην τοποθεσία κατασκευής με φωνή (τηλεφωνία) και δεδομένα (email, σχέδια μηχανικών και πρόσβαση στο internet). Η παρακολούθηση μέσω βίντεο επιτελείται επίσης μέσω του δικτύου για την υποστήριξη της επιτήρησης της τοποθεσίας (ή μερών της) που είναι δύσκολο να γίνει αλλιώς. Ένα τοπικό hot spot (σημείο πρόσβασης) μπορεί επίσης να εγκατασταθεί στην τοποθεσία της κατασκευής, επιτρέποντας στο προσωπικό να επικοινωνεί και να ανταλλάσσει δεδομένα και πληροφορίες για το χρονοδιάγραμμα. Όπως και στα προηγούμενα σενάρια, το ενσωματωμένο QoS του WiMAX ιεραρχεί τη δικτυακή κυκλοφορία και βελτιστοποιεί το κανάλι επικοινωνίας. Οι τοποθεσίες κατασκευής περιλαμβάνουν (και όχι μόνο) κτίρια γραφείων, ανάπτυξη κατοικιών, πετρελαϊκές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις αερίου. Καθώς η κατασκευαστική δραστηριότητα στις τοποθεσίες αυτές είναι προσωρινή, οι καλωδιωμένες λύσεις δεν είναι οι κατάλληλες. Ο εξοπλισμός του WiMAX, καθότι φορητός, μπορεί να ξαναστηθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί και σε άλλες κατασκευαστικές τοποθεσίες.

### 3.3.7 Θεματικά Πάρκα

Οι υπεύθυνοι των θεματικών πάρκων μπορούν να χρησιμοποιήσουν WiMAX ώστε να μεταφέρουν μια ευρεία ακτίνα υπηρεσιών επικοινωνίας για τα πάρκα ψυχαγωγίας τους, εκθέσεις, κέντρα φιλοξενίας και ελέγχου και οχήματα υπηρεσιών και λεωφορεία, όπως φαίνεται παρακάτω.

Το παρακάτω δίκτυο (εικόνα 3.8) μπορεί να υποστηρίξει μια ευρεία ακτίνα από επικοινωνιακή κυκλοφορία, όπως αμφίδρομη επικοινωνία προς και από το κέντρο ελέγχου, παρακολούθηση μέσω βίντεο, συντήρηση δεδομένων, πρόσβαση και ανανέωση της βάσης δεδομένων, παρακολούθηση του πάρκου, βίντεο κατά βούληση και τηλεφωνία φωνής. Μερικά από τις απαιτήσεις-κλειδιά για ένα σύστημα σαν το παραπάνω είναι η υποστήριξη για σταθερές και κινητές λειτουργίες, υψηλή ασφάλεια, κλιμακωτή αρχιτεκτονική και χαμηλή καθυστέρηση. Η ευρεία κάλυψη του WiMAX σημαίνει ότι ένα ολόκληρο πάρκο μπορεί να καλυφθεί από μόνο 11 σταθμούς βάσης, κλιμακωτά προς τα πάνω, καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις για χωρητικότητα. Το QoS MAC του WiMAX βάζει σε προτεραιότητα και βελτιστοποιεί την κυκλοφορία, όπως την καθορίζει ο χειριστής του συστήματος. Επίσης, το επαναστήσιμο του συστήματος είναι θέμα λεπτών και βίντεο σε πραγματικό χρόνο μεταδίδεται στα τουριστικά λεωφορεία, παρέχοντας πληροφορίες για τις δραστηριότητες και τον καιρό στους πελάτες.

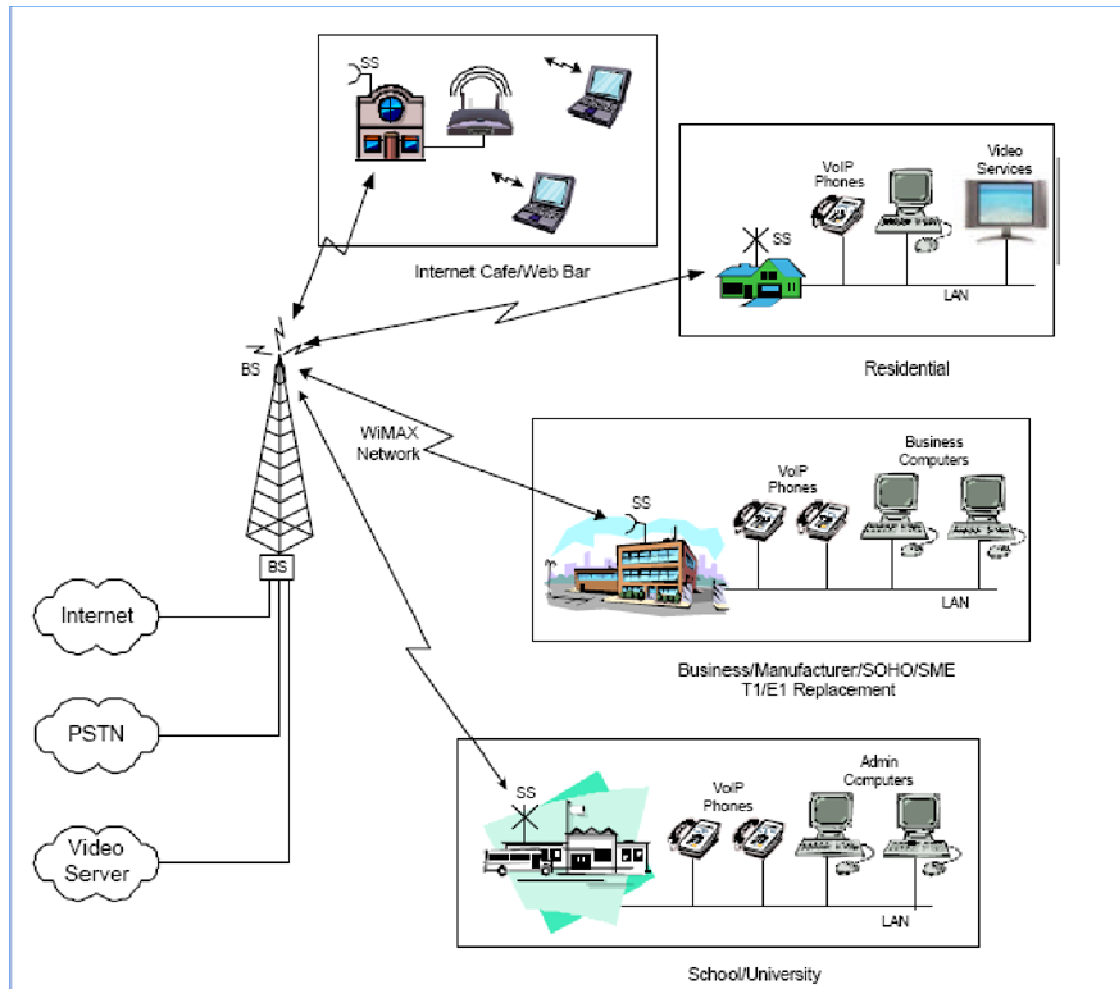




### 3.8 Δίκτυο WiMAX -θεματικό πάρκο

### 3.3.8 Δίκτυο Πρόσβασης Πάροχου Ασύρματης Υπηρεσίας

Οι πάροχοι Ασύρματης Υπηρεσίας χρησιμοποιούν τα δίκτυα WiMAX για να παρέχουν συνδεσιμότητα στους πελάτες (φωνή, δεδομένα και βίντεο στους ιδιώτες και φωνή και internet στους επιχειρηματίες), όπως φαίνεται παρακάτω:



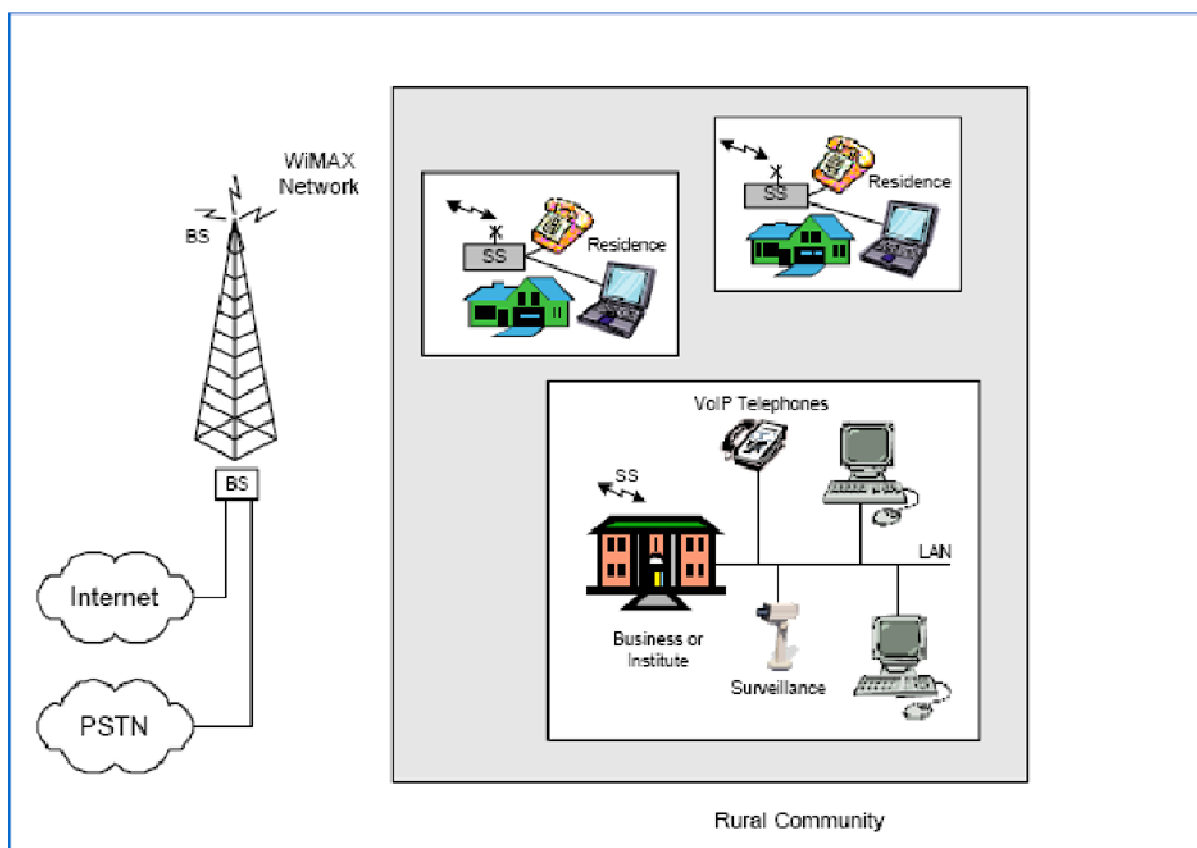
3.9 Δίκτυο WiMAX παροχής ασύρματης υπηρεσίας

Οι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών μπορεί να είναι εταιρείες που ξεκινούν την επιχείρησή τους με μικρό ή καθόλου εξοπλισμό. Καθώς το WiMAX εγκαθίσταται εύκολα, οι εταιρείες μπορεί να αναπτυχθούν εύκολα και να ανταγωνίζονται με τις ήδη υπάρχουσες εταιρείες. Ο ενσωματωμένος μηχανισμός QoS του WiMAX είναι κατάλληλος για την κυκλοφορία που χειρίζεται η επιχείρηση. Το QoS MAC προσφέρει επίσης πολυεπίπεδη υπηρεσία ώστε να καλύπτει την ποικιλία των αναγκών της υπηρεσίας των πελατών. Μία πλατφόρμα ενός συνηθισμένου δικτύου που προσφέρει φωνή, δεδομένα και βίντεο, είναι υψηλά ελκυστική στους τελικούς χρήστες, επειδή παρουσιάζει ευκολία και μηνιαίο λογαριασμό. Η υποστήριξη για πολλαπλούς τύπους υπηρεσίας επιτρέπει διαφορετικές ροές εσόδων και μειώνει το κόστος απόκτησής του από τους πελάτες, αυξάνοντας το μέσο έσοδο ανά χρήστη. Οι πάροχοι χρειάζονται μόνο ένα σύστημα πληρωμής και μία βάση δεδομένων πελατών. Οι κυψελωτές υπηρεσίες επίσης ενδιαφέρονται για τις εφαρμογές του WiMAX. Οι εταιρείες έχουν

ήδη σταθμούς βάσης, υπηρεσίες πληρωμής και μία βάση πελατών, αλλά η εγκατάσταση συστήματος WiMAX θα επεκτείνει την παρουσία τους στην αγορά.

### 3.3.9 Συνδεσιμότητα σε αγροτικές περιοχές

Οι πάροχοι υπηρεσιών χρησιμοποιούν τα δίκτυα WiMAX για να μεταφέρουν υπηρεσίες σε υποβαθμισμένες αγορές σε αγροτικές περιοχές και στα προάστια των πόλεων, όπως φαίνεται παρακάτω:



### 3.10 Δίκτυο WiMAX αγροτικής περιοχής

Η μεταφορά της συνδεσιμότητας αυτής είναι κρίσιμη σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες και υποβαθμισμένες περιοχές των ανεπτυγμένων χωρών, όπου μικρός ή καθόλου εξοπλισμός δεν υπάρχει. Η συνδεσιμότητα αυτή μεταφέρει πολύ χρήσιμη τηλεφωνία φωνής και υπηρεσία internet. Από τότε που η λύση WiMAX παρέχει εκτεταμένη κάλυψη, είναι πολύ οικονομικά πιο αποτελεσματική από την καλωδιωμένη τεχνολογία σε περιοχές με μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού. Οι λύσεις WiMAX μπορούν να εγκατασταθούν γρήγορα, παρέχοντας επικοινωνιακές ζεύξεις σε αυτές τις υποβαθμισμένες περιοχές, παρέχοντας ένα πιο ασφαλές περιβάλλον, βοηθώντας στη βελτίωση των τοπικών οικονομιών.

### 3.3.10 Δίκτυα WiMAX στον στρατό

Μερικά από τα παραδείγματα των εφαρμογών που μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση του WiMAX φαίνονται από τη μέχρι τώρα χρησιμοποίησή του από στρατούς διεθνώς :

- **Ο Ισραηλινός στρατός** χρησιμοποίησε ευρέως WiMAX δίκτυα κατά τη διάρκεια των εχθροπραξιών του στο Λίβανο.
- **Ο στρατός της Κορέας** χρησιμοποιεί WiMAX δίκτυα, και ειδικότερα τις εφαρμογές που του προσφέρει η Samsung (Samsung Wibro).
- **Το σώμα των πεζοναυτών του αμερικάνικου στρατού (US Marines Corps)** ανέπτυξε στον πόλεμο στο Ιράκ WiMAX δίκτυα κυρίως για δομές και ζεύξεις peer to peer (δηλαδή σε δίκτυο που επιτρέπει σε δύο ή περισσότερους υπολογιστές να μοιράζονται τους πόρους τους ισοδύναμα).
- **Στο αμερικανικό ναυτικό (US Navy)** βρίσκεται σε εξέλιξη δοκιμή της δυνατότητας ανάπτυξης WiMAX δικτύων για την υλοποίηση Ship-to-Shore και Ship-to-Ship επικοινωνίας. ν. Ο γαλλικός στρατός προμηθεύτηκε με την BLR-IP εφαρμογή των WiMAX δικτύων για την εφαρμογή του στις μονάδες του υποστήριξης και διοικητικής μέριμνας.
- **Στον Ινδικό στρατό** βρίσκεται σε εξέλιξη μελέτη (TCS) στην οποία η χρήση του WiMAX είναι απαραίτητη.

Από όλα τα παραπάνω παραδείγματα, τα οποία συνεχώς με το χρόνο θα αυξάνονται, γίνεται φανερό ότι σε ένα σύγχρονο και διαρκώς μεταβαλλόμενο στρατιωτικό περιβάλλον επιχειρήσεων η χρήση του WiMAX πρόκειται να αντικαταστήσει ή ακόμα και να συνεργαστεί αρμονικά με τις ήδη υπάρχουσες πατροπαράδοτες μορφές επικοινωνίας στις εφαρμογές υποστήριξης μάχης.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση του WiMAX σε στρατιωτικές εφαρμογές είναι :

➤ **Η υψηλή απόδοση**

- Υψηλή ταχύτητα διαβίβασης δεδομένων (ρυθμαπόδοση) και υψηλή φασματική ικανότητα.
- Κάλυψη τόσο με ζεύξεις με οπτική επαφή (Line-Of-Sight) σε ακτίνα δεκάδων χιλιομέτρων, όσο και με ζεύξεις χωρίς οπτική επαφή (Non-Line-Of-Sight) σε ακτίνα χιλιομέτρων.
- Δυνατότητα κινητικότητας.

➤ **Η ευελιξία**

- Σημείου προς σημείο (Point-To-Point) διαρθρώσεις (Όταν το WiMAX χρησιμοποιείται ως «Δίκτυο Κορμού»).
- Σημείου προς Πολλαπλά Σημεία (Point to Multipoint) διαρθρώσεις (Όταν το WiMAX χρησιμοποιείται ως «Δίκτυο Πρόσβασης»).
- Διαρθρώσεις πολλαπλών τακτικών δικτύων και τερματικών.
- Δυνατότητα λειτουργίας σε ευρεία μπάντα συχνοτήτων.

➤ **Το κορυφαίο επίπεδο τεχνολογίας**

- Βασισμένο στην τεχνολογία του IP πρωτοκόλλου.
- Το WiMAX είναι ο πρωτοπόρος των BWA/4G τεχνολογιών.
- Το WiMAX Forum παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής και συνεργασίας στοιχείων και πληροφοριών με άλλα συστήματα (μεταξύ Σταθμών Βάσης και τερματικών).

➤ **Τακτική και Ασφάλεια**

- Δίκτυα «πυρήνα» (με δυνατότητα κεντρικού ελέγχου) αφού λειτουργούν με Σταθμούς Βάσης και τερματικά.
- Αυξημένη ασφάλεια για τη συνολική «από άκρη σε άκρη» (End-to-End) σύνδεση των χρηστών του, παρά το γεγονός ότι λειτουργεί σε ασύρματο περιβάλλον.
- Χρησιμοποιεί το ίδιο περιβάλλον εργασίας με τα υπόλοιπα παραδοσιακά στρατιωτικά δίκτυα επικοινωνιών.

### 3.3.11 Εφαρμογές WiMAX στον χώρο της υγείας

Πλέον οι βασικές εφαρμογές της ηλεκτρονικής υγείας είναι ο ηλεκτρονικός φάκελος και τα online φαρμακεία. Σύμφωνα με το World Health Organisation η τηλεϊατρική θεωρείται η παροχή υπηρεσιών από επαγγελματίες υγείας, όπου η απόσταση κρίνεται σημαντικός παράγοντας, με τη χρήση τεχνολογιών για ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών για τη διάγνωση, θεραπεία, πρόληψη ασθενειών και για τη διαρκή εκπαίδευση. Αναφορικά με το Norwegian Center of Telemedicine τηλεϊατρική καλείται η έρευνα, και διαχείριση των ασθενών, καθώς και η εκπαίδευση των ασθενών και του προσωπικού μέσα από χρήση συστημάτων που δίνουν τη δυνατότητα άμεσης πρόσβασης στις πληροφορίες ασθενών όπως και τα διαδραστικά οπτικοακουστικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

Η τηλεϊατρική χρησιμοποιείται σε μακρινές περιοχές, χωριά, κτλ. που έχουν μικρή ποιότητα παροχής ιατρικών υπηρεσιών. Επιπρόσθετα αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη στη ναυσιπλοΐα για τη διάγνωση και ιατρική εξυπηρέτηση από απόσταση σε νοσούντες που είναι σε πλοία, κρουαζιερόπλοια, κλπ. μη έχοντας ειδικευμένο ιατρικό προσωπικό.

Επίσης η τηλεϊατρική καλύπτει ένα ευρύ φάσμα αναγκών σε στρατιωτικό περιβάλλον. Οπότε, η ιατρική βοήθεια από απόσταση κρίνεται ιδιαίτερα αναγκαία, ούτως ώστε οι στρατιωτικές ασκήσεις να διεξάγονται με ασφαλέστερο τρόπο.

Άλλος κλάδος υλοποίησης των πολυμέσων στην ιατρική είναι η χειρουργική, όπως στις λαπαροσκοπικές μεθόδους και την ιατρική που καθοδηγείται μέσα από εικόνες (image guided surgery). Πιο αναλυτικά, οι απεικονίσεις που προκύπτουν από εξετάσεις, επεξεργάζονται προκειμένου να κάνουν τρισδιάστατες παραστάσεις οι οποίες έπειτα αναπαράγονται οπτικά (μέσα από ειδικές συσκευές) πάνω στο σώμα του ασθενή στην ιδανική θέση.

Παρά το γεγονός ότι υφίστανται αρκετά ενδεχόμενα εφαρμογών, ο βασικός στόχος της τηλεϊατρικής είναι να επιτρέψει στο ιατρικό προσωπικό να προσφέρει τις υπηρεσίες τους εκεί που είναι ο ασθενής, όπως:

- Ιατρική εκπαίδευση από απόσταση
- Παροχή συμβουλών από απόσταση.
- Διάγνωση από απόσταση από εξειδικευμένους γιατρούς για περιστατικά σε σημεία όπου δεν υφίσταται γιατρός της εκάστοτε ειδικότητας που απαιτείται.

## 3.4 Εφαρμογές του WiMAX στον Ελλαδικό χώρο

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, οι περιοχές κάλυψης είναι όλο το Ηράκλειο Κρήτης.

Ο Όμιλος ΟΤΕ, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες πρόσβασης, παρέχει υπηρεσίες φωνής και ευρυζωνικότητας μέσω σταθερής ασύρματης πρόσβασης, συμπληρωματικά στις καλυπτόμενες από ενσύρματη υποδομή περιοχές της Ελλάδας.

Προαπαιτούμενο για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης είναι η ασύρματη κάλυψη WiMAX της περιοχής ενδιαφέροντος για την εξυπηρέτηση συνδρομητών ή επιχειρήσεων. Τα συστήματα που εγκαθίστανται πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου IEEE 802.16-2004.

Σήμερα, παρέχονται επιτυχώς ειδικές υπηρεσίες και υπηρεσίες φωνής και Internet με τη χρήση των υπηρεσιών COSMOTE WiMAX σε πολλές περιοχές όπως

- **Στον νομό Αττικής** και πιο συγκεκριμένα στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (ΔΑΑ). Σ' ένα αεροδρόμιο όπως αυτό της Αθήνας, με έκταση 17,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αποστάσεις μεταξύ των εγκαταστάσεων που φτάνουν και τα 7 χιλιόμετρα, είναι προφανές ότι η εφαρμογή συστημάτων WiMAX προσφέρει λύσεις πολύ ανταγωνιστικές, σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες.
- **Στον νομό Θεσσαλονίκης**
- **Στο Άγιο Όρος** για την εξυπηρέτηση των τηλεπικοινωνιακών αναγκών του.

Επιπρόσθετα, μπορεί να εξυπηρετήσει ειδικές ανάγκες των επιχειρήσεων, ενώ σταδιακά αντικαθιστά και τα συστήματα ΣΑΡ τα οποία εξυπηρετούν τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες αρκετών, γεωγραφικά δυσπρόσιτων, περιοχών της ελληνικής περιφέρειας.

Σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται είναι ότι ο εξοπλισμός του χρήστη μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να λειτουργήσει και σε «μη οπτική επαφή» με το σταθμό βάσης.

Τα συστήματα WiMAX και Mobile WiMAX που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα βασίζονται στο IEEE 802.16e-2005, το οποίο καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του 2005. Είναι μια τροποποίηση του πρωτοκόλλου IEEE 802.16-2004 και έτσι το παρόν πρωτόκολλο είναι το 802.16-2004, τροποποιημένο από το 802.16-2005, οι εφαρμογές τους πρέπει να διαβάζονται ταυτόχρονα ώστε να γίνουν κατανοητά. Το πρωτόκολλο IEEE 802.16-2004 απευθύνεται σε σταθερά συστήματα. Αντικατέστησε τα πρωτόκολλα 802.16-2001, 802.16c-2002, 802.16a-200

## Βιβλιογραφία

- [1] [Al-Rashdy, S., Qing Guo](#), Capacity Estimation for Multitrafic Users in Mobile WiMAX
- [2] Daan Pareit, Bart Lannoo, Ingrid Moerman, Member, IEEE, and Piet Demeester, Fellow, IEEE, The History of WiMAX: A Complete Survey of the Evolution in Certification and Standardization for IEEE 802.16 and WiMAX
- [3] How WiMAX Works <http://www.howstuffworks.com/wimax1.htm>
- [4] Imran, A.; Tafazolli, R., Performance & capacity of mobile broadband WiMAX (802.16e) deployed via High Altitude Platform
- [5] Jim Martin, Bo Li, Will Pressly, James Westall, School of Computing Clemson University WiMAX Performance at 4.9 GHz
- [6] Tijani Chahed (GET/INT), Laura Cottatellucci (Eurecom), Rachid Elazouzi (LIA), Sophie Gault (Motorola), Alberto Suarez Real (Eurecom), Information theoretic capacity of WiMAX – Chapter 1
- [7] Wi-Fi Alliance, <http://www.wi-fi.org/>
- [8] Wikipedia (EN), WiMAX, <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [9] Wikipedia (GR), WiMAX, <http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [10] Wikipedia, Duplex (telecommunications) - Time-division duplexing, [http://en.wikipedia.org/wiki/Duplex\\_%28telecommunications%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_%28telecommunications%29)
- [11] Wikipedia, Multipath interference, [http://en.wikipedia.org/wiki/Multipath\\_interference](http://en.wikipedia.org/wiki/Multipath_interference)
- [12] Wikipedia, Multipath propagation, [http://en.wikipedia.org/wiki/Multipath\\_propagation](http://en.wikipedia.org/wiki/Multipath_propagation)
- [13] Wikipedia, Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM), [http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiplexing](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing)
- [14] WiMAX Forum, <http://www.wimaxforum.org/>
- [15] WiMAX Tutorial <http://www.tutorialspoint.com/wimax/>
- [16] Κυριαζής Γεώργιος, Μέλος Ε.Ε.Ε. Θεμάτων Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων Τ.Ε.Ε., WiMAX και Ευρυζωνικότητα
- [17] ΜΟΤΟ, ΟΤΕ, ΕΛΕΤΟ, ΕΛΟΤ, TELETERM – Βάση Τηλεπικοινωνιακών Όρων, <http://www.moto-teleterm.gr/>
- [18] Μπούρας Δημήτριος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Ευρυζωνικές Τεχνολογίες – WiMAX IEEE 802.16 (Διαφάνειες Μαθήματος)
- [19] Σκρίμπας Δημήτριος, Η Τηλεπικοινωνιακή Επανάσταση του WiMAX & Ευρυζωνικές Triple Play Υπηρεσίες
- [20] ΕΕΤΤ ,



[http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/EETT/Electronic\\_Communications/TelecommunicationServicePurchase/broadbandServices/Broadband-stats-2016-S1.pdf](http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/EETT/Electronic_Communications/TelecommunicationServicePurchase/broadbandServices/Broadband-stats-2016-S1.pdf)

- [21] COSMOTE ,<https://www.cosmote.gr/fixed/business/products-services/ote-business-solutions/ote-special-solutions/ote-wimax-services>